

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Відомості про механізм і вимоги до електроприводу розкатного рольгангу .....	7
1.1 Сортамент товстолистого стану 3000 .....	7
1.2 Технологічні вимоги до початкової заготовки .....	7
1.3 Прокатка листів на чорновій/чистовій кліті («дуо»/«кварто») .....	10
1.4 Обробка листів .....	15
1.5 Режим прокатки листів на чорновій/чистовій кліті.....	16
1.6 Опис конструкції і роботи механізму розкатного рольганга за чистовою кліттю .....	17
2 Розрахунок потужності і вибір електродвигунів розкатного рольганга .....	21
2.1 Розрахунок статичних моментів.....	22
2.2 Розрахунок динамічних моментів і прискорень .....	27
2.3 Час керування електроприводом .....	32
2.4 Перевірка потужності вибраного електродвигуна по нагріванню.....	37
3 Вибір силової та перетворювальної техніки розкатного рольганга за чистовою кліттю .....	39
3.1 Вибір та обґрунтування силової частини системи та способу керування електроприводом.....	39
3.2 Вибір комплектного електропривода.....	43
3.3 Вибір силового трансформатора й згладжувального дроселя .....	47
3.4 Опис принципової схеми розкатного рольганга.....	48
3.5 Вимоги до системи автоматизації .....	50
3.6 Процедура запуску перетворювача SIMOREG DC MASTER.....	51
4 Синтез системи підпорядкованого керування електроприводом розкатного рольгангу.....	61
4.1 Математичний опис об'єкта керування.....	61
4.2 Розрахунок основних параметрів елементів системи електропривода.....	62
4.3 Синтез регулятора струму.....	66

	5
4.4 Синтез регулятора швидкості .....	70
4.5 Розрахунки задатчика інтенсивності швидкості.....	74
5 Моделювання електропривода розкатного рольгангу у середовищі MATLAB/SIMULINK .....	78
6 Охорона праці .....	89
6.1 Наявність потенційно небезпечних місць для працюючих .....	89
6.2 Можливість поразки працюючих електричним струмом .....	90
6.3 Інструкція з охорони праці для електрослюсаря .....	96
Висновок .....	101
Перелік джерел посилання .....	102
Додаток А .....	104

## ВСТУП

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

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

Транспортні рольганги (підвідні та відвідні) призначені для зв'язку між собою окремих допоміжних машин і пристроїв стану.

Об'єкт розробки відноситься до робочих рольгангів.

В даний час одними з найбільш поширених і масово виготовлених промисловістю є системи керування електроприводом, побудовані за принципом підпорядкованого регулювання. Порівняно з попередніми їм системами вони володіють великою швидкодією, 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 гідності електроприводу оцінюються не тільки по ефекту, досягнутого в технологічній сфері, але і по тому, якою ціною вони були досягнуті у сфері виробництва і експлуатації обладнання. Тому існує тенденція до уніфікації пристроїв керування.

Об'єктом розробки в даній дипломній роботі є автоматизований електропривод розкатного рольганга за чистовою кліткою «Кварто» товстолистового стану 3000. Вимоги до електроприводу та початкові дані для проектування наведені у відповідних розділах.

# **1 ВІДОМОСТІ ПРО МЕХАНІЗМ І ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ РОЗКАТНОГО РОЛЬГАНГУ**

## **1.1 Сортамент товстолистового стану 3000**

Товстолистовий стан 3000 призначений для прокатки листів з вуглецевих, конструкційних і низьколегованих марок сталі з тимчасовим опором розриву в холодному стані до 785 Н·мм<sup>2</sup> товщиною 6-50 мм, шириною 1219-2650 мм, довжиною 5000 - 12000 мм (загальна довжина листів по додатному до 24000 мм) з обрізаною кромкою.

Розміри листів, граничні відхилення за ними, площа й інші вимоги повинні відповідати вимогам нормативної документації - ДЕРЖСТАНДАРТ, технічним умовам, міжнародним стандартам, контрактам.

До складу ТЛЦ 2 входять: чотири нагрівальні печі, чорнова кліть «Дуо», чистова кліть «Кварто», дві листопрямильні машини, транспортні рольганги і шлепери, гільйотинні ножиці, дискові ножиці, кромко-дробильні ножиці, гільйотинні ножиці поперечного різання, термічне відділення, у складі якого чотири термічні печі, гартівний прес, спреєрна установка, правильне відділення. Проектна потужність цеху – 1000 тисяч тонн на рік.

## **1.2 Технологічні вимоги до початкової заготовки**

Стан за проектом призначений для прокатки листів з катаними бічними крайками. Чорнова кліть з вертикальними валками використовується у якості окалинозломлювача, а також для постійного або змінного по довжині сляба обтиску бічних крайок сляба або розкату і для поліпшення їх форми (профілювання).

Вихідним матеріалом для прокату листів служать сляби, отримані з обтискного цеху, МБЛЗ і сляби, що поставляються іншими заводами. Для нагріву слябів перед прокаткою стан має 4 методичні, дворядні, трьохзонні печі з нижнім підігрівом, торцевим завантаженням і видачею. Паливом служить суміш доменного і коксового газів. У таблиці 1.1 наведені розміри слябів масою до 7,5 т.

Таблиця 1.1 - Розміри слябів

Найменування	Величина
Товщина, мм	От 140 до 320
Ширина, мм	От 1000 до 1400
Довжина, мм	От 1500 до 2500

Рациональні розміри слябів визначають залежно від схеми прокатки на чорновій кліті (уздовж або упоперек) і умов нагрівання металу в печах. При поперечній схемі прокатки поперечна вісь литого й катаного сляба збігається з поперечною віссю розкату.

Для отримання оптимальної форми розкатів служить система керування формою розкатів у плані на чорновій кліті.

Хімічний склад сталі і граничні відхилення за масовою часткою елементів повинні відповідати вимогам діючих стандартів, технічних умов і наряд-замовлень.

Допуски по розмірах слябів, призначених для прокатки листів наведені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 - Допуски за розмірами слябів:

Для катаних слябів, мм	Для литих слябів, мм
по товщині 0; 3 мм;	по товщині 0; 3 мм;
по ширині 0; 10 мм;	по ширині...±10 мм;
по довжині 0; 30 мм.	по довжині -20; +30 мм.

Форма, розміри, граничне відхилення й 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;
- неплотинність не більше 20 мм на 1 м довжини;

- косина зрізу (різниця діагоналей більших 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 більш 10 мм на сторону.

Мінімальна довжина сляба повинна бути не менше 1500 мм.

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, що допускається на 1 м серповидності або відхилення від площини на довжину сляба в метрах.

З поверхні слябів вогневим зачищенням видаляються всі дефекти, глибиною не більше 1 мм. На головних качаних слябах з боку протилежного клейму на відстані 300 – 350 мм від торця на бічній грані роблять часткове (на глибину до 10 мм) видалення глибоких дефектів: розкачане забруднення. Ділянки, що зачищаються після обробки очищаються від шлаків.

Гранична глибина зачищення на бічних гранях: сляби товщиною до 140 мм включно не зачищаються, понад 140 мм - зачищаються на 50 мм. Зачищення дефектів на бічних гранях потрібно робити по всій їхній довжині. При глибині дефектів більше 5 мм робиться один надріз глибиною до 30 мм.

Гранична глибина зачищення 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 зачищення цих дефектів не повинна перевищувати відповідно 30 мм і 50 мм. Ділянка з дефектами глибиною більше зазначеної, відрізається, а при неможливості видалення такого дефекту – сляб переводять у брак.

Сляби, отримані від блюмінга після обробки, повинні бути покладені в штабелі клеймом в одну сторону, рівними рядами. Висота штабеля не повинна перевищувати 3 м.

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

### **1.3 Прокатка листів на чорновій/чистовій кліті («Дуо»/«Кварто»)**

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

Кліть «Дуо» призначена для розбивки ширини листа і підготовки розкату до чистої прокатки.

Виданий з печі сляб по відведеному рольгангу транспортується до валків і задається в них при мінімальних обробках двигуна. Інформація про сляби, які видаються з нагрівальних печей, передається по комп'ютерній мережі на монітор стану гарячої прокатки. Якщо сляб рухається не по осі рольганга, то він центрується лінійками маніпулятора. Цегла, прокладка та інші предмети, що знаходяться на поверхні сляба видаляються включенням гідрозбиву або вальцовщиком. Виданий з печі сляб по підвідному рольгангу транспортується через камери гідрозбиву окалини до валків.

На стані може застосовуватися поздовжня прокатка, коли поздовжні осі сляба і листа, прокатанного з нього, збігаються і поперечна, коли осі перпендикулярні.

Прокатка проводиться по поздовжній або поперечній схемам. Вибір схеми прокатки, якщо не вказано в фабрикації схеми прокатки і не передбачена 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 пропуски виробляються уздовж по довжині сляба:

- при поздовжній схемі прокатки із протяганням довжина одержуваного розкату не повинна перевищувати 280 мм;

- при поперечній схемі прокатки для одержання необхідної ширини розкату ( з урахуванням припуску на обрізку бічних кромок) сумарна величина обтиснень визначається довжиною сляба й необхідною шириною розкату.

Вибір кількості пропусків по довжині сляба, проводиться автоматично

програмним забезпеченням, для одержання оптимальної форми розкату. Інформація про схеми прокатки, температурно-деформаційним, швидкісним режимам прокатки на чорновій кліті, виводиться на монітор оператору стану гарячої прокатки.

Після протягання в довжину розкат повертають (кантують) на  $90^\circ$  за допомогою розкатного рольганга з конічними роликами з передньої або задньої сторони кліті й центрують маніпуляторами:

- розбивки ширини – при поперечній прокатці;
- одержання заданої товщини розкату – при поперечній прокатці.

При поперечній прокатці, після кантування, одночасно із centruванням проводиться вимір отриманої довжини сляба – ширини майбутнього листа із припуском на бічну кромку. Якщо довжина (ширина) коротша на 20 мм і більше необхідної, оператор повинен розкантувати сляб назад і простягнути його додатково в довжину, задаючи необхідні обтиснення шляхом коректування розмірів розкату в програмі прокатки. Розрахункові значення збільшення довжини розкату при обтисненні на 1 мм наведено в таблиці 1.3.

Якщо довжина (ширина) перевищує задану більше, ніж на 30 мм, то даний сляб необхідно катати за поперечною схемою.

При поперечній прокатці, після розбивки ширини, розкат повертають на  $90^\circ$  за допомогою конічних роликів, центрують маніпулятором і прокочують далі до одержання заданої товщини підкату для передачі на чистову кліть. Одночасно із centruванням проводиться вимір ширини підкату по циферблату лінійок.

Величина припуску на обрізку бічних кромок встановлюється у межах 80 - 120 мм. Рекомендуються наступні припуски на обрізку бічних кромок:

- для листів товщиною до 20 мм при довжині розкатів 24 – 30 м припуск 100 – 120 мм;
- для листів усіх 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 кромку зазначені при вимірі в чорновій кліті. Величина припуску на кромку в рекомендованих вище межах, встановлюється виробничим майстром і вальцювальником стану в кожному окремому випадку залежно від форми отриманого розкату, роботи чистової кліті, одержуваної довжини розкату й результатів вирізки листів на ножицях.

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

Прокатку на чорновій кліті звичайно закінчують непарним пропуском. Якщо передній кінець розкату загинається настільки, що ускладнюється його подача на валки чистової кліті, у цих випадках прокатку необхідно закінчувати парним пропуском.

Розкати прокочують і відправляють на чистову кліть суворо по осі рольганга.

Температура початку прокатки після другого пропуску на розкаті з наданою окалиною повинна бути не менше 1160 градусів (для м'яких вуглецевих сталей) і 1170 градусів (для низьколегованих і міцних вуглецевих сталей). Температура початку прокатки вимірюється вибірково, на декількох слябах кожної плавки, контролем УТК.

Температура розката на початку прокатки на кліті «Кварто» повинна бути не менше 1050°C для сталі зі складом вуглецю 0,30 % і більше, а також для низьколегованих марок сталі, що прокочуються не по режимах контрольованої прокатки.

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

Таблиця 1.3 – Розрахункові значення збільшення довжини розкату при обтисненні 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

Товщина розкату, переданого на чистову кліть, залежно від товщини листа, що прокочується, визначається автоматично для забезпечення рівномірного завантаження чорнової й чистової кліті й наведена в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Товщина розкату, переданого на чистову кліть

Товщина розката, мм	Товщина прокачуваного листа, мм
6-8	20-30
9-10	30-40
11-15	40-50
16-20	50-60
21-50	65-90

### 1.3.2 Прокатка листів на чистовій кліті

Прокатка листів на чистовій кліті проводиться суворо по середині бочок валків. Якщо розкат йде не по середині рольганга, розташований косо та інше він зупиняється і центрується маніпуляторами з передньої сторони кліті. Центрування повинно проводитися без затримок, щоб уникнути тривалого перебування розкату без руху на роликах і місцевого його охолодження.

Розкат задається суворо по осі рольганга при швидкості валків не більше 50 об/хв (5,25 рад/с). Залежно від товщини і призначення листи прокочуються в поздовжньому або поперечному напрямках.

Температура кінця прокатки повинна бути не менше 720 градусів.

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

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

При великій вигнутості нагору розкат відправляється назад, на чорнову кліть, для прогладжування, про що негайно повідомляється оператору по селектору.

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

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

Задана товщина розкату забезпечується гідронатискним пристроєм кліті й автоматичним забезпеченням. Під час прокатки вальцювальник чистової кліті повинен ретельно стежити за станом поверхні листів, не допускаючи укочування часток, що відірвалися, металу і сторонніх предметів.

Оператор стану зобов'язаний систематично контролювати ширину розкатів.

#### **1.4 Обробка листів**

Всі прокатані на стані листи проходять «гарячу правку» (ділянка гарячої обробки готового прокату) на роликотправильних машинах № 1 і № 2. РКК-2 під час зупинки стану може бути використана для редагування листів в холодному стані.

Після прокатки вже готові листи по транспортному рольгангу за кліттю «КВАРТО» надходять у правильну машину №1. Листи проходять через правильні машини РПМ-1 і РПМ-2. Далі відбувається охолодження листів.

Охолодження листів проводиться під час їх переміщення по транспортним рольгангам і передавальним шлеперам. На транспортному рольгангу листи можуть охолоджуватися за допомогою вентилятора з розпиленням води.

Охолодження листів у потоці повинно бути рівномірним. Не допускається накладання листів один на одного при русі їх по рольгангам, оскільки крім можливих аварій, затримок і поломки устаткування це може призвести до великої різниці у властивостях листа по довжині через різну швидкість охолодження окремих його ділянок.

Після охолодження листів відбувається огляд поверхні, кантування й попереднє маркування листів.

Верхня сторона листів оглядається контролером УТК на транспортному рольгангу перед інспекторським столом. Також проводиться періодичний вимір товщини листів. При кантуванні листи розташовують паралельно осі кантувача на відстані не більш 200 мм від виступів важелів.

Потім листи надходять на ділянку різання де обрізаються кромки листів і ріжуться на мірні довжини. Після прорізки на дискових, кромко-дробильних і

гільйотинних ножицях листи надходять на стелажі видачі. На стелажках видачі проводиться огляд верхньої поверхні листів, зачищення дефектів, перевірка геометричних розмірів, клеймовки, маркування й приймання листів ВТК. Зняті зі стелажів листи укладаються на листообробку на складі листів у штабелі, а при подачі вагонів у цех вантажаться й відправляються замовнику по призначенню.

### 1.5 Режим прокатки листів на чорновій/чистовій кліті

Ймовірні режими обтиснень у чорновій і чистовій клітках при прокатці листів шириною 1500 – 2500 мм із вуглецевих сталей наведено в таблицях 1.5, 1.6.

Таблиця 1.5 – Режим обтиснень у чорновій кліті

Товщина сляба перед пропуском, мм	Припустимі обтиснення, мм, при ширині сляба, мм				
	670-750	800-900	1000-1150	1150-1250	≥1300
1	2	3	4	5	6
230-300	85	75	60	55	50
200-220	80	70	55	50	45
1	2	3	4	5	6
170-190	75	65	55	45	45
140-160	70	55	50	45	40
120-130	60	50	45	40	40
105-115	55	45	40	40	35
90-100	50	45	40	35	35
75-85	45	40	35	30	30

Таблиця 1.6 – Режим обтиснень у чистовій кліті

Пропуск	Н, мм	ΔН, мм	Н, мм	ΔН, мм	Н, мм	ΔН, мм	Н, мм	ΔН, мм
	В≤1,5 м		В=1,6-2 м		В=2,1-2,6 м		В=2,4-2,5 м	
1	35	11,5	35	11,5	35	9,5	35	9
2	23,5	7,5	23,5	7,5	25,5	6,5	26	6
3	16	4,5	16	4,5	19	4,5	20	4
4	11,5	2	11,5	2	14,5	3	16	3
5	9,5	1,5	9,5	1,5	11,5	2	13	2
6	8	-	8	-	9,5	1,5	11	1,5
7	-	-	-	-	8	-	9,5	1,5
8	-	-	-	-	-	-	8	-

## 1.6 Опис конструкції і роботи механізму розкатного рольганга за чистовою кліттю

### 1.6.1 Опис конструкції

Рольганг розкатний за чистовою кліттю призначений для прийому розкату з кліті в непарних пропусках і подачі розкату в чистову кліть в парних пропусках, в ході прокатки чистової кліті, а також для подачі листа в пристрій контрольованого охолодження (ПКО) листа.

Рольганг розкатний №1 розташовується між робочим рольгангом за чистовою кліттю і рольгангом розкатним №2.

Кінематична схема рольганга представлена на рис. 1.1

Рольганг містить 11 ребристих роликів. Привод роликів індивідуальний, безредукторний. Механічне обладнання рольганга і електродвигуни залишаються.

Порядкова нумерація роликів – в напрямку ходу металу.

Кожен ролик рольганга індивідуально приводиться в обертання спеціальним двигуном постійного струму зі зниженою частотою обертання. При цьому двигуни парних роликів розташовані з правого боку по ходу металу, а двигуни непарних – з лівого.

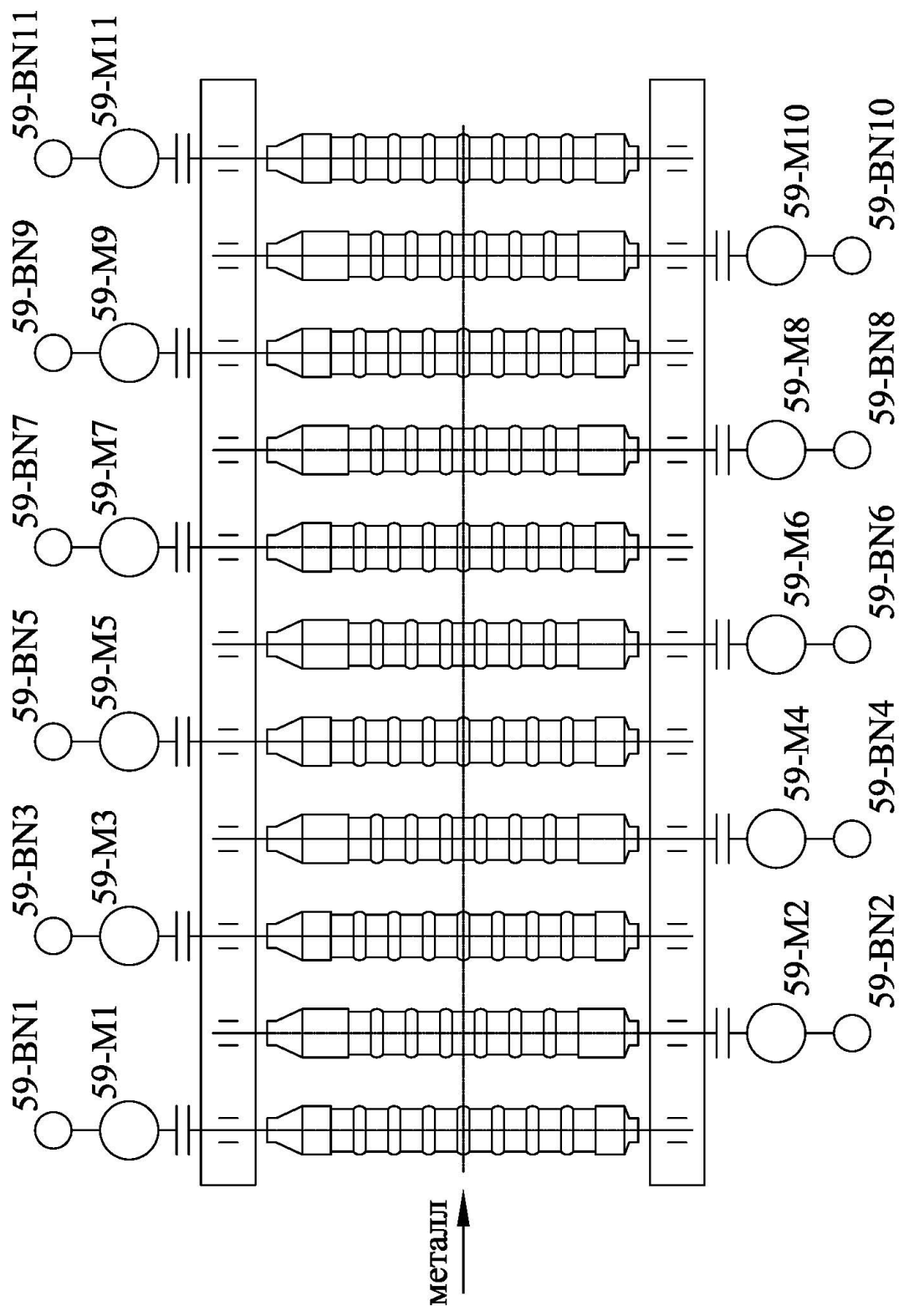


Рисунок 1.1 – Кінематична схема розкатного рольганга за чистою кліттю

Двигуни продуваються. Вентиляція двигунів по розімкненому циклу від централізованої системи.

До існуючих двигунів будуть прибудовані імпульсні датчики для реалізації в електроприводі зворотного зв'язку за швидкістю. Це необхідно для забезпечення надійної роботи рольганга на малих швидкостях, спільно з рольгангом ПКО (під час охолодження листа).

#### 1.6.2 Опис роботи механізмів

У процесі прокатки в чистовій кліті рольганг розкатний №1 працює спільно з рольгангом робочим і станинними роликками за чистовою кліттю (розташовані з боку чистової кліті по відношенню до нього), а також з рольгангом розкатним №2 (розташований з боку ПКО по відношенню до нього). Рольганг розкатний №1 приймає розкат після чергового пропуску, зупиняється, чекає закінчення центрування розкату маніпуляторними лінійками і з реверсом подає його назад у кліть. Швидкість розкатного рольганга №1 узгоджується зі швидкістю розкатного рольганга і станинних роликів за чистовою кліттю.

Режим прокатки в чистовій кліті – реверсивний. При цьому в кожному конкретному пропуску підтримується рівень швидкості, необхідний за технологією. У загальному випадку швидкість від пропуску до пропуску збільшується відповідно до зменшення товщини розкату.

Після закінчення прокатки, якщо лист короткий, проводиться транспортування листа на рольганг розкатний №2 і далі, до установки прискореного контрольованого охолодження (ПКО). У тому випадку якщо лист довгий, зменшення швидкості транспортування металу відбувається відразу після закінчення прокатки в чистовій кліті. При підході листа до ПКО (момент підходу визначається за допомогою датчиків наявності металу, встановлених перед ПКО або розрахунковим шляхом) проводиться синхронізація швидкостей рольгангів розкатів №1 і №2 з рольгангом ПКО.

Приводи рольгангів працюють в повторно-короткочасному, реверсивному режимі.



