

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ВІДОМОСТІ ПРО МЕХАНІЗМ І ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	7
1.1 Сортамент товстолистого стану 3000	7
1.2 Технологічні вимоги до початкової заготовки	7
1.3 Прокатка листів в чорновій/чистовій кліті.....	9
1.3.1 Прокатка слябів на чорновій кліті.....	9
1.3.2 Прокатка листів на чистовій кліті	13
1.4 Обробка листів, які прокочуються.....	14
1.5 Режим прокатки листів на чорновій/чистовій кліті.....	14
1.6 Призначення та конструкція ножиців поперечного різання	16
1.7 Технічні дані ножиців поперечного різання	20
2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА НОЖИЦІВ ПОПЕРЕЧНОГО РІЗАННЯ.....	21
2.1 Розрахунок статичних навантажень.....	21
2.2 Розрахунок потужності та вибір електродвигунів ножиців	24
3 ВИБІР СИЛОВОЇ ТА ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НОЖИЦІВ ПОПЕРЕЧНОГО РІЗАННЯ.....	28
3.1 Вибір та обґрунтування силової частини системи та способу керування електроприводом.....	28
3.2 Вибір комплектного електропривода.....	32
3.3 Вибір силового трансформатора і згладжувального дроселя.....	36
3.4 Склад обладнання електроприводу ножиць.....	41
3.5 Опис системи керування електроприводом ножиць	42
4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НОЖИЦІВ ПОПЕРЕЧНОГО РІЗАННЯ.....	49
4.1 Математичний опис об'єкта керування.....	49

	5
4.2 Розрахунок основних параметрів елементів системи електроприводу	50
4.3 Синтез регулятора струму	53
4.4 Синтез регулятора швидкості	57
4.5 Розрахунки задатчика інтенсивності швидкості	61
5 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НОЖИЦІВ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB/SIMULINK .	65
6 ОХОРОНА ПРАЦІ	77
6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів	77
6.1.1 Забруднення повітря парами і газами	77
6.1.2 Характеристика шумових джерел, їх розміщення в цеху	78
6.2 Інструкція з охорони праці для електрослюсарів	81
6.3 Засоби індивідуального захисту органів дихання	85
ВИСНОВОК	86
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	87
Додаток А	89

ВСТУП

Ножиці застосовуються для поздовжнього й поперечного різання гарячого й холодного металопрокату. Застосовуються наступні види різання металу: поріз металопрокату на мірні довжини; обрізання переднього й заднього кінців; поперечне різання широких листів на стрічки; обрізання кромки у листів.

Залежно від характеру різання застосовують різну конструкцію ножів, які визначають наступні типи ножиць: з паралельними ножами; з похилими ножами; ножиці поперечного різання, що котяться різанням; леткі і дискові. Об'єкт розробки відноситься до ножиць з паралельними ножами.

Для різання гарячого металу квадратного і прямокутного перерізу на шматки мірної довжини, а так само для обрізки передніх і задніх кінців його після прокатки на блюмінгах, слябінгах заготовочних і сортових станах застосовуються ножиці з паралельними ножами. По конструкції ножиці поперечного різання з паралельними ножами можуть бути двох типів: з верхнім різом (коли різання відбувається верхнім різом); з нижнім різом (коли різання відбувається при русі нижнього ножа).

У цей час одними з найпоширеніших, що масово випускаються промисловістю є системи керування електроприводом, побудовані за принципом підпорядкованого керування. У порівнянні з попередніми їм системами вони володіють великою швидкодією, виконані на базі уніфікованих елементів, що полегшує проектування й складання.

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

1 ВІДОМОСТІ ПРО МЕХАНІЗМ І ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

1.1 Сортамент товстолистового стану 3000

На товстолистовому стані 3000 прокочують листи з вуглецевої, конструкційної, низьколегованої і легованої сталі з тимчасовим опором розриву в холодному стані до 785 Нмм² з обрізаною кромкою наступних розмірів, мм:

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

(Довжина розкату до 24000мм).

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

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

Проектна потужність цеху - 1000 тисяч тонн в рік.

1.2 Технологічні вимоги до початкової заготівки

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

Розміри слябів, мм:

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

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

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

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

- для катаних слябів:

по товщині 0; 3 мм;

по ширині 0; 10 мм;

по довжині 0; 30 мм.

- для литих слябів:

по товщині 0; 3 мм;

по ширині ± 10 мм;

по довжині -20; +30 мм.

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

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

- серповидність не більше 10 мм на 1 м довжини;

- неплщинність не більше 20 мм на 1 м довжини;

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

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

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

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

Загальна серповидність і відхилення від площини не повинні

перевищувати добуток допустимої на 1 м серповидності або відхилення від площини на довжину сляба в метрах.

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

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

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

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

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

1.3 Прокатка листів в чорновій/чистовій кліті

1.3.1 Прокатка слябів на чорновій кліті

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

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

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

Перші два – чотири пропуску виконуються уздовж по довжині сляба:

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

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

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

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

- розбивки ширини - при поздовжній прокатці;

- отримання заданої товщини розкату - при поперечній прокатці.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Прокатку на чорновій кліті зазвичай закінчують непарним пропуском. Якщо передній кінець розкату загинається настільки, що важко його подати на валки чистової кліті, в цих випадках прокатку необхідно закінчувати парним пропуском. Розкат прокочують і відправляють на чистову кліть строго по вісі рольганга. Температура розкатів, що відправляються на чистову кліть повинна бути не менше 1050 °С для сталі з вмістом вуглецю 0,30% і більше, а також для низьколегованих марок сталі, що прокочуються не по режимам контрольованої прокатки.

При прокатці на чорновій лінії з поверхні розкату повинна бути видалена повністю окалина. Видалення окалини проводиться за допомогою верхнього та нижнього гідрозбиву, встановлених перед і за кліттю. У разі неповного

видалення окалини гідрозбивом використовують для цієї мети кухонну сіль. Тиск води в системі гідрозбиву окалини при прокатці повинен бути не менше 19,6 МПа (200 атмосфер). Включення гідрозбиву має бути коротким і своєчасним: під час включення сляб повинен переміщатися, щоб виключити місцеве охолодження розкату в місцях удару струменя.

1.3.2 Прокатка листів на чистовій кліті

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

Розкат задається суворо по вісі рольганга при швидкості валків не більше 50 об/хв (5,25 1/с).

При загнутому вгору передньому кінці розкату швидкість захвату зменшується до мінімальної. За станом переднього кінця розкату стежать оператор і вальцювальник чистової кліті.

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

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

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

Задана товщина розкату забезпечується гідронатискальним пристроєм кліті і автоматичним забезпеченням. Під час прокатки вальцювальник чистової кліті повинен ретельно стежити за станом поверхні листів, не допускаючи укочування відірвавшихся частинок металу і сторонніх предметів.

Оператор стану зобов'язаний систематично контролювати ширину розкатів.

1.4 Обробка листів, які прокочуються

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

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

Далі відбувається охолодження листів.

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

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

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

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

1.5 Режим прокатки листів на чорновій/чистовій кліті

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

1.6 Призначення та конструкція ножиців поперечного різання

Ножиці поперечного різання призначені для обрізки переднього й заднього кінців розкату, для різання на мірні довжини, вирізки планок для проб, а також порізки листів на сутунку.

Ножиці поперечного різання складаються зі станин, стягнутих унизу ножовим столом, а у верхній частині - передньою панеллю й редуктором головного привода, який розташований між станинами. Між передньою панеллю й редуктором розташований верхній супорт, який робить різ, що котиться стосовно ножового столу. Верхній супорт, що має радіусний ніж, переміщається за допомогою обертових в одному напрямку й з однаковою швидкістю ексцентрикових валів. Зворотно-поступальний рух від двох ексцентрикових валів передається за допомогою двох шатунів.

Ексцентрикові вали змонтовані в передній панелі й редукторі й приводяться в обертанні двома двигунами постійного струму через редуктор.

Електродвигуни встановлені між станинами на траверзі.

Електродвигуни включаються на кожний різ і зупиняються при знаходженні верхнього супорта в крайньому верхньому положенні за допомогою вимикача шляхового 201SQ. Фіксація механізму ножиців в верхньому положенні здійснюється за допомогою гальма.

Ножиці обладнані притисками, розташованими з боку входу смуги в ножиці, і призначені для фіксації (притиснення) листа в процесі різання.

Притиск складається із чотирьох повзунів, зв'язаних попарно й приводяться у зворотно-поступальний рух через систему тяг двома гідроциліндрами.

Робота притисків відбувається в такий спосіб.

По рольгангові перед ножицями лист надходить до ножиць поперечного різання з різом, що котяться для обрізки передньої й задньої крайки. Для одержання перпендикулярності лінії різ до бічної кромки листа притискається до лівої стаціонарної лінійки (по ходу металу) за допомогою роликового штовхача напрямного пристрою.

При підході розкату на лінію різа оператор дає команду на зупинку рольганга перед ножицями й на включення головного привода ножиців на різ.

Команда на опускання повзунів притиску подається з поста управління ножиців одночасно із включенням ножиців на різ.

У процесі різа притиски втримують розкат.

Після повороту ексцентрикового вала ножиців на кут 270° від нульового положення шляхового вимикача 201SQ подається сигнал на підйом притисків. Притиски піднімаються у верхнє вихідне положення, контрольоване кінцевими вимикачами. Хід притисків -160 мм.

Ножиці обладнані вузлом захисту привода при зрізі пальців напівмуфт - вимикачі кінцеві 201SQ1,201SQ2 і 202SQ1,202SQ2.

При справній муфті обоє датчика дають одночасний імпульс суворо однакової тривалості, що свідчить про справність муфти.

При зрізі пальців напівмуфти починають обертатися з різними швидкостями (або напівмуфта з боку механізму зупиняється). Внаслідок чого датчики дають зсув у часі імпульси, що повинно викликати відключення привода.

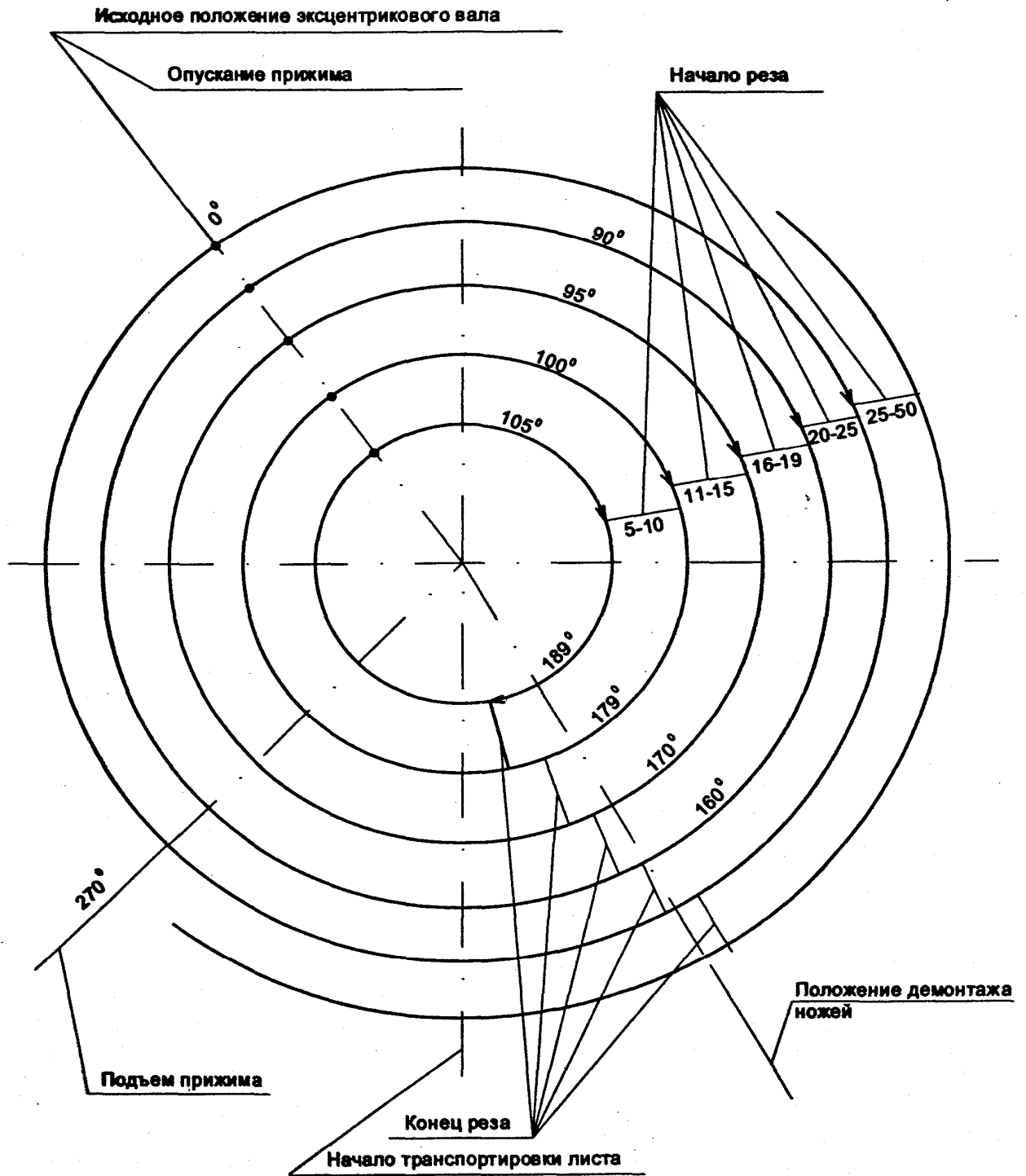


Рисунок 1.1 – Кругова діаграма роботи ножиців
поперечного різання

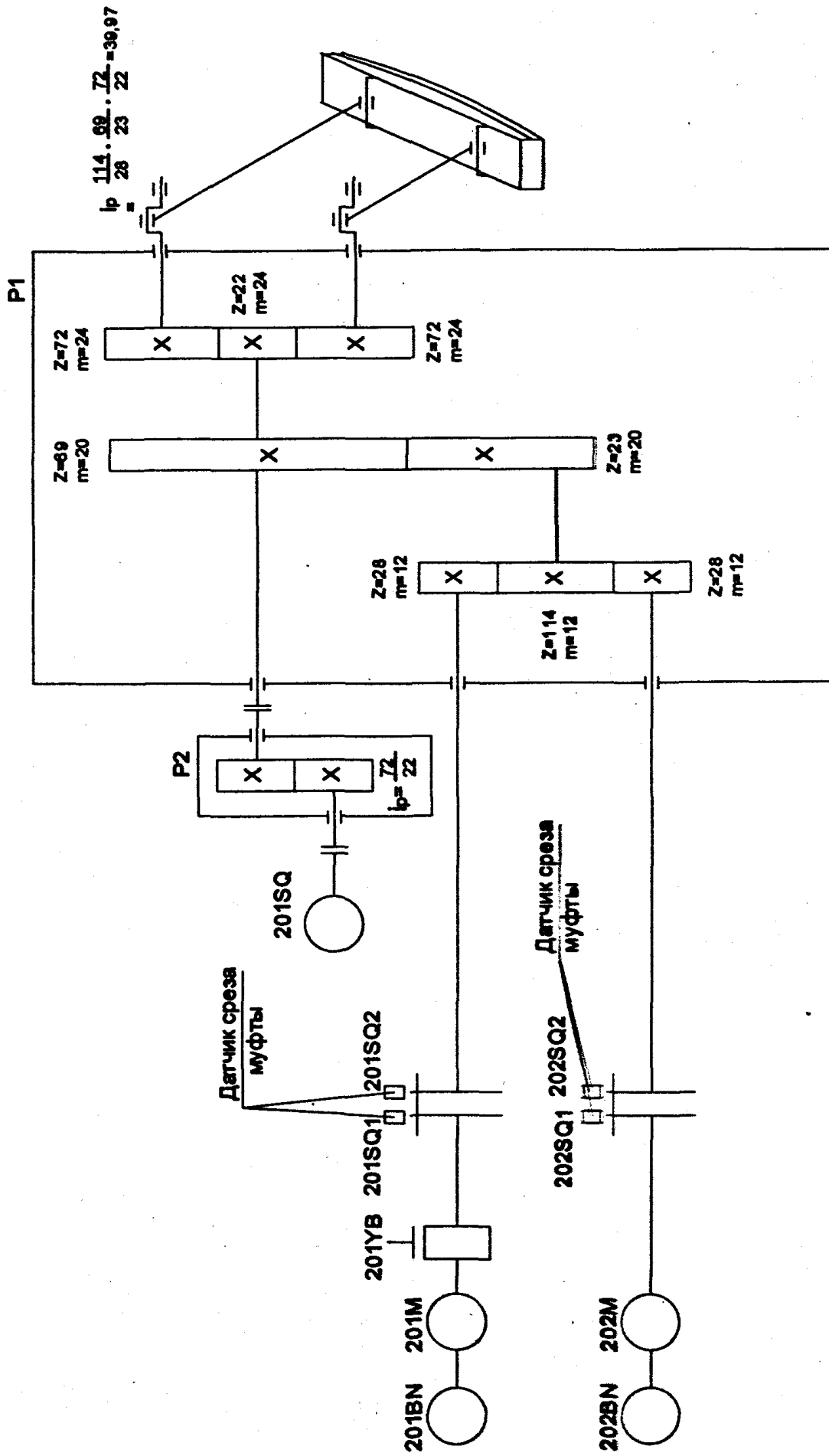


Рисунок 1.2 – Кінематична схема ножців поперечного різання товстолистового стану 3000

1.7 Технічні дані ножиців поперечного різання

Таблиця 1.4 – Технічна характеристика ножиців

Найменування параметра	Розмірність	Величина
Максимальне зусилля різання	кН	15200
Максимальний крутний момент на приводному валу ножиців	кНм	1600
Найбільше число різів	рез/хв	6-8
Зазор між ножами	мм	0,5-3,5
Розкриття ножів максимальне	мм	148
Довжина ножів	мм	2750
Максимальна ширина листа, що транспортується через ножиці без порізу	мм	2650
Характеристика металу, що розріжеться		
Розрахункова марка сталі		Ст3
товщина листа	мм	8-50
довжина листа	мм	12000
ширина листа	мм	1100-2500
механічні властивості розрахункової марки сталі металу, що розріжеться, при температурі різання 200°C:		
межа міцності при розтяганні σ_b	Мпа	600
відносне подовження δ_s	%	32
Момент інерції механізму доведений до вала двигуна	кгм ²	120
Передаточне число редуктора		39,974
Швидкість обертання вхідного вала	с ⁻¹	74,3
Час різання в режимі "старт-стоп":		
при товщині листа 5-35 мм	с	3,6
при товщині листа 36-50 мм	с	4,6
Найбільший статичний момент, доведений до швидкохідного вала редуктора	Нм	51,07×103
Найбільший статичний момент на ексцентриковому валу	тм (кНм)	155 (1519)

2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА НОЖИЦІВ ПОПЕРЧЕНОГО РІЗАННЯ

2.1 Розрахунок статичних навантажень

Технічні дані НПР № 2 наведено в таблиця 1.4.