## 1.6.3 Технологічні та технічні дані

Таблиця 1.7 – Вихідні технологічні і технічні дані механізму

Найменування та розмірність технічного параметра	Значення параметра
1. Розкат	
1.1. Товщина, мм	6...50
1.2. Ширина, мм	1500...2800
1.3. Довжина, мм	до 26000
1.4. Маса максимальна, кг	до 7500
2. Рольганг	
2.1. Діаметр бочки ролика, мм	400/350
2.2. Довжина бочки ролика, мм	3000
2.3. Крок роликів, мм	800
2.4. Кількість роликів, шт.	11
2.5. Маса ролика, кг	2560
2.6. Середній діаметр підшипника, мм	235
3. Технологічні дані	
3.1. Швидкість транспортування розката, м/с	0,2...5,0

Таблиця 1.8 - Вихідні технологічні дані режиму прокатки листів  $7,8 \times 2165 \times 25500$  мм (сляб  $200 \times 1100 \times 1950$  мм, маса 3,367 т, сталь S355J2 + N, температура 890-870 0С)

№ Пропуску	Товщина листа $h$ , мм	Ширина листа $b$ , мм	Довжина листа $L$ , мм	Швидкість прокатки $V_{пр}$ , м/с	Час паузи $t_n$ , С	Температ. розката $t$ , °С
1	30,21	2175	6703	2,97	5,2	1023
2	22,40	2176	9020	3,30	5,2	1026
3	17,08	2176	11808	3,67	5,2	1004
4	13,44	2176	14977	4,05	5,2	973
5	10,92	2174	18383	4,43	5,2	934
6	9,15	2173	21887	4,79	5,2	890
7	7,88	2171	25380	5,00	0,2	842

## 2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ І ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ РОЗКАТНОГО РОЛЬГАНГА

В якості приводних електродвигунів електроприводу розкатного рольганга за чистовою кліттю «Кварто» товстолистового стану 3000 встановлені двигуни постійного струму типу Д812У2 зі зниженою частотою обертання з технічними даними, наведеними в табл. 2.1. [2]. Рольганг містить 11 ребристих роликів. Привід роликів індивідуальний, безредукторний. Перевіримо можливість роботи рольганга з існуючими двигунами. Вихідні дані, необхідні для подальших розрахунків, представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні дані електродвигуна Д812У2

Найменування	Величина
1 Номінальна потужність $P_n$ , кВт	35
2 Номінальна напруга $U_n$ , В	440
3 Номінальна частота обертання $n_n$ , об / хв	270
4 Номінальний струм $I_n$ , А	93
5 Опір обмотки якоря $R_y$ , Ом	0,0650
6 Опір обмотки додаткових полюсів $R_{дп}$ , Ом	0,0340
7 Опір обмотки збудження $R_v$ , Ом	34,4
8 Номінальний струм обмотки збудження $I_v$ , А	5,3
9 Момент інерції двигуна $J_{дв}$ , кг • м <sup>2</sup>	5,75

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

Таблиця 2.2 – Режим прокатки листів 7,8×2165×25500 мм  
(сляб 200×1100×1950 мм, маса 3,367 т, сталь S355J2+N, температура 890-870 °С)

Товщина листа $h$ , мм	Ширина листа $b$ , мм	Довжина листа $L$ , мм	Швидкість прокатки $V_{пр}$ , м/с																																																																
<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>30.21</td></tr> <tr><td>2</td><td>22.4</td></tr> <tr><td>3</td><td>17.08</td></tr> <tr><td>4</td><td>13.44</td></tr> <tr><td>5</td><td>10.92</td></tr> <tr><td>6</td><td>9.15</td></tr> <tr><td>7</td><td>7.88</td></tr> </table>		1	1	30.21	2	22.4	3	17.08	4	13.44	5	10.92	6	9.15	7	7.88	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>2175</td></tr> <tr><td>2</td><td>2176</td></tr> <tr><td>3</td><td>2176</td></tr> <tr><td>4</td><td>2176</td></tr> <tr><td>5</td><td>2174</td></tr> <tr><td>6</td><td>2173</td></tr> <tr><td>7</td><td>2171</td></tr> </table>		1	1	2175	2	2176	3	2176	4	2176	5	2174	6	2173	7	2171	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>6703</td></tr> <tr><td>2</td><td>9020</td></tr> <tr><td>3</td><td>11808</td></tr> <tr><td>4</td><td>14977</td></tr> <tr><td>5</td><td>18383</td></tr> <tr><td>6</td><td>21887</td></tr> <tr><td>7</td><td>25380</td></tr> </table>		1	1	6703	2	9020	3	11808	4	14977	5	18383	6	21887	7	25380	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>2.97</td></tr> <tr><td>2</td><td>3.3</td></tr> <tr><td>3</td><td>3.67</td></tr> <tr><td>4</td><td>4.05</td></tr> <tr><td>5</td><td>4.43</td></tr> <tr><td>6</td><td>4.79</td></tr> <tr><td>7</td><td>5</td></tr> </table>		1	1	2.97	2	3.3	3	3.67	4	4.05	5	4.43	6	4.79	7	5
	1																																																																		
1	30.21																																																																		
2	22.4																																																																		
3	17.08																																																																		
4	13.44																																																																		
5	10.92																																																																		
6	9.15																																																																		
7	7.88																																																																		
	1																																																																		
1	2175																																																																		
2	2176																																																																		
3	2176																																																																		
4	2176																																																																		
5	2174																																																																		
6	2173																																																																		
7	2171																																																																		
	1																																																																		
1	6703																																																																		
2	9020																																																																		
3	11808																																																																		
4	14977																																																																		
5	18383																																																																		
6	21887																																																																		
7	25380																																																																		
	1																																																																		
1	2.97																																																																		
2	3.3																																																																		
3	3.67																																																																		
4	4.05																																																																		
5	4.43																																																																		
6	4.79																																																																		
7	5																																																																		

Вихідні технологічні і технічні дані механізму наведені в таблиці 1.7.

## 2.1 Розрахунок статичних моментів

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

Момент холостого ходу на приводному валу ролика:

$$M_{х.р} = \frac{9,81m_p d_{ш} \mu_{ш}}{2} = \frac{9,81 \cdot 2560 \cdot 0,235 \cdot 0,01}{2} = 20,656 \text{ Нм} \quad (2.1)$$

де  $m_p = 2560$  кг - маса одного ролика;

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

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

При визначенні холостого ходу необхідно також враховувати втрати в електродвигуні.

Момент холостого ходу електродвигуна:

$$M_{x,d} = 0,07M_H = 0,07 \cdot 1238 = 86,651 \text{ Нм} \quad (2.2)$$

де  $M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{35 \cdot 10^3}{28,274} = 1238 \text{ Нм}$  – номінальний момент електродвигуна;

$$\omega_H = \frac{\pi n_H}{30} = \frac{3,14 \cdot 270}{30} = 28,274 \text{ 1/с} – \text{ номінальна швидкість електродвигуна.}$$

Таким чином, повний момент холостого ходу рольганга:

$$M_x = M_{x,p} + M_{x,d} = 20,656 + 86,651 = 107,307 \text{ Нм} \quad (2.3)$$

Момент транспортування металу по роликам:

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

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

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

Для рольгангів з груповим електроприводом величина  $m_m$  зазвичай приймається рівною маси зливка  $m_{сл}$ . Однак для рольгангів з індивідуальним електроприводом або з груповим електроприводом, але при довгих смугах транспортування металу, величина  $m_m$  має дещо невизначене значення, оскільки залежить від кількості точок зіткнення металу з роликами рольганга. При цьому суттєвим є ступінь викривлення прокочуваного металу, точність установки рольгангу за рівнем і т. д.

Якщо розкат має ідеальну рівну форму, а утворюють поверхні роликів один і той самий рівень щодо нульової позначки цеху, можна вважати, що розкат спирається рівномірно на всі ролики рольганга по своїй довжині. У цьому випадку маса (вага) металу, що припадає на один ролик дорівнює:

$$m_{m, \text{мин}_i} = m_{сл} \frac{l_{ш}}{L_i}, \quad (2.5)$$

де  $m_{сл} = 3,368 \text{ кг}$  – маса сляба (розраховується по перетину і довжині)

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

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

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

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

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

За методикою, викладеною в [2] визначаємо відносну масу (вагу) металу  $\bar{m}_M$ , припадаючу на один ролик у кожному проході.

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

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

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

$$M_{с.г_i} = M_x + M_{тр_i}. \quad (2.7)$$

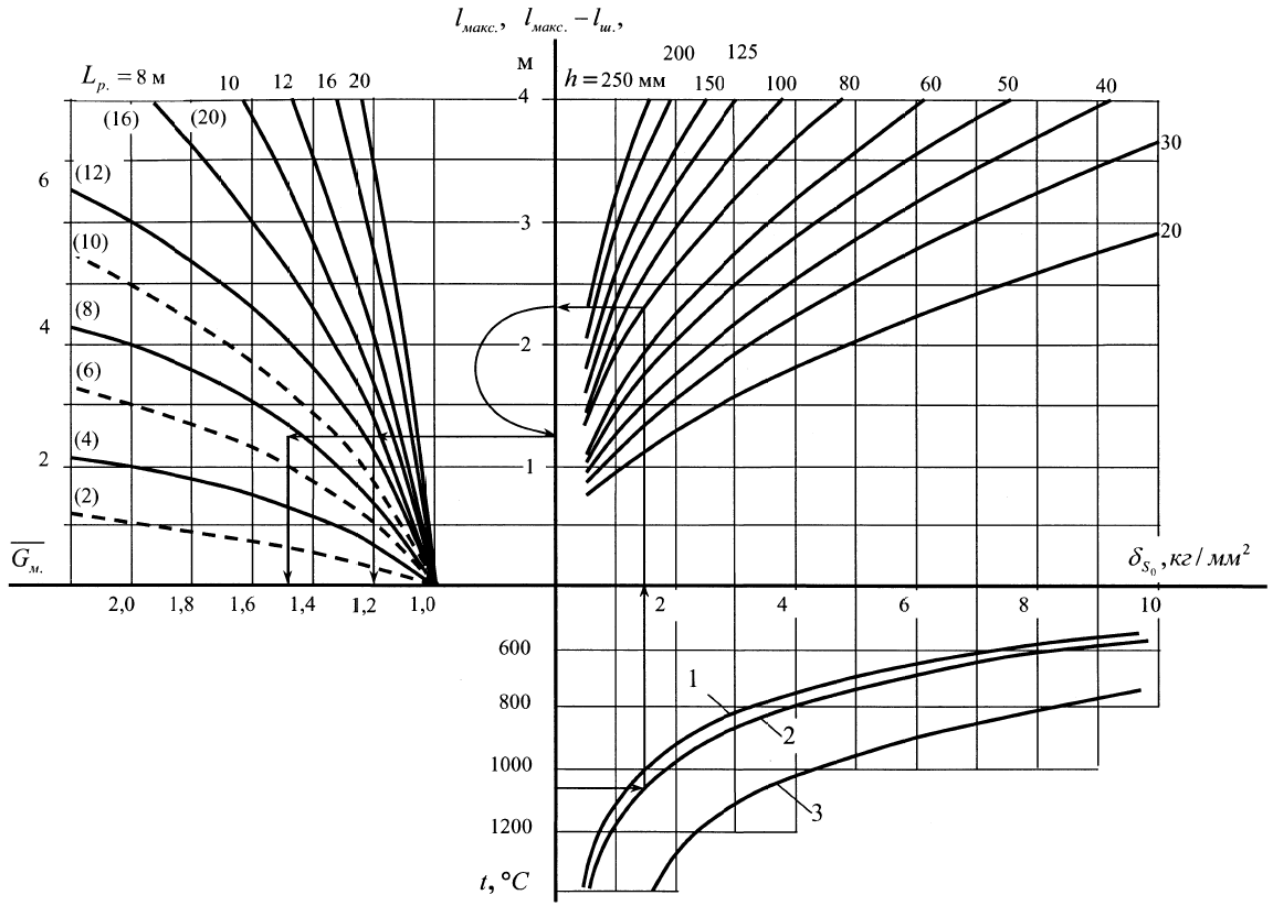


Рисунок 2.1 – Діаграма для визначення  $\bar{m}_M$  для коротких розкатів

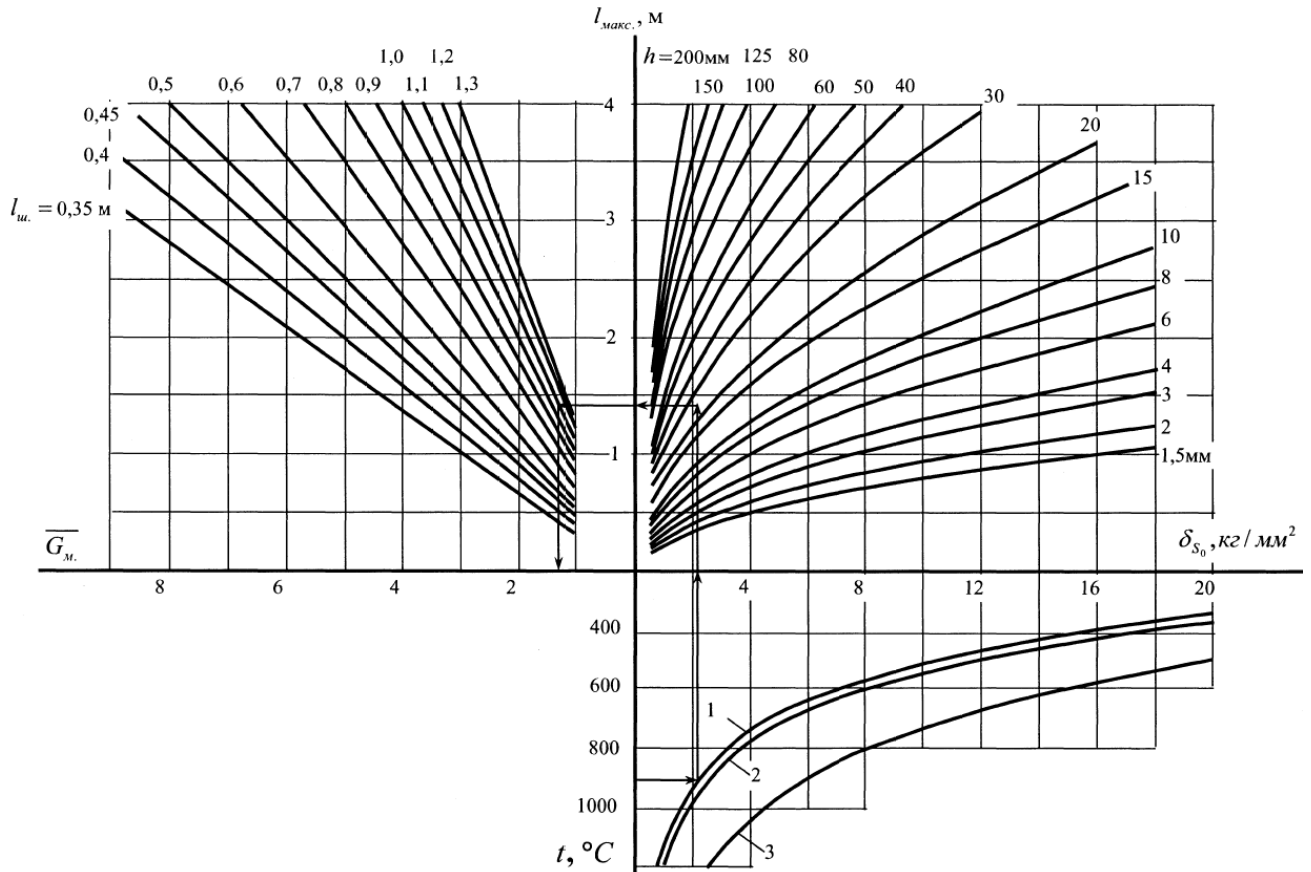


Рисунок 2.2 – Діаграма для визначення  $\bar{m}_M$  для довгих розкатів

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

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

де  $d_p = 0,4$  м – діаметр ролика;

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

Повний момент статичного опору при буксуванні:

$$M_{сб_i} = M_x + M_{\delta_i}. \quad (2.9)$$

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

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

$L$ , мм	$m_{\text{м.мин}_i}$ , кг (2.5)	$\bar{m}_{\text{м}_i}$ , (рис. 2.1-2.2)	$m_{\text{м}_i}$ , кг (2.6)																																																																
<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>6703</td></tr> <tr><td>2</td><td>9020</td></tr> <tr><td>3</td><td>11808</td></tr> <tr><td>4</td><td>14977</td></tr> <tr><td>5</td><td>18383</td></tr> <tr><td>6</td><td>21887</td></tr> <tr><td>7</td><td>25380</td></tr> </tbody> </table>		1	1	6703	2	9020	3	11808	4	14977	5	18383	6	21887	7	25380	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>401.922</td></tr> <tr><td>2</td><td>298.678</td></tr> <tr><td>3</td><td>228.157</td></tr> <tr><td>4</td><td>179.881</td></tr> <tr><td>5</td><td>146.553</td></tr> <tr><td>6</td><td>123.09</td></tr> <tr><td>7</td><td>106.15</td></tr> </tbody> </table>		1	1	401.922	2	298.678	3	228.157	4	179.881	5	146.553	6	123.09	7	106.15	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.9</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.25</td></tr> </tbody> </table>		1	1	1.9	2	1.8	3	1.5	4	1.4	5	1.4	6	1.3	7	1.25	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>763.651</td></tr> <tr><td>2</td><td>537.621</td></tr> <tr><td>3</td><td>342.236</td></tr> <tr><td>4</td><td>251.834</td></tr> <tr><td>5</td><td>205.174</td></tr> <tr><td>6</td><td>160.018</td></tr> <tr><td>7</td><td>132.687</td></tr> </tbody> </table>		1	1	763.651	2	537.621	3	342.236	4	251.834	5	205.174	6	160.018	7	132.687
	1																																																																		
1	6703																																																																		
2	9020																																																																		
3	11808																																																																		
4	14977																																																																		
5	18383																																																																		
6	21887																																																																		
7	25380																																																																		
	1																																																																		
1	401.922																																																																		
2	298.678																																																																		
3	228.157																																																																		
4	179.881																																																																		
5	146.553																																																																		
6	123.09																																																																		
7	106.15																																																																		
	1																																																																		
1	1.9																																																																		
2	1.8																																																																		
3	1.5																																																																		
4	1.4																																																																		
5	1.4																																																																		
6	1.3																																																																		
7	1.25																																																																		
	1																																																																		
1	763.651																																																																		
2	537.621																																																																		
3	342.236																																																																		
4	251.834																																																																		
5	205.174																																																																		
6	160.018																																																																		
7	132.687																																																																		

Таблиця 2.4 – Розрахунок статичних моментів електродвигунів розкатного рольганга

$m_{\text{м}_i}$ , кг (2.6)	$M_{\text{тр}}$ , Нм (2.4)	$M_{\text{с.т}_i}$ , Нм (2.7)	$M_{\text{сб}_i}$ , Нм (2.9)																																																																
<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>763.651</td></tr> <tr><td>2</td><td>537.621</td></tr> <tr><td>3</td><td>342.236</td></tr> <tr><td>4</td><td>251.834</td></tr> <tr><td>5</td><td>205.174</td></tr> <tr><td>6</td><td>160.018</td></tr> <tr><td>7</td><td>132.687</td></tr> </tbody> </table>		1	1	763.651	2	537.621	3	342.236	4	251.834	5	205.174	6	160.018	7	132.687	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>17.399</td></tr> <tr><td>2</td><td>12.249</td></tr> <tr><td>3</td><td>7.797</td></tr> <tr><td>4</td><td>5.738</td></tr> <tr><td>5</td><td>4.675</td></tr> <tr><td>6</td><td>3.646</td></tr> <tr><td>7</td><td>3.023</td></tr> </tbody> </table>		1	1	17.399	2	12.249	3	7.797	4	5.738	5	4.675	6	3.646	7	3.023	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>124.706</td></tr> <tr><td>2</td><td>119.556</td></tr> <tr><td>3</td><td>115.104</td></tr> <tr><td>4</td><td>113.045</td></tr> <tr><td>5</td><td>111.982</td></tr> <tr><td>6</td><td>110.953</td></tr> <tr><td>7</td><td>110.33</td></tr> </tbody> </table>		1	1	124.706	2	119.556	3	115.104	4	113.045	5	111.982	6	110.953	7	110.33	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>556.792</td></tr> <tr><td>2</td><td>423.751</td></tr> <tr><td>3</td><td>308.747</td></tr> <tr><td>4</td><td>255.536</td></tr> <tr><td>5</td><td>228.072</td></tr> <tr><td>6</td><td>201.493</td></tr> <tr><td>7</td><td>185.407</td></tr> </tbody> </table>		1	1	556.792	2	423.751	3	308.747	4	255.536	5	228.072	6	201.493	7	185.407
	1																																																																		
1	763.651																																																																		
2	537.621																																																																		
3	342.236																																																																		
4	251.834																																																																		
5	205.174																																																																		
6	160.018																																																																		
7	132.687																																																																		
	1																																																																		
1	17.399																																																																		
2	12.249																																																																		
3	7.797																																																																		
4	5.738																																																																		
5	4.675																																																																		
6	3.646																																																																		
7	3.023																																																																		
	1																																																																		
1	124.706																																																																		
2	119.556																																																																		
3	115.104																																																																		
4	113.045																																																																		
5	111.982																																																																		
6	110.953																																																																		
7	110.33																																																																		
	1																																																																		
1	556.792																																																																		
2	423.751																																																																		
3	308.747																																																																		
4	255.536																																																																		
5	228.072																																																																		
6	201.493																																																																		
7	185.407																																																																		

## 2.2 Розрахунок динамічних моментів і прискорень

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

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

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

де  $a$  – лінійне прискорення розкату.



Ця сила не може бути більше сили буксування  $F_{\text{ин}} \leq F_{\delta}$ . 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  $\mu_{\delta}$ . Приймаючи  $\mu_{\delta} = 0,15 \div 0,3$  [1, 2], отримаємо  $a \leq 1,47 \div 2,94 \text{ м/с}^2$ . Більше значення прискорення відповідає гарячому металу, менше – холодному.

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

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

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

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

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

Динамічний момент на валу електродвигуна дорівнює:

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

де  $J'_{\Sigma}$  – сумарний момент інерції (з урахуванням моменту інерції транспортується злитка), приведений до валу електродвигуна;

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

Виразимо кутове прискорення електродвигуна через лінійне прискорення розкату

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

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

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

$d_{\text{р}}$  – діаметр ролика, м;

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

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

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

Приведення поступального руху до обертального руху здійснюється на підставі закону збереження енергії, а саме – кінетична енергія в обох випадках повинна бути однаковою. У зв'язку з цим запишемо

$$\frac{m_{\text{м}} V_{\text{м}}^2}{2} = \frac{J_{\text{м}} \omega_{\text{дв}}^2}{2}, \quad (2.17)$$

звідки знаходимо

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

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

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

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

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

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

Момент інерції механізму дорівнює:

$$J_{мех} = J_{дв} + J_p = 5,75 + 51,2 = 56,95 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.21)$$

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

$$J_p = m_p \frac{d_p^2}{8} = 2560 \frac{0,4^2}{8} = 51,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \text{ – момент інерції ролика.}$$

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

$$M_{\text{п.о.р}} = (J_{\text{мех}} + J_{\text{м}_i}) \frac{2 \cdot 9,81 \mu_{\text{б}}}{d_{\text{р}}} + M_{\text{с.т}_i} = \frac{2 \cdot 9,81 \mu_{\text{б}}}{d_{\text{р}}} J'_{\Sigma} + M_{\text{с.т}_i}, \quad (2.22)$$

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

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

або

$$M_{\text{п.о.т}} = (J_{\text{мех}} + J_{\text{м}_i}) \frac{2 \cdot 9,81 \mu_{\text{б}}}{d_{\text{р}}} - M_{\text{с.т}_i} = \frac{2 \cdot 9,81 \mu_{\text{б}}}{d_{\text{р}}} J'_{\Sigma} + M_{\text{с.т}_i} \quad (2.24)$$

Видно, що моменти  $M_{\text{п.о.р}}$  і  $M_{\text{п.о.т}}$  залежать від маси металу, що припадає на ролик. Для гарантованого розгону і гальмування без буксовки слід обмежувати момент електродвигуна на рівні мінімального значення моменту, розрахованого за виразами (2.22) та (2.24). З виразів для гранично-обґрунтованих моментів видно, що мінімальні значення  $M_{\text{п.о.р}}$  і  $M_{\text{п.о.т}}$  мають місце при мінімальній масі металу  $m_{\text{м}_i}$ , що припадає на ролик рольганга.

Приймаємо кратність пуско-гальмівних струмів (динамічних моментів)  $\lambda_{\text{пт}} = 0,6$ .

Таблиця 2.5 – Розрахунок динамічних моментів електродвигунів розкатного рольганга

$J_{\text{м}_i}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$ (2.19)	$M_{\text{п.о.р}}, (2.22)$	$\frac{M_{\text{п.о.р}}}{M_{\text{н}}}$	$M_{\text{п.о.т}}, (2.24)$	$\frac{M_{\text{п.о.т}}}{M_{\text{н}}}$																																																																																
<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>30.546</td></tr> <tr><td>2</td><td>21.505</td></tr> <tr><td>3</td><td>13.689</td></tr> <tr><td>4</td><td>10.073</td></tr> <tr><td>5</td><td>8.207</td></tr> <tr><td>6</td><td>6.401</td></tr> <tr><td>7</td><td>5.307</td></tr> </table>		1	1	30.546	2	21.505	3	13.689	4	10.073	5	8.207	6	6.401	7	5.307	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1412.21</td></tr> <tr><td>2</td><td>1274.019</td></tr> <tr><td>3</td><td>1154.564</td></tr> <tr><td>4</td><td>1099.293</td></tr> <tr><td>5</td><td>1070.766</td></tr> <tr><td>6</td><td>1043.158</td></tr> <tr><td>7</td><td>1026.449</td></tr> </table>		1	1	1412.21	2	1274.019	3	1154.564	4	1099.293	5	1070.766	6	1043.158	7	1026.449	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1.141</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.029</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.933</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.888</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.865</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.843</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.829</td></tr> </table>		1	1	1.141	2	1.029	3	0.933	4	0.888	5	0.865	6	0.843	7	0.829	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1162.798</td></tr> <tr><td>2</td><td>1034.907</td></tr> <tr><td>3</td><td>924.355</td></tr> <tr><td>4</td><td>873.204</td></tr> <tr><td>5</td><td>846.803</td></tr> <tr><td>6</td><td>821.253</td></tr> <tr><td>7</td><td>805.789</td></tr> </table>		1	1	1162.798	2	1034.907	3	924.355	4	873.204	5	846.803	6	821.253	7	805.789	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0.939</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.836</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.747</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.705</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.684</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.663</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.651</td></tr> </table>		1	1	0.939	2	0.836	3	0.747	4	0.705	5	0.684	6	0.663	7	0.651
	1																																																																																			
1	30.546																																																																																			
2	21.505																																																																																			
3	13.689																																																																																			
4	10.073																																																																																			
5	8.207																																																																																			
6	6.401																																																																																			
7	5.307																																																																																			
	1																																																																																			
1	1412.21																																																																																			
2	1274.019																																																																																			
3	1154.564																																																																																			
4	1099.293																																																																																			
5	1070.766																																																																																			
6	1043.158																																																																																			
7	1026.449																																																																																			
	1																																																																																			
1	1.141																																																																																			
2	1.029																																																																																			
3	0.933																																																																																			
4	0.888																																																																																			
5	0.865																																																																																			
6	0.843																																																																																			
7	0.829																																																																																			
	1																																																																																			
1	1162.798																																																																																			
2	1034.907																																																																																			
3	924.355																																																																																			
4	873.204																																																																																			
5	846.803																																																																																			
6	821.253																																																																																			
7	805.789																																																																																			
	1																																																																																			
1	0.939																																																																																			
2	0.836																																																																																			
3	0.747																																																																																			
4	0.705																																																																																			
5	0.684																																																																																			
6	0.663																																																																																			
7	0.651																																																																																			

де  $M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{35 \cdot 10^3}{28,3} = 1237,8 \text{ Нм}$  – номінальний момент двигуна.

З табл. 2.5 видно, що кратність пуско-гальмівних струмів (динамічних моментів)  $\lambda_{пт}$  не перевищує кратності гранично-виправданих моментів, що гарантує рух розкату по роликах з прискоренням/уповільненням без проковзування (буксування) і забезпечує необхідне прискорення розгону/гальмування –  $1,68 \text{ м/с}^2$ .

### 2.3 Час керування електроприводом

Розглянемо більш детально процес переміщення злитка при прокатці.

У процесі прокатки в чистовій кліті рольганг розкатний №1 працює спільно з рольгангом робочим і станинними роликками за чистовою кліттю (розташовані з боку чистової кліті по відношенню до нього), а також з рольгангом розкатів №2 (розташований з боку ПКО по відношенню до нього). Рольганг розкатний №1 приймає розкат після чергового пропуску, зупиняється, чекає закінчення центрування розкату маніпуляторними лінійками і з реверсом подає його назад в кліть. Швидкість розкатного рольганга №1 узгоджується зі швидкістю розкатного рольганга і станинних роликів за чистової кліттю.

Цикл роботи електроприводу розкатного рольганга №1 складається з наступних ділянок:

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

Робота розкатного рольганга №1 при прокатці розкату в третьому-сьомому пропусках аналогічна його роботі при прокатці в першому-другому пропусках із збільшенням довжини листа.

Після закінчення прокатки, якщо лист короткий, проводиться транспортування листа до установки прискореного контрольованого охолодження (ПКО). У тому випадку, якщо лист довгий, зменшення швидкості транспортування металу відбувається відразу після закінчення прокатки в чистовій кліті. При підході листа до ПКО (момент підходу визначається за допомогою датчиків наявності металу, встановлених перед ПКО, або розрахунковим шляхом) проводиться синхронізація швидкостей рольганга розкатного №1 з рольгангом ПКО.

Час розгону і гальмування електропривода рольганга:

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

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

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

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

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

прокатки в кожному пропуску, 1/с;

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

$M_{\text{п}}$  – середній пусковий момент електродвигуна (для подальших розрахунків приймаємо  $M_{\text{п}} = \lambda_{\text{пт}} M_{\text{н}} = 0,6 M_{\text{н}} = 742,723 \text{ Нм}$ ;

$M_{\text{т}}$  – середній гальмівний момент електродвигуна (для подальших розрахунків приймаємо  $M_{\text{т}} = \lambda_{\text{тт}} M_{\text{н}} = 0,6 M_{\text{н}} = 742,723 \text{ Нм}$ ;

$M_{\text{с}}$  – статичний момент навантаження на валу електродвигуна (при розгоні або гальмуванні рольганга вхолосту  $M_{\text{с}} = M_{\text{х}}$ ; при розгоні або гальмуванні з заготівлею  $M_{\text{с}} = M_{\text{с.т}i} = M_{\text{х}} + M_{\text{т}p_i}$ .

Час транспортування металу (усталеного руху):

$$t_y = \frac{L_i}{V_{\text{пр}_i}}. \quad (2.27)$$

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

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

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

Таблиця 2.6 – Розрахунок часу роботи ЕП розкатного рольганга

$t_{\text{п}}, \text{ с} \quad (2.25)$	$t_{\text{т}}, \text{ с} \quad (2.26)$	$t_y, \text{ с} \quad (2.27)$	$t_{\text{пауз}}, \text{ с}$	$n_{\text{пр}_i}, \text{ об / мин}$																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.331</td></tr> <tr><td>2</td><td>2.077</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.645</td></tr> <tr><td>4</td><td>2.155</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.985</td></tr> <tr><td>6</td><td>2.402</td></tr> <tr><td>7</td><td>2.241</td></tr> </tbody> </table>		1	1	1.331	2	2.077	3	1.645	4	2.155	5	1.985	6	2.402	7	2.241	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.498</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.105</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.511</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.357</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.689</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.605</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.825</td></tr> </tbody> </table>		1	1	1.498	2	1.105	3	1.511	4	1.357	5	1.689	6	1.605	7	1.825	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2.257</td></tr> <tr><td>2</td><td>2.733</td></tr> <tr><td>3</td><td>3.217</td></tr> <tr><td>4</td><td>3.698</td></tr> <tr><td>5</td><td>4.15</td></tr> <tr><td>6</td><td>4.569</td></tr> <tr><td>7</td><td>5.076</td></tr> </tbody> </table>		1	1	2.257	2	2.733	3	3.217	4	3.698	5	4.15	6	4.569	7	5.076	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>2</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>3</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>4</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>5</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>6</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.2</td></tr> </tbody> </table>		1	1	5.2	2	5.2	3	5.2	4	5.2	5	5.2	6	5.2	7	0.2	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>141.807</td></tr> <tr><td>2</td><td>157.563</td></tr> <tr><td>3</td><td>175.23</td></tr> <tr><td>4</td><td>193.373</td></tr> <tr><td>5</td><td>211.517</td></tr> <tr><td>6</td><td>228.706</td></tr> <tr><td>7</td><td>238.732</td></tr> </tbody> </table>		1	1	141.807	2	157.563	3	175.23	4	193.373	5	211.517	6	228.706	7	238.732
	1																																																																																			
1	1.331																																																																																			
2	2.077																																																																																			
3	1.645																																																																																			
4	2.155																																																																																			
5	1.985																																																																																			
6	2.402																																																																																			
7	2.241																																																																																			
	1																																																																																			
1	1.498																																																																																			
2	1.105																																																																																			
3	1.511																																																																																			
4	1.357																																																																																			
5	1.689																																																																																			
6	1.605																																																																																			
7	1.825																																																																																			
	1																																																																																			
1	2.257																																																																																			
2	2.733																																																																																			
3	3.217																																																																																			
4	3.698																																																																																			
5	4.15																																																																																			
6	4.569																																																																																			
7	5.076																																																																																			
	1																																																																																			
1	5.2																																																																																			
2	5.2																																																																																			
3	5.2																																																																																			
4	5.2																																																																																			
5	5.2																																																																																			
6	5.2																																																																																			
7	0.2																																																																																			
	1																																																																																			
1	141.807																																																																																			
2	157.563																																																																																			
3	175.23																																																																																			
4	193.373																																																																																			
5	211.517																																																																																			
6	228.706																																																																																			
7	238.732																																																																																			

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

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

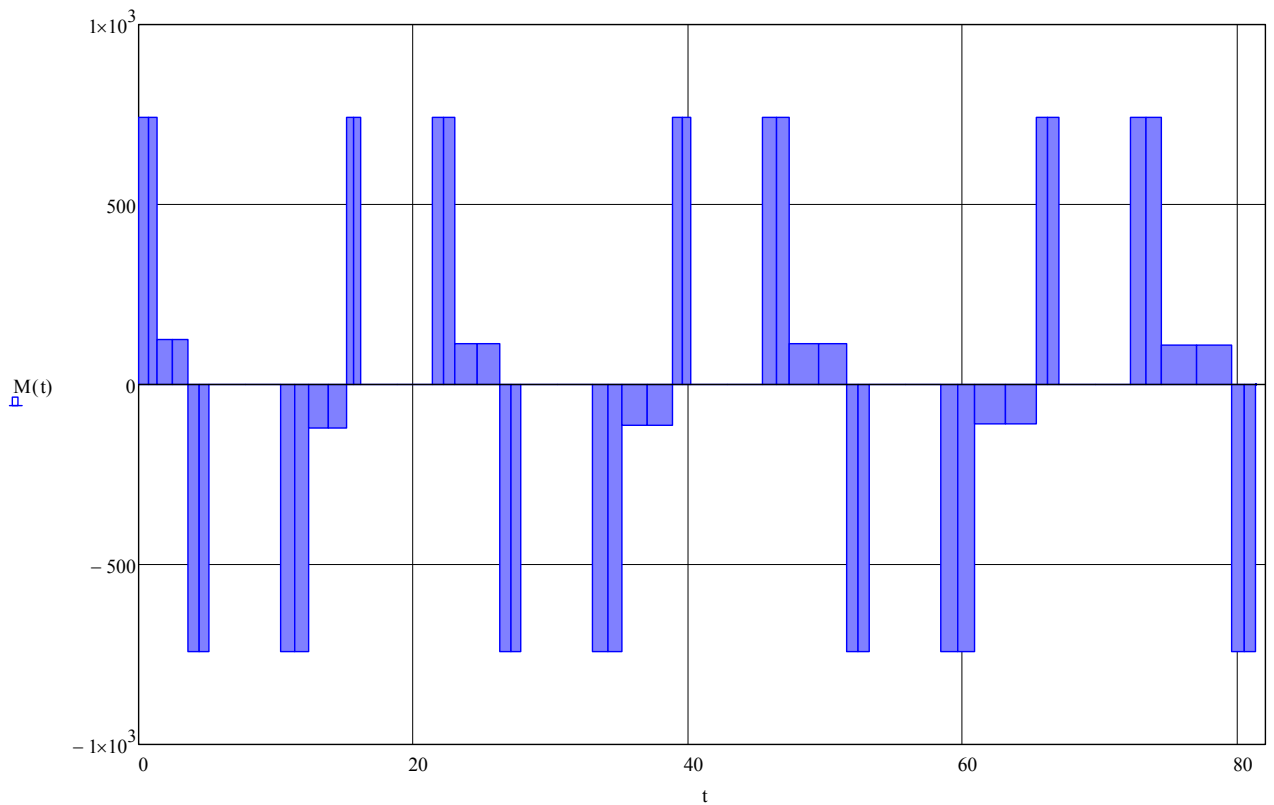
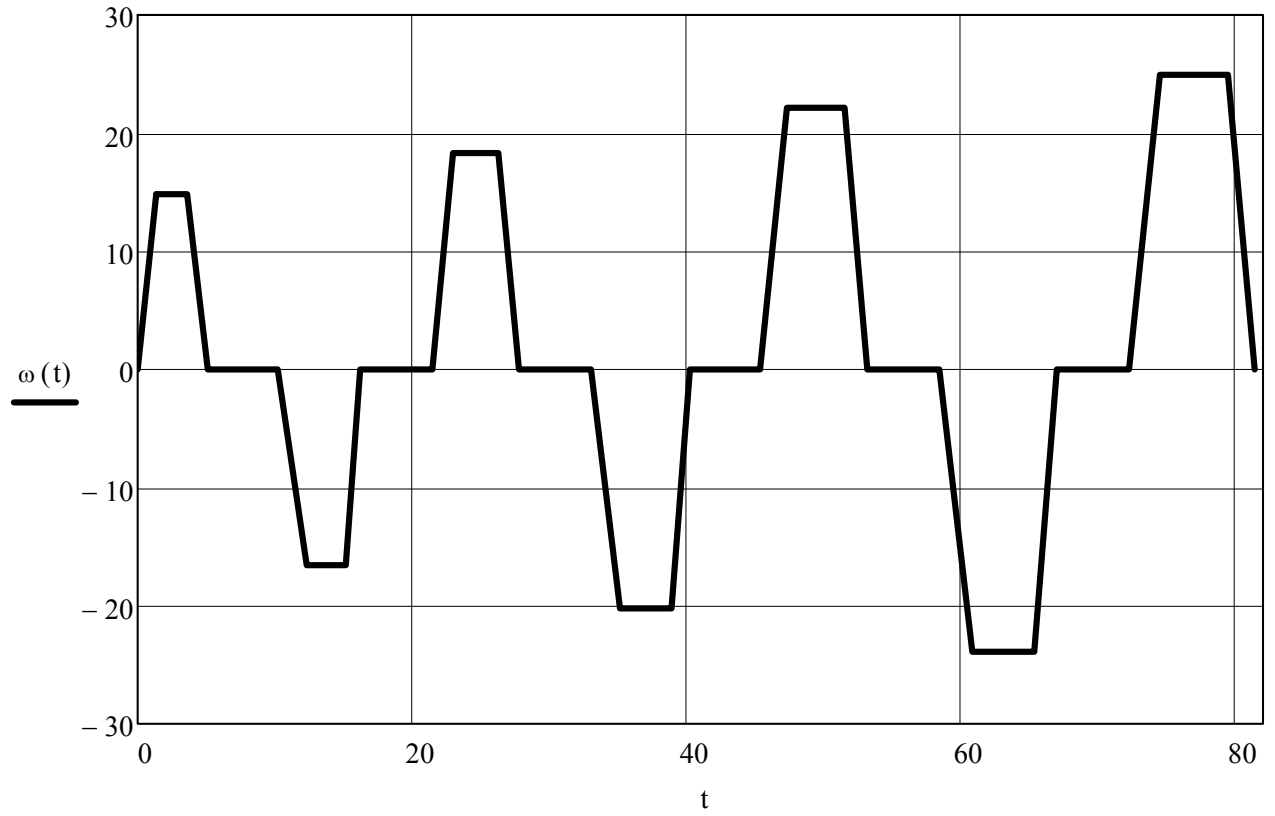
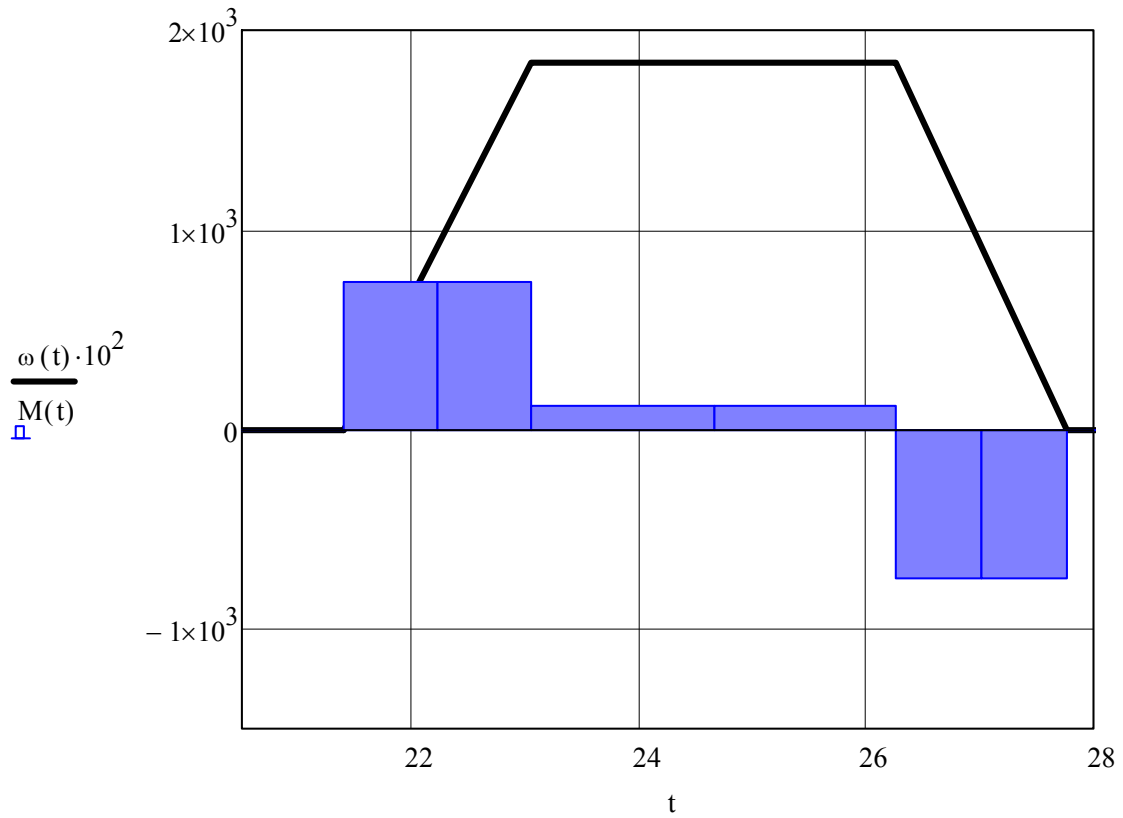
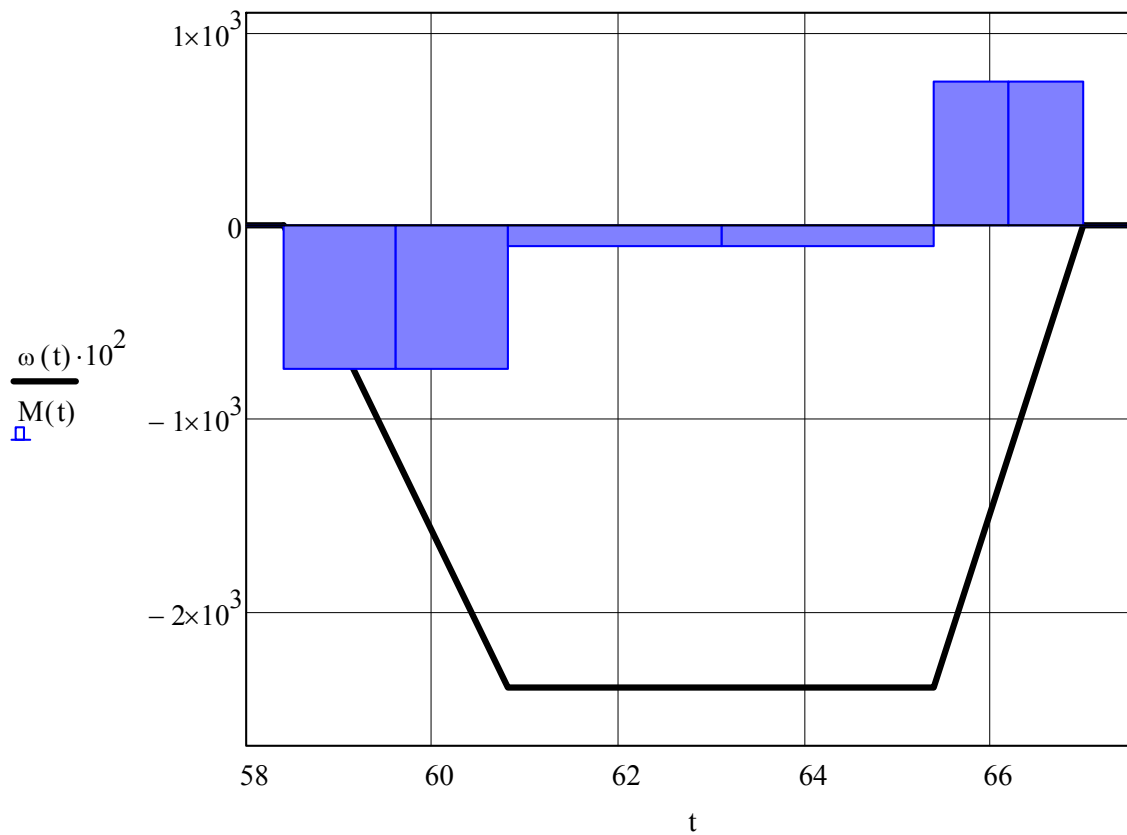


Рисунок 2.3 – Тахограми та навантажувальні діаграми роботи електропривода розкатного рольганга за цикл роботи прокатного стану





третій пропуск



шостий пропуск

Рисунок 2.4 – Тахограми та навантажувальні діаграми роботи електропривода розкатного рольганга

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

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

#### 2.4 Перевірка потужності вибраного електродвигуна по нагріванню

На рис. 2.3 зображена навантажувальна діаграма електроприводу розкатного рольганга №1 за чистовою кліттю. Оскільки в періоди пуску, гальмування та усталеного руху роликів рольганга при прокатці листів швидкість прокатки і швидкість роликів синхронізовані, то буксування о метал відсутнє.

Еквівалентний момент електродвигуна, доведений до фактичного значення тривалості включення  $\varepsilon = \Sigma t_{вкл} / t_{ц} = 50,125/81,525 = 0,615$ :

$$M_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{M_{\Pi}^2 \Sigma t_{\Pi} + M_{T}^2 \Sigma t_{T} + M_{с.Т}^2 \Sigma t_{y}}{\Sigma t_{\Pi} + \Sigma t_{T} + \Sigma t_{y}}} = \quad (2.29)$$

$$= \sqrt{\frac{742,723^2 \cdot 13,836 + 742,723^2 \cdot 10,589 + 334,128 \cdot 10^3}{13,386 + 10,589 + 25,7}} = 674,286 \text{ Нм.}$$

Еквівалентний момент перерахований для ПВ=100% складає:

$$M_{\varepsilon 100\%} = M_{\varepsilon} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_k}} = 674,286 \sqrt{\frac{0,615}{1,0}} = 528,358 \text{ Нм} = 0,545 M_{н}. \quad (2.30)$$

Отримане розрахункове значення еквівалентного моменту показує, що прийняті значення пускового і гальмівного моментів забезпечують інтенсивне протікання перехідних процесів при одночасному припустимому навантаженні електродвигуна з нагріву. Завантаження електродвигуна становить 54,5%.

Серед усіх можливих моментів на валу двигуна найбільшим є пусковий

момент електроприводу при транспортуванні металу – 867,429 Н·м, що у відношенні до номінального моменту становить  $0,7 M_n$ , що допустимо. Таким чином, обраний електродвигун проходить і по перевантажувальній здатності (максимально допустима кратність струму якоря 2,5).

При прокатці листів інших типорозмірів (при підкатах більшої маси) завантаження двигуна по середньоквадратичному моменту становить 40-70%, що допустимо. Дещо завищена потужність машини пояснюється необхідністю реалізації заданого темпу розгону/гальмування при транспортуванні металу найбільшої маси 7,5 т. Крім того, у разі ручного керування механізмами району прокатної кліти можливі неузгодженості лінійних швидкостей валів головного приводу, станинних роликів, робочих і розкатних рольгангів, що призводить до появи буксування роликів по поверхні металу (статичні моменти на двигуні зростають до моментів буксування), викликаючи додатковий нагрів машини. Також буксування роликів по металу виникає при виході розкату з валів кліти з більшою швидкістю через так зване «випередження». Вважаємо, що 40% -го резерву потужності двигуна достатньо для покриття додаткових моментів.

## 3 ВИБІР СИЛОВОЇ ТА ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ РОЗКАТНОГО РОЛЬГАНГА ЗА ЧИСТОВОЮ КЛІТТЮ

### 3.1 Вибір та обґрунтування силової частини системи та способу керування електроприводом

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

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

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

У цей час система Г-Д має обмежене застосування у зв'язку з масовим впровадженням перетворювачів на тиристорах і транзисторах. У металургійній промисловості використовується в якості електропривода великої потужності на 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 у ланцюзі навантаження, високої частоти комутації й менше істотних нелінійностей перетворювача;

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

– високий ККД, тому що втрати потужності на регулюючому елементі

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

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

Разом з тим ШПП властиві й недоліки:

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

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

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

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

– відсутність складних вентиляційних пристроїв.

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

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

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

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

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

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

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

При застосуванні паралельної корекції підвищується стабільність характеристик системи за рахунок ланок, охоплених зворотним зв'язком. Вплив перешкод на коригувальний пристрій, включених в ланцюг зворотного зв'язку,

значно менше, чим при включенні його в прямий канал системи, оскільки сигнал знімається з виходу системи, що представляє собою фільтр низьких частот.

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

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

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

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

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

### 3.2 Вибір комплектного електропривода

Привід кожного ролика рольгангу здійснюється від електродвигуна постійною струму закритого виконання. Живлення якірних ланцюгів електродвигунів рольганга здійснюється від комплектного тиристорного електроприводу (КТЕ).

Основними технічними даними комплектних тиристорних електроприводів є номінальний струм  $I_{н\text{ тп}}$  та напруга  $U_{н\text{ тп}}$ . Для багатодвигунних електроприводів при послідовному живленні якірних ланцюгів номінального струму перетворювача береться сумарний струм двигунів, через що зростає його потужність, а отже і його ціна.

Номінальна напруга перетворювача визначається номінальною напругою електродвигуна, яка менше номінальної напруги КТП, визначається за ДСТ 25953-83, на 5-15%, що забезпечує необхідний запас на регулювання швидкості й на безпечне інвертування при зниженні напруги живильної мережі, тобто  $U_{н\text{ тп}} = (1,05 \div 1,15)U_{н\text{ дв}}$ .

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

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



Таблиця 3.1 – Технічні дані перетворювача шафового виконання SIMOREG DC MASTER 6RM7031-6DS02

Найменування параметра	Позначення і чисельне значення
Номінальна живильна 3х фазна напруга, В	$U_{H1\ TP} = 400$
Номінальний вхідний струм, А	$I_{H1\ TP} = 104$
Номінальна вирівняна (постійна) напруга, В	$U_{H\ TP} = 485$
Номінальний вирівняний (постійний) струм, А	$I_{H\ TP} = 125$
Номінальна потужність, кВт	$P_{H\ TP} = 61$
Номінальна напруга збудження, В	$U_{B\ TP} = 325$
Номінальний струм збудження, А	$I_{B\ TP} = 10$
Вага, кг	$m_{TP} = 200$

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

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

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

також відображення обмірюваних значень, необхідних для запуску перетворювача.

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

ЕОМ підключається до базового блоку з допомогою послідовного інтерфейсу. Цей інтерфейс використовується під час запуску, для збереження параметрів при вимиканні, а також 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 чотирьохквадрантних модулях – від двох повністю керованих трифазних мостів, включених зустрічно-паралельно. На схему порушення живлення подається через однофазний напівкерований двохполуперіодний міст.