Методика вибору потужності ЕП ножиців поперечного різання представлена в навчальних посібниках [1, 2].

Для визначення необхідної потужності різання використовуються формула В.В.Носаля тому що вона враховує більше число параметрів і дає більше значення зусилля різання, чому формула А.А. Корольова [1].

Відповідно до методики В.В. Носаля, повне зусилля різання визначається по формулі:

$$F_{\Sigma} = k \cdot 0,6 \cdot \sigma_B \cdot \delta_s \cdot \frac{h^2}{\text{tg}\varphi} \left(1 + \frac{1}{1 + \frac{10\delta_s}{\sigma_B \cdot y^2 \cdot x}} + Z \frac{\text{tg}\varphi}{0,6 \cdot \delta_s} \right), \quad (2.1)$$

де k – коефіцієнт, враховуючий притуплення ножів і міцність металу, що розріжеться й залежної від товщини металу;

δ_s – відносне подовження металу при випробуванні на розрив;

$y = \frac{\Delta}{h}$ – величина відносного бічного зазору між ножами;

Δ – бічний зазор між ножами, застосовується залежно від товщини листа, мм;

$x = \frac{H}{h}$ – коефіцієнт, що враховує дію притиску;

H – відстань між ріжучою кромкою нижнього ножа й центром притиску в мм, що залежить від товщини листа;

Z – коефіцієнт вигину.

З аналізу формули (2.1) і вираження (3.22) з [1] випливає:

– с збільшенням глибини надрізу й межі міцності металу зусилля різання

збільшується;

- зусилля різання пропорційно квадрату товщини листа;
- зусилля різання назад пропорційно тангенсу кута нахилу ножа, зі збільшенням кута зусилля різання зменшується.

Практично ухвалюємо $\varphi \leq 6^0$, тому що в цьому випадку зусилля виштовхування листа з-під ножів не перевищує 11 % від F_{\max} [1, 4].

Для визначення повного зусилля різання ухвалюємо наступні значення коефіцієнтів [1]: $\delta_s = 0,32$ [5]; $y = \frac{\Delta}{h} = \frac{3,2}{50} = 0,064$; $k = 1,25$; $H = 100$ мм;

$$x = \frac{H}{h} = \frac{100}{50} = 2 \text{ [6].}$$

Коефіцієнт вигину Z визначається залежно від допоміжного коефіцієнта λ обумовлений вираженням

$$\lambda = c \cdot \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\sigma_b \cdot h} = 500 \frac{\operatorname{tg}5,0125}{600 \cdot 50} = 0,001, \quad (2.2)$$

де $c = 500$ мм – ширина смуги, що відрізається, [7].

Відповідно до рисунка 8 [6] коефіцієнт вигину $Z = 0,02$, тоді

$$F_{\Sigma} = 1,25 \cdot 0,6 \cdot 600 \cdot 0,32 \cdot \frac{50^2}{\operatorname{tg}5,0125} \times \left(1 + \frac{1}{1 + \frac{10 \cdot 0,32}{600 \cdot 0,064^2 \cdot 2}} + 0,02 \frac{\operatorname{tg}5,0125}{0,6 \cdot 0,32} \right) = 6,628 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Величина обертового моменту на вхідному валу залежно від повороту кривошипа визначається по формулі:

$$M_{\text{дв}} = \frac{m_k \cdot F_{\Sigma}}{1000 \cdot i}, \quad (2.3)$$

де m_k – наведене плече моменту, що зивається.

Для центрального кривошипно-шатунного механізму m_k визначається формулою:

$$m_k = m_k^\alpha + m_k^f, \quad (2.4)$$

де $m_k^\alpha = R \left(\sin \alpha + \frac{\lambda_1}{2} \sin 2\alpha \right)$, мм – ідеальне плече [6];

$m_k^f = 0,06 \left((1 \pm \lambda_1) \cdot r_A + \lambda_1 \cdot r_B + r_0 \right)$, мм – плече тертя;

$R = \frac{H_p + h_{\text{п}}}{2} = \frac{148 + 5}{2} = 76,5$ мм – радіус кривошипа;

$h_{\text{п}} = 5$ мм – величина перекриття ножів;

$\alpha = \arccos \left(\frac{(1 - \varepsilon_{\text{н}})h - h_{\text{п}}}{R} - 1 \right) = \arccos \left(\frac{(1 - 0,6)50 - 5}{76,5} - 1 \right) = 143,5^\circ$ - кут

повороту кривошипа, відповідній до заданої глибини різь, при якій відбувається відрив;

$\lambda_1 = \frac{R}{L} = 0,15$ [6];

$r_A = 65$ см – радіус ексцентрикової головки шатуна;

$r_B = 19$ см – радіус малої головки шатуна;

$r_0 = 30$ см – радіус ексцентрикового вала в опорах;

знак «-», береться при $\alpha = 90 \div 180^\circ$.

На рисунку 3.14 [1] наведений графік зміни наведеного плеча обертаючого моменту залежно від кута повороту кривошипа.

На рисунку 2.1 показана залежність сумарного розрахункового крутного моменту на тихохідному валу редуктора від кута повороту кривошипа ($M_{\text{с.мах.расч}} = 860$ кН·м), а також ця ж залежність наведена в технічній документації ножиців ($M_{\text{с.мах}} = 1350$ кН·м), з наведених залежностей випливає, що НПР-2 має подвійний запас по зусиллю різання.

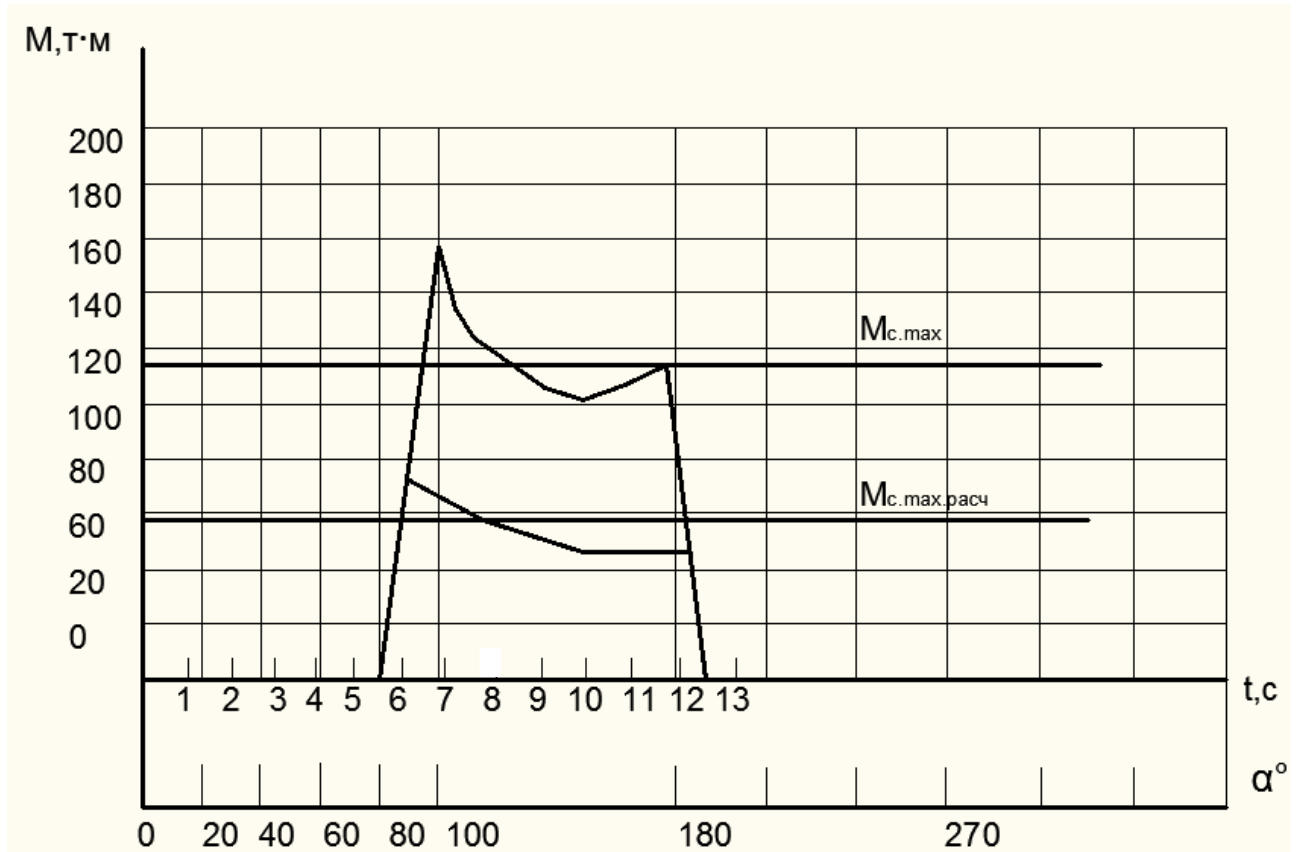


Рисунок 2.1 – Залежність сумарного крутного моменту на тихохідному валу редуктора від кута повороту кривошипа

2.2 Розрахунок потужності та вибір електродвигунів ножиців

Розрахунки потужності проводимо для режиму різання листового прокату максимального перетину відповідно до технічних характеристик ножиців.

Оптимальне передаточне число редуктора визначається вираженням

$$i_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{J_{\text{м}} \varepsilon_{\text{м max}} + M_{\text{с.м}}}{J_{\text{дв}} \varepsilon_{\text{м max}}}}, \quad (2.5)$$

де $M_{\text{с.м}}$ – статичний момент механізму;

$\varepsilon_{\text{м max}}$ – прискорення механізму;

$J_{\text{м}}, J_{\text{дв}}$ – моменти інерції відповідно механізму й двигуна.

Тому що при пуску й гальмуванні привода ножиців момент статичний механізму ножиців дорівнює моменту холостого ходу, то їм можна зневажити, формула (2.5) прийме наступний вид

$$i_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{J_{\text{м}}}{J_{\text{дв}}}}. \quad (2.6)$$

Вважаємо, що встановлений редуктор є оптимальним. Тоді згідно з вираженням (2.6) необхідний момент інерції електродвигуна рівний

$$J_{\text{дв}} = J_{\text{м}} / i_{\text{опт}}^2 = J'_{\text{м}} = 120 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.6)$$

де $J'_{\text{м}}$ – момент інерції механізму наведений до вала двигуна, отриманий з технічних характеристик ножиців табл. 1.4.

Отже, сумарний момент інерції системи, наведений до вала двигуна рівний:

$$J_{\Sigma} = 2J'_{\text{м}} = 2 \cdot 120 = 240 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Відповідно до технічних даних необхідна швидкість електродвигуна:

$$\omega_{\text{дв.треб}} = 74,3 \text{ с}^{-1}$$

Визначаємо перевантажувальну здатність двигуна $\lambda_{\text{м}}$, яка гарантує роботу двигуна без перегріву [1]:

$$\lambda_{\text{м}} = \sqrt[4]{\frac{1}{2\varepsilon^2}} = \sqrt[4]{\frac{1}{2 \cdot 0,185^2}} = 1,95 \quad (2.7)$$

$$\text{де } \varepsilon = \frac{t_{\text{р}}}{t_{\text{ц}}} = \frac{t_{\text{п}} + t_{\text{т}} + t_{\text{рез}}}{t_{\text{ц}}} = \frac{0,5 + 60,5 + 0,39}{7,5} = 0,185;$$

$t_{\text{п}} = t_{\text{т}} = 0,5 \text{ с}$ – час розгону й гальмування рівні відповідно до протоколу перевірки системи управління приводом;

$$t_{\text{ц}} = \frac{60}{n} = \frac{60}{8} = 7,5 \text{ с} \text{ – час циклу роботи механізму;}$$

$n = 6 - 8$ – число різів за хвилину, яке характеризує номінальне завантаження ділянки різання відповідно до технічних характеристик ножиців поперечного різання.

Визначення часу різання

Ексцентриковий вал обертається зі швидкістю $\frac{\omega_{\text{дв}}}{i} = \frac{74,3}{39,974} = 1,86 \text{ с}^{-1}$,

(17,76 про/хв) тобто один оберт (один різ) він виконує за $\frac{60}{17,76} = 3,378 \text{ с}$.

За час різання кривошип повернеться на кут 41,40, а повний оберт кривошип зробить за 3,378 с. Тоді час різання дорівнює:

$$t_p = \frac{4,14 \cdot 3,378}{360} = 0,39 \text{ с}$$

Необхідний динамічний момент двигуна:

$$\begin{aligned} M_{j\text{треб}} &= \lambda_m M_H = J_\Sigma \frac{d\omega}{dt} = 240 \frac{\omega_{\text{хх}}}{t_{\text{п}}} = \\ &= 240 \frac{74,3 \cdot 1,05}{0,5} = 37447,2 \text{ Нм} \end{aligned} \quad (2.8)$$

Визначаємо необхідний максимальний момент двигуна з урахуванням статичного навантаження:

$$M_{\text{max.треб}} = M_{j\text{треб}} + M_{\text{с.хх}} = 37,447 + 1,3 = 38,747 \text{ кНм} \quad (2.9)$$

$$M_{\text{с.хх}} = 0,05 \frac{M_{\text{max}}}{\eta} = 0,05 \frac{21,45}{0,8} = 1,3 \text{ кНм}$$

де M_{max} – максимальний момент статичного опору, обумовлений за вираженням (2.3).

За умовами роботи потрібне використання 2-х двигунів, тому необхідний номінальний момент одного двигуна:

$$M_{1\text{н.треб}} = \frac{M_{\text{max.треб}}}{2\lambda_m} = \frac{38,747}{2 \cdot 1,95} = 9,94 \text{ кНм} \quad (2.10)$$

Необхідна номінальна потужність одного двигуна:

$$P_{1\text{н.треб}} = M_{1\text{н.треб}} \omega_{\text{н.треб}} = 9,94 \cdot 74,3 = 738 \text{ кВт} \quad (2.11)$$

Технічні дані обраного електродвигуна наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні дані електродвигуна П2ПМ-450-135-6ВЗ

Найменування	Величина
1 Номінальна потужність P_n , кВт	560
2 Номінальна напруга U_n , В	600
3 Номінальна частота обертання n_n , про/хв	710/1000
4 Номінальний струм I_n , А	990
5 Момент інерції двигуна $J_{дв}$, кг·м ²	27
6 Число пар полюсів $2p$	4
7 ККД двигуна, η , %	93,4

Перевіримо електродвигун на відповідність технологічному процесу різання, тому що $J_{дв} < J_{дв.треб}$ ($27 < 60$).