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

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

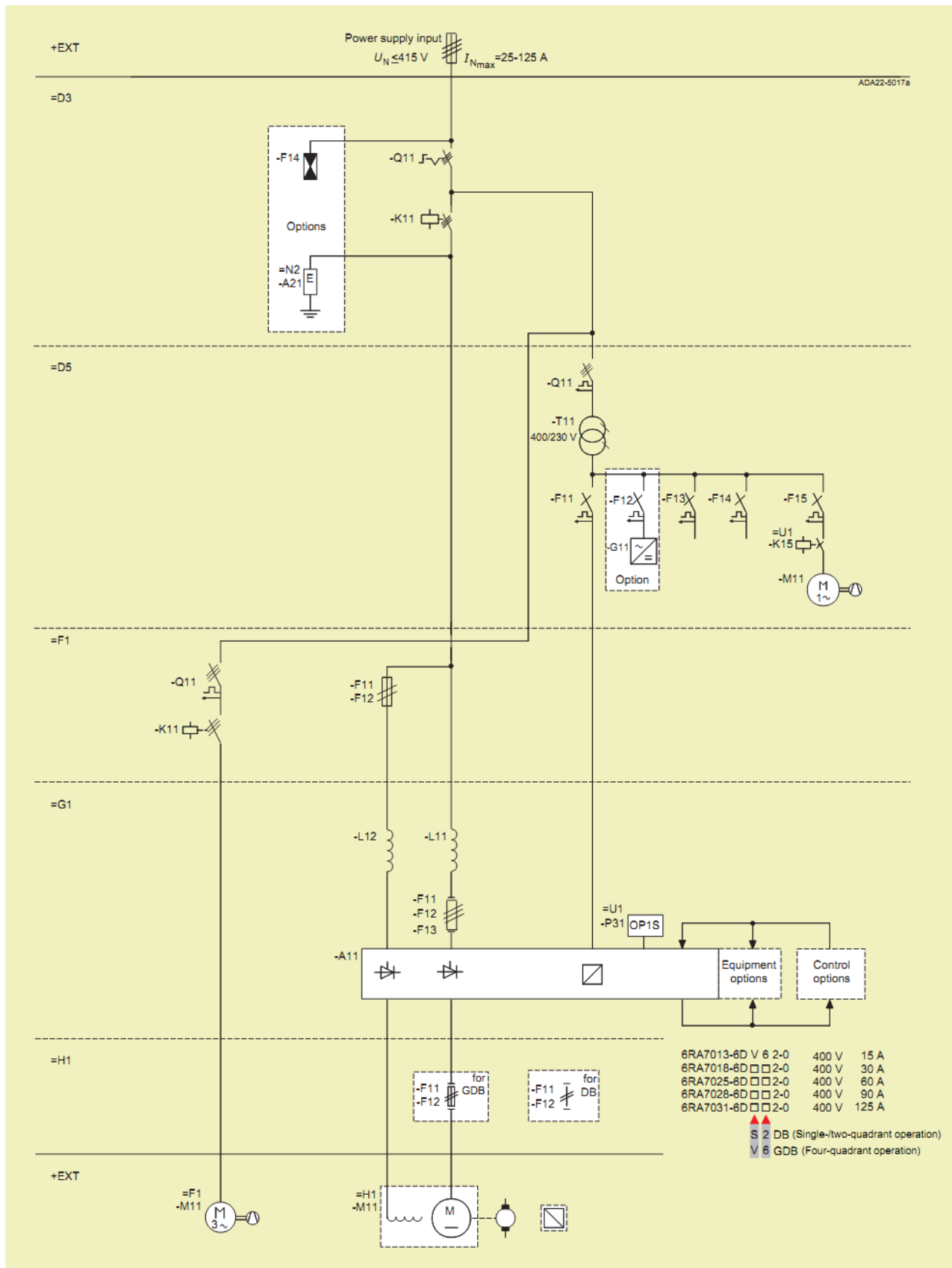


Рисунок 3.1 – Однолінійна схема силової частини комплектного електроприводу SIMOREG DC MASTER

### 3.3 Вибір силового трансформатора й згладжувального дроселя

Силовий трансформатор (СТ) в схемі керованого випрямляча застосовується для узгодження стандартної напруги мережі ( $\sim 380$  В;  $\sim 6$  кВ;  $\sim 10$  кВ) 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, СТ обмежує струм в режимі короткого замикання, а також швидкість наростання струму як в робочих, так і в аварійних режимах роботи перетворювача.

Для узгодження тиристорних перетворювачів (11 + 1) з мережею живлення з довідника [7] обираємо силовий трансформатор ТНЗП-1000/10У3 технічні дані, якого наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічні дані силового трансформатора ТНЗП-1000/10У3 виконання для живлення тиристорного перетворювача

Найменування параметра	Позначення і чисельне значення
Потужність, кВ А	$P_{\text{тр тп}} = 938$
Номінальна первинна напруга, В	$U_{1 \text{ тр тп}} = 6000$
Номінальна вторинна напруга, В	$U_{2 \text{ тр тп}} = 415$
Діюче значення струму вторинної обмотки, А	$I_{2 \text{ тр тп}} = 1305$
Потужність втрат холостого ходу, Вт	$\Delta P_{\text{хх тп}} = 2650$
Потужність втрат короткого замикання, Вт	$\Delta P_{\text{кз тп}} = 8000$
Напруга короткого замикання%	$U_{\text{кз}\% \text{ тп}} = 5,6$
Струм холостого ходу%	$I_{\text{хх}\% \text{ тп}} = 1,5$
Маса, кг	$m_{\text{тр тп}} = 3500$

Оскільки двигун серії Д допускає роботу без згладжувачого реактора і за довідником не рекомендується використовувати його на дану напругу і струм, оскільки індуктивності якоря двигуна і трансформатора достатньо для згладжування пульсацій, що виникають у роботі електропривода, то вибір згладжувального реактора не проводиться. Це суттєво зменшить вартість і масогабаритні показники електроприводу.

### **3.4 Опис принципової схеми розкатного рольганга**

Принципова схема силового ланцюга розкатного рольганга №1 за чистовою кліттю наведена на рис. 3.2.

3.4.1 Джерела живлення електродвигунів (перетворювача SIMOREG DC Master)

Для живлення електродвигунів використовуються комплектні тиристорні електроприводи SIMOREG DC Master 6RM7031-6DS02 (див. табл. 3.1) з реверсом струму в якірному ланцюзі, трансформаторне підключення до мережі, з лінійним контактором і пристроєм динамічного гальмування, з вбудованим пристроєм збудження двигуна; з програмованими засобами керування, з однозонною системою регулювання швидкості зі зворотнім зв'язком по швидкості від імпульсного датчика швидкості, з мережевими зв'язками Profibus DP і CAN.

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

#### **3.4.2 Резервування перетворювальної техніки**

В якості резервного агрегату 54UZR, для живлення електродвигунів застосований комплектний тиристорний електропривод SIMOREG DC Master SIMOREG DC Master 6RM7031-6DS02 (див. табл. 3.1). Схема перемикачів на резервний перетворювач наведена на рис. 3.2. Перемикач електродвигуна на живлення від резервного тиристорного перетворювача проводиться при відключеному живленні основних ланцюгів і зупиненому приводі.

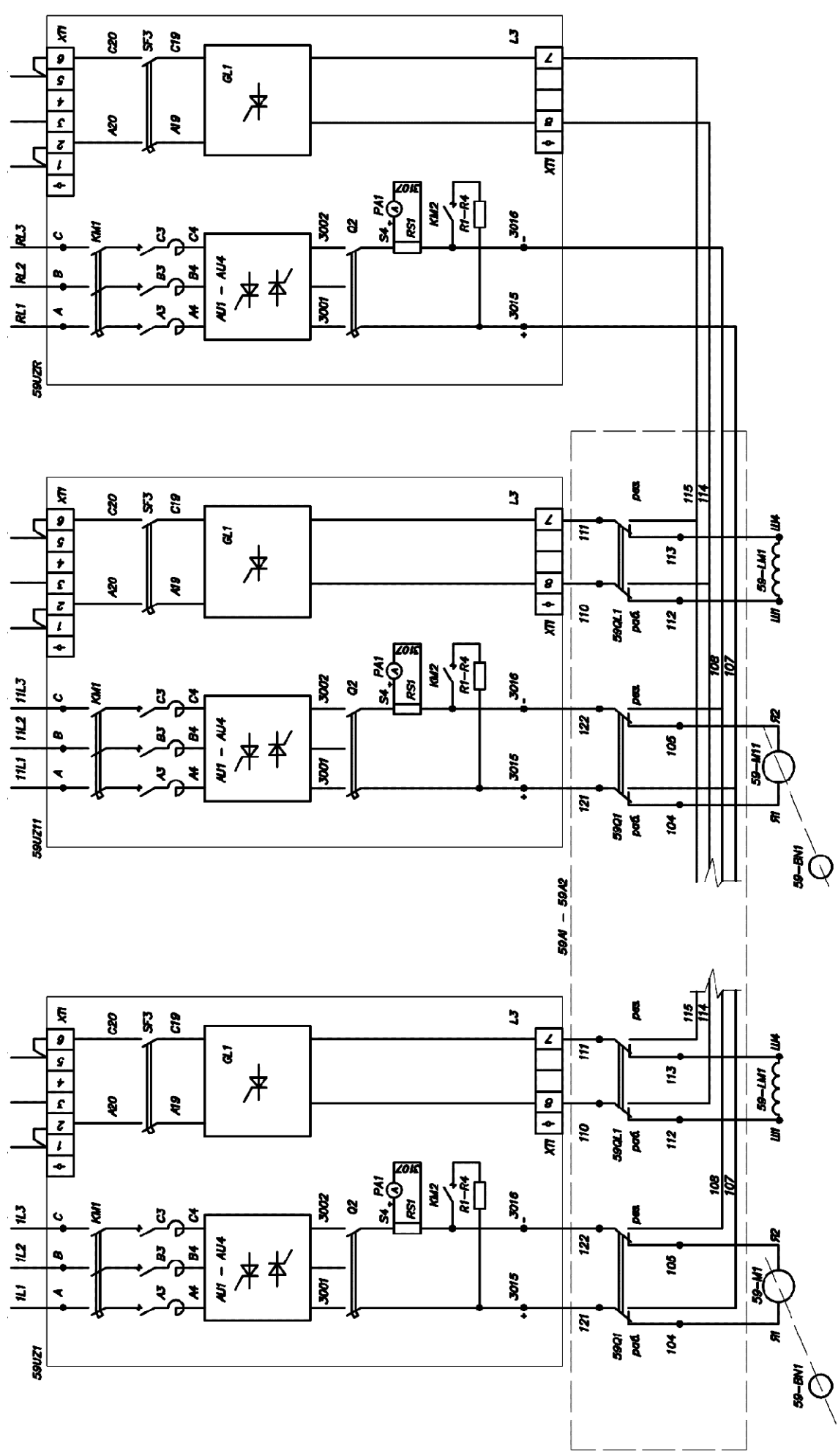


Рисунок 3.2 - Принципова схема силового ланцюга розкатного рольганга № 1 за чистовою кліткою

### 3.5 Вимоги до системи автоматизації

Керування роботою робочих рольгангів – ручне і автоматичне.

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

Автоматичний режим керування є основним і укладає в собі автоматичну послідовність роботи рольганга функції в наявності металу у відповідному контрольному перерізі стану, а також в залежності від режиму роботи: прокатка у чистовій клітці або охолодження листа в ПКО

Інші режими, при необхідності, забезпечуються розробником АСК ТП.

В ході прокатки в чистовій клітці необхідно забезпечити узгодження швидкості рольганга розкатного №1 зі швидкістю виходу металу з чистової клітці, а також зі швидкостями станинних роликів і робочого рольганга за чистовою кліткою.

При охолодженні листа в ПКО необхідно забезпечити узгодження швидкості рольганга розкатного №1 зі швидкістю рольганга розкатного №2 і рольганга ПКО.

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

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

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

На пультах управління оператора передбачити установку органів для ручного керування і сигналізації електроприводів.

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

На кожному з пультів, оснащених сигнальною апаратурою, передбачити кнопку для контролю справності світлової сигналізації.

Управління рольгангом розкату №1 здійснюється з поста керування чистової кліті ПУ4. Крім того, необхідно передбачити органи керування рольгангом на посаді ПУ5. На пульті ПУ4 необхідно встановити ключ перемикачкерування керування.

### **3.6 Процедура запуску перетворювача SIMOREG DC Master**

Оскільки запуск відноситься до однієї з обов'язкових операцій, з якою стикається обслуговуючий персонал у процесі експлуатації, як на стадії налагодження, так і в процесі різних видів ремонтів. Слід зазначити що обслуговувати (відповідно мати права запуску) має тільки кваліфікований персонал, маючий знання безпечного проведення робіт, оскільки перетворювач знаходиться під високою напругою навіть тоді, коли мережевий контактор розімкнений. Вентильна плата (плата, прикріплена безпосередньо до нижньої частини корпусу) містить багато схем, які перебувають під високою напругою. Недотримання інструкцій з безпеки, наведених у цьому посібнику, може призвести до смерті, серйозних травм або суттєвого пошкодження майна.

Налаштування номінальних струмів перетворювача відбувається наступним чином:

Номінальний постійний струм якоря перетворювача необхідно налаштувати за допомогою установки параметра P076.001(в %), якщо:

$$\frac{\text{Максимальний струм якоря}}{\text{Номінальний постійний струм якоря}} < 0,5$$

Номінальний постійний струм збудження перетворювача необхідно відрегулювати за допомогою параметра P076.002 (в %), якщо:



$$\frac{\text{Максимальний струм збудження}}{\text{Номінальний постійний струм збудження}} < 0,5$$

Налаштування фактичної напруги живлення перетворювача відбувається за допомогою параметрів:

P078.001... Напруга живлення для ланцюга якоря (у вольтах).

P078.002... Напруга живлення для ланцюга збудження (у вольтах).

Наведені в таблиці (табл.1.3) з номінальними параметрами двигуна дані повинні бути введені в параметрах P100, P101, P102и P114.

P100 . . . Номінальний струм якоря (в амперах)

P101 . . . Номінальна напруга якоря (у вольтах)

P102 . . . Номінальний струм збудження (в амперах)

P114 . . . Теплова постійна часу двигуна (у хвиликах).

Дані зчитування фактичної швидкості.

Робота з аналоговим тахогенератором.

P083 = 1 Фактична швидкість зчитується по каналу "Головне фактичне значення" (K0013) (клеми ХТ. 103, ХТ. 104)

P741 – Напруга тахогенератора при максимальній швидкості (-270,00 ... +270,00 В).

Робота з імпульсним датчиком швидкості.

P083 = 2: Фактична швидкість зчитується з імпульсного датчика швидкості (K0040).

P140 Вибір типу імпульсного датчика швидкості (типи імпульсних датчиків швидкості дивіться нижче)

0 Немає датчика швидкості. Не обрана функція "Зчитування швидкості імпульсним датчиком"

1 Тип імпульсного датчика швидкості 1

2 Тип імпульсного датчика швидкості 1а

3 Тип імпульсного датчика швидкості 2

4 Тип імпульсного датчика швидкості 3

1. Тип імпульсного датчика швидкості 1

Датчик з двома імпульсними доріжками, рознесеними на  $90^\circ$  (з/без нульовою позначкою)

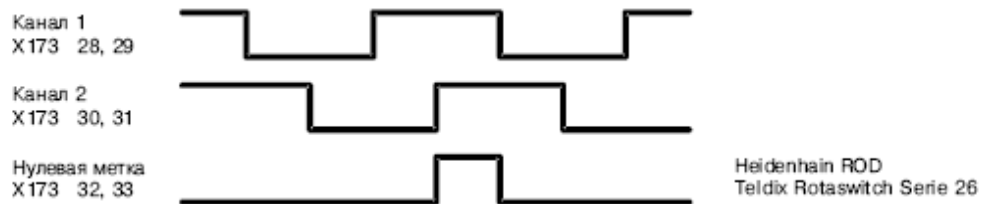


Рисунок 3.1 – Датчик швидкості з двома імпульсними доріжками – тип 1

## 2. Тип імпульсного датчика швидкості 1а

Датчик з двома імпульсними доріжками, рознесеними на  $90^\circ$  (з/без нульової позначки)

Нульова мітка внутрішньо перетворюється в сигнал, аналогічно датчика швидкості типу 1.

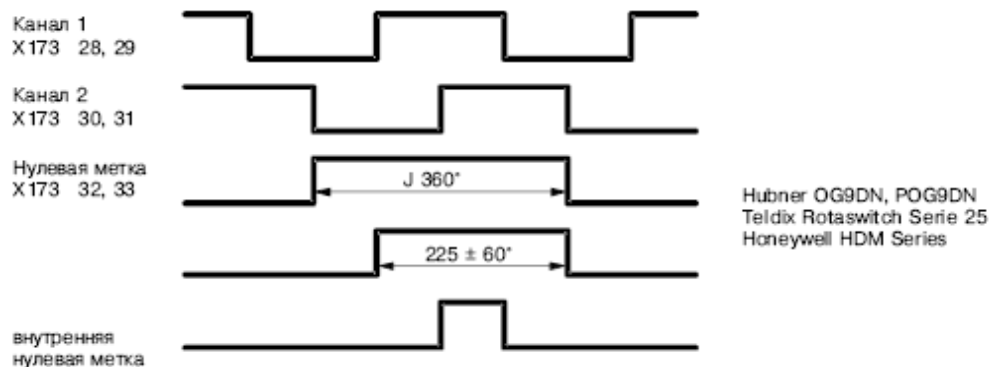


Рисунок 3.2 – Датчик швидкості з двома імпульсними доріжками – тип 1а

## 3. Тип імпульсного датчика швидкості 2

Датчик з однією імпульсною доріжкою на напрямок обертання (з/без нульової позначки).



Рисунок 6.3– Датчик швидкості на напрям обертання

#### 4. Імпульсний датчик типу 3

Датчик з однією імпульсною доріжкою і одним виходом для напрямку обертання (з/без нульовою позначкою).



Рисунок 3.4— Датчик швидкості з одним виходом для напрямку обертання

Виходи імпульсного датчика - сигнали 15В.

Узгодження внутрішніх робочих точок з напругою сигналів, поступаючих від імпульсного датчика.

Скидання параметра P142 у протилежне значення не призводить до переключення напруги живлення імпульсного датчика (клеми X173.26 і 27).

На клемі X173.26 завжди знаходиться напруга +15В. Для імпульсних датчиків, що вимагають напругу живлення 5В, необхідно передбачити зовнішнє джерело напруги.

P143 Встановлення максимальної швидкості для роботи імпульсного датчика (імпульс/оберт). Встановлена у даному параметрі швидкість відповідає 100 % фактичної швидкості (K0040).

Робота без тахогенератора (регулювання ЕРС).

P083 = 3: Фактична швидкість надходить з каналу "Фактична ЕРС" (K0287), але визначається коефіцієнтом Р.

P115 ЕРС при максимальній швидкості (1.00 ... 140.00% від номінальної напруги живлення перетворювача к.(r071.002)).

Вільно підключаються фактичні значення

P083 = 4: Вхід фактичного значення вказується параметром Р609.

P609 Номер коннектора, до якого підключено значення фактичної швидкості регулятора.

Регулювання збудження.

P082 = 0: Внутрішнє збудження не використовується (наприклад, для

двигунів з постійним збудженням).

P082 = 1: Збудження включається разом з контактором мережі (імпульси збудження дозволяються/забороняються, коли контактор мережі вмикається/вимикається)

P082 = 2: Автоматичне підключення установки збудження зупинки, встановленого через P257, після затримки, запараметрованої в P258, після того, як досягнуто стан управління 07 або вище.

P082 = 3: Струм збудження підключений постійно.

Ослаблення поля.

P081 = 0: Ослаблення поля як функція швидкості або ЕРС відсутнє.

P081 = 1: Дія ослаблення поля як функції внутрішнього регулювання ЕРС таким чином, що в діапазоні ослаблення поля, тобто при швидкостях вище номінальної швидкості двигуна ("порогова швидкість") ЕРС двигуна підтримується постійною на рівні завдання  $EMF (K289) = P101 - P100 \cdot P110$ .

Вибір основних технологічних функцій.

Межі струму.

P171 Заводське обмеження струму в напрямку моменту I (в % від P100).

P172 Заводське обмеження струму в напрямку моменту II (в % від P100).

Межі моменту.

P180 Межа моменту 1 в напрямку моменту I (в % від номінального моменту двигуна).

P181 Межа моменту 1 в напрямку моменту II (в % від номінального моменту двигуна).

Формувач рампи.

P303 Час розгону 1 (у секундах).

P304 Час уповільнення 1 (у секундах).

P305 Початкове закруглення 1 (у секундах).

P306 Кінцеве закруглення 1 (у секундах).

Виконання запуску оптимізації.

Привод повинен перебувати в стані управління 07.0 або 07.1 (введіть **ВИМИКАННЯ!**).

Виберіть один з наступних прогонів оптимізації в ключовому параметрі P051:

P051 = 25 Запуск оптимізації для предупранління і регулятора струму якоря і збудження.

P051 = 26 Запуск оптимізації регулятора швидкості

P051 = 27 Запуск оптимізації для ослаблення поля

P051 = 28 Запуск оптимізації для компенсації тертя і моменту інерції.

Перетворювач SIMOREG перемикається в стан управління 07.4 на кілька секунд, а потім в 07.0 або 07.1 і очікує введення команди SWITCH-ON (ВКЛЮЧЕННЯ) і OPERATING ENABLE (ДОЗВІЛ УПРАВЛІННЯ).

Введіть команди SWITCH-ON (ВКЛЮЧЕННЯ) і OPERATING ENABLE (ДОЗВІЛ УПРАВЛІННЯ).

Мерехтіння десяткової крапки на індикаторі стану управління на РМУ (проста панель управління оператора) вказує, що запуск оптимізації буде виконаний після команди включення. Якщо команда живлення не подається протягом 30 сек, стан очікування припиняється і відображається повідомлення про помилку F052.

Як тільки перетворювач досягає стану управління, виконується запуск оптимізації.

На РМУ з'являється відображення виконання, що містить 2-х розрядні числа, розділені штрихом, який переміщається вгору і вниз. Ці 2 числа вказують (для персоналу SIEMENS) поточний стан виконання оптимізації.

P051 = 25 Виконання оптимізації для предупранління і регулятора струму якоря і збудження (процес триває приблизно 40 с) Наступні параметри встановлюються автоматично: P110, P111, P112, P155, P156.P255, P256.

Двигуни з постійним збудженням (а так само двигуни з надмірно високою залишковою намагніченістю) повинні бути механічно заблоковані під час виконання оптимізації.

Встановлені обмеження струму не діють під час виконання оптимізації регулятора струму. Приблизно 0,7 сек. тече струм, величина якого становить 75% від номінального струму якоря двигуна. Крім того, окремі стрибки струму

досягають значень 120% номінального струму якоря двигуна.

P051 = 26 Виконання оптимізації регулятора швидкості (процес триває приблизно 40 сек).

Наступні параметри встановлюються автоматично: P225, 226 і P228.

Виконання оптимізації регулятора швидкості приймає в розрахунок тільки фільтроване фактичне значення регулятора швидкості, запараметроване в P200, і якщо P083=1, фільтроване головне фактичне значення, запараметроване в P745.

Коли P200 < 20 мс, P225 (коефіцієнт) обмежується на рівні 30.00.

Виконання оптимізації регулятора швидкості встановлює P228 (фільтр завдання швидкості) в те ж значення, що і P226 (час інтегрування регулятора швидкості) з метою досягнення оптимального відгуку регулювання на різкі зміни завдання. Під час виконання оптимізації регулятора швидкості, двигун прискорюється при струмі, рівному максимум 45% номінального струму якоря. Двигун може досягати швидкості приблизно до 20% від максимальної швидкості.

Якщо вибирається ослаблення поля (P081 = 1), і якщо вибрано замкнутий контур регулювання моменту (P170=1) або обмеження моменту (P169=1) або, якщо застосовується змінна (регульоване) завдання струму збудження:

P051 = 27 Пуск оптимізації для ослаблення поля (процес триває приблизно 1 хв.) Наступні параметри встановлюються автоматично: P117 - P139, P275 та P276.

Для визначення характеристики намагнічування, завдання струму збудження зменшується під час виконання оптимізації від значення 100% номінального струму збудження двигуна, встановленого в P102, мінімум до 8%. Задання струму збудження обмежується до мінімуму відповідно з параметром P103 шляхом параметрування P103 до значення < 50% від P102 протягом виконання. Це може бути необхідним у разі некомпенсованих двигунів з дуже високою реакцією якоря.

Характеристика намагнічування апроксимується лінійно до 0, починаючи з точки вимірювання, при мінімальному завданні струму збудження. Для запуску виконання оптимізації мінімальне значення струму збудження (P103)

має бути запараметровано меншим, ніж 50% від номінального струму збудження двигуна (P102).

Під час виконання оптимізації двигун розганяється до швидкості, що дорівнює, приблизно, 80% номінальної (напруга якоря відповідає максимум 80% номінальної напруги якоря двигуна (P101)).

P051 =28 Запуск оптимізації для компенсації моментів тертя та інерції (якщо вимагається) (процес триває приблизно 40 с).

Наступні параметри встановлюються автоматично: P520-P530, P540.

При виконанні оптимізації привод розганяється до максимальної швидкості.

По завершенню прогону, функції компенсації моментів тертя та інерції повинні бути запуснені вручну, шляхом установки P223=1.

Коли режим управління перемикається з режиму регулювання струму в режим регулювання моменту за допомогою P170, виконання оптимізації для компенсації моментів тертя та інерції має бути повторено.

Коли режим управління перемикається з режиму регулювання струму в режим регулювання моменту за допомогою P170, виконання оптимізації для компенсації моментів тертя та інерції має бути повторено.

При виконанні цієї оптимізації регулятор швидкості не обов'язково повинен бути спараметрований як чисто P-регулятор або як регулятор з пониженням.

Наприкінці виконання оптимізації на панелі оператора відображається P051 і привод перемикається в стан управління 06.2.

У разі приводів з обмеженим ходом виконання оптимізації для ослаблення поля (P051=27) не повинно перериватися командою SHUTDOWN (ВІДКЛЮЧЕННЯ) до тих пір, поки не буде побудована перша точка вимірювання ослаблення поля. Аналогічно, пуск оптимізації для функції компенсації моментів тертя та інерції (P051=28) не повинен перериватися командою ВІДКЛЮЧЕННЯ до тих пір, поки не буде визначена точка вимірювання при 10% максимальної швидкості. Передчасне переривання в обох випадках призведе до активації повідомлення про збій F052. Коли будь-який з

цих пусків оптимізації буде повторений (P051=27 або P051=28), воно буде продовжено з наступної позиції. Таким чином, відповідний пуск може бути завершено в кілька етапів, навіть якщо хід приводу обмежений.

Відповідний процес оптимізації виконується повністю після перезапуску, якщо а) повідомлення про збій активовано під час виконання оптимізації, б) перед повторним запуском відповідного виконання оптимізації відключено електроживлення, с) обрані налаштування функціональних даних, що відрізняються від попередньої або d) між запусками виконувався інший пуск оптимізації. Параметри функціональних даних, виділені у кожному разі, оптимізуються.

Коли проводиться виконання оптимізації, налаштування функціональних даних не повинні бути змінені, в іншому випадку буде активізовано повідомлення про збій.

Виконання оптимізації повинно здійснюватися в порядку, що наведено вище (попереднє регулювання і регулятор струму, регулятор швидкості, регулятор ослаблення поля, компенсація моменту тертя та інерції).

Встановлювані параметри залежать від температури двигуна. Значення, встановлені автоматично при холодному стані двигуна, можуть використовуватися як ефективні значення, прийняті як типові значення.

Для високо динамічних приводів виконання оптимізації P051 = 25 повинно бути повторено після того, як було виконано управління приводом під навантаженням (тобто коли двигун нагрівся).

Перевірка і можлива точна настройка максимальної швидкості

Після того, як була виконана оптимізація, необхідно перевірити максимальну швидкість і відкоригувати її установку в разі необхідності. Якщо необхідно змінити установку максимальної швидкості більш ніж на 10%, то необхідно перевірити реакцію на керуючий вплив петлі регулювання швидкості. Може виявитися необхідним повторне виконання оптимізації регулятора швидкості або переоптимізація регулятора вручну.

Пуски оптимізації для ослаблення поля і компенсації моментів тертя та інерції повинні повторюватися кожного разу, коли змінюється установка



максимальної швидкості.

Регулятор швидкості.

P200 Фільтрація фактичної швидкості.

P225 Коефіцієнт P регулятора швидкості.

P226 Час інтегрування регулятора швидкості.

P227 Зниження регулятора швидкості.

P228 Фільтрація завдання швидкості.

Параметр P228 встановлюється в те ж значення, що і в P226 (час інтегрування регулятора швидкості), в процесі виконання оптимізації регулятора швидкості (P051=26) (з метою досягнення оптимальної реакції на керуючі впливи при різких змінах завдання). При використанні формувача рампи може виявитися кращим спараметрувати більш низьке значення фільтрації завдання швидкості (P228). Встановлення емпіричних значень або оптимізація з використанням панелі управління для завдання у відповідності з загальними рекомендаціями щодо оптимізації.

Регулятор ЕРС.

P275 Коефіцієнт P регулятора ЕРС.

P276 Час інтегрування регулятора ЕРС.

Установка імперичних значень або оптимізація з використанням панелі управління для завдання у відповідності з загальними настановами щодо оптимізації. Встановлення додаткових функцій, наприклад, активізація додаткових функцій контролю.

Вільно призначені функціональні блоки вирішуються в параметрі U977. Інформацію по командам дозволу дивіться у розділі 11 "Список параметрів, опис параметрів U977 і року n978.

## 4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ РОЗКАТНОГО РОЛЬГАНГУ

### 4.1 Математичний опис об'єкта керування

При синтезі системи керування затверджуються звичайні для систем електропривода допущення, лінеарізуючі силову частину об'єкта керування – двигун і регульоване джерело живлення ланцюга якоря. При математичному описі не враховується вплив пружних елементів, вплив гістерезису, вихрових струмів і реакції якоря. Коефіцієнти передач і сталі часу структурних елементів електропривода ухвалюються незмінними.

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

Тиристорний перетворювач, як елемент системи регулювання, є нелінійним дискретним пристроєм. Його специфічні особливості полягають у наступному. Керування ТП здійснюється дискретно, тому що після відмикання чергового тиристора зміна сигналу керування протягом деякого інтервалу часу не приводить до зміни напруги ТП.

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

У зв'язку із цим повне дослідження динамічних характеристик ТП є складним завданням, і на практиці застосовують різного роду спрощення. Найбільше поширення одержали два види моделей ТП: безперервна, у якій ТП представляється аперіодичною ланкою з коефіцієнтом  $k_{\text{ТП}}$  і сталої часу

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

модель ТП.

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

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

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

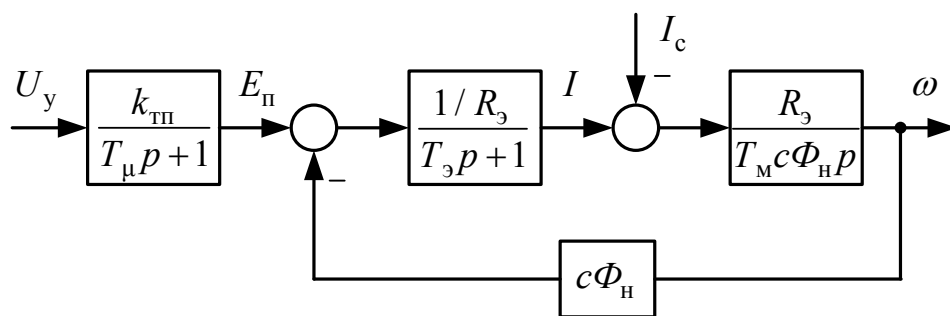


Рисунок 4.1 – Структурна схема силової частини електропривода

#### 4.2 Розрахунок основних параметрів елементів системи електропривода

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

$$E_{d0\text{ тп}} = 1,35U_{2\text{ тр тп}} = 1,35 \cdot 415 = 560,25 \text{ В} \quad (4.1)$$

де 1,35 – коефіцієнт мостової схеми випрямлення;

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

Кругова частота першої гармоніки випрямленої напруги:

$$\omega_1 = 2\pi f_c m_\phi = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 6 = 1885 \text{ Гц} \quad (4.2)$$

де  $f_c$  – частота живильної мережі, Гц;

$m_\phi$  – число фаз випрямлення.

Активний, індуктивний і повний опір силового трансформатора:

$$r_{\text{тр тп}} = \frac{\Delta P_{\text{кз тп}} U_{2 \text{ тр тп}}^2}{P_{\text{тр тп}}^2} = \frac{8000 \cdot 415^2}{(938 \cdot 10^3)^2} = 1,56 \cdot 10^{-3} \quad (4.3)$$

$$z_{\text{тр тп}} = \frac{U_{\text{кз\% тп}} U_{2 \text{ тр тп}}}{100 I_{2 \text{ тр тп}} \sqrt{3}} = \frac{5,6 \cdot 415}{100 \cdot 1305 \cdot \sqrt{3}} = 10,28 \cdot 10^{-3} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} x_{\text{а тр тп}} &= \sqrt{z_{\text{тр тп}}^2 - r_{\text{тр тп}}^2} = \\ &= \sqrt{(10,28 \cdot 10^{-3})^2 - (1,56 \cdot 10^{-3})^2} = 10,16 \cdot 10^{-3} \end{aligned} \quad (4.5)$$

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

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

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

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

Індуктивність силового трансформатора, наведена в ланцюг випрямленого струму:

$$L_{\text{тр тп}} = \frac{x_{\text{а тр тп}}}{2\pi f_c} = \frac{10,16 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 3,235 \cdot 10^{-5} \text{ Гн} \quad (4.6)$$

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

Індуктивність якоря двигуна визначається по емпіричній формулі:

$$L_{\text{дв}} = k \frac{U_{\text{н}}}{2p \cdot n_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}}} = 6 \frac{440}{2 \cdot 270 \cdot 93} = 52,57 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (4.7)$$

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

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

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

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

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

Сумарний опір якірного ланцюга електродвигуна:

$$r_{\text{я.дв}} = \beta(r_{\text{я}} + r_{\text{дп}}) = 1,32(0,065 + 0,034) = 0,131 \text{ Ом} \quad (4.8)$$

де  $\beta = 1,32$  – температурний коефіцієнт двигуна, що враховує зміну опору при нагріванні машини на  $80^\circ \text{С}$ ;

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

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

Активний опір трансформатора (комутаційний опір) викликаний реактивністю розсіювання:

$$r_{\text{к}} = \frac{m_{\text{ф}} \cdot x_{\text{а}}}{2\pi} = \frac{6 \cdot 45,535 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 9,70 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (4.9)$$

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

$x_{\text{а}}$  – повний опір силового трансформатора, Ом.

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

$$k_{\text{ТП}} = \frac{E_{\text{д0}}}{U_{\text{у max}}} = \frac{560,25}{10} = 56,025 \quad (4.10)$$

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

Еквівалентний активний опір якорного ланцюга системи ТП-Д:

$$\begin{aligned} R_{\Sigma} &= r_{\text{я.дв}} + 2r_{\text{тр}} + r_{\text{к}} + r_{\text{ш}} = \\ &= 0,128 + 2(1,57 \cdot 10^{-3}) + 9,7 \cdot 10^{-3} + 13,1 \cdot 10^{-3} = 0,157 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (4.11)$$

де  $r_{\text{я.дв}} = 0,131 \text{ мОм}$  – активний опір якорного ланцюга двигуна;

$r_{\text{тр}} = 1,57 \text{ мОм}$  – активний опір силового трансформатора;

$r_{\text{к}} = 9,7 \text{ мОм}$  – комутаційний опір;

$r_{\text{ш}} = 0,1r_{\text{я.дв}} = 0,1 \cdot 0,131 = 13,1 \text{ мОм}$  – активний опір шин або кабелю, що з'єднують ТП із якорем двигуна.

Еквівалентна індуктивність якорного ланцюга системи ТП-Д:

$$L_{\Sigma} = L_{\text{дв}} + 2L_{\text{тр}} = 52,57 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 3,235 \cdot 10^{-5} = 0,053 \text{ Гн} \quad (4.12)$$

Сумарний наведений момент інерції електропривода:

$$J'_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р}} + J_{\text{м}} = 5,75 + 51,2 + 30,5 = 87,45 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (4.13)$$

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

$J_{\text{р}} = 51,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  – момент інерції ролика;

$J_{\text{м}}$  – момент інерції транспортованого злитку,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ .

Коефіцієнт двигуна (постійна двигуна):

$$c\Phi_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}}r_{\text{я.дв}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{440 - 93 \cdot 0,131}{28,26} = 15,139 \text{ Вс} \quad (4.14)$$

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

Електромагнітна стала часу системи ТП-Д:

$$T_{\Sigma} = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{0,053}{0,156} = 0,335 \text{ с} \quad (4.15)$$

Електромеханічна стала часу електропривода:

$$T_M = \frac{J'_\Sigma R_3}{c\Phi_H^2} = \frac{87,45 \cdot 0,156}{15,139^2} = 0,06 \text{ с} \quad (4.16)$$

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

### 4.3 Синтез регулятора струму

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

Структурна схема контуру струму представлена на рисунку 4.2.

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

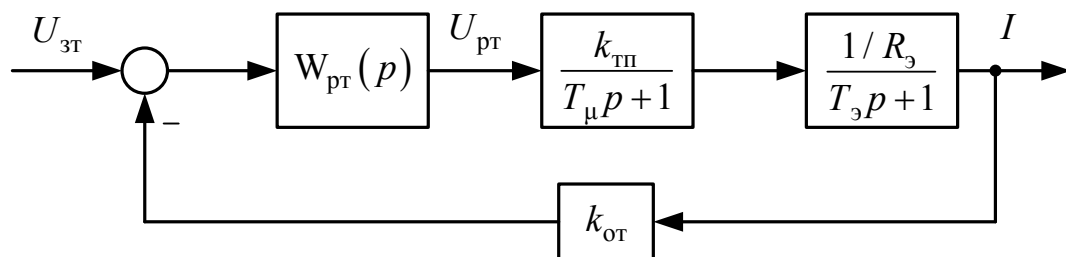


Рисунок 4.2 - Структурна схема контуру струму

Передатна функція регулятора має вигляд:

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

Пропорційна та інтегральна частина Пі-регулятора струму:

$$k_{рТ\Pi} = \frac{R_3 T_3}{k_{ТП} k_{от} T_{от}} = \frac{0,156 \cdot 0,335}{56,025 \cdot 0,043 \cdot 0,01} = 2,184 \quad (4.18)$$

$$k_{\text{ргИ}} = \frac{R_9}{k_{\text{тп}} k_{\text{от}} T_{\text{от}}} = \frac{0,156}{56,025 \cdot 0,043 \cdot 0,01} = 6,513 \quad (4.19)$$

де  $T_9 = 0,335$  з – електромагнітна стала часу системи ТП-Д;

$k_{\text{тп}} = 56,025$  – коефіцієнт передачі ТП по напрузі;

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

зворотного зв'язка по струму;

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

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

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

Функціональну схему контуру регулювання струму якоря, реалізовану у перетворювачі програмно на базі відповідних блоків, представлено на рис 4.3. Розраховані величини пропорційної й інтегральної частин регулятора струму при налагодженні електропривода необхідно встановити в параметрах P155.F і P156.F відповідно.

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





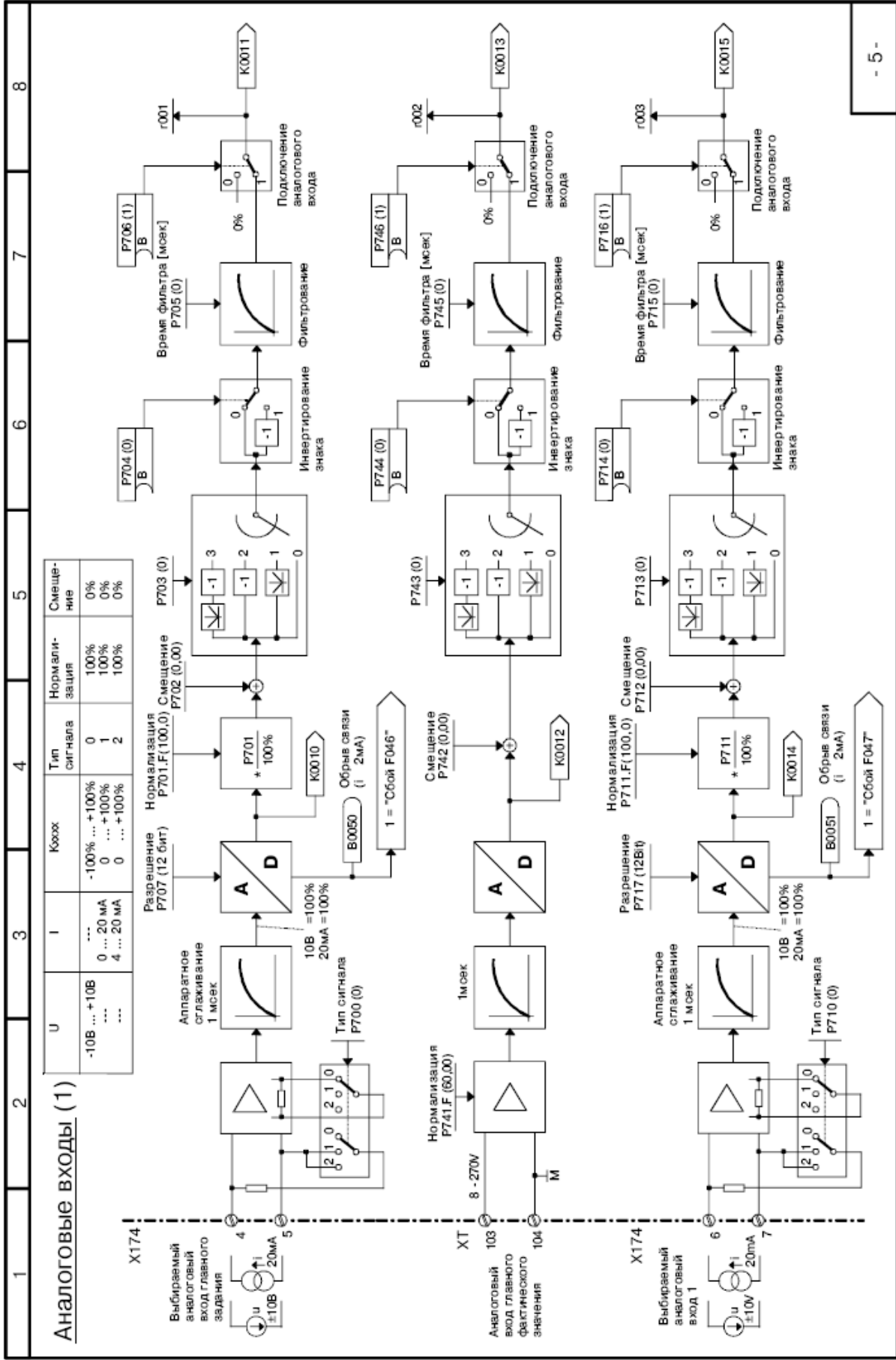


Рисунок 4.4 – Канал формування сигналу зворотного зв'язка по струму в перетворювачі SIMOREG DC Master

#### 4.4 Синтез регулятора швидкості

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

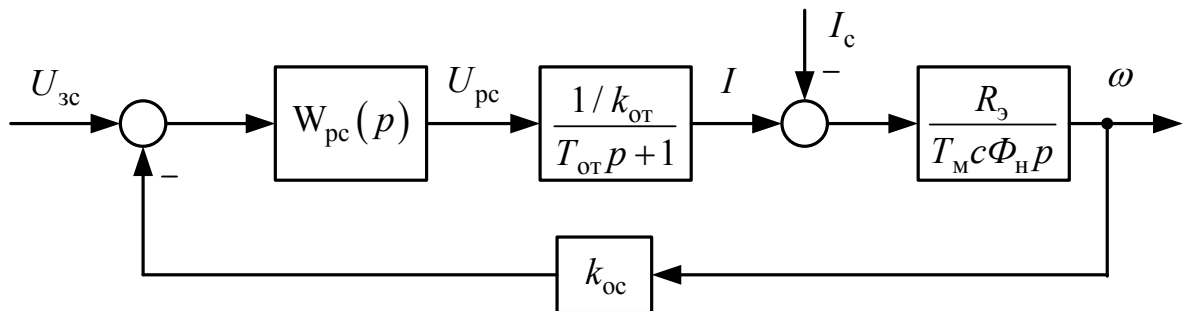


Рисунок 4.5 - Структурна схема контуру швидкості

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

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

Пропорційна та інтегральна частина ПІ-регулятора швидкості:

$$k_{рсП} = \frac{T_м c \Phi_н k_{от}}{R_э k_{ос} T_{ос}} = \frac{0,06 \cdot 15,139 \cdot 0,043}{0,156 \cdot 0,354 \cdot 0,02} = 35,1 \quad (4.21)$$

$$k_{рсИ} = \frac{T_м c \Phi_н k_{от}}{R_э k_{ос} 2T_{ос}^2} = \frac{0,06 \cdot 15,139 \cdot 0,043}{0,156 \cdot 0,354 \cdot 2 \cdot 0,02^2} = 877,6 \quad (4.22)$$

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

$k_{ос} = \frac{U_{зс.max}}{\omega_{max}} = \frac{10}{28,26} = 0,354$  Вс – коефіцієнт передачі ланцюга зворотного зв'язку по швидкості;

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

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

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

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

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

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

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

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

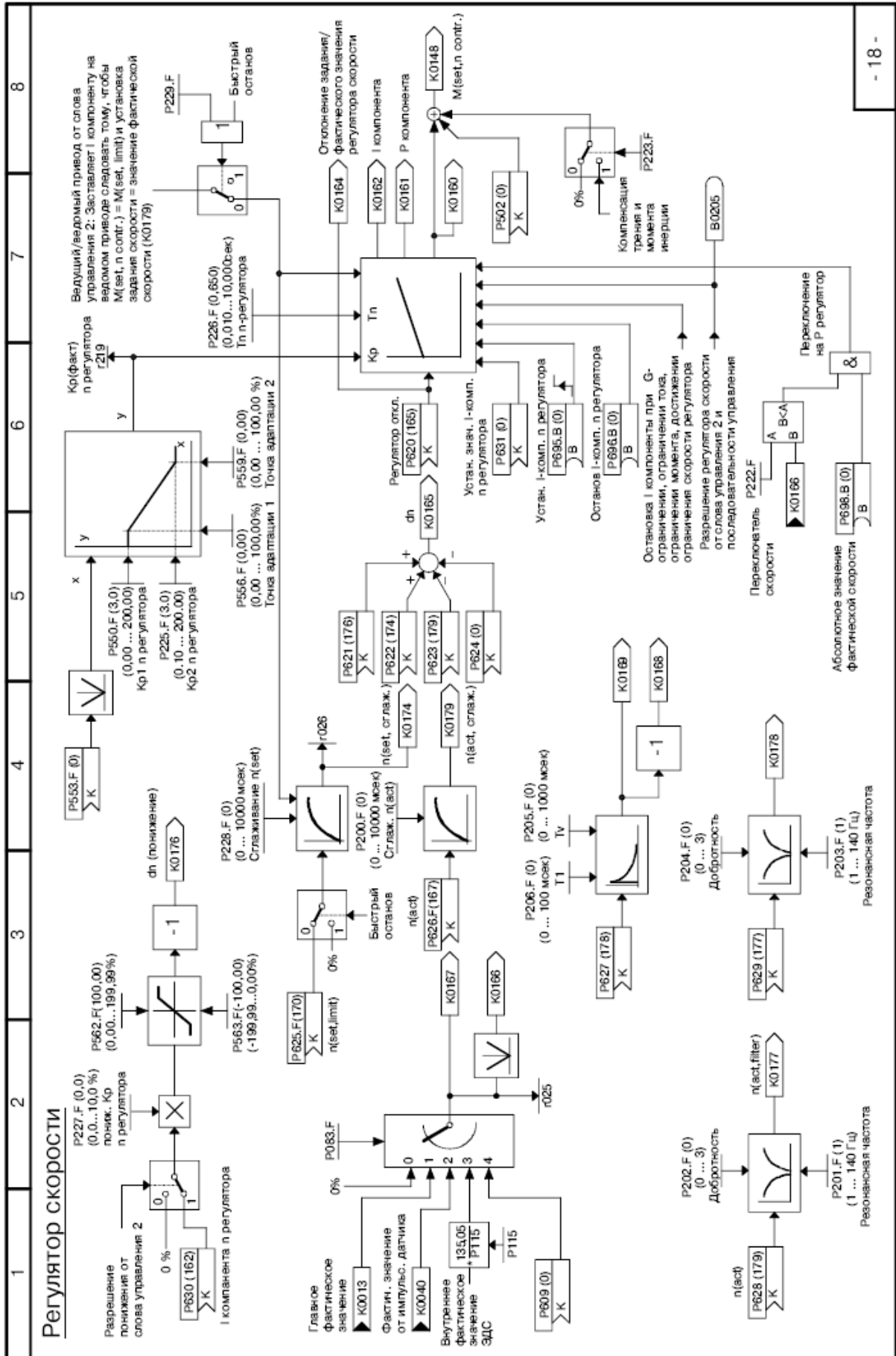


Рисунок 4.6 – Функціональна схема регулятора швидкості у перетворювачі SIMOREG DC Master

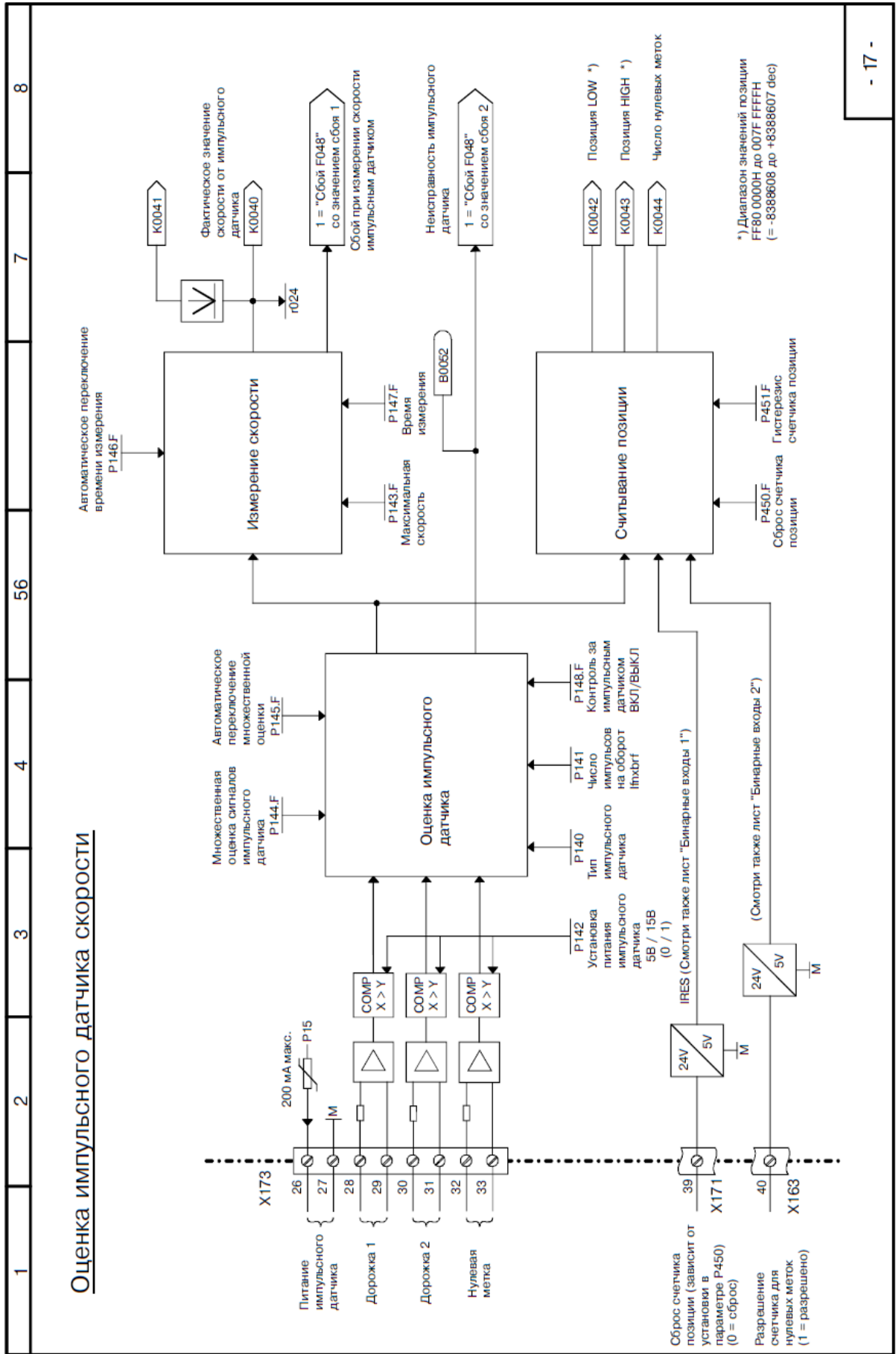


Рисунок 4.7 – Функціональна схема регулятора швидкості у перетворювачі SIMOREG DC Master

#### 4.5 Розрахунки задатчика інтенсивності швидкості

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

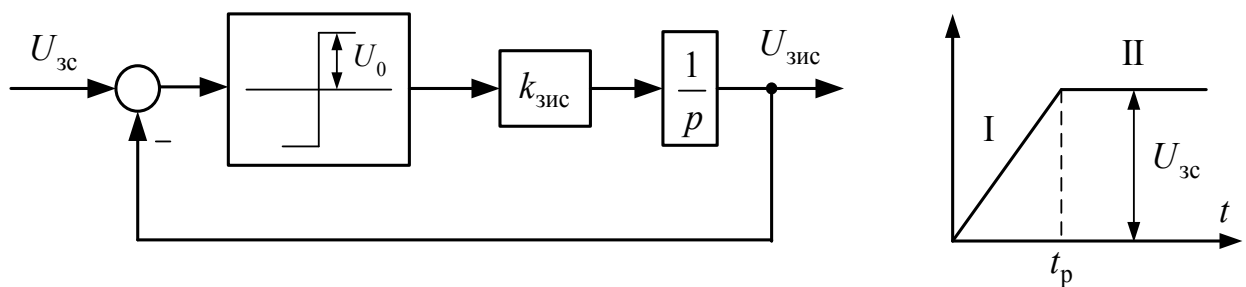


Рисунок 4.8 - Структурна схема задатчика інтенсивності швидкості

Вихідні напруги задатчика інтенсивності можна описати наступними рівняннями:

I ділянка:

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

II ділянка:

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

де  $I_{\text{дин}} = I_{\text{н}} = 248,93 \text{ А}$  – заданий динамічний струм;

$\omega_{\text{з.уст}} = 18,35 \text{ 1/с}$  – усталена швидкість (швидкість транспортування

злитка), відповідна  $U_{\text{зс}}$ ;

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

$U_0 = 10$  В - полка релейного елемента.