Сумарний момент інерції системи рівний:

$$J_{\Sigma} = J'_M + 2J_{дв} = 120 + 2 \cdot 27 = 174 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.11)$$

тоді (2.8) і (2.9)

$$M_{jтреб} = \lambda_M M_n = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} = 174 \frac{74,3 \cdot 1,05}{0,5} = 27,15 \text{ кНм}$$

$$M_{max.треб} = M_{jтреб} + M_{с.хх} = 27,15 + 1,3 = 28,45 \text{ кНм}$$

Отже, номінальний момент одного двигуна рівний (2.10):

$$M_{1н.треб} = \frac{M_{max.треб}}{2\lambda_M} = \frac{28,45}{2 \cdot 1,95} = 7,3 \text{ кНм}$$

$$P_{1н.треб} = M_{1н.треб} \omega_{н.треб} = 7,3 \cdot 74,3 = 542 \text{ кВт}$$

Таким чином, при кількості різів $n=8$ різ/хв завантаження двигуна рівне

$$k_{загр} = \frac{P_{1н.треб}}{P_{1н}} \cdot 100\% = \frac{542}{560} \cdot 100 = 97\%.$$

3 ВИБІР СИЛОВОЇ ТА ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НОЖИЦІВ ПОПЕРЕЧНОГО РІЗАННЯ

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 (ШИП) 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, ШИП-Д або ТП-Д.

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

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

У цей час система Г-Д має обмежене застосування у зв'язку з масовим впровадженням перетворювачів на тиристорах і транзисторах. У металургійній промисловості використовується в якості електропривода великої потужності на 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 1:105);

– високий КПД, тому що втрати потужності на регулюючому елементі

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

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

Разом з тим ШПП властиві й недоліки:

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

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

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

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

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

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

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

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

– викривлення форми напруги живильної мережі в результаті комутаційних процесів у ТП, що несприятливо позначається на роботі інших електроустановок, що харчуються від цієї мережі, а також на роботі самого ТП, оскільки нерідко сіткова напруга використовується в 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 управління. Системи з паралельною, послідовною й змішаною корекцією звичайно являють собою багатоконтурні системи регулювання. Кожна із цих систем має свої переваги й недоліки.

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

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

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

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

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

САР з послідовною корекцією розбивається на ряд контурів, число яких дорівнює числу регульованих параметрів системи. Параметрами регулювання можуть бути: напруга перетворювача, сила струму в головному ланцюзі,

швидкість електродвигуна, кутове або лінійне положення робочого механізму, натяг металу, що прокочується, і ін.

У системі регулювання з послідовною корекцією головним параметром регулювання є той, який визначає основну мету автоматичного регулювання. Інші параметри – допоміжні, вони підлегли 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 підпорядкованого керування (регулювання).

3.2 Вибір комплектного електропривода

Технічних даних комплектних тиристорних електроприводів є номінальні 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.

Номінальна напруга перетворювача визначається номінальною напругою електродвигуна, яка менше номінальної напруги ТП, визначається за ДСТ 25953-83, на 5-15%, що забезпечує необхідний запас на регулювання швидкості й на безпечне інвертування при зниженні напруги живильної мережі, тобто

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

Вибираємо роздільне живлення якірних ланцюгів. Установлюємо на кожний електродвигун по одному перетворювачу.

Для встановлених електродвигунів, по каталогах [8, 9] вибираємо реверсивний комплектний електропривод (КТЕ) SIMOREG DC Master концерну Siemens шафового виконання, технічні дані якого наведено в таблиці 3.1.

У системі регулювання буде передбачений блок розподілу навантажень.

Однолінійна схема силової частини комплектного електроприводу та конструкція шафи SIMOREG DC MASTER приведена на рис. 3.1 - 3.2.

Таблиця 3.1 - Технічні дані перетворювача шафового виконання SIMOREG DC Master 6RM7093-4GS02

Найменування параметра	Позначення і чисельне значення
Номінальна живляча 3х фазна напруга, В	$U_{H1\ TP} = 500$
Номінальний вхідний струм, А	$I_{H1\ TP} = 1326$
Номінальна випрямлена (постійна) напруга, В	$U_{H\ TP} = 600$
Номінальна випрямлена (постійна) струм, А	$I_{H\ TP} = 1600$
Номінальна потужність, кВт	$P_{H\ TP} = 960$
Номінальна напруга збудження, В	$U_{B\ TP} = 373$
Номінальний струм збудження, А	$I_{B\ TP} = 40$
Маса, кг	$m_{TP} = 860$

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

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

With SIMOREG DC MASTER 1600 A and 2000 A, 575 V; 1500 A and 2000 A, 690 V; 1500 A and 1900 A, 830 V

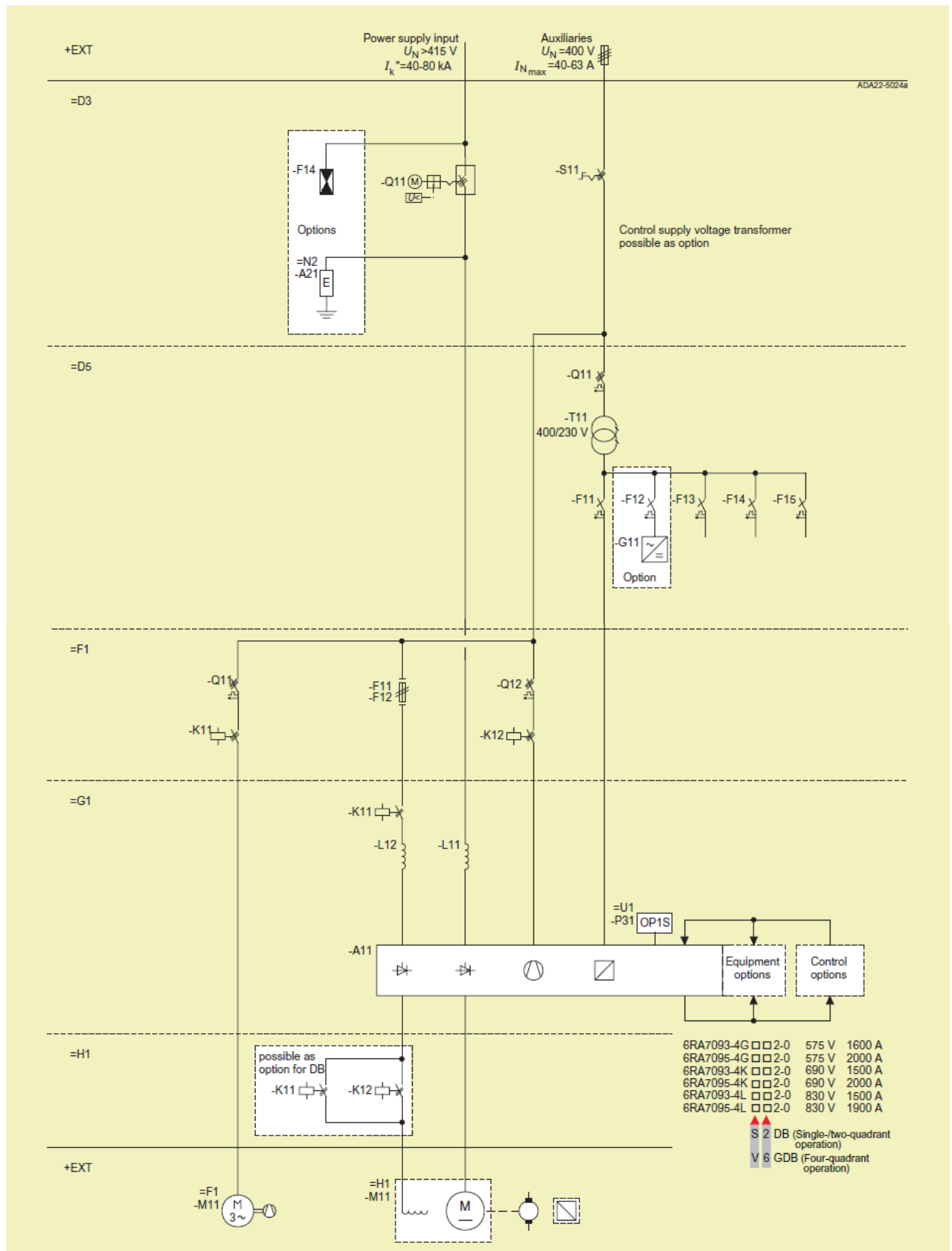


Рисунок 3.1 – Однолінійна схема силовій частини комплектного електроприводу SIMOREG DC MASTER

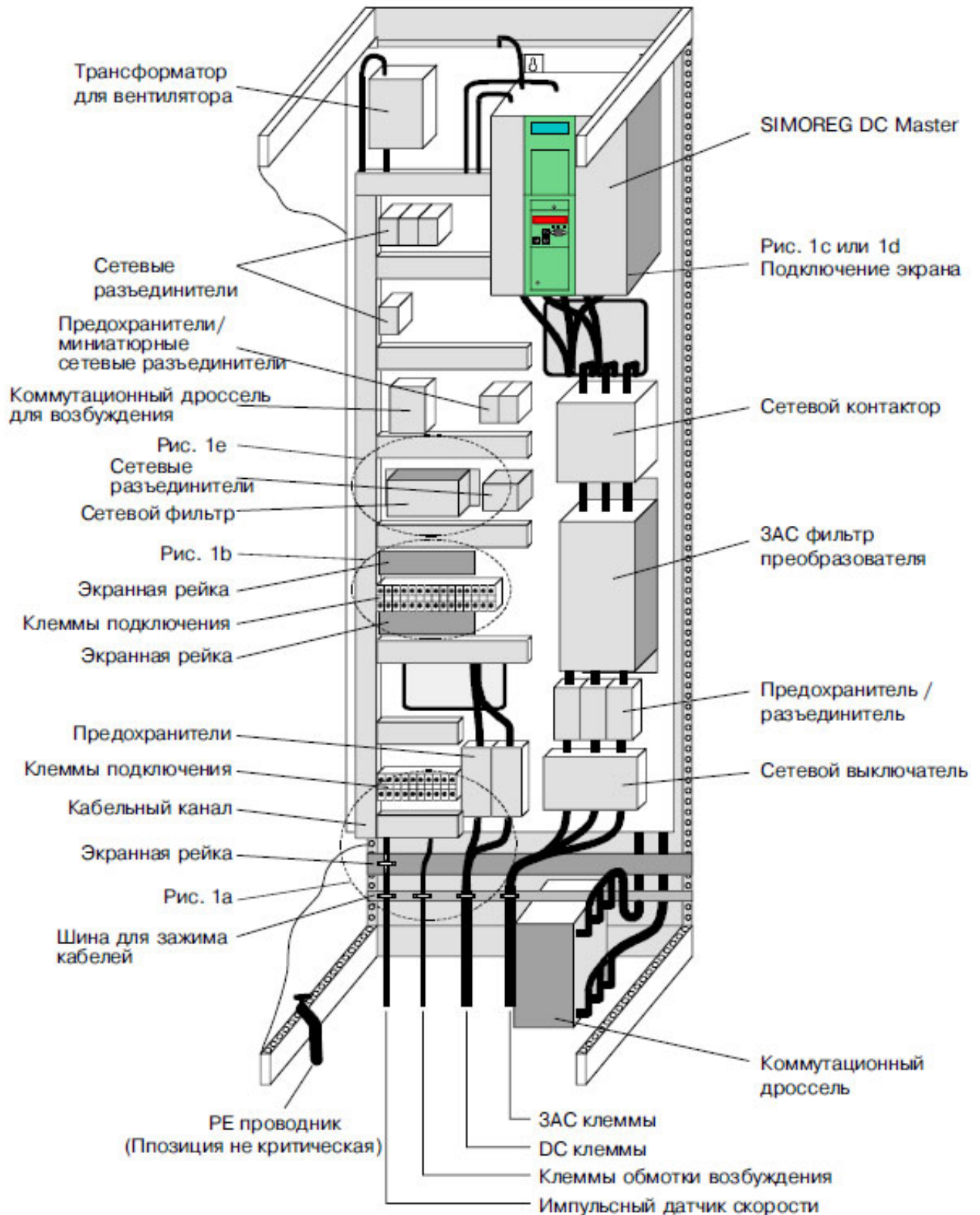


Рисунок 3.2 - Конструкция шкафа комплектного тиристорного электропривода SIMOREG DC MASTER серии 6RM70

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

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

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

3.3 Вибір силового трансформатора і згладжувального дроселя

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

Трансформаторне обладнання вибирається відповідно до параметрів тиристорного перетворювача та електродвигуна.

Для узгодження тиристорного перетворювача з мережею живлення з довідника [10] обираємо силовий трансформатор ТСЗП-1000/10УЗ технічні дані, якого наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні дані силового трансформатора ТСЗП-1000 / 10УЗ виконання 4 для живлення тиристорного перетворювача

Найменування параметра	Позначення і чисельне значення
Первинна номінальна потужність, кВ·А розрахункове значення $S_{1н} = 1,045 \cdot 1,35 \cdot U_{2тр} \cdot I_{днтр} \cdot 10^{-3}$	$P_{тр} = 1007$
Напруга живильної мережі (мережева обмотка), В	$U_{1тр} = 6000$
Номінальна випрямлена напруга (перетворювач), В	$U_{дн} = 660$
Номінальний випрямлений струм (перетворювач), А	$I_{днтр} = 1250$
Вторинна лінійна напруга (вентильна обмотка) $U_{2лн}$, В	$U_{2тр} = 570$
Вторинний лінійний струм (вентильна обмотка) $I_{2лн}$, А розрахункове значення $I_{2тр} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_{днтр}$	$I_{2тр} = 1020$
Потужність втрат холостого ходу, Вт	$\Delta P_{xx} = 2650$
Потужність втрат короткого замикання, Вт	$\Delta P_{кз} = 8000$
Напруга короткого замикання, %	$U_{кз\%} = 6,1$
Струм холостого ходу, %	$I_{xx\%} = 1,5$

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

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

- забезпечення безперервності струму якоря двигуна в певному діапазоні навантажень і частот обертання двигуна;

- обмеження амплітуди змінної складової струму якоря двигуна.

Нижче наведено розрахунок згладжує дроселя [12, приклад 1-24, 1-27].

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

$$E_{d0} = 1,35U_{2 \text{ тр}} = 1,35 \cdot 570 = 769,5 \text{ В} \quad (3.1)$$

де 1,35 - коефіцієнт мостової схеми випрямлення;

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

Кругова частота 1-ої гармоніки випрямленої напруги:

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

де f_c - частота живильної мережі, Гц; m_ϕ - число фаз випрямлення.

Активний, індуктивний та повний опір силового трансформатора:

$$r_{\text{тр тп}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}} U_{2 \text{ тр}}^2}{P_{\text{тр}}^2} = \frac{800 \cdot 570^2}{(1007 \cdot 10^3)^2} = 2,563 \cdot 10^{-3} \quad (3.3)$$

$$z_{\text{тр тп}} = \frac{U_{\text{кз}\% \text{ тп}} U_{2 \text{ тр}}}{100 I_{2 \text{ тр}} \sqrt{3}} = \frac{6,1 \cdot 570}{100 \cdot 1020 \cdot \sqrt{3}} = 19,681 \cdot 10^{-3} \quad (3.4)$$

$$x_{\text{а тр}} = \sqrt{z_{\text{тр}}^2 - r_{\text{тр}}^2} = \sqrt{(19,681 \cdot 10^{-3})^2 - (2,563 \cdot 10^{-3})^2} = 19,513 \cdot 10^{-3} \quad (3.5)$$

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

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

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

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

Індуктивність силового трансформатора, наведена до ланцюга випрямленого струму:

$$L_{\text{тр}} = \frac{x_{\text{а тр}}}{2\pi f_c} = \frac{19,513 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 62,113 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (3.6)$$

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

Індуктивність обмотки якоря двигуна визначається за емпіричною формулою [13, с.56]:

$$L_{\text{дв}} = k \frac{30 \cdot U_{\text{н}}}{\pi \cdot n_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}} \cdot p} = 0,1 \frac{30 \cdot 600}{3,14 \cdot 710 \cdot 990 \cdot 2} = 0,407 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (3.7)$$

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

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

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

p – число пар полюсів електродвигуна;

$n_{\text{н}}$ – номінальна частота обертання електродвигуна.