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

$$t_p = \frac{T_M c \Phi_n}{R_3} \cdot \frac{\omega_{з.уст}}{I_{дин}} = \frac{0,06 \cdot 15,139}{0,156} \cdot \frac{18,35}{93} = 1,6 \text{ с} \quad (4.26)$$

Коефіцієнт передачі задатчика інтенсивності:

$$k_{зис} = \frac{U_{зс}}{t_p} = \frac{10}{1,14} = 8,77 \text{ В/с} \quad (4.27)$$

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

На рисунку 4.9 наведена структурна схема швидкісної системи підпорядкованого керування електропривода.



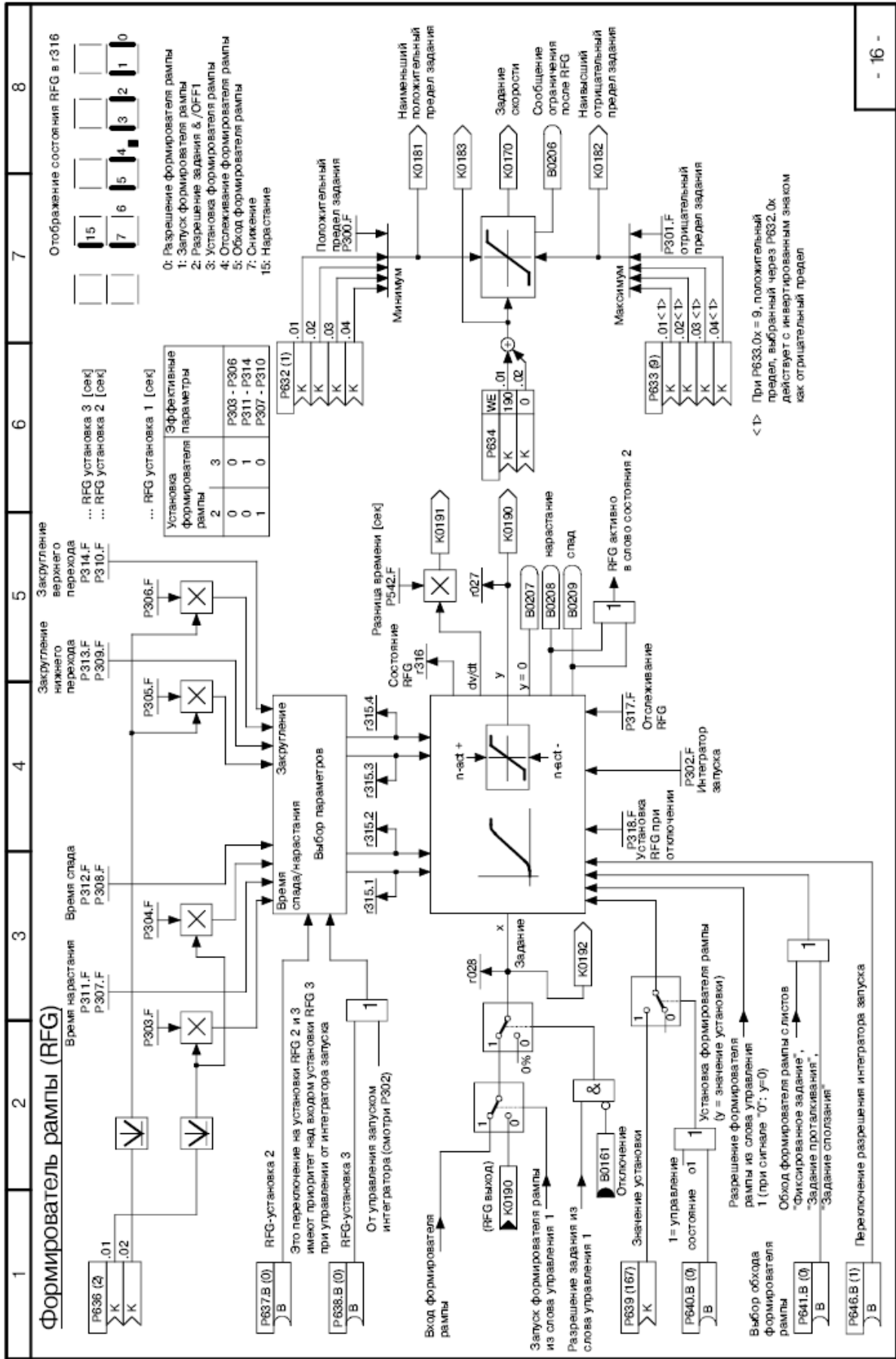


Рисунок 4.8 – Функціональна схема задавача інтенсивності в перетворювачі SIMOREG DC Master

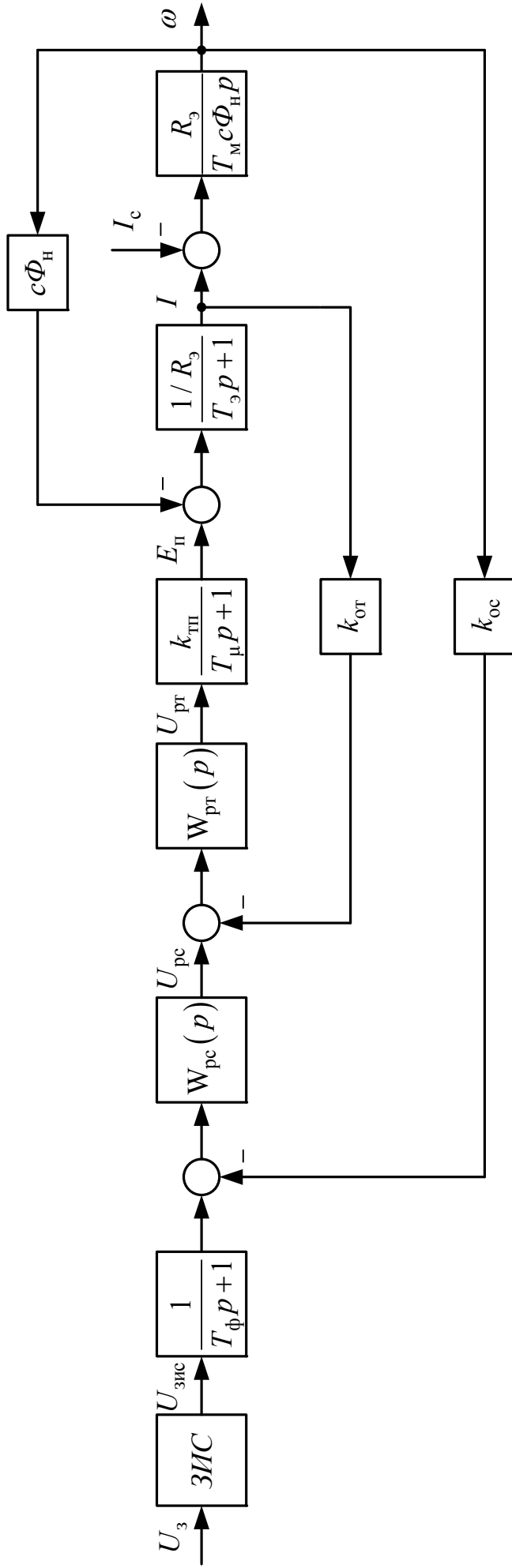


Рисунок 4.9 – Структурна схема швидкісної системи підпорядкованого керування

## 5 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА РОЗКАТНОГО РОЛЬГАНГУ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB/SIMULINK

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

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

Графіки перехідних процесів (швидкість обертання двигуна; струм якірного ланцюга системи; ЕРС силового перетворювача; вихідна напруга регулятора положення; вихідна напруга регулятора швидкості; вихідна напруга регулятора струму; вихідна напруга задатчика інтенсивності швидкості) отримані як при номінальних параметрах об'єкта управління, так і при їх варіації наведено на рис. 5.5 - 5.7.

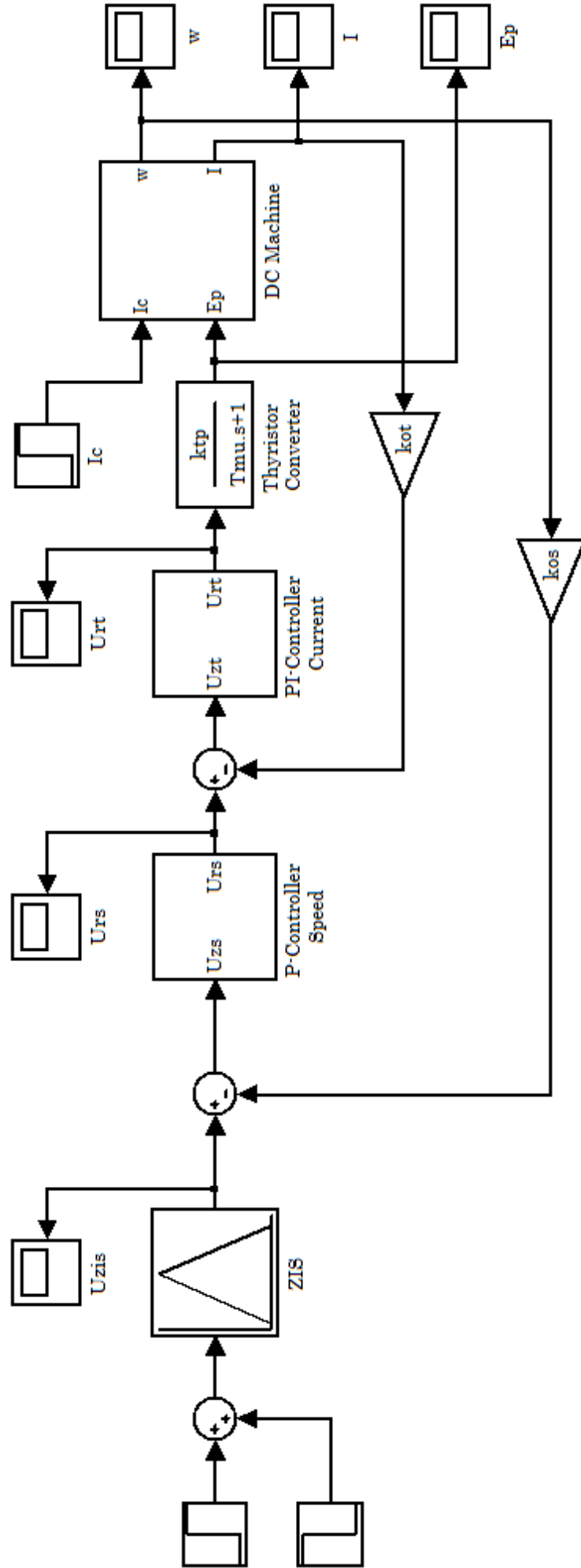


Рисунок 5.1 – Simulink-Модель швидкісної системи підпорядкованого керування

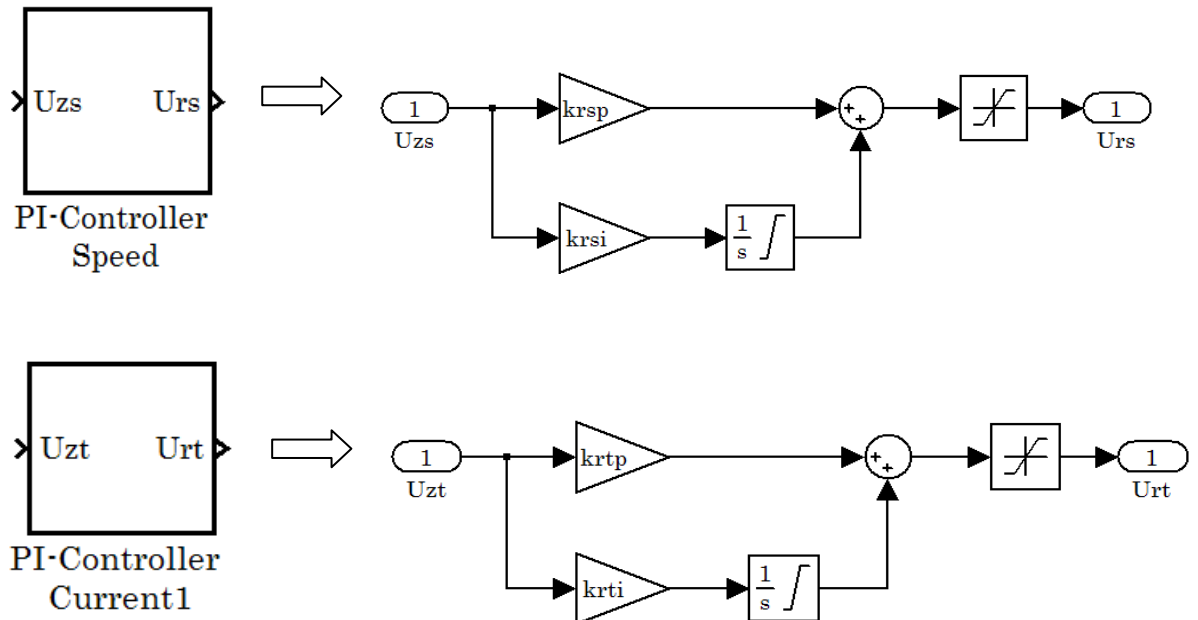


Рисунок 5.2 - Підсистема «ПІ-регулятор» струму (PI-Controller Current) і швидкості (PI-Controller Speed), враховуюча поріг насичення регулятора

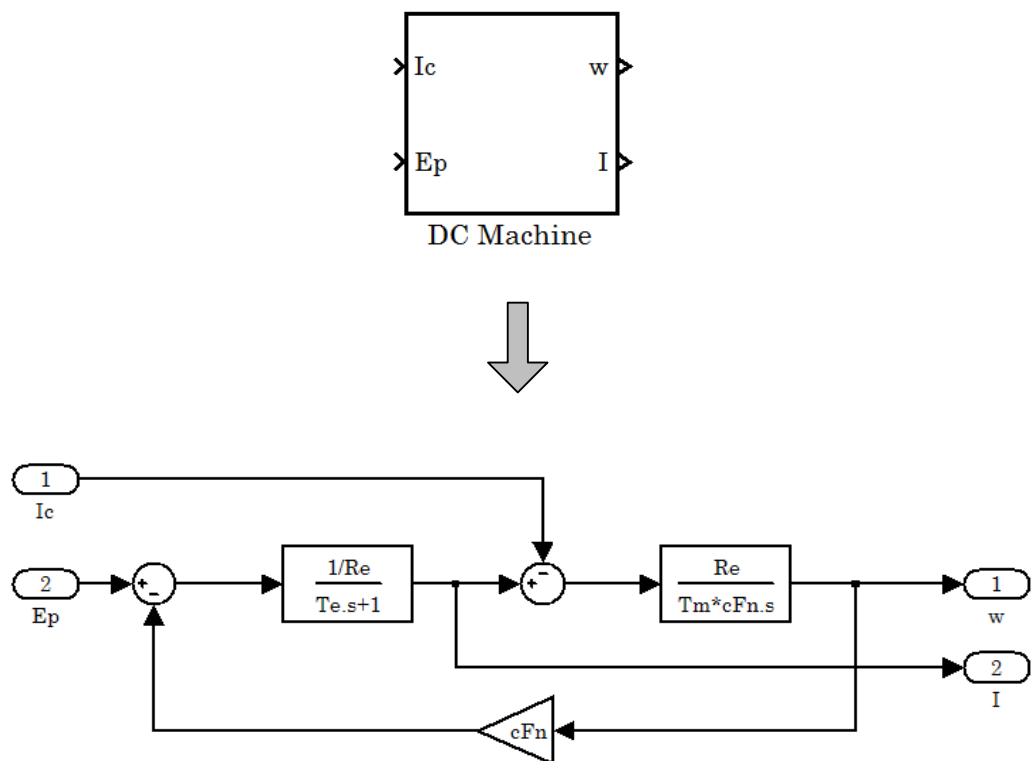


Рисунок 5.3 – Внутрішня структура підсистеми двигуна постійного струму (DC Machine)

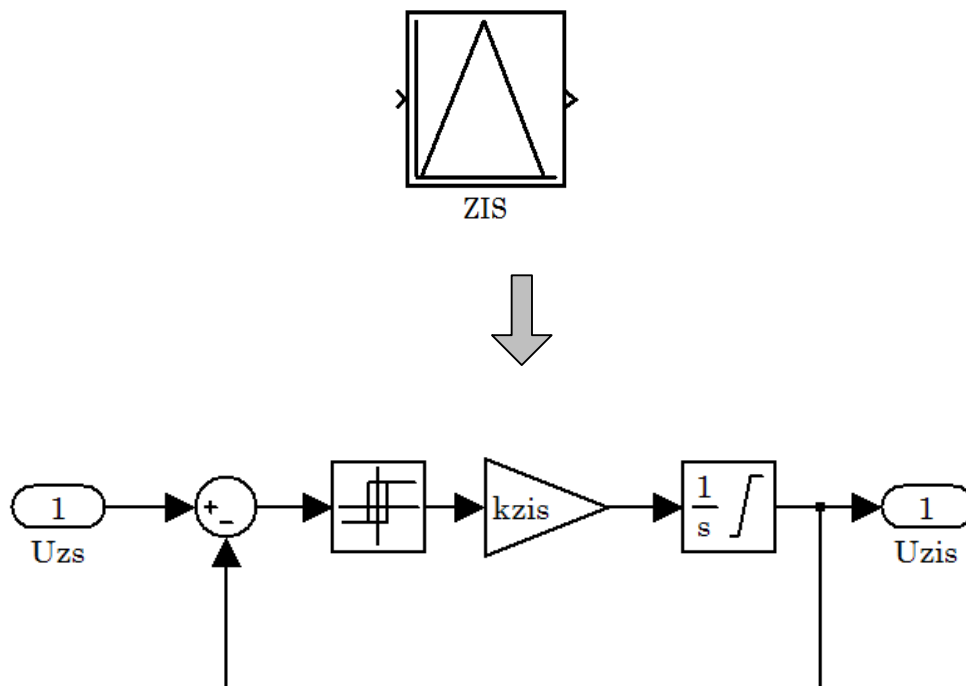


Рисунок 5.4 – Підсистема «Задатчик інтенсивності швидкості» (ZIS), реалізуюча раціональну динаміку

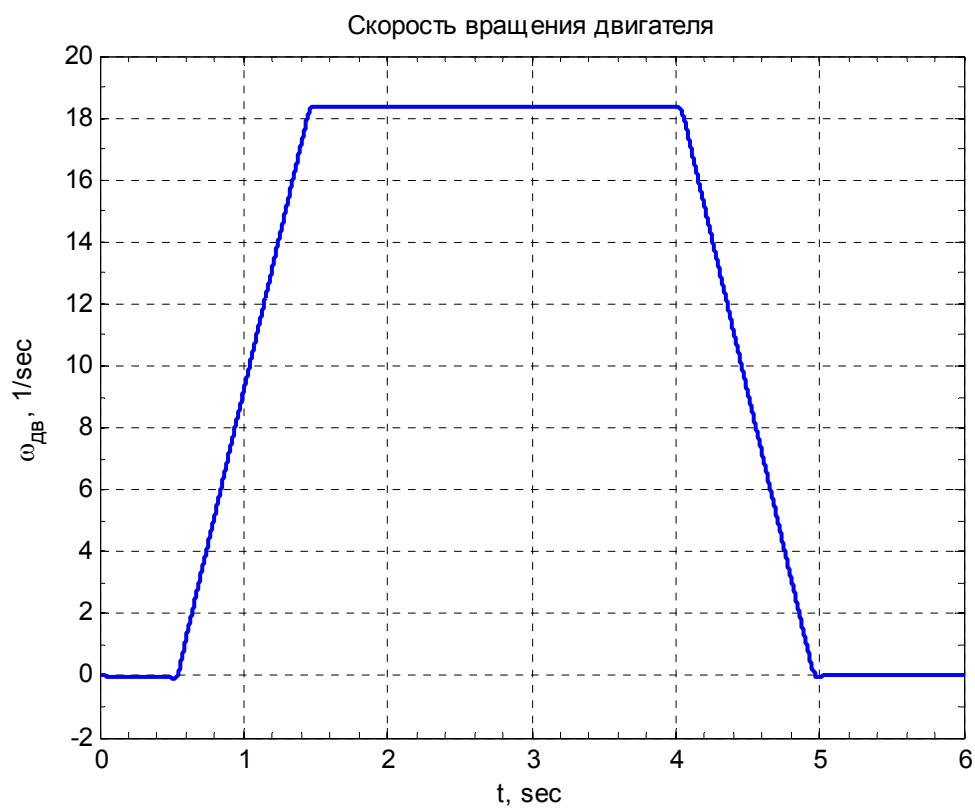


Рисунок 5.5 – График переходного процесса швидкості обертання двигуна ( $I_c = 0,3I_H$ )

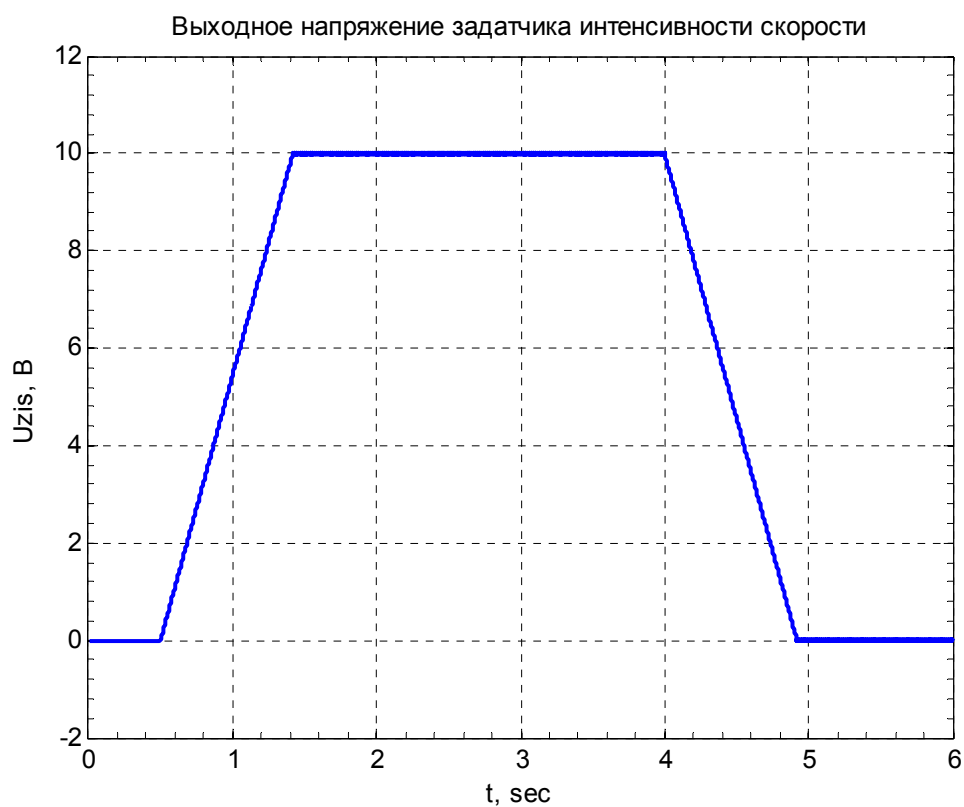


Рисунок 5.6 – Графіки переходного процесу напруги датчика інтенсивності швидкості ( $I_c = 0,3I_H$ )

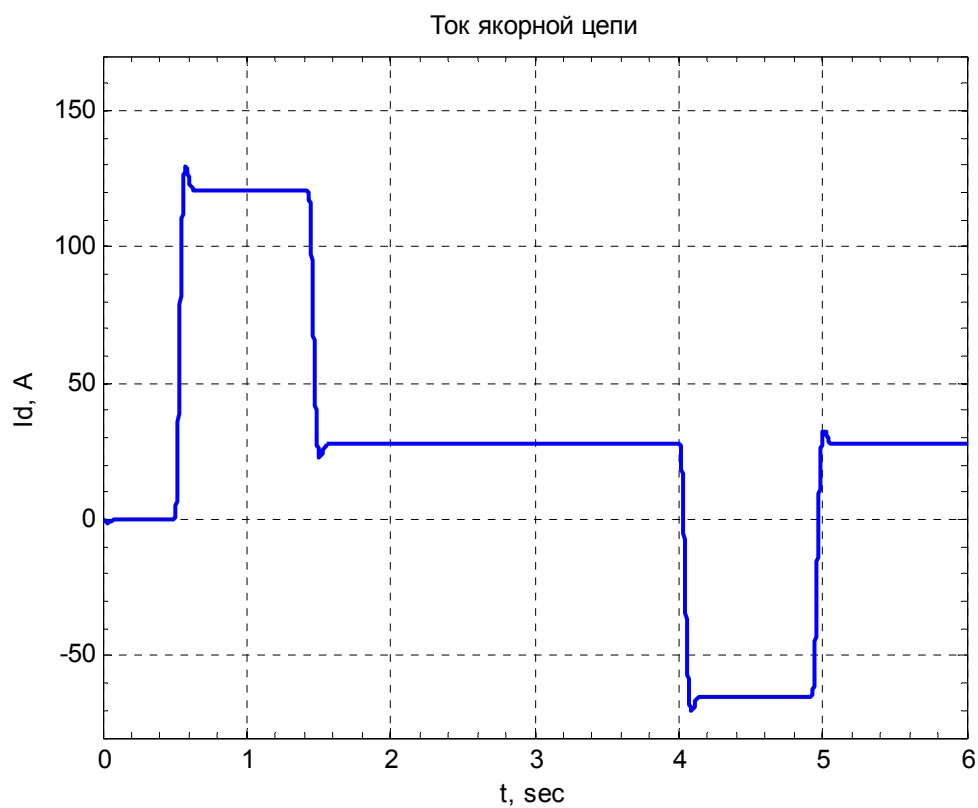


Рисунок 5.6 – Графік перехідного процесу струму якоря ( $I_c = 0,3I_H$ )

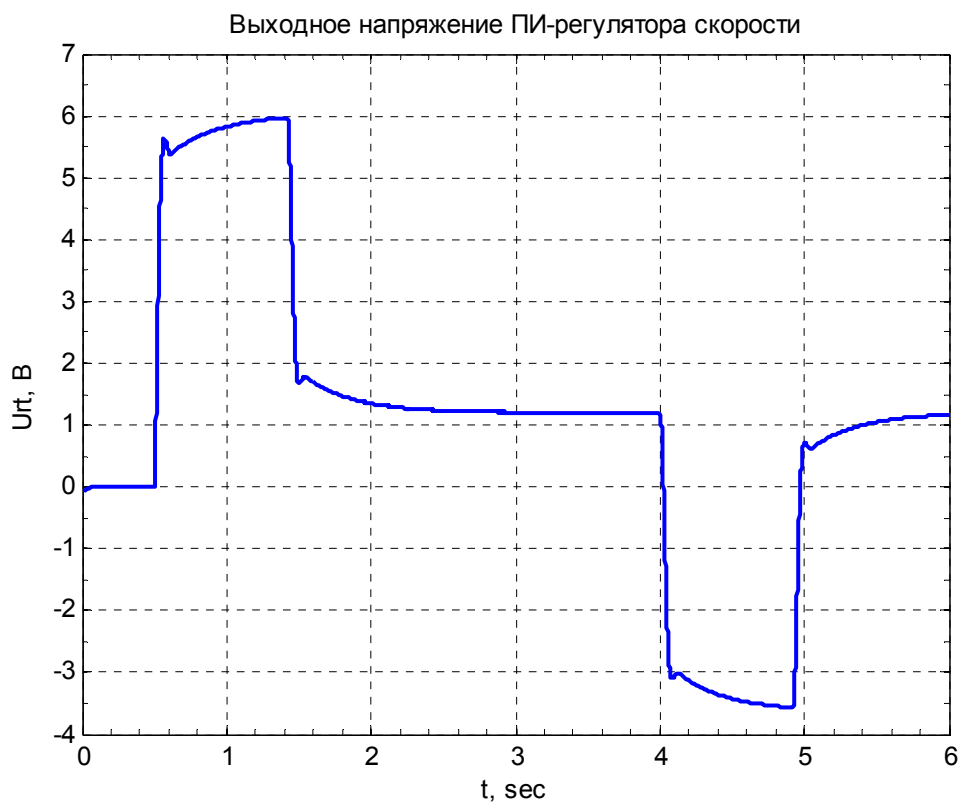


Рисунок 5.7 - Графік перехідного процесу напруги ПІ-регулятора швидкості ( $I_c = 0,3I_H$ )



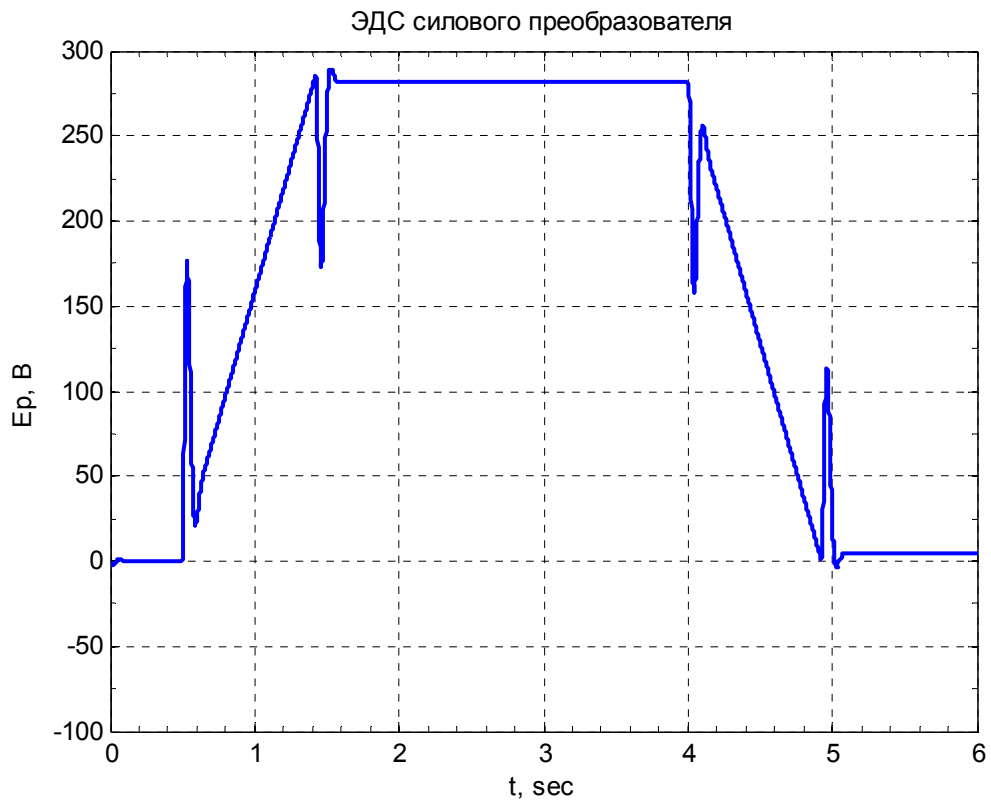


Рисунок 5.8 – Графік перехідного процесу ЕРС тиристорного перетворювача ( $I_c = 0,3I_H$ )

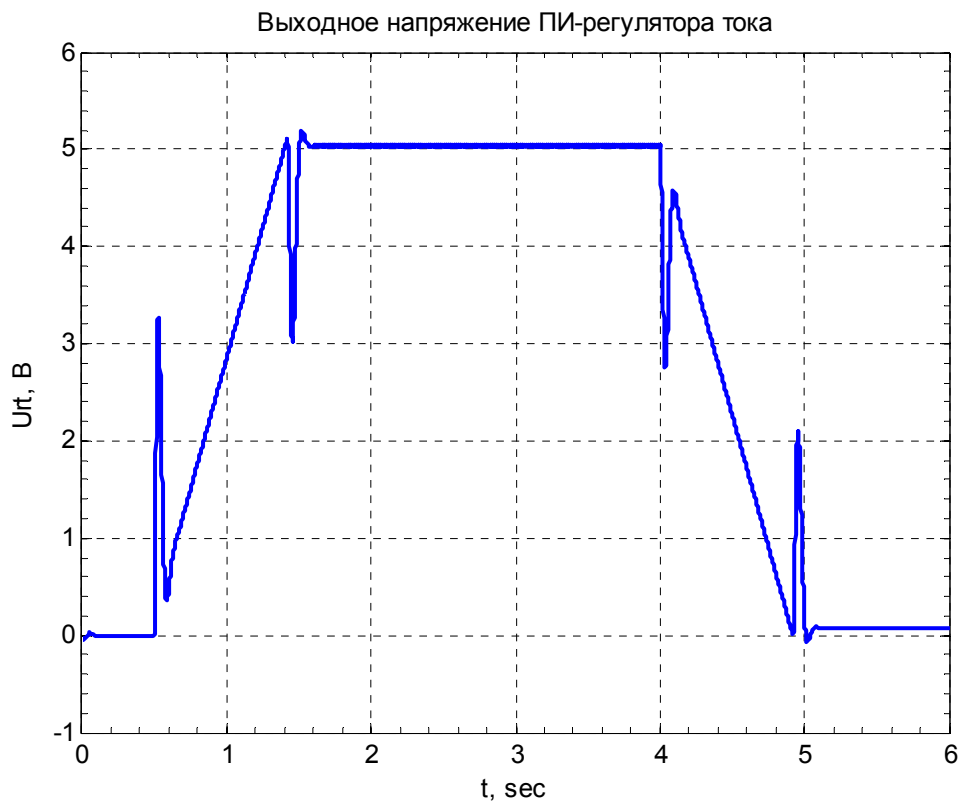


Рисунок 5.9 – Графік перехідного процесу напруги ПІ-регулятора струму ( $I_c = 0,3I_H$ )

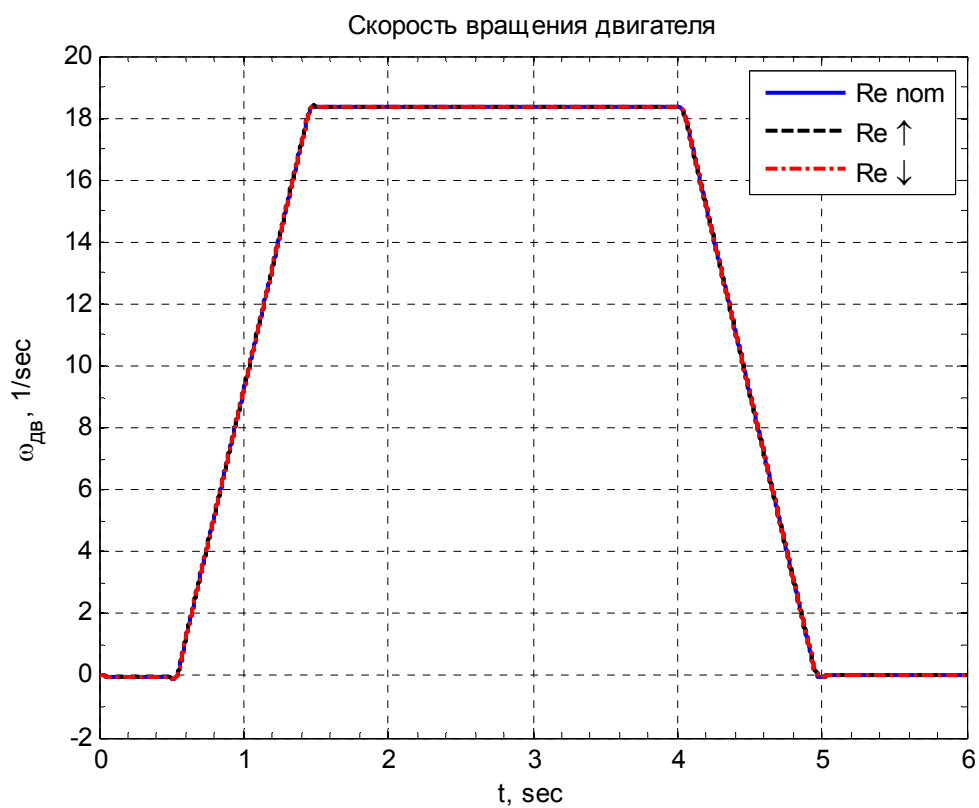


Рисунок 5.10 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при зміні  $R_3$  в 2 рази

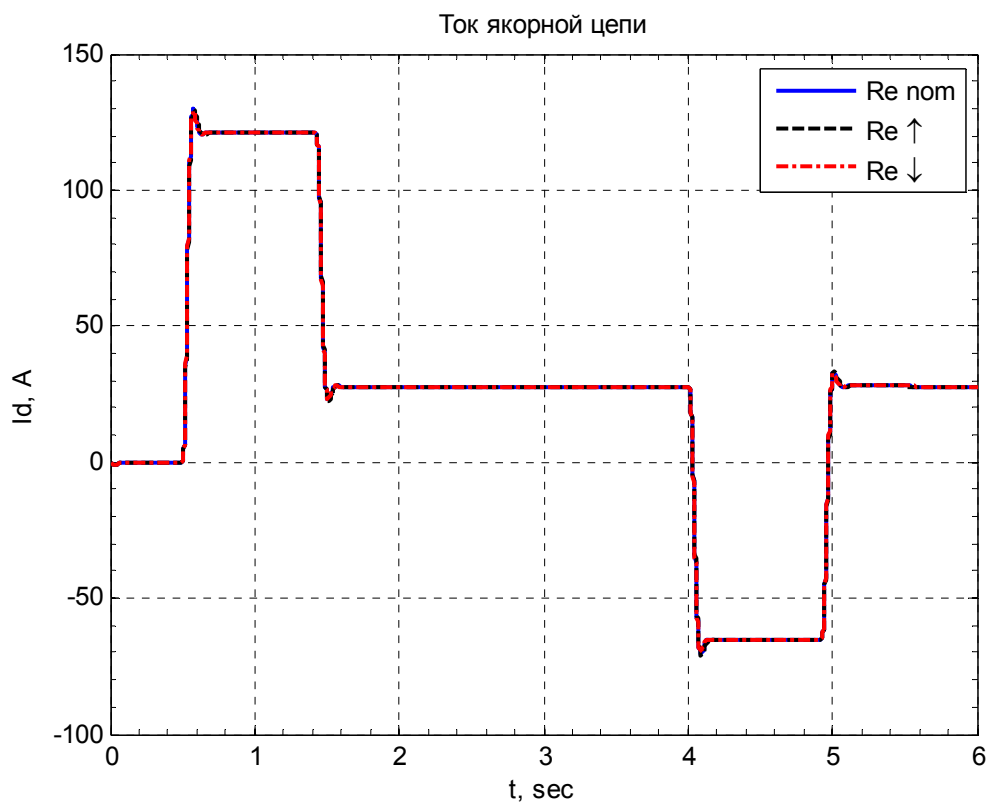


Рисунок 5.11 – Графік перехідного процесу струму якоря при зміні  $R_3$  в 2 рази

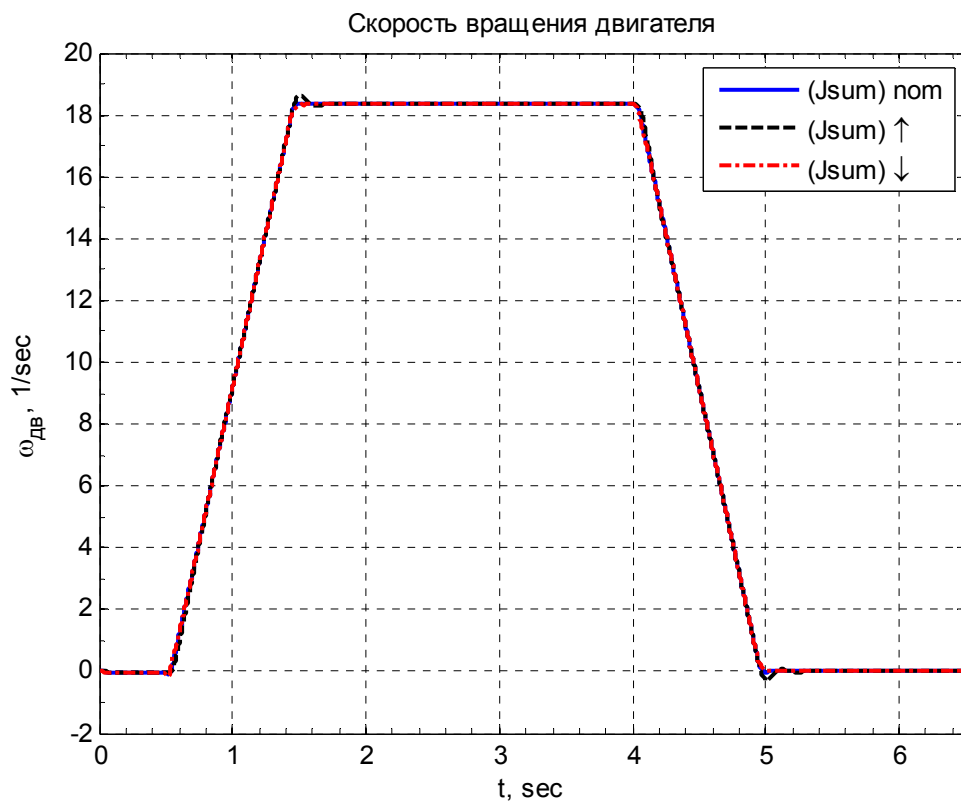


Рисунок 5.12 – – Графики переходного процессу швидкості обертання двигуна при зміні  $J'_{\Sigma}$  в 2 рази

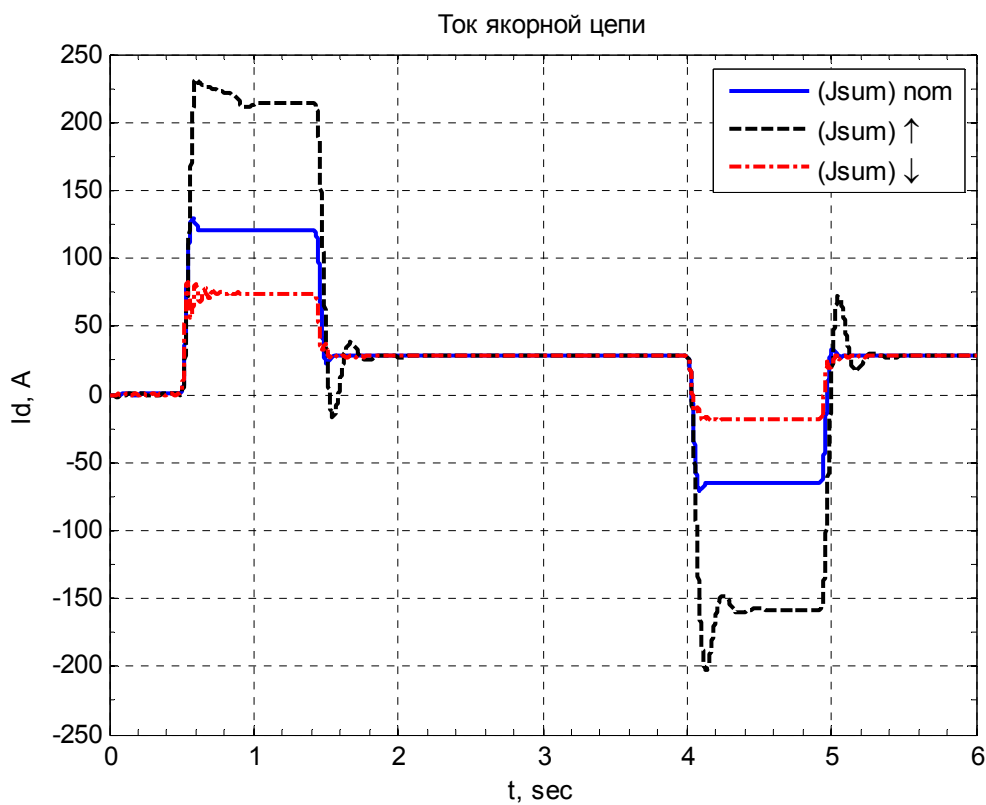


Рисунок 5.13 – Графики переходного процессу струму якоря при зміні  $J'_{\Sigma}$  в 2 рази

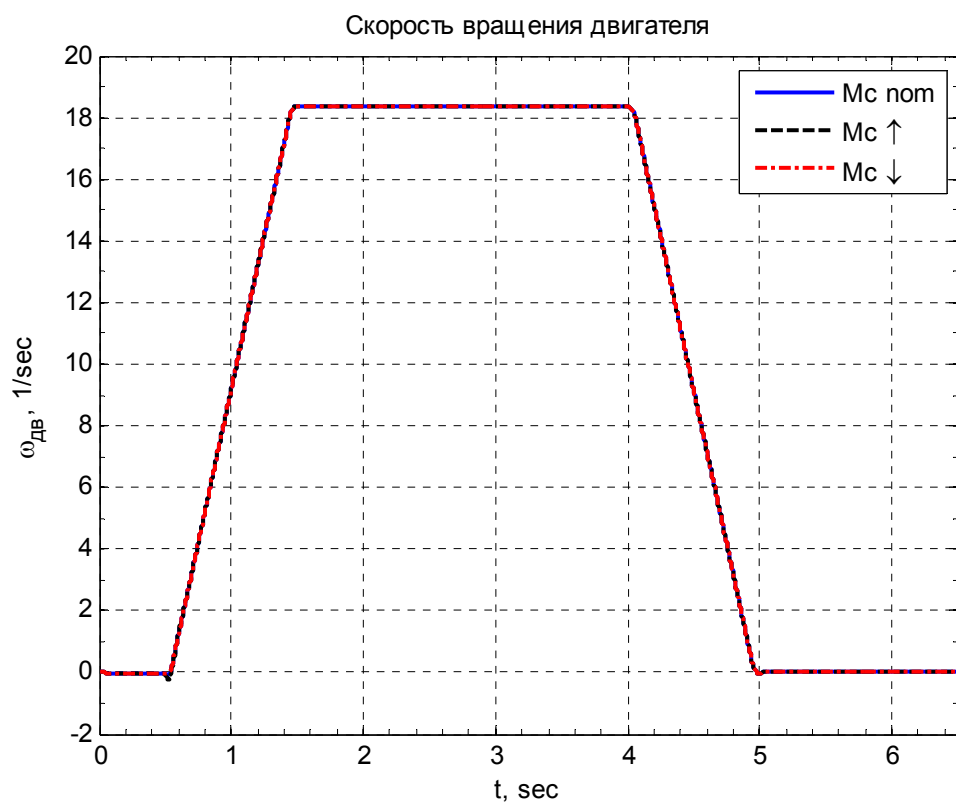


Рисунок 5.14 – Графики переходного процесса швидкості обертання двигуна при зміні  $M_c$  в 2 рази

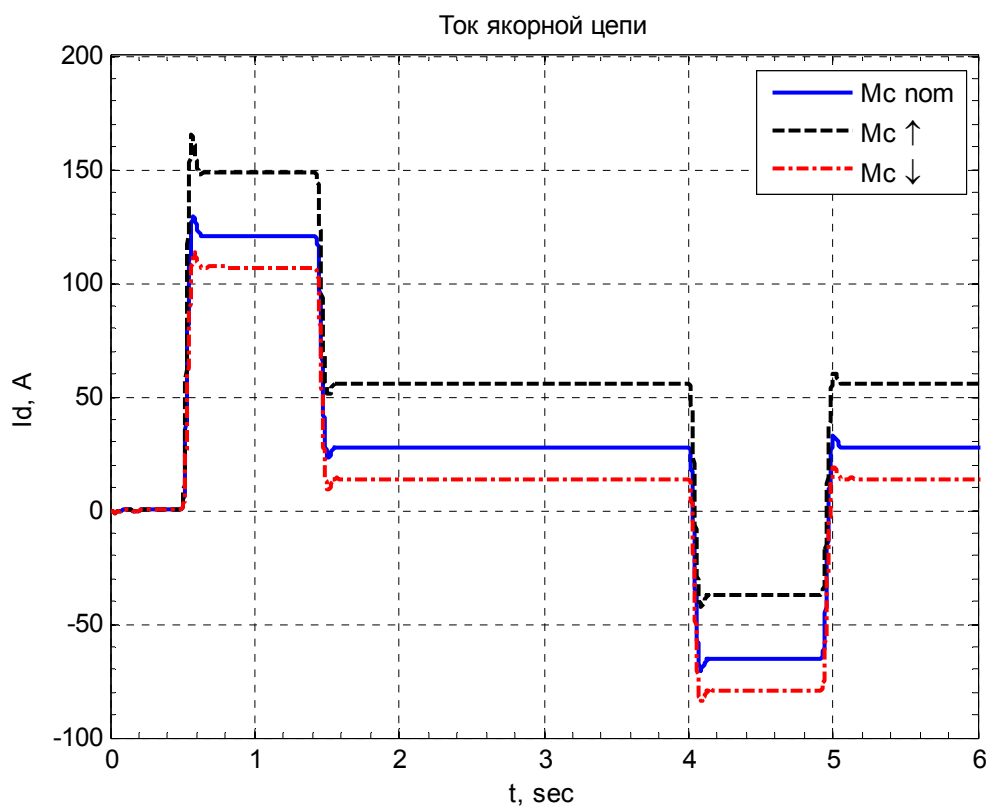


Рисунок 5.15 – Графік переходного процесу струму якоря при зміні  $M_c$  в 2 рази

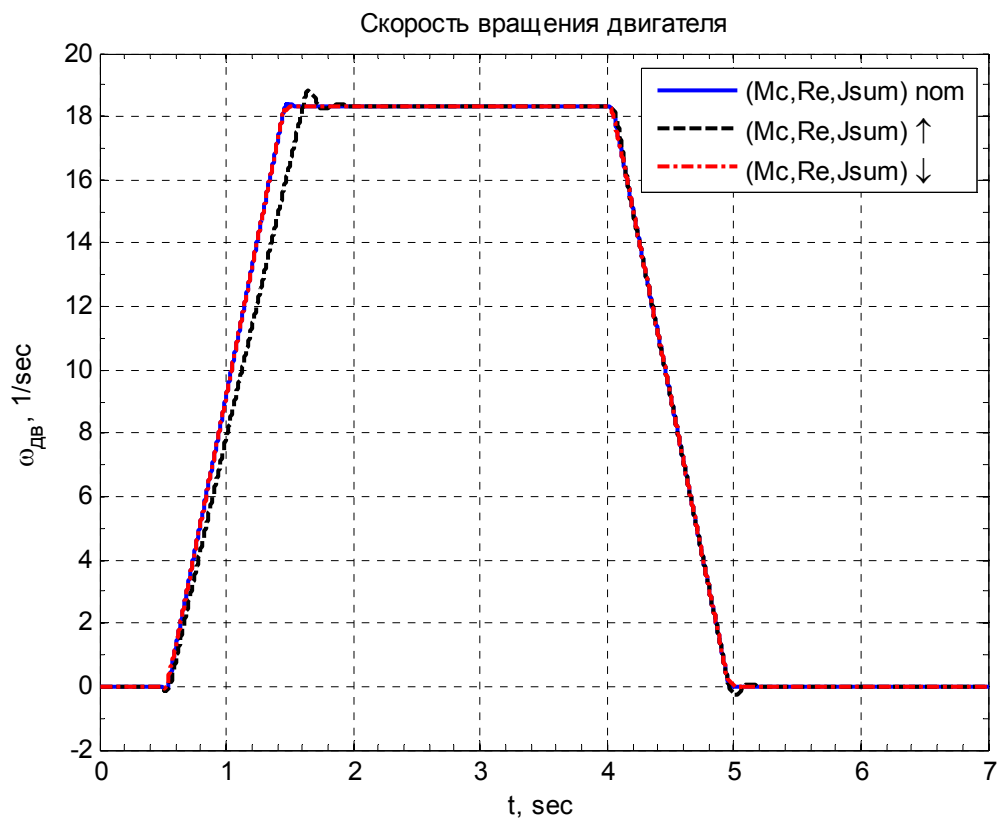


Рисунок 5.16 – Графики переходного процесса швидкості обертання двигуна при одночасній зміні  $M_c$ ,  $R_y$  і  $J'_\Sigma$  в 2 рази