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

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

Розрахункову індуктивність згладжувального дроселя, необхідну для забезпечення потрібного рівня пульсацій випрямленого струму можна визначити за наступною формулою [13, с. 56]:

$$L_{\text{сд}} = \frac{e_n E_{\text{д0}}}{i_e \omega_1 I_{\text{н дв}}} - (2L_{\text{тр}} + L_{\text{дв}}) = \quad (3.8)$$

$$= \frac{0,24 \cdot 769,5}{0,04 \cdot 1884,956 \cdot 990} - (2 \cdot 62,113 \cdot 10^{-6} + 0,407 \cdot 10^{-3}) = 1,942 \text{ мГн}$$

де e_n - відносна величина ефективного значення пульсацій першої гармоніки випрямленої напруги, може бути підрахована за допомогою рівнянь [12, с. 40], або з графіка [12, с. 47 рис. 1.31]. На цьому графіку зображено залежність e_n для мостової трифазної схеми випрямлення в функції кута регулювання α . Приймаємо граничний кут регулювання $\alpha_{\text{max}} = 90$ ел. град, тоді значення $e_n = 0,24$;

$E_{\text{д0}}$ - значення максимально випрямленої ЕРС, В;

i_e - відносна величина ефективного значення пульсацій першої гармоніки випрямленої струму. $i_e = 0,02 \div 0,05$, нижня межа береться для електроприводу середньої і великої потужності, а верхній - для електроприводу малої потужності [12, с. 46, 59];

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

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

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

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

З довідника [10, 13] вибираємо згладжувальний дросель, технічні дані якого наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні данні згладжувального дроселя типу СРОСЗ-1250МУХЛ4

Найменування параметра	Позначення та чисельне значення
Втрати в міді, Вт	$P_{\text{сдм}} = 2800$
Номінальний постійний струм, А	$I_{\text{н сд}} = 1250$
Номінальна індуктивність, мГн	$L_{\text{н сд}} = 1,28$
Активний опір, мОм	-
Вага, кг	$m_{\text{сд}} = 1400$

3.4 Склад обладнання електроприводу ножиць

Приводними двигунами ножиців є два двигуни постійного струму типу П2ПМ-450-135-6УЗ (560 кВт, 600 В, 990 А, 710/1000 об/хв), двигун 201М для мех. 201, і двигун 202М для мех. 202

Двигуни живляться від індивідуальних комплектних тиристорних електроприводів. Комплектний електропривод складається з:

- трансформатор 6/0,575 кВ, (201Т, 202Т);
- шафа з перетворювачем Simoreg DC Master 6RA7093-4GV62-Z (концерн Siemens) із блоком гальма FXM5 (ф. CONTROL TECHNIQUES) і комутаційною апаратурою (ШТ1 для мех. 201, ШТ2 для мех. 202);
- реактор (201L1.202L1).

Для резервування перетворювачів передбачено один загальний резервний комплектний тиристорний електропривод (3TR, ШТ3-Р, 3L1R) і шафа перемикачів на резерв (ШУ1).

Фіксація привода ножиців при стоянці передбачена одним гальмом типу ТКП установленим на валу двигуна 201М.

Контроль над станом привода забезпечується наступними датчиками:

- кінцеві вимикачі 201SQ1, 201SQ2, 202SQ1, 202SQ2 - для контролю зрізу муфт хутро 201 і 202;
- шляховий вимикач 201SQ – здійснює контроль положення ножиців;

– імпульсні датчики швидкості приводних двигунів 201BN і 202BN – для виміру швидкості.

3.5 Опис системи керування електроприводом ножиць

Режим роботи привода повторно-короткочасний, реверсивний.

Перетворювачі встановлені у власних шафах: мех.201 – ШТ1, мех.202 - ШТ2. Резервний перетворювач 1UZR – установлений у шафі ШТ3-Р. Перемикання на резервний перетворювач проводиться в шафі ШУ1. Лінійні контактори збираються із власних шаф. Кнопка 201SB1, 2Q2SB1- включення, 2Q1SB2, 202SB2 – відключення. Якщо працює резервний перетворювач, то його лінійний контактор збирається кнопками управління 1SB1R, 1SB2R. В аварійній ситуації при натисканні кнопки 1SB (шафа ШТ1), 2SB (шафа ШТ2), 3SBR (шафа ШТ3-Р) – перетворювачі 1201UZ, 202UZ і 1UZR – переходять у режим "безпечного зупину" з наступним відключенням лінійних контакторів. Для повторного включення лінійних контакторів необхідно спочатку зробити "скидання аварії" – натисканням кнопок "відключення лінійного контактора" власних перетворювачів, а лише потім збирати схеми кнопкою "включення лінійного контактора".

У схемі передбачені наступні блокування, які забороняють подачу команди на "Різ":

- при аварійно низькому тиску в системі рідкого змащення ножиців;
- при несправності в насосно-акумуляторній станції;
- при несправності в системі густого змащення ножиців;
- при відсутності вентиляції двигуна;
- при хитному роликовому столі;
- при відсутності тиску в натискному гідроциліндрі;
- при опущених притисках;
- при відключеному транспортері обрізу;
- при включеному механізмі установки зазору НПР;
- при включеному механізмі зміни ножів НПР;
- при наявності завдання на рух рольгангам перед і за ножицями.

Управління приводом ножиців здійснюється з поста управління 2 ПУ7.

Привод ножиців працює в трьох режимах: "автоматичний", "ручний" і "зміна ножів", вибирається ключем 201SA.

Автоматичний режим при спільній роботі із системою СБО, коли команда на "Різ" буде виконана тільки після відпрацювання завдання рольгангами.

У ручному режимі роботи можна робити "Різ", для цього оператор залежно від товщини листа вибирає рівень швидкості (кнопки з лампочками 201SB5/HLG5, 201SB6/HLG6), а потім натискає кнопку (201SB7) "Різ". У цьому ж режимі можна на повзучій швидкості (кнопки 201SB3/HLG3, 201SB4/HLG4) установити ножиці у вихідне положення, контроль положення ножиців здійснюється оператором (лампочка 201HLG12), а також на повзучій швидкості встановити ножиці в положення "зміна ножів", з контролем по світловому сигналу (лампочка 201HLG13).

Режим "зміна ножів" призначений для напівавтоматичної установки ножиців у положення демонтажу ножів. Оператор кнопками (201SB5/HLG5, 201SB6/HLG6) вибирає швидкість ножиців і натискає кнопку (201SB7) "Різ". Зупинка ножиців у положення зміни ножів проводиться по команді від вимикача шляхового 201SQ.

Управління приводами здійснюється через систему АСУ ТП району ножиців поперечного різання №2. Зв'язок перетворювачів з контролером по спеціальній мережі PROFIBUS.

У перетворювачі система регулювання приводів реалізована на контролері, виконана двоконтурною: внутрішній контур – струму, зовнішній – швидкості. Тому що привод ножиців поперечного різання двохдвигунний (робота на загальний вал) – у системі регулювання виконаний вузол розподілу навантаження.

Усі відомості про неполадки або спрацюванні захисту привода й перетворювача фіксуються в перетворювачі й відображаються на простій робочій панелі управління на перетворювачі (PMU), а також на робочій переносній панелі управління (OP1S), якщо вона підключена до перетворювача.

Повідомлення про несправність (попередження) перестає відображатися,

як тільки причина попередження усувається. Повідомлення про аварію перетворювача (збої) перестає відображатися після усунення причини й натисканні кнопки скидання на панелі управління.

Повідомлення про аварійні ситуації механізмів району ножиців виводиться на шафу сигналізації ШС, установленій в приміщенні чергового персоналу, у вигляді світлової й звукової сигналізації.

Принципова й функціональна схеми ЕП ножиців поперечного різання наведені на рис. 3.2-3.3.

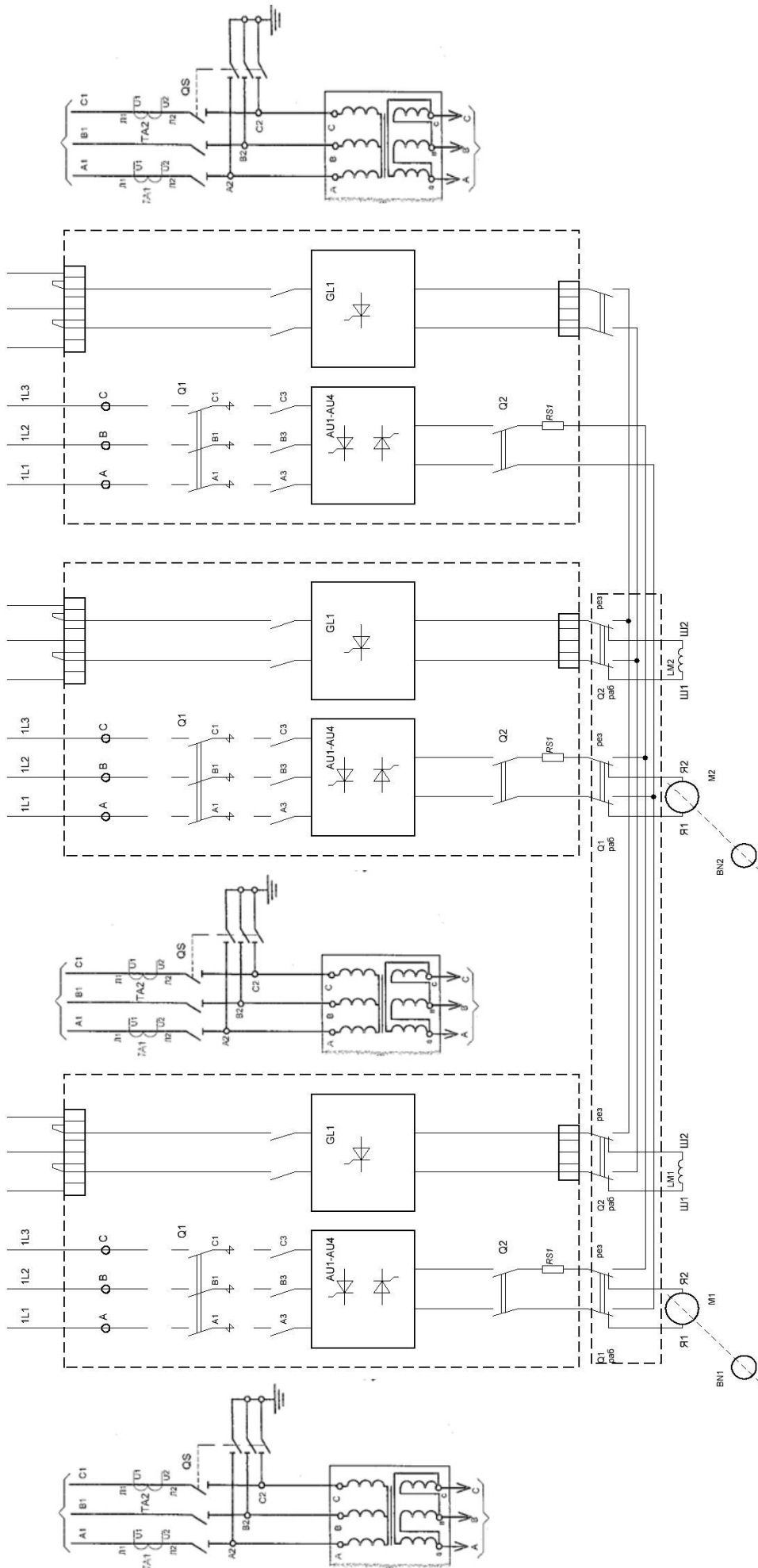


Рисунок 3.2 – Принципова схема ЕП ножиців поперечного різання №2 товстолистового стану 3000

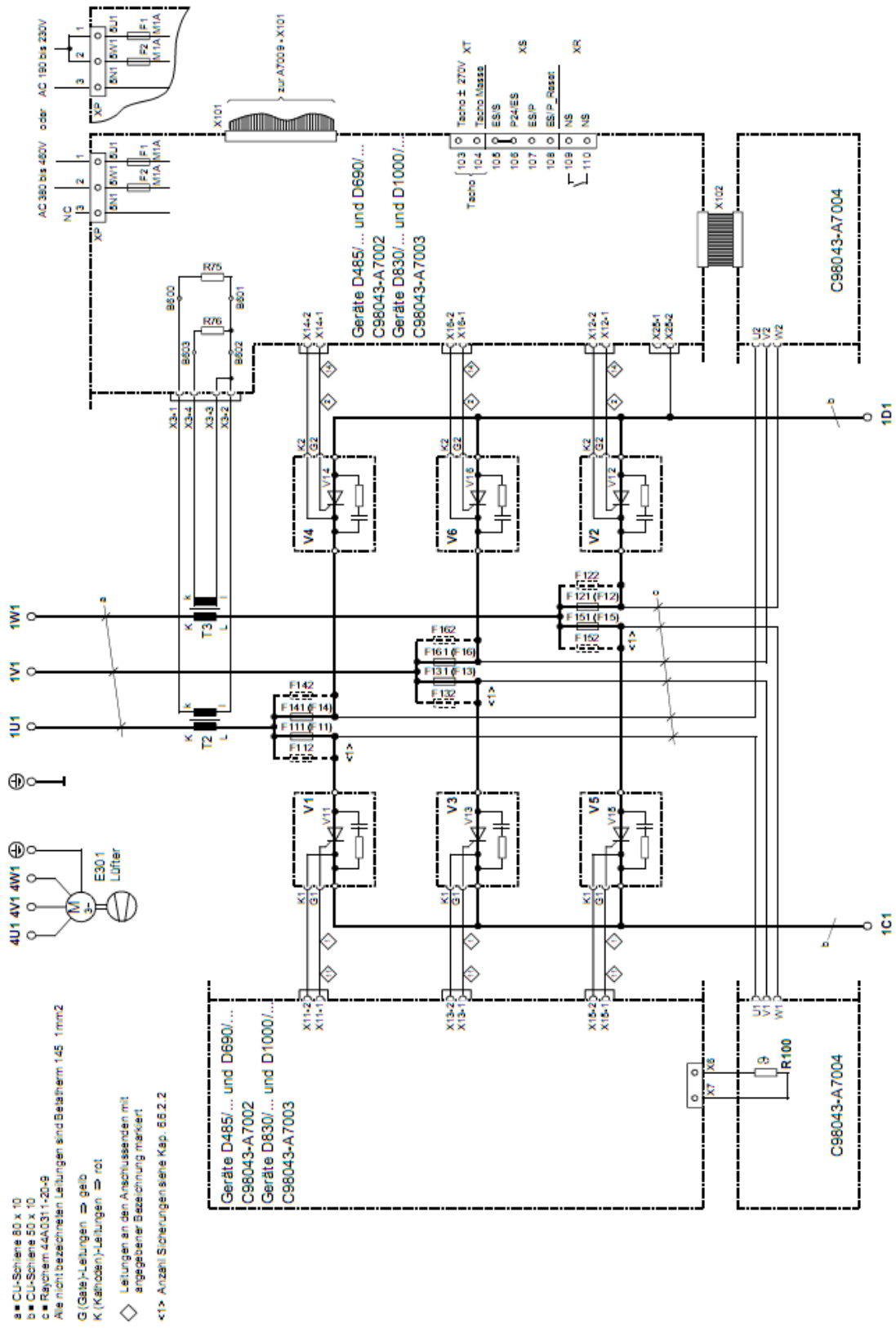


Рисунок 3.3 – Функціональна схема ЕП ножиців поперечного різання товстолистового стану 3000

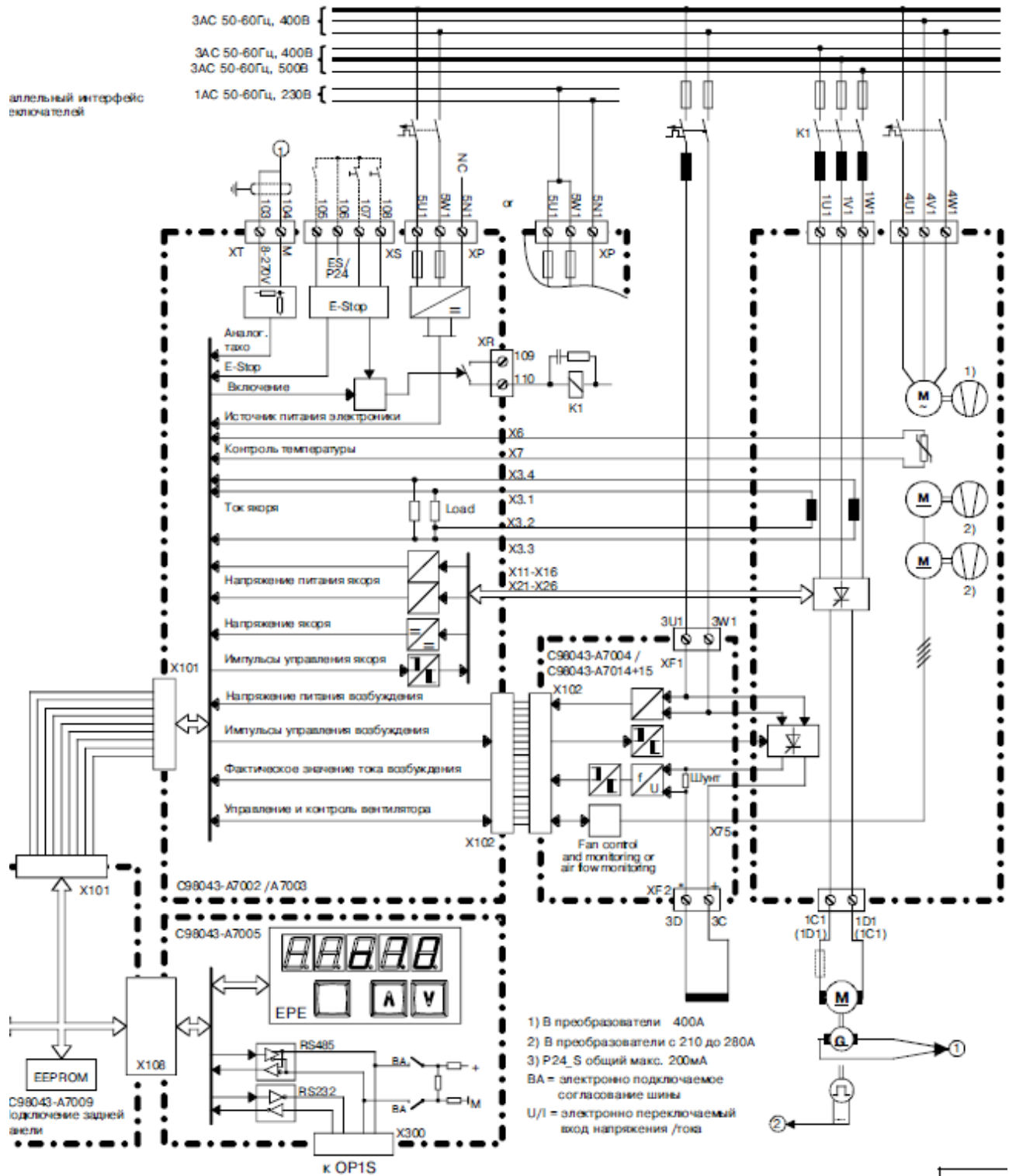


Рисунок 3.4 - Функціональна схема підключення (силова схема) тиристорного електроприводу SIMOREG DC MASTER серії 6RM70

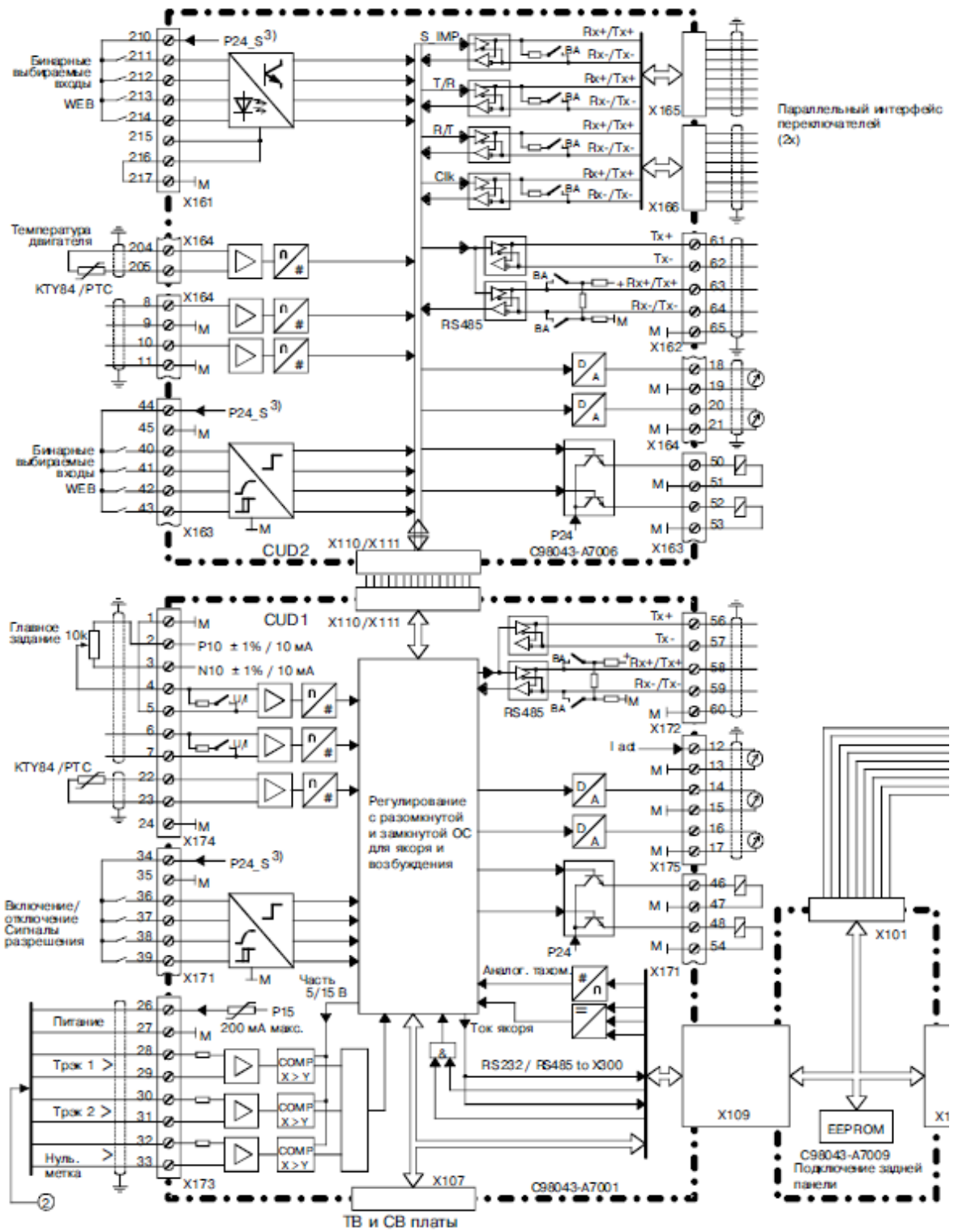


Рисунок 3.5 - Функціональна схема підключення (схема керування) тиристорного електроприводу SIMOREG DC MASTER серії 6RM70

4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НОЖИЦІВ ПОПЕРЕЧНОГО РІЗАННЯ

4.1 Математичний опис об'єкта керування

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

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

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

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

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

САР буде використана безперервна модель тиристорного перетворювача.

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

струму збудження 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 безперечною. 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.

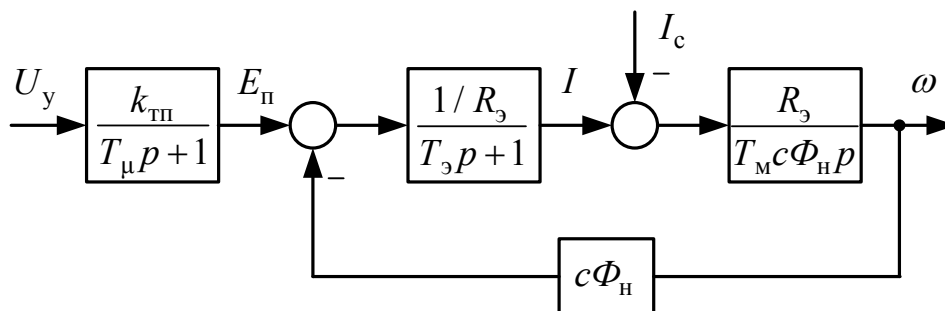


Рисунок 4.1 – Структурна схема силової частини електропривода

4.2 Розрахунок основних параметрів елементів системи електроприводу

При синусоїдальній опорній напрузі системи імпульсно-фазового керування (СІФУ) перетворювача характеристика вхід-вихід ТП лінійна і коефіцієнт передачі ТП по напрузі розраховується за формулою [12]:

$$k_{\text{ТП}} = \frac{E_{\text{d0}}}{U_{\text{y max}}} = \frac{769,5}{10} = 76,95 \quad (4.1)$$

де E_{d0} – значення максимально випрямленою ЕРС, В.

$U_{y \max} = 10 \text{ В}$ – максимальна керуюча напруга перетворювача.

Сумарний опір якоря обчислимо за наближеною формулою, заснованої на тому що приблизно половина втрат в електродвигуні виділяється у вигляді тепла на активному опорі якоря:

$$\begin{aligned} r_{\text{я.дв}} &= \frac{\Delta P_{\text{H}}}{2I_{\text{H}}^2} = \frac{U_{\text{H}}I_{\text{H}} - P_{\text{H}}}{2I_{\text{H}}^2} = \frac{1 - \eta}{2} \cdot \frac{U_{\text{H}}}{I_{\text{H}}} = \\ &= \frac{1 - 0,934}{2} \cdot \frac{600}{990} = 0,02 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (4.2)$$

де ΔP_{H} – повні втрати при номінальному навантаженні, які дорівнюють різниці потужностей: споживаної з мережі та номінальній на валу двигуна;

$U_{\text{H}}, I_{\text{H}}$ – номінальні напруга та струм електродвигуна (див. табл. 2.1);

$\eta = \frac{P_{\text{H}}}{U_{\text{H}}I_{\text{H}}}$ – КПД електродвигуна (див. табл. 2.1);

Активний опір трансформатора (комутаційний опір) викликаний реактивністю розсіювання:

$$r_{\text{к}} = \frac{m_{\text{ф}} \cdot x_{\text{а}}}{2\pi} = \frac{6 \cdot 19,513 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 18,634 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (4.3)$$

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

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

Еквівалентний активний опір якорного ланцюга системи ТП-Д:

$$\begin{aligned} R_{\text{э}} &= r_{\text{я.дв}} + 2r_{\text{тр}} + r_{\text{к}} + r_{\text{ш}} = \\ &= 0,02 + 2 \cdot 2,563 \cdot 10^{-3} + 18,634 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} = 0,048 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (4.4)$$

где $r_{\text{я.дв}}$ – сумарний опір якоря електродвигуна, Ом;

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

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

$r_{\text{ш}} = 0,1r_{\text{я.дв}} = 0,1 \cdot 0,02 = 2 \text{ мОм}$ – активний опір кабелю, що з'єднують ТП

з якорем двигуна (загальній ланцюг випрямленого струму).

Еквівалентна індуктивність якірного ланцюга системи ТП-Д:

$$\begin{aligned} L_{\Sigma} &= L_{\text{дв}} + 2L_{\text{тр}} + L_{\text{сд}} = \\ &= 2,5 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 5,732 \cdot 10^{-5} + 1,28 \cdot 10^{-3} = 0,0018 \text{ Гн} \end{aligned} \quad (4.5)$$

де $L_{\text{дв}}$ – індуктивність обмотки якоря двигуна, Гн;

$L_{\text{тр}}$ – індуктивність силового трансформатора, Гн;

$L_{\text{сд}}$ – індуктивність згладжувального дроселя, Гн.

Сумарний наведений момент інерції електропривода:

$$J_{\Sigma} = J'_{\text{м}} + 2J_{\text{дв}} = 120 + 2 \cdot 27 = 174 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (4.6)$$

де $J_{\text{дв}} = 27 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції електродвигуна.

Коефіцієнт двигуна (постійна двигуна):

$$c\Phi_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}}r_{\text{я.дв}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{600 - 990 \cdot 0,02}{74,3} = 7,8 \text{ Вс} \quad (4.7)$$

де $\omega_{\text{н}} = 74,3 \text{ с}^{-1}$ – номінальна швидкість електродвигуна.

Електромагнітна постійна часу системи ТП-Д:

$$T_{\Sigma} = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{0,0018}{0,048} = 0,038 \text{ с} \quad (4.8)$$

Електромеханічна постійна часу електропривода:

$$T_{\text{м}} = \frac{J'_{\Sigma} R_{\Sigma}}{c\Phi_{\text{н}}^2} = \frac{174 \cdot 0,048}{7,8^2} = 0,136 \text{ с} \quad (4.9)$$

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

Співвідношення електромеханічної постійної часу до електромагнітної постійна часу $T_{\text{м}} / T_{\text{е}} = 0,136 / 0,038 = 3,6$.

4.3 Синтез регулятора струму

При розгляді контуру регулювання струму враховуємо, що електромеханічна постійна часу T_M набагато більша електромагнітної постійної часу T_3 . Також будемо зневажати зворотним зв'язком по ЕРС двигуна, розглядаючи його її як збурюючим впливом у контурі струму [14,15].

Структурна схема контуру струму представлено на рисунку 4.2.

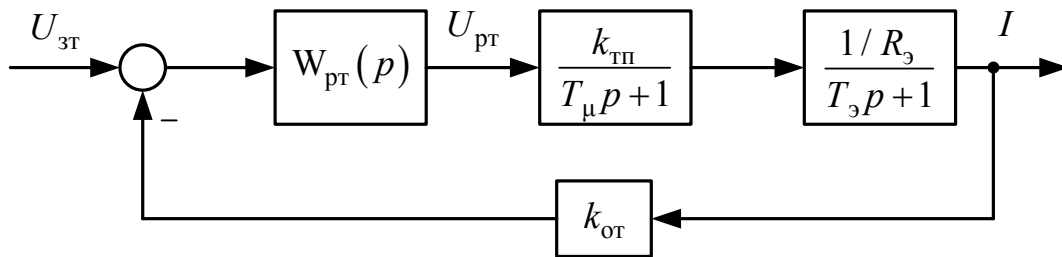


Рисунок 4.2 – Структурна схема контуру струму

На підставі структурної схеми, наведеної на рис. 4.2, та методики, викладеної в [7], можна отримати формули для визначення параметрів ПІ-РТ і передавальну функцію (ПФ) регулятора струму, налаштованого на модульний оптимум (МО):

$$W_{рТ}^M(p) = \frac{R_3(T_3p + 1)}{k_{тП}k_{от}2T_μp} = \frac{R_3(T_3p + 1)}{k_{тП}k_{от}T_{от}p} = k_{рТП} + \frac{k_{рТИ}}{p} = k_{рТП} + \frac{1}{T_{рТ}p} \quad (4.10)$$

Пропорційна, інтегральна частина та постійна часу ПІ-регулятора струму:

$$k_{рТП} = \frac{R_3T_3}{k_{тП}k_{от}T_{от}} = \frac{0,048 \cdot 0,038}{76,95 \cdot 0,004 \cdot 0,01} = 0,583 \quad (4.11)$$

$$k_{рТИ} = \frac{1}{T_{рТ}} = \frac{R_3}{k_{тП}k_{от}T_{от}} = \frac{0,048}{76,95 \cdot 0,004 \cdot 0,01} = 15,361 \text{ 1/c} \quad (4.12)$$

$$T_{рТ} = \frac{k_{тП}k_{от}T_{от}}{R_3} = \frac{76,95 \cdot 0,004 \cdot 0,01}{0,048} = 0,065 \text{ c} \quad (4.13)$$

де T_3 – електромагнітна постійна часу системи ТП-Д;

$k_{тП}$ – коефіцієнт передачі ТП по напрузі;

$$k_{от} = \frac{U_{зг.маx}}{I_{маx}} = \frac{10}{2475} = 0,004 \quad \text{В/А} \quad - \quad \text{коефіцієнт передачі ланцюга}$$

зворотнього зв'язка по струму;

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

$I_{маx} = 2,5I_{н} = 2,5 \cdot 990 = 2475 \text{ А}$ – максимально допустимий струм якоря двигуна (струм упору);

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

Функціональна схема контуру регулювання струму якоря, реалізована в перетворювачі програмно на базі відповідних блоків, представлено на малюнку 4.3. Розраховані величини пропорційної й інтегральної частин регулятора струму при налагодженні електропривода необхідно встановити в параметрах P155.F і P156.F відповідно.