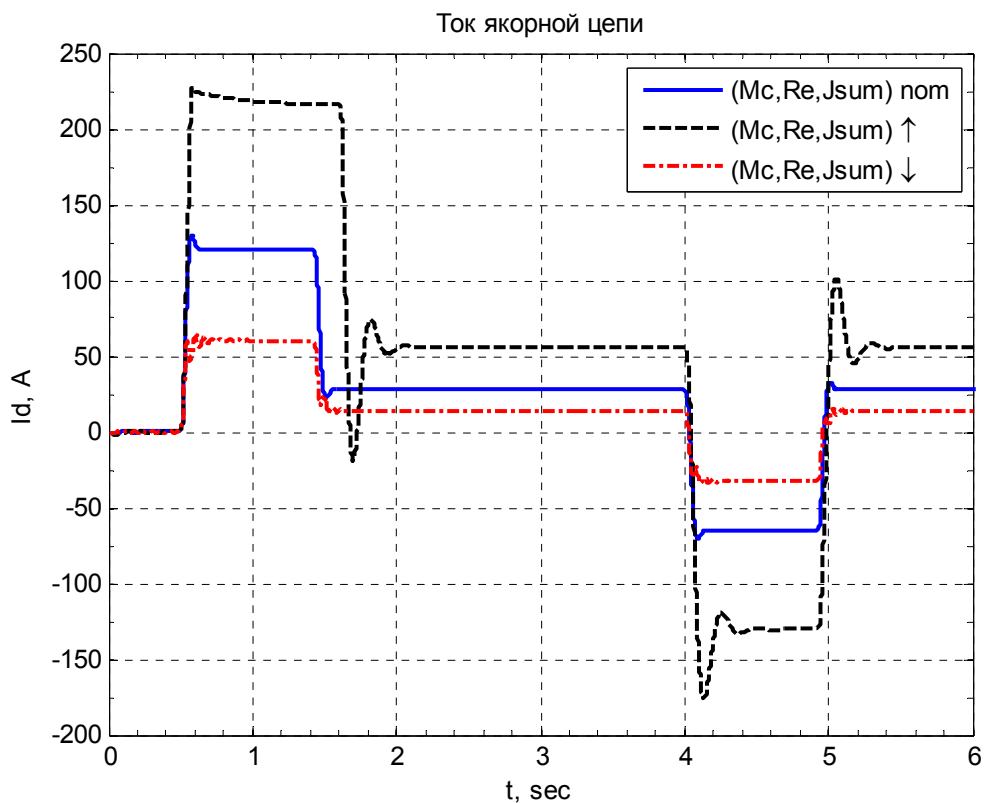


Рисунок 5.17 – Графік переходного процесу струму якоря при одночасній зміні  $M_c$ ,  $R_y$  і  $J'_\Sigma$  в 2 рази

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 6.1 Наявність потенційно небезпечних місць для працюючих

Атестація робочих місць за умовами праці — це комплексна оцінка всіх факторів виробничого середовища і трудового процесу, супутніх соціально-економічних факторів, що впливають на здоров'я і працездатність працівників у процесі трудової діяльності. Періодичність такої атестації встановлюється підприємством у колективному договорі, але не рідше одного разу за 5 років.

Атестація робочих місць передбачає:

- комплексну оцінку факторів виробничого середовища і характеру праці, відповідність їх характеристик стандартам безпеки праці, будівельним та санітарним нормам і правилам;
- виявлення факторів і причин виникнення несприятливих умов праці;
- встановлення ступеня шкідливості і небезпечності праці та її характеру за гігієнічною класифікацією;
- визначення (підтвердження) права працівників на пільги тощо.

Після проведення атестації за даними лабораторно-інструментальних досліджень комісія складає Карту умов праці на кожне робоче місце, яка включає оцінку факторів виробничого середовища і трудового процесу, гігієнічну оцінку умов праці, оцінку технічного та організаційного рівня. Ця Карта містить оцінку наступних факторів виробничого і трудового процесу: шкідливих хімічних речовин від I до IV класу небезпеки включно; пилу; вібрації; шуму; інфразвуку; ультразвуку; неіонізуючого випромінювання різних діапазонів; мікроклімату у приміщенні; атмосферного тиску; біологічних факторів і препаратів, природних компонентів організму від I до IV класу небезпеки включно).

За результатами атестації складаються переліки робочих місць, виробництв, робіт, професій і посад, працівникам яких підтверджено право на пільги і компенсації, передбачені законодавством.

## 6.2 Можливість поразки працюючих електричним струмом

При технічній експлуатації електроустаткування промислових підприємств електротравми можуть виникати з таких причин:

- дотик безпосередній до струмопровідних частин електроустановок, які діють під напругою. Це може статися через несправність огорожувальних пристроїв електроустановок, помилкові дії персоналу, коли роботи виконуються поблизу чи безпосередньо на струмопровідних елементах, що знаходяться під напругою, а також з появою напруги (в результаті помилкової подачі) на раніше вимкнених електроустановках і ділянках мережі;

- важкі і смертельні нещасні випадки (понад 200), проаналізовані В.Е.Манойловим, показали, що на випадковий дотик, не викликаний виробничою необхідністю і помилковою подачею напруги, в процесі ремонтів і оглядів електроустановок, припадає близько 53 % усіх електротравм;

- дотик до металевих конструктивних частин електроустановок, які не повинні знаходитися під напругою, але на корпусах, кожухах і огорожувальних пристроях може з'явитися напруга в результаті електричного пробою чи природного старіння ізоляції електроустановок, а також при замиканні оголених проводів через обрив і падіння на конструктивні частини електроустановок і при відсутності захисного заземлення, ці причини складають близько 22 % усіх травм;

- дотик інструментом і предметами, що мають малий опір, до ізоляції, до струмопровідних частин, а також до неметалевих частин електроустановок, які виявилися під напругою через заводські дефекти в конструкції, під час монтажу і виготовлення. На ці причини припадає 14 % електротравм;

- дотик до стін, підлог, будівельних конструкцій, які виявилися під кроковою напругою. Крокова напруга виникає при розтіканні електричного струму від трубопроводів, будівельних конструкцій, рейкових шляхів, на які перейшов електричний струм в результаті падіння проводів чи погіршення ізоляції. Такі причини складають 2-3 %;

- дія дуги при операціях із відмикальними пристроями та інші причини. Вони складають близько 6 %.

Дуже великий відсоток електротравм при випадковому дотику, не викликаному виробничою необхідністю (до 30 %), і невеликий -при дотику в процесі роботи (до 2 %) дозволяє зробити висновок, що працівники, не пов'язані з експлуатацією електроустановок, не знають, яку небезпеку становить електричний струм для людини.

У ДСТУ 2843-94 "Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення" установлені терміни і визначення основних понять електробезпеки.

Електробезпека - система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Електротравма - травма, зумовлена впливом електричного струму чи електричної дуги.

Електротравматизм - явище, що характеризується сукупністю електротравм.

Електричне замикання на корпус - випадкове електричне сполучення струмопровідної частини з металевими не струмоведучими частинами електроустановок.

Електричне замикання на землю - випадкове електричне сполучення струмоведучої частини безпосередньо із землею або не-струмопровідними провідними конструкціями, або предметами, не ізольованими від землі.

Струм замикання на землю - струм, що проходить через місце замикання на землю.

Зона розтікання струму замикання на землю - зона землі, за межами якої електричний потенціал, обумовлений струмами замикання на землю, може бути умовно прийнятий рівним нулю.

Напруга щодо землі - напруга щодо місця землі, що знаходиться поза зоною розтікання струму замикання на землю.

Електричний струм не виявляється органами чуття людини. Ураження людини електричним струмом небезпечно тому, що електричний струм може



виникнути зненацька на металевих неструмопровідних частинах електроустановок, апаратів, механізмів, а також на поверхні землі, коли людина не застосовує засобів захисту.

Ураження електричним струмом відносяться до небезпечних факторів, що відображаються на всьому організмі. Проте всі електротравми умовно поділяють на два основних види: місцеві електротравми, коли виникає місцеве ураження організму, електричний опік, електричні знаки, металізація шкіри; загальні електротравми, коли уражається весь організм людини через порушення нервової системи, нормальної діяльності життєво важливих органів і систем - електричний удар.

Електричний опік - найбільш поширена електротравма. Це струмовий опік у мережах до 2 кВ і опік дугою. Температура дуги може бути до 3500 °С. Дуга може виникати при випадкових коротких замиканнях в електроустановках до 6 кВ під час проведення робіт під напругою, на щитах і зборках, виміру переносними приладами та інш. У мережах з напругою вище 10 кВ дуга може виникати під час наближення людини до струмопровідних частин, що знаходяться під напругою.

Електричні знаки - це плями сірого чи блідо-жовтого кольорів. Конфігурація електричного знака відповідає формі струмопровідної частини, до якої доторкнулася людина. Такі ураження в більшості випадків безболісні.

Металізація шкіри є наслідком проникнення углиб шкіри парів металу, коли ділянка тіла знаходиться поблизу від місця утворення електричної дуги. Таке ураження можливе при вимкненні відкритих рубильників і при коротких замиканнях.

Хворобливе відчуття опіку і присутність стороннього тіла зникає з відмиранням ушкодженої шкіри.

Електричний удар. Сутність його полягає в тому, що струм, протікаючи по всьому тілу людини, подразнює численні периферичні нервові закінчення, розташовані як на поверхні тіла, так і на поверхні його внутрішніх органів, так сильно, що в організмі настає після цього гальмування координованої роботи

нервової системи. Результатом цього подразнення і наступного гальмування є параліч серцевої діяльності, дихання й електричний шок

Електричний шок. Це нервово-рефлекторна реакція організму, що супроводжується розладом дихання, кровообігу, обміну речовин та ін.ш.

Ступінь небезпеки впливу електричного струму залежить від:

- сили електричного струму, що протікає через людину;
- роду і частоти електричного струму;
- шляху протікання електричного струму через тіло людини;
- тривалості впливу струму на людину;
- індивідуальних особливостей людини;
- умов зовнішнього середовища, в якому працює людина.

Сила електричного струму, що протікає через людину, є основним чинником, що визначає результат ураження електричним струмом. Значення напруги, під якою опинилася людина, і опір її тіла впливають на результат ураження людини лише в тій мірі, в якій напруга та опір людини визначають значення електричного струму, що протікає через людину.

Якщо збільшується сила електричного струму, небезпека ураження людини теж збільшується. Розрізняють кілька станів людини, що виникають при визначених значеннях струму.

Відчутний струм - електричний струм силою від 0,6 до 1,5 мА, що викликає під час проходження через організм відчутне подразнення.

Струм, що не відпускає - електричний струм, що викликає при проходженні через людину непереборні судорожні скорочення м'язів руки, в якій затиснута струмопровідна частина. При струмі 3-5 мА (50 Гц) подразнюється вся кисть руки, яка торкається струмопровідних частин, при 8-10 мА біль охоплює всю руку, а при 15 мА судороги м'язів рук стають непереборними, а біль нестерпним. Людина при цьому не може розтиснути руку, в якій затиснута струмопровідна частина.

Граничний фібриляційний струм - найменше значення фібриляційного струму. Значення його лежить у межах від 100 мА до 5 А для струму 50 Гц і від 300 мА до 5 А для постійного струму.

Постійний і змінний струми більше 5 А зумовлюють миттєву зупинку серця, минаючи стан фібриляції. Поряд із зупинкою серця відбувається припинення дихання, що навіть після короткочасного впливу варто відновлювати шляхом штучного дихання. Тривала дія великих струмів, крім того, викликає великі опіки тіла, руйнування внутрішньої структури тканини організму, ураження окремих органів, що призводять до смертельного результату.

Шкіра має найбільший питомий опір, що, головним чином, і визначає електричний опір тіла людини. Шкіра людини має два основних шари: зовнішній - епідерміс і внутрішній - дерма. Зовнішній шар шкіри складається з рогового і паросткового шарів. Роговий шар шкіри являє собою кілька десятків шарів ороговілих клітин, що мають лускату будову і щільно прилягають один до одного. У цьому шарі немає кровоносних судин і нервів. Товщина рогового шару на окремих ділянках тіла може досягати 0,2 мм і більше. На долонях і підшвах, що піддаються механічним впливам, товщина цього шару найбільша. Роговий шар найбільш міцний, у сухому стані його питомий електричний опір 105-106 Ом-м.

Обмірний між двома електродами, накладеними на поверхню тіла при напрузі до 15-20 В, опір тіла людини може складати 3-1031-105 Ом. Якщо на цій ділянці видалити (зіскребти) тільки роговий шар шкіри, то опір зменшиться до 1-103-5-103 Ом, а якщо весь зовнішній шар шкіри (епідерміс) - то до 500-700 Ом. Електричний опір тканин під шкірою людини при цілком вилученій шкірі приблизно 300-500 Ом.

Таким чином, з цього можна зробити висновок, що електричний опір тіла людини при ввімкненні її в ланцюг струму складається з трьох послідовно ввімкнених опорів (рис.12.1), два з яких - опір зовнішнього шару шкіри (епідермісу)  $Z_e$  і внутрішнього опору тканин тіла  $i?$ . У свою чергу, опір епідермісу  $Z_e$  складається з активної  $i?e$  і ємкісної складових  $C_e$ , ввімкнених паралельно. Обкладками конденсатора  $C_e$  є електрод, що доторкається до поверхні шкіри, з одного боку, і добре провідні тканини, що лежать під зовнішнім шаром шкіри, з другого, а діелектриком між ними є шар епідермісу.

Якщо шкіра зволожена, то вона має в півтора-два рази менший опір, ніж суха, тому що волога розчиняє на поверхні шкіри солі і кислоти, що виділяються з організму з потом і тоді опір шкіри буде менший. Тривале зволоження робить роговий шар шкіри, внаслідок його насичення вологою, майже цілком провідним. Таким чином, потовиділення і забруднення шкіри роблять шкіру людини електропровідною, і, отже, захисна функція рогового шару шкіри, як діелектрика, в таких умовах втрачається. Ураження електричним струмом в таких умовах збільшується, тому що за інших рівних умов електричний струм, що протікає через людину, зростає і зростає небезпека людини.

Більш підвищена напруга, у ланцюзі якої виявляється людина, викликає зменшення опору в десятки разів, що в мережі може складати 300 Ом. Пояснюється це пробоем рогового шару, що може виникати навіть при напрузі близько 50 В.

Постійному струму опір тіла людини більший, ніж змінному електричному струму будь-якої частоти. Зі зростанням частоти повний опір тіла людини зменшується, тому що зменшується ємкісна складова повного опору. У принципі, якщо частота зростає до безкінечності, то повний опір тіла людини прагне до внутрішнього опору тіла. Велика площа струмоведучої частини, до якої доторкається людина, зменшує повний опір тіла людини.

Якщо протікання струму через людину тривале, то воно сприяє зниженню повного опору тіла людини, внаслідок підвищеного кровопостачання і, отже, підвищеного потовиділення. При напругах 2030 В за 1-2 хв. опір може знижуватися в середньому на 25 %.

При частотах 10 кГц і вище існує тільки небезпека опіку при дотику до струмопровідних частин.

Шлях електричному струму, що протікає через людину, відіграє значну роль при ураженні, тому що на його шляху можуть виявитися життєво важливі органи тіла людини - серце, легені, головний мозок та інші.

Тоді коли людина в зосередженому стані, наприклад, підготовлена до можливості впливу електричного струму, то вона менше піддається небезпеці впливу струму, за інших рівних умов.

Умови зовнішнього середовища визначають результат ураження в тій мірі, в якій вони сприяють зниженню значення електричного струму, що протікає через людину, і обмежують фактори, які знижують електричний опір організму.

### **6.3 Інструкція з охорони праці для електрослюсаря**

#### Загальні положення

До роботи в якості електрослюсаря допускаються особи це молодші 18 років, які пройшли медичне обстеження і не мають протипоказань, вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, навчання з питань охорони праці і стажування на робочому місці, перевірка знань у комісії на допуск до самостійної роботи і мають посвідчення.

Електрослюсар повинен:

- вивчити і суворо виконувати «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів» і «Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів» у частинах, обов'язкових для даної посади;
- вивчити і добре знати електросхему і характеристики електрообладнання автомобілів і цеху;
- мати чітке уявлення про небезпеку при роботах в електроустановках і заходи попередження нещасних випадків від ураження електричним струмом;
- уміти на практиці подати першу допомогу потерпілому у випадках ураження електричним струмом і інших травмах.
- Електрослюсарю дозволяється виконувати в електроустановках наступні роботи:
  - без зняття напруги: прибирання приміщення до огорожень, чистку і обтирання кожухів і корпусів електрообладнання;
  - установка і зняття запобіжників, як правило, виконується при знятій напрузі. Під напругою, але без навантаження допускається знімати і установлювати запобіжники на приєднаннях, у схемі яких відсутні комутаційні апарати;

– під напругою і під навантаженням допускається знімати і установлювати запобіжники трансформаторів напруги і запобіжники пробочного типу у електроустановках напругою до 1000 В;

– з зняттям напруги: ремонт магнітних пускачів, пускових кнопок, рубильників і іншої аналогічної пускової електроапаратури при умові установки її поза щитами і збірками, ремонт окремих струмоприймачів (електродвигуни і т. п.), заміну плавких вставок відкритого типу, ремонт освітлювальної проводки заміну електроламп.

Вимоги безпеки перед початком роботи

Перевірити справність спецодягу, спецвзуття, індивідуальних захисних засобів.

Перевірити стан інструмента, засобів захисту, їх справність і своєчасність випробувань.

Виконати організаційно-технічні заходи, які забезпечують безпеку робіт.

Вимоги безпеки під час виконання робіт

Електрослюсар є особа, яка відповідальна за справне обслуговування і безпечну роботу електрообладнання на ділянці, при цьому він повинен звертати увагу на освітлення робочих місць, наявність запорів у зборок магнітних пускачів, рубильників і т. п., стан заземлення, ізолювання проводів і кабелів, наявність огорожень у обертаючих частин електричних машин.

Перш ніж виконувати ремонт електрообладнання автомобіля і його регулювання на стенді необхідно упевнитися у його справності, наявності заземлення і огорож.

Забороняється виконувати ремонт і регулювання електрообладнання на автомобілі і тракторі при працюючому двигуні, за винятком випадків регулювання реле-регулятора.,

При знятті стартера з автомобіля або трактора необхідно зняти клему з акумулятора для запобігання опіку при замиканні проводів.

Перевірка стану електричних проводів на автомобілі-самоскиді при піднятій платформі кузову виконується після укріплення її упорними штангами. Використовувати замість упору випадкові підставки не дозволяється.

При роботі в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмоведучих частинах і поблизу них необхідно:

- обгородити розташовані поблизу робочого місця інші струмоведучі частини, які знаходяться під напругою, і до яких можливо випадкове торкання,
- працювати у діелектричних калошах або стоячи на ізолюючій підставці або на діелектричному килимку;
- застосувати інструмент з ізольованими рукоятками, при відсутності такого інструменту користуватися діелектричними рукавичками.

При виконанні робіт без зняття напруги на струмоведучих частинах за допомогою ізолюючих засобів захисту необхідно:

- тримати ізолюючі частини засобів захисту за ручки-захвати до обмеженого кільця;
- розташувати ізолюючі частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмоведучими частинами двох фаз або замикання на землю;
- користуватися тільки сухими і чистими ізолюючими частинами засобів захисту з неушкодженим лаковим покриттям.

При роботі з застосуванням струмозахисних засобів допускається наближення до струмоведучих частин на відстань, що визначається довжиною ізолюючої частини цих засобів.

При виконанні робіт біля необгороджених струмоведучих частин забороняється розташуватися так, щоб ці частини знаходилися позаду з обох боків.

Не допускається залишати під напругою неізольовані кінці проводів або кабелів.

При обслуговуванні, а також при ремонті електроустановок застосування металевих драбин забороняється.

Забороняється застосовувати несправні захисні ізолюючі засоби, строк

чергового випробування яких минув.

На роз'єднувачах, вимикачах навантаження, при допомозі яких може бути подана до місця роботи напруга, треба вивішувати плакати: «Не вмикати — працюють люди!».

Шліфовка колекторів і контактних кілець виконується за допомогою колодки із ізолюючого матеріалу, при цьому працюючий повинен стояти на килимку або підставці.

Електрослюсар, що виявив несправності електричного обладнання повинен негайно повідомити про це майстра або начальника цеху У випадку, коли несправність викликає небезпеку для людей, він повинен негайно знеструмити небезпечну ділянку і усунути несправність сам, якщо це можливо, а потім сповістити про це майстра або начальника цеху. Усунення несправностей виконується з суворим додержанням правил безпеки

#### Вимоги безпеки по закінченню робіт

По закінченні робіт електрослюсар повинен прибрати робоче місце і доповісти майстру або начальнику цеху про закінчення робіт

#### Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

Електрослюсар повинен самостійно і негайно прийняти заходи до відновлення нормального режиму роботи електрообладнання і повідомити про подію особі, відповідальній за електрогосподарство. Усунення несправності виконується при суворому додержанні правил безпеки.

#### Приймання і здача зміни під час ліквідації аварії забороняється

При появі небезпеки, яка загрожує аварією або нещасним випадком, електромонтер зобов'язаний припинити роботу, повідомити про це майстру або іншому ІТП дільниці і прийняти негайно заходи по ліквідації аварійної ситуації.

При нещасному випадку необхідно зупинити роботу, викликати негайно швидку допомогу, повідомити майстра, виконроба або начальника дільниці, подати першу допомогу потерпілому, зберегти на робочому місці обстановку і стан устаткування такими, якими вони були на момент події, нещасного випадку. Аналогічно зробити при аварії.



Електромонтер, який помітив пожежу або задимлення і інші явища, які можуть привести до виникнення пожежі, зобов'язаний:

- Негайно викликати пожежну охорону по телефону або пожежному сповіщувачу.
- Викликати до місця пожежі майстра, виконроба або начальника ділянки.
- Прийняти заходи по обмеженню розповсюдження вогню і ліквідації пожежі.

#### Відповідальність

За порушення правил охорони праці і вимог дійсної інструкції електромонтер несе відповідальність у порядку, встановленому законодавством і правилами внутрішнього трудового розпорядку.

## ВИСНОВОК

В ході проектування була розглянута технологія роботи, призначення і особливості роботи електроприводу розкатного рольганга за чистової кліттю стану 3000. Була розрахована потужність двигуна, динамічні і статичні моменти навантаження. В результаті розрахунку було обрано/перевірений двигун типу Д812У2 зі зниженою частотою обертання.

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

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

У проекті розраховані параметри двухконтурной системи підпорядкованого керування, з зовнішнім контуром швидкості (тому що рольганг це швидкісна система) і внутрішнім контуром струму.

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

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

У розділі «Охорона праці» розглянуто заходи з техніки безпеки праці та безпечної експлуатації установки.

**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. Пілецький В.Т. Вибір елементів реверсивних тиристорних перетворювачів електроприводів постійного струму. – К.: ІСДО, 1994. – 148 с.
4. SIEMENS: SIMOREG DC-MASTER 6RA70: Цифровые встраиваемые преобразователи тока: Каталог. – DA 21.1, 2001 – 151 с.
5. SIEMENS: SIMOREG DC MASTER 6RM70: Преобразователи шкафного исполнения: Каталог. – DA 22, 2002 – 50 с.
6. Альбом 02085.40 Харьков. Рабочая документация: электроприводы. Рольганги раскатные №1,2 за чистовой клетью, мех. 59, 60.
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. Шрейнер Р.Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов / Р.Т. Шрейнер. Екатеринбург: Изд-во: ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2008. – 279 с.
9. Зимин Е.Н. Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями / Е.Н. Зимин., В.Л. Кацевич, С.К. Козырев. – М: Энергоиздат, 1981. – 192 с.
10. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MatLab 6.0: Учебное пособие. – СПб.: Корона принт, 2001. – 320 с.
11. Половко А.М. MATLAB для студента / А.М. Половко, П.Н. Бутусов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 320 с.
12. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowersystem и Simulink. – М: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.

13. 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.

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

15. Князевский Б.А. Охрана труда в электроустановках / Б.А. Князевский. – Учебник для вузов, 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.

16. Долин П.А. Справочник по технике безопасности / П.А. Долин. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 800 с.

17. Основы охраны труда: Учебник для вузов / В.Ц. Жидецкий, В.С. Джигирей, А. В. Мельников под ред. Поливко В. А. – Л.: Изд-во «Афиша», 2000. – 351 с.

## Додаток А

## Технічні данні перетворювача SIMOREG DC Master 6RM7031-6DS02

## SIMOREG DC MASTER 6RM70

### Digital Converter Cabinet Units

## Selection and ordering data

Three-phase connection		DC connection, armature circuit		Field current connection		SIMOREG cabinet unit		
Rated input voltage V	Rated input current A	Rated DC voltage V	Rated DC current A	Rated output kW	DC field voltage V	DC field current A	Order No.	Weight ca. kg
<b>SIMOREG cabinet units for single-/two-quadrant operation B6C</b>								
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. 500 <sup>1)</sup>	50	600	60	36		10	6RM7025-6GS02	185
	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 57 295; 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.