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

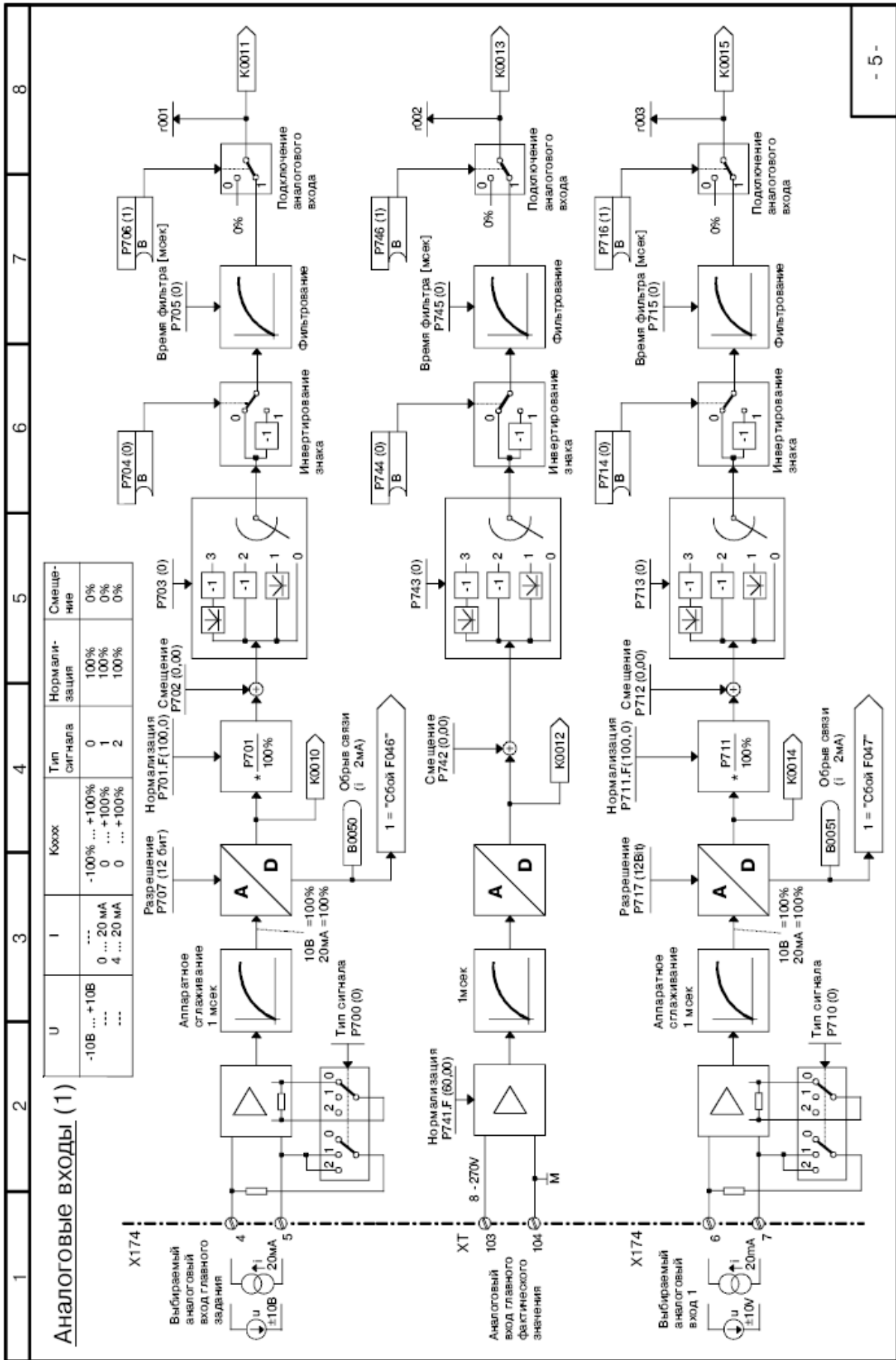


Рисунок 4.4 – Канал формирования сигнала возвратного зв'язка по струму в перетворювачі SIMOREG DC Master

4.4 Синтез регулятора швидкості

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

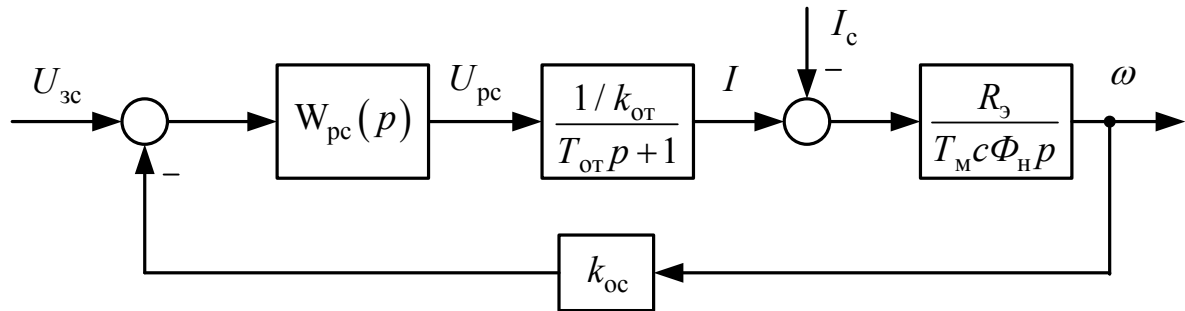


Рисунок 4.5 - Структурна схема контуру швидкості

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

$$W_{pc}^c(p) = \frac{T_m c \Phi_n k_{от}}{R_э k_{oc} 2T_{от}} = \frac{T_m c \Phi_n k_{от}}{R_э k_{oc} T_{oc}} = k_{pc\Pi} \quad (4.14)$$

Пропорційна частина П-регулятора швидкості:

$$k_{pc\Pi} = \frac{T_m c \Phi_n k_{от}}{R_э k_{oc} T_{oc}} = \frac{0,136 \cdot 7,8 \cdot 0,004}{0,047 \cdot 0,134 \cdot 0,02} = 33,492 \quad (4.15)$$

де T_m – електромеханічна постійна часу системи ТП-Д;

$$k_{oc} = \frac{U_{зс.max}}{\omega_{max}} = \frac{10}{74,3} = 0,134 \text{ Вс} \text{ – коефіцієнт передачі ланцюга зворотного}$$

зв'язка по швидкості;

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

$\omega_{\max} = \omega_H = 74,3 \text{ 1/c}$ – максимальна швидкість електродвигуна;

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

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

У якості датчика швидкості вибираємо імпульсний датчик RVI 58N – 1024 імпульсу/оберт.

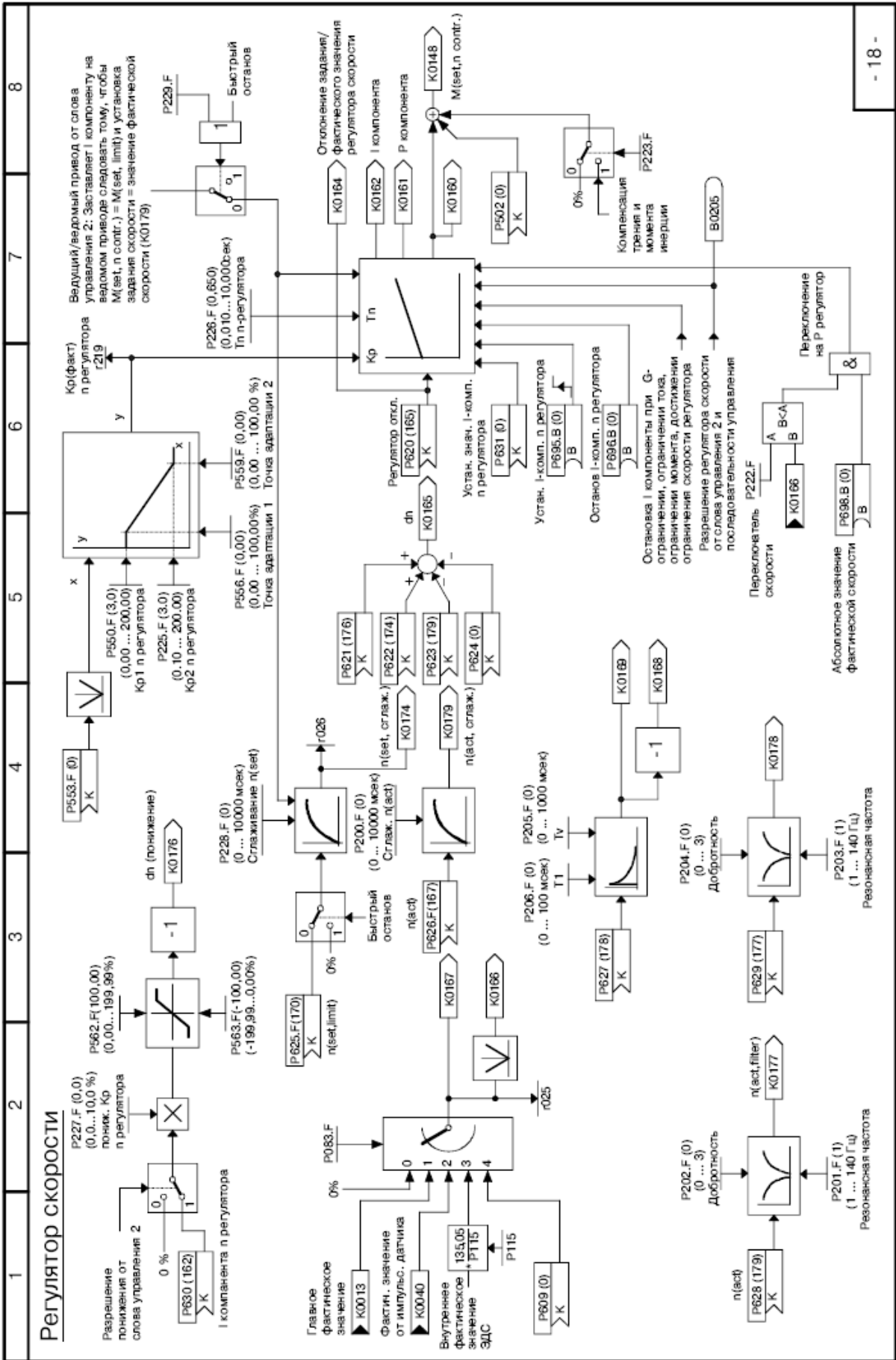


Рисунок 4.6 – Функціональна схема регулятора швидкості в перетворювачі SIMOREG DC Master

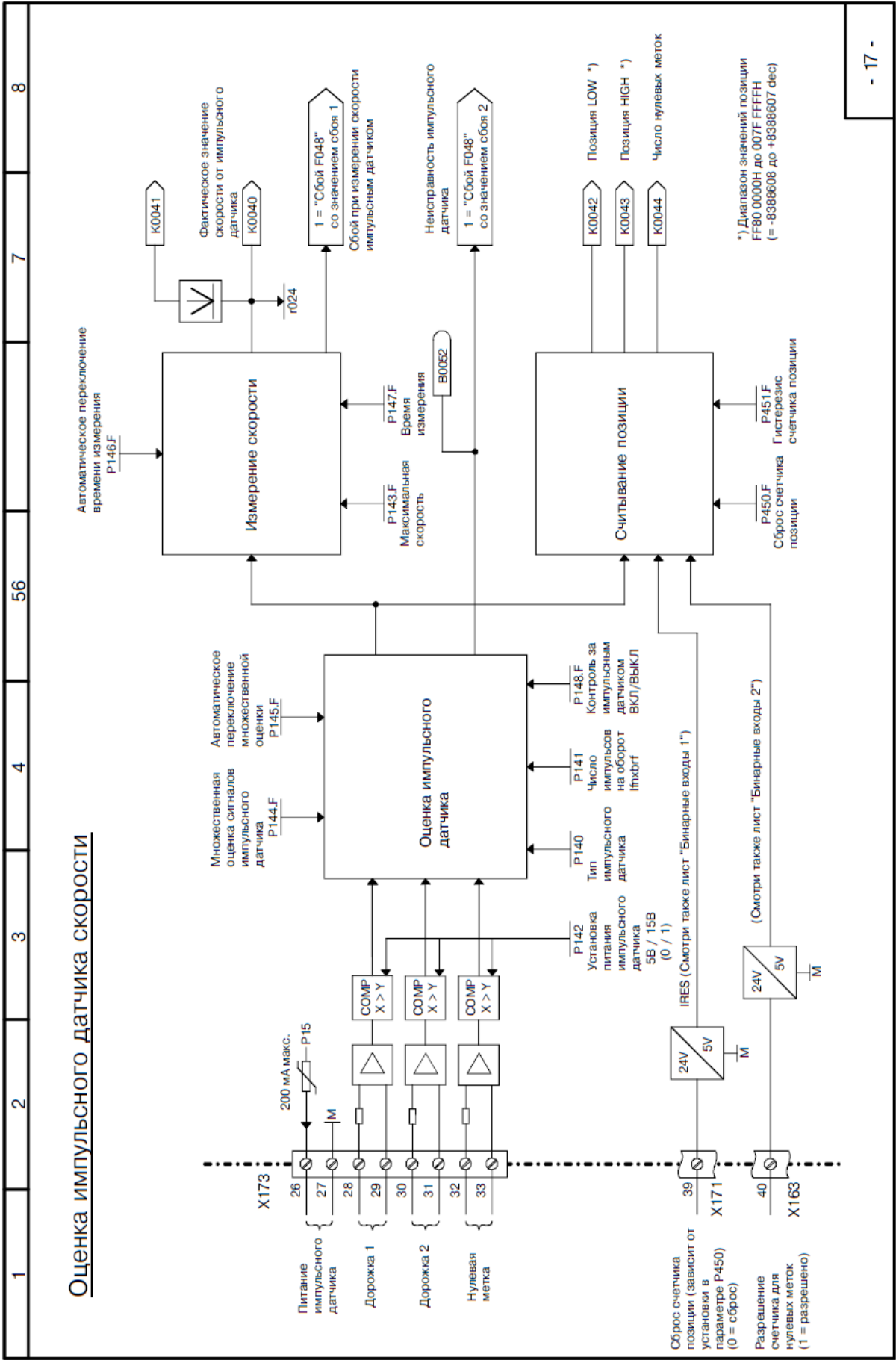


Рисунок 4.7 – Функциональна схема регулятора швидкості в перетворювачі SIMOREG DC Master

4.5 Розрахунки задатчика інтенсивності швидкості

Для розгону й гальмування двигуна з динамічним струмом, меншим уставки токообмеження ($I_{\max} = 2,5I_H$) 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 наведено на рисунку 4.8.

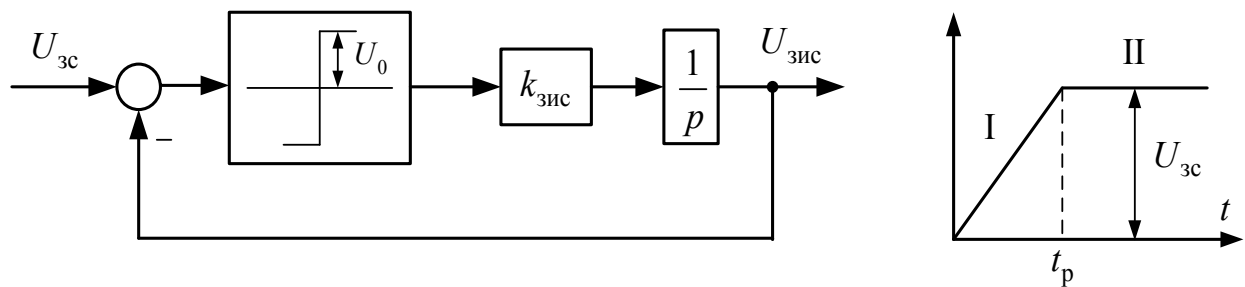


Рисунок 4.8 – Структурна схема задатчика інтенсивності швидкості

Вихідна напруги задатчика інтенсивності можна описати наступними рівняннями:

I ділянка:

$$U_{\text{зис}}^{\text{I}} = U_0 k_{\text{зис}} t_p = \frac{R_3}{T_M c \Phi_H} \frac{I_{\text{дин}} U_{\text{зс}}}{\omega_{\text{з.уст}}} t_p \quad (4.16)$$

II ділянка:

$$U_{\text{зис}}^{\text{II}} = U_{\text{зс}} \quad (4.17)$$

де $I_{\text{дин}} = 1,5I_H = 1,5 \cdot 990 = 1485$ А - заданий динамічний струм;

$\omega_{\text{з.уст}} = 74,31$ 1/с – усталена швидкість, яка відповідає $U_{\text{зс}}$;

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

$U_0 = 10$ В - полка релейного елемента.

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

$$t_p = \frac{T_m c \Phi_H}{R_\gamma} \cdot \frac{\omega_{з.уст}}{I_{дин}} = \frac{0,136 \cdot 7,8 \cdot 74,3}{0,048 \cdot 1485} = 1,12 \text{ с} \quad (4.18)$$

Коефіцієнт передачі задатчика інтенсивності:

$$k_{зис} = \frac{U_{зс}}{t_p} = \frac{10}{1,12} = 8,96 \text{ В/с} \quad (4.19)$$

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

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

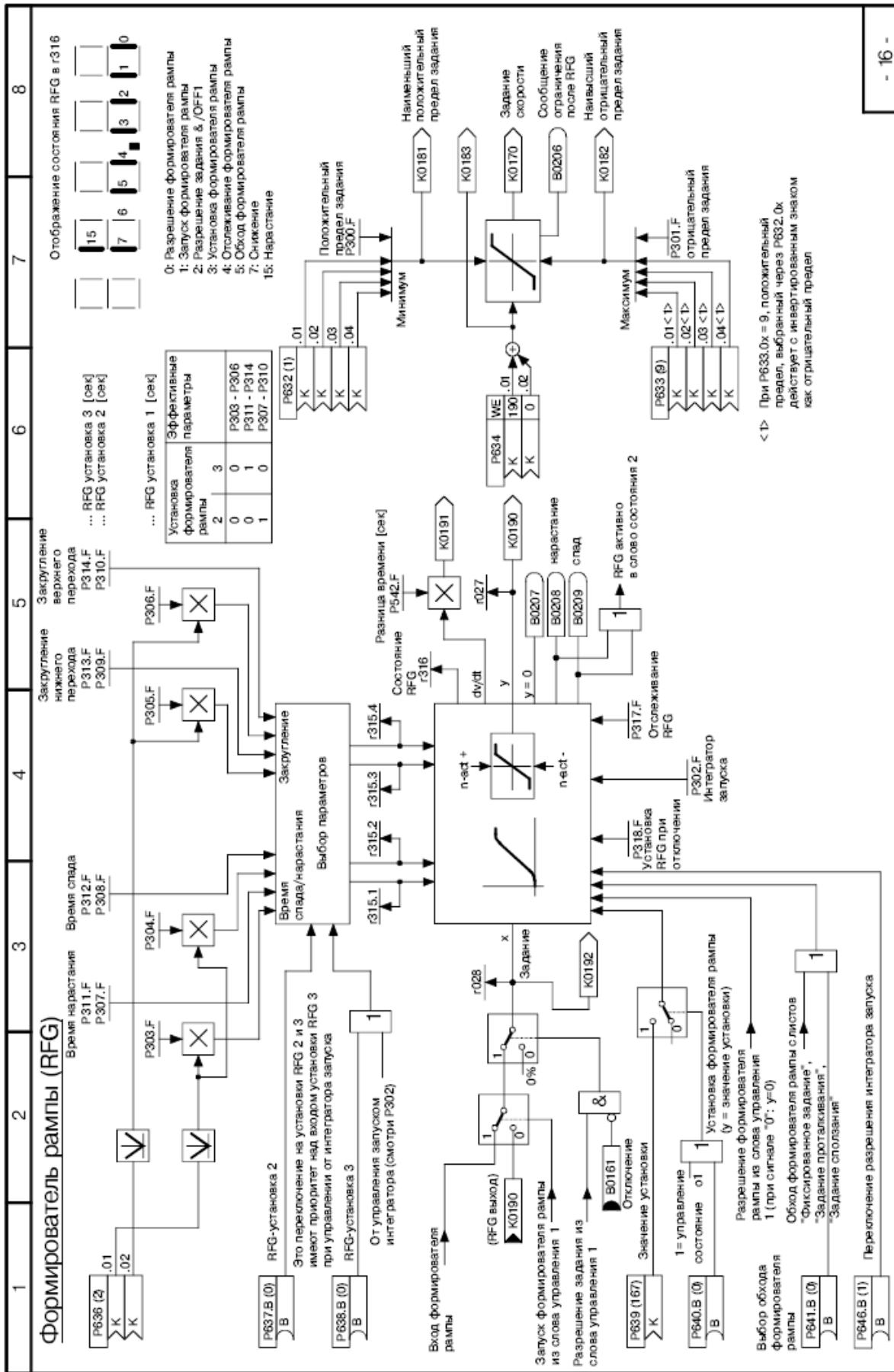


Рисунок 4.8 – Функціональна схема задатчика інтенсивності в перетворювачі SIMOREG DC Master

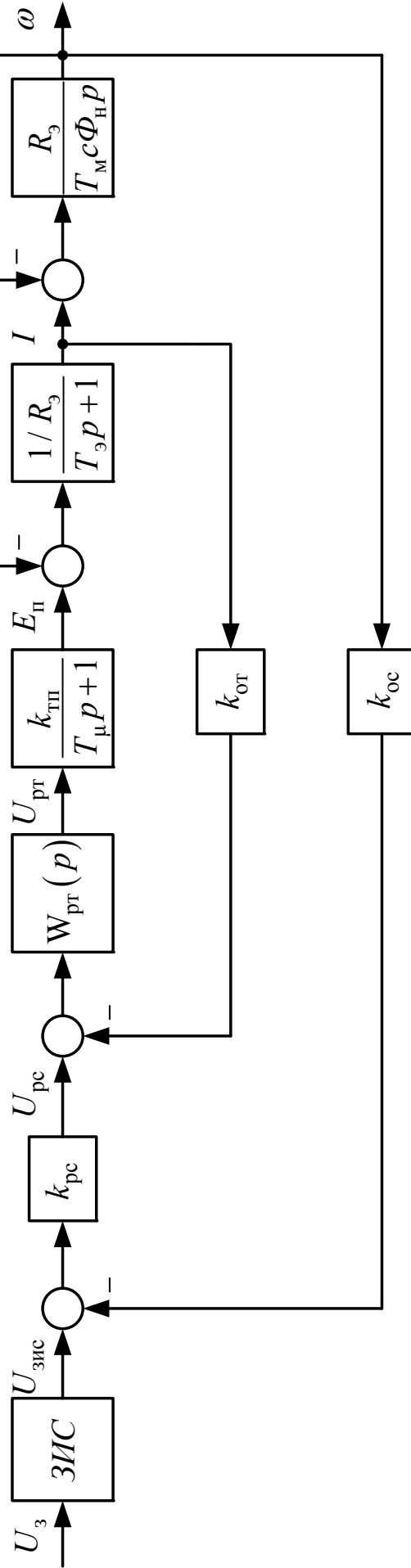


Рисунок 4.9 – Структурна схема швидкісної системи підпорядкованого керування

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

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

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

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 керування, так і при їхній варіації наведено на рис. 5.5 - 5.16.

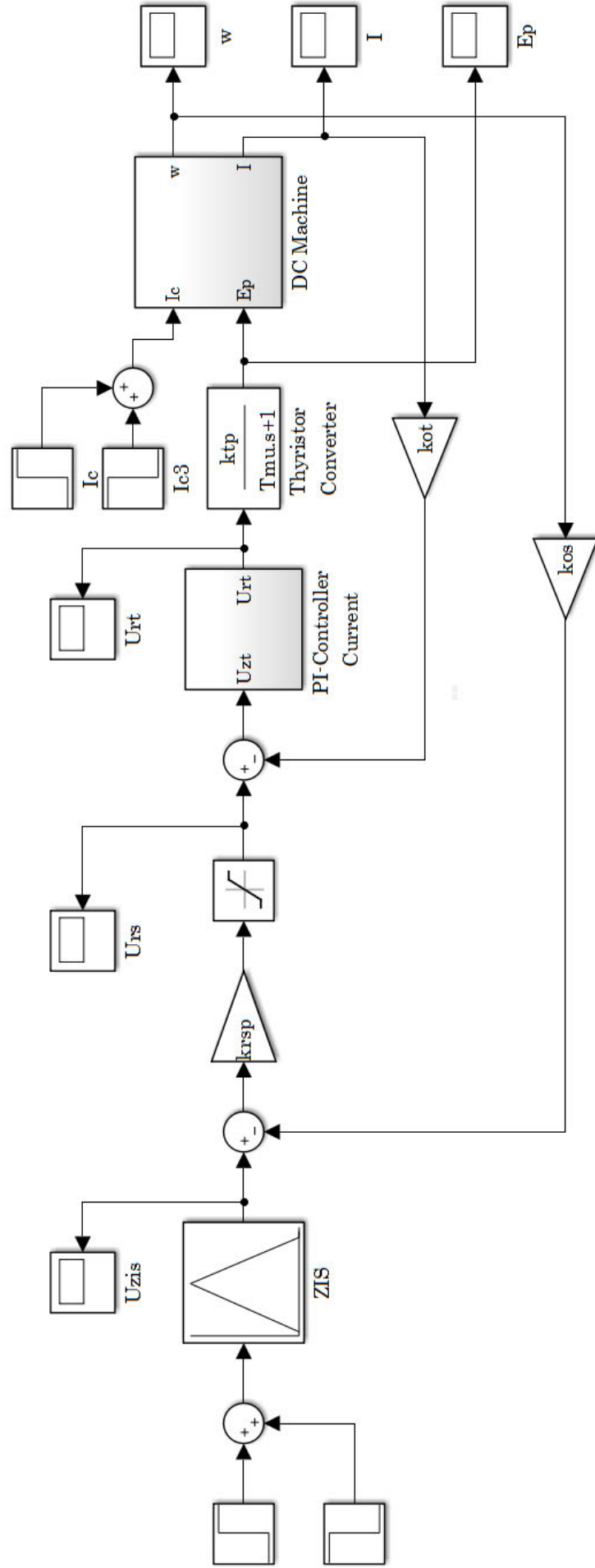


Рисунок 5.1 – Simulink-модель швидкісної системи підрядкованого керування

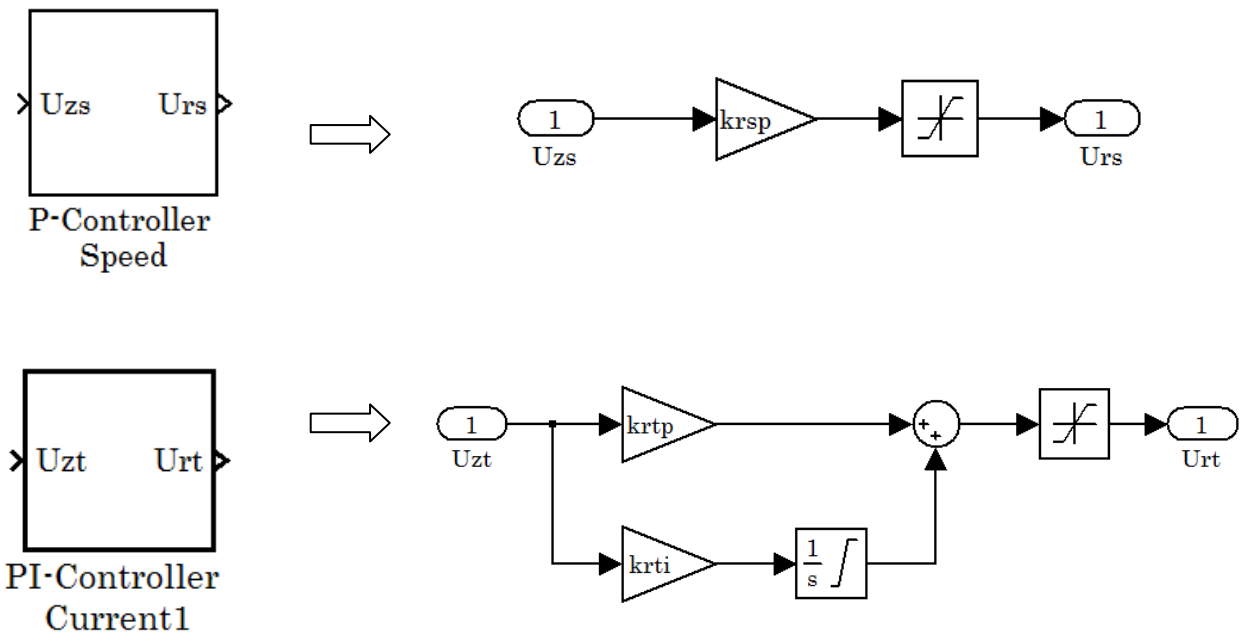


Рисунок 5.2 – Підсистема «ПІ-регулятор» струму (PI-controller Current) і швидкості (P-Controller Speed), що враховує поріг насичення регулятора

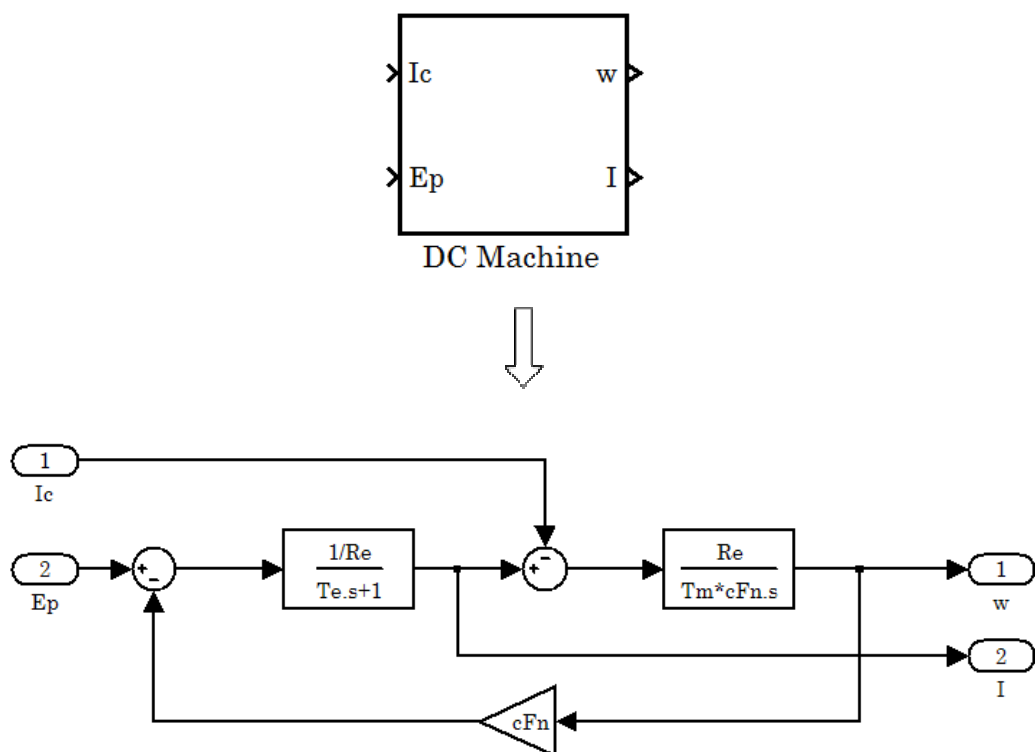


Рисунок 5.3 – Внутрішня структура підсистеми двигуна постійного струму (DC Machine)

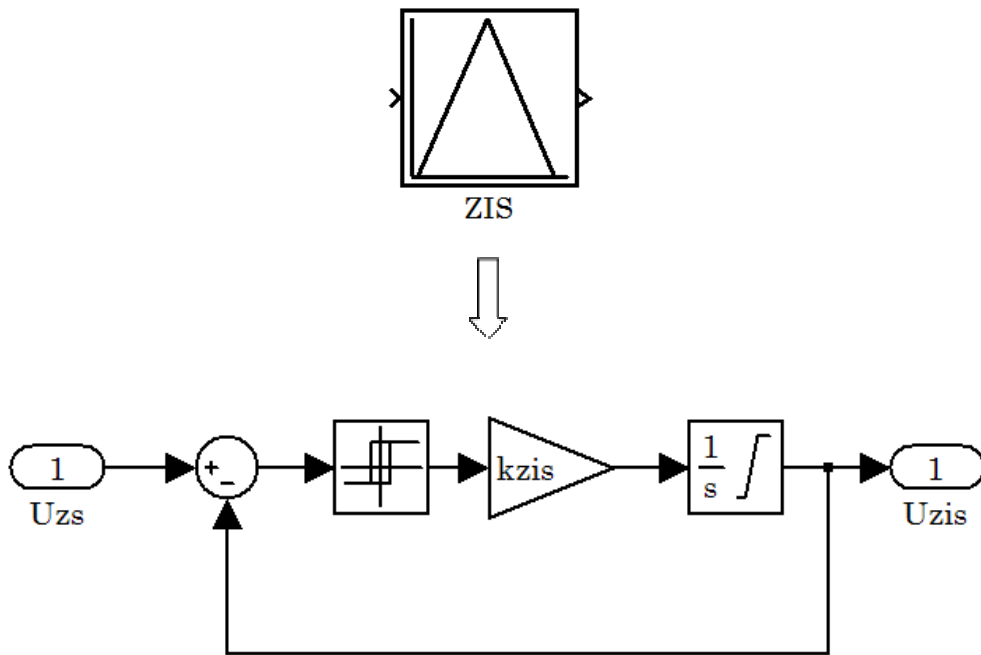


Рисунок 5.4 – Підсистема «Задатчик інтенсивності швидкості» (ZIS),
що реалізує раціональну динаміку

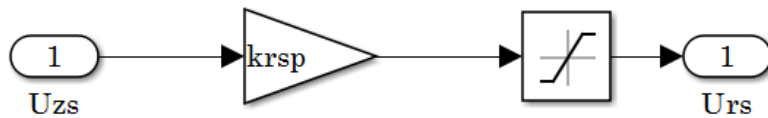


Рисунок 5.5 – Simulink-модель П-регулятора швидкості,
що враховує поріг насичення регулятора

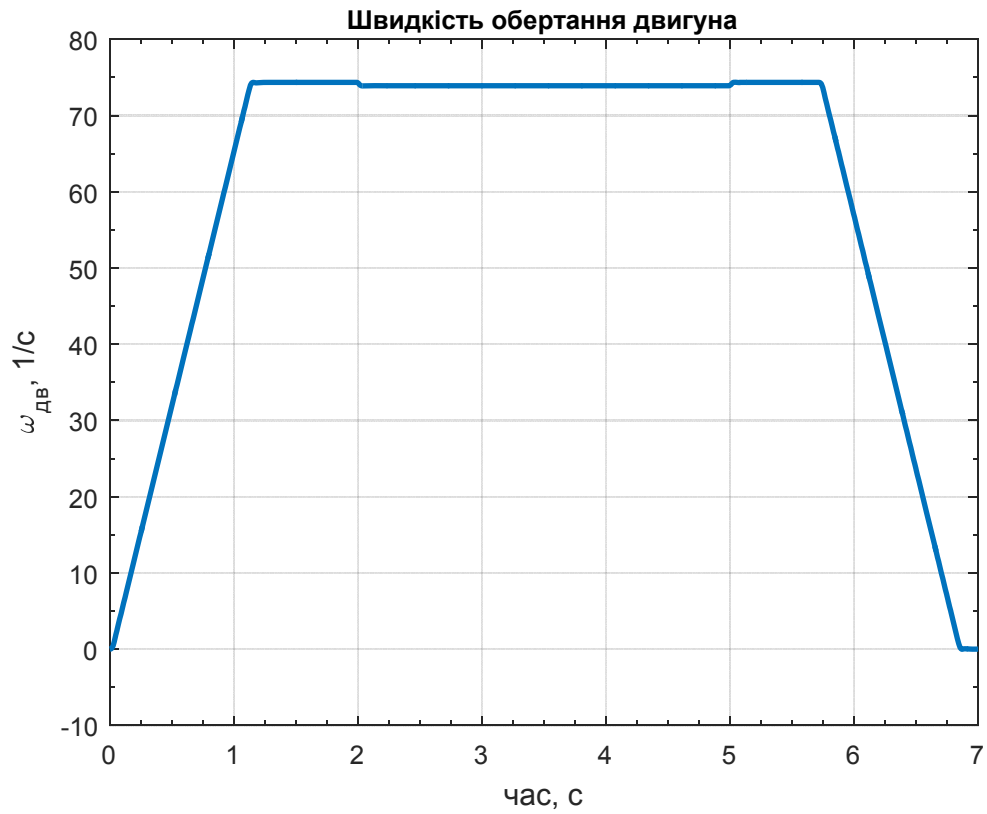


Рисунок 5.6 – Графік перехідного процесу швидкості обертання двигуна ($I_c = 0,5I_H$)

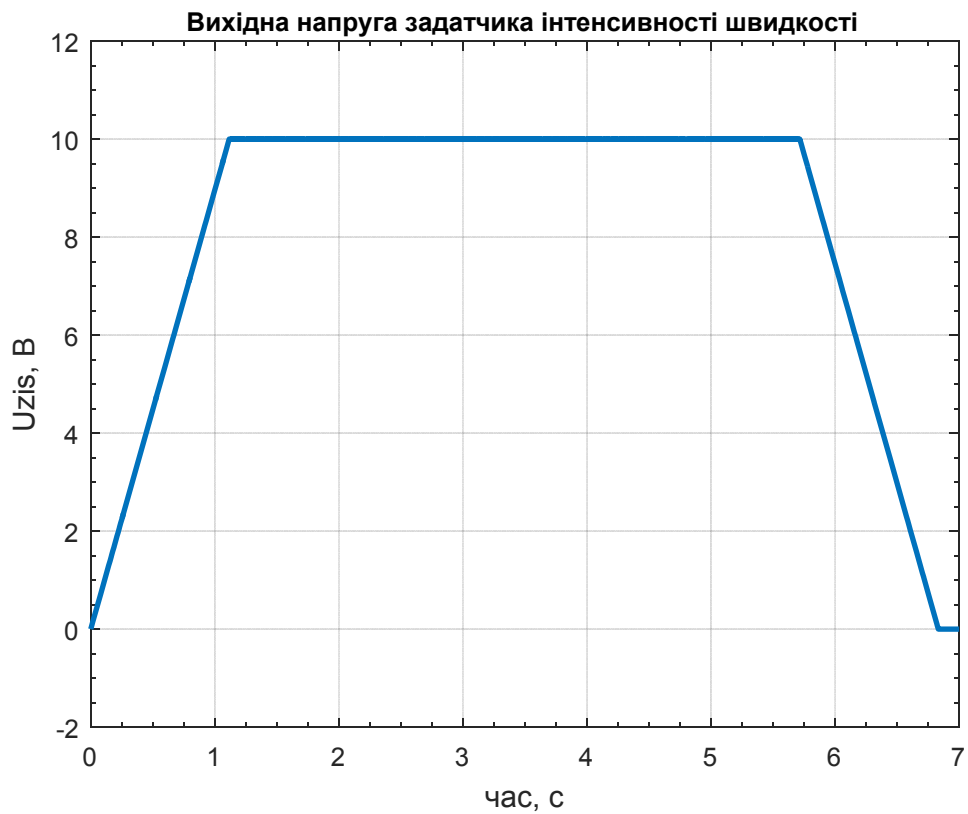


Рисунок 5.7 – Графік перехідного процесу напруги задатчика інтенсивності швидкості ($I_c = 0,5I_H$)

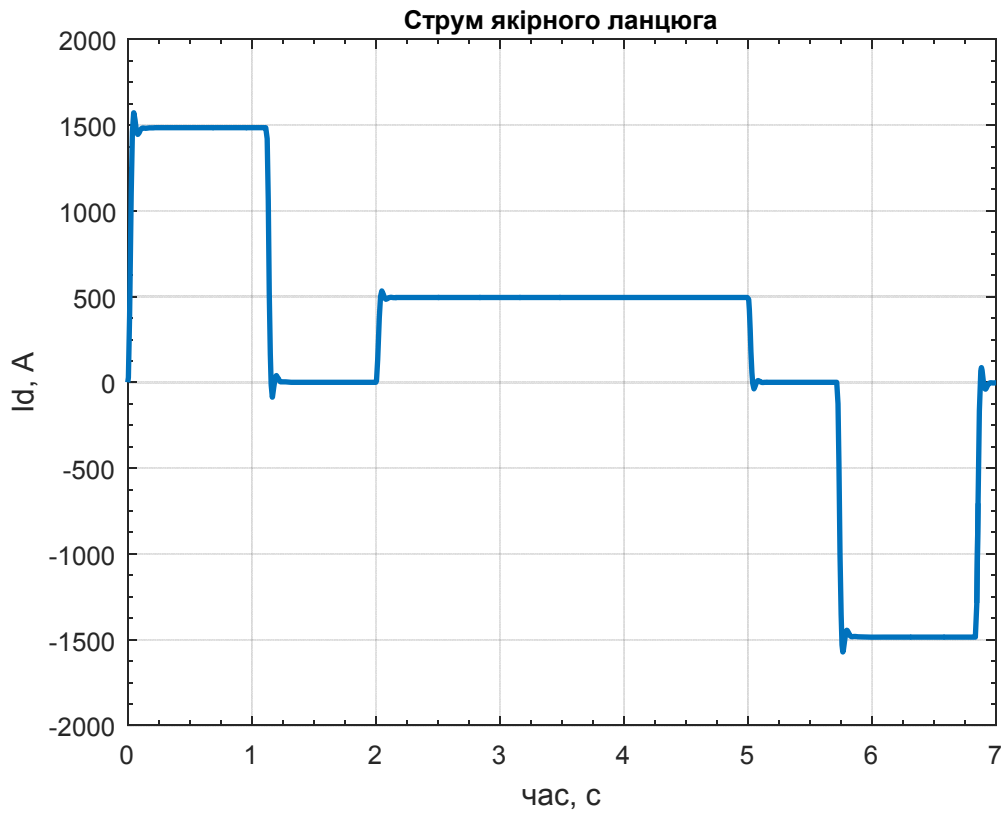


Рисунок 5.8 – Графік перехідного процесу струму якоря ($I_c = 0,5I_H$)

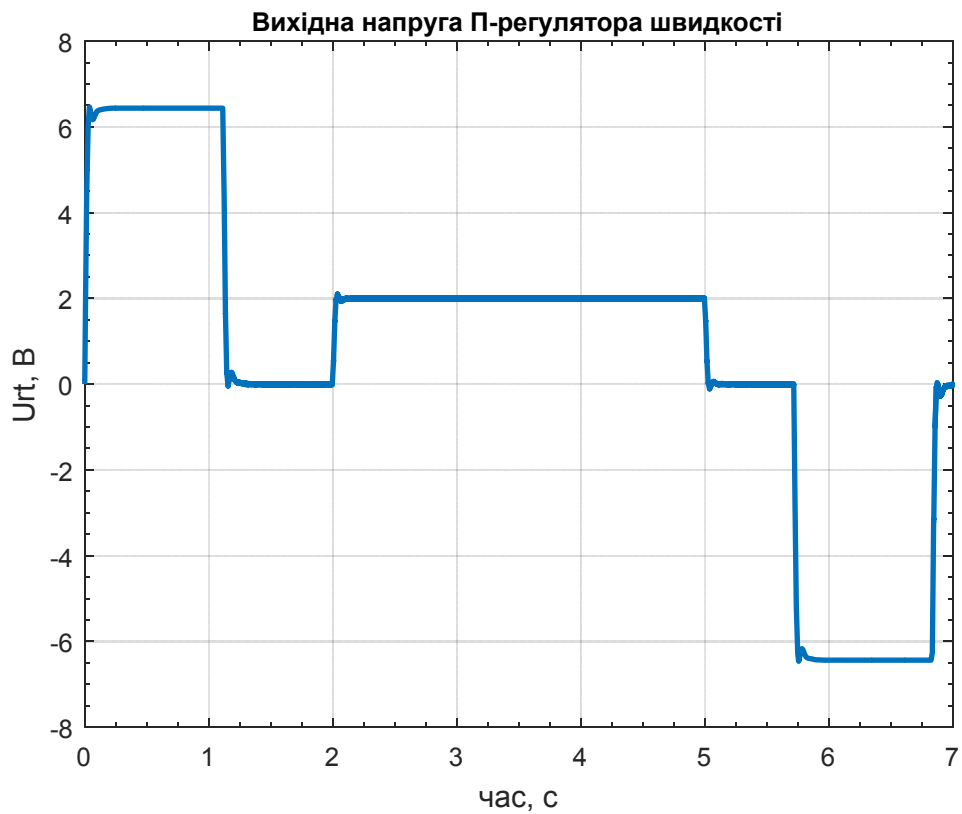


Рисунок 5.9 – Графік перехідного процесу напруги П-регулятора швидкості ($I_c = 0,5I_H$)

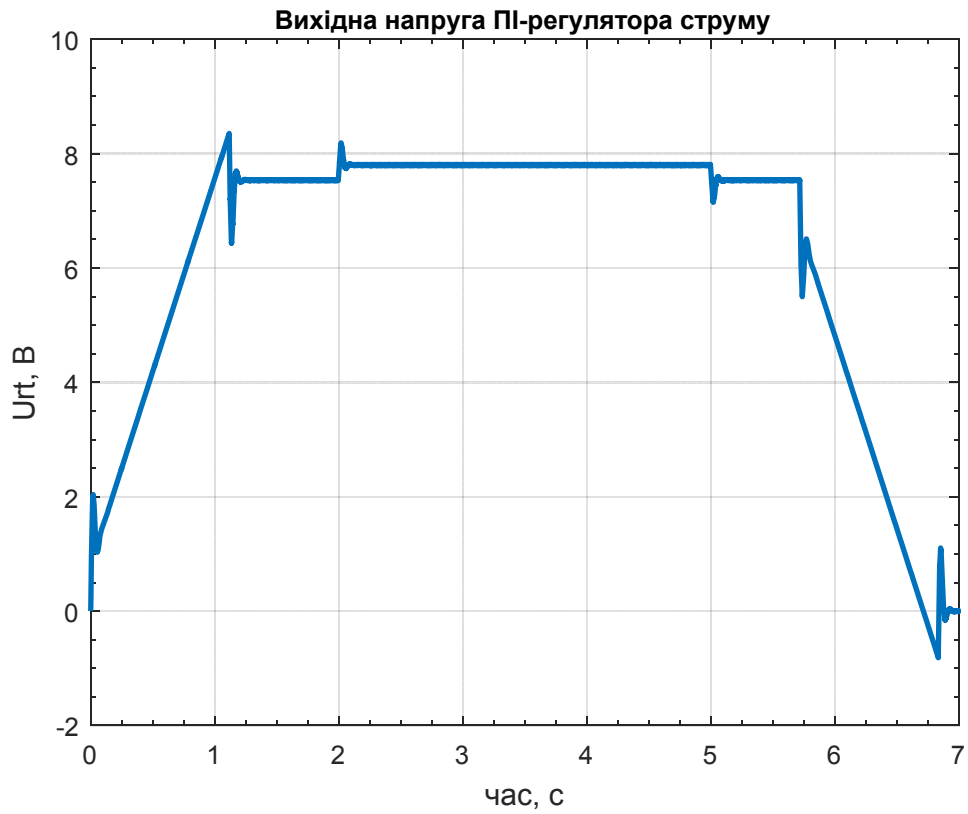


Рисунок 5.10 – Графік перехідного процесу напруги ПІ-регулятора струму ($I_c = 0,5I_H$)

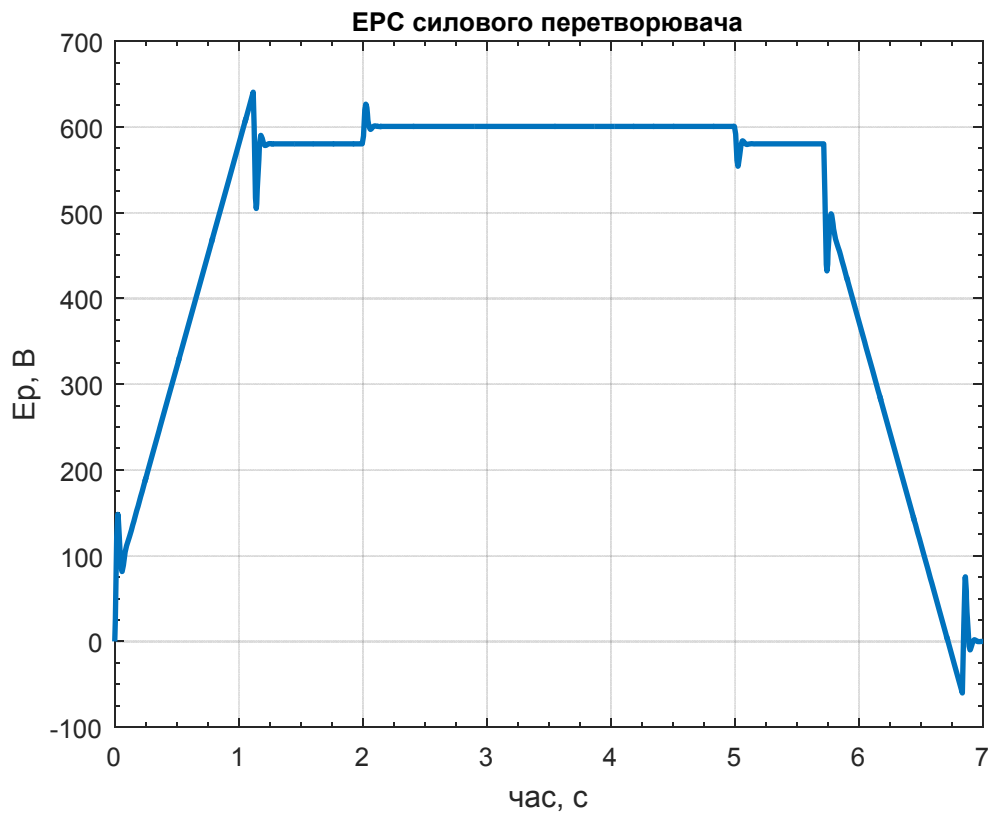


Рисунок 5.11 – Графік перехідного процесу ЕРС тиристорного перетворювача ($I_c = 0,5I_H$)

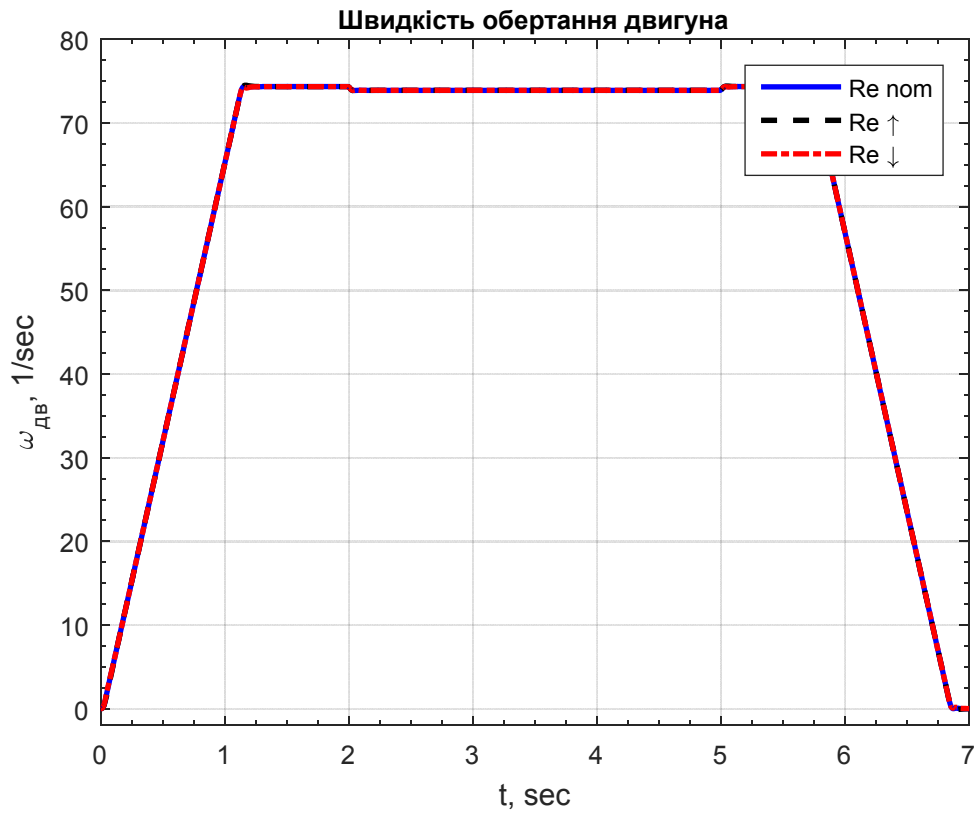


Рисунок 5.12 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при зміні R_3 у 2 рази ($I_c = 0,5I_H$)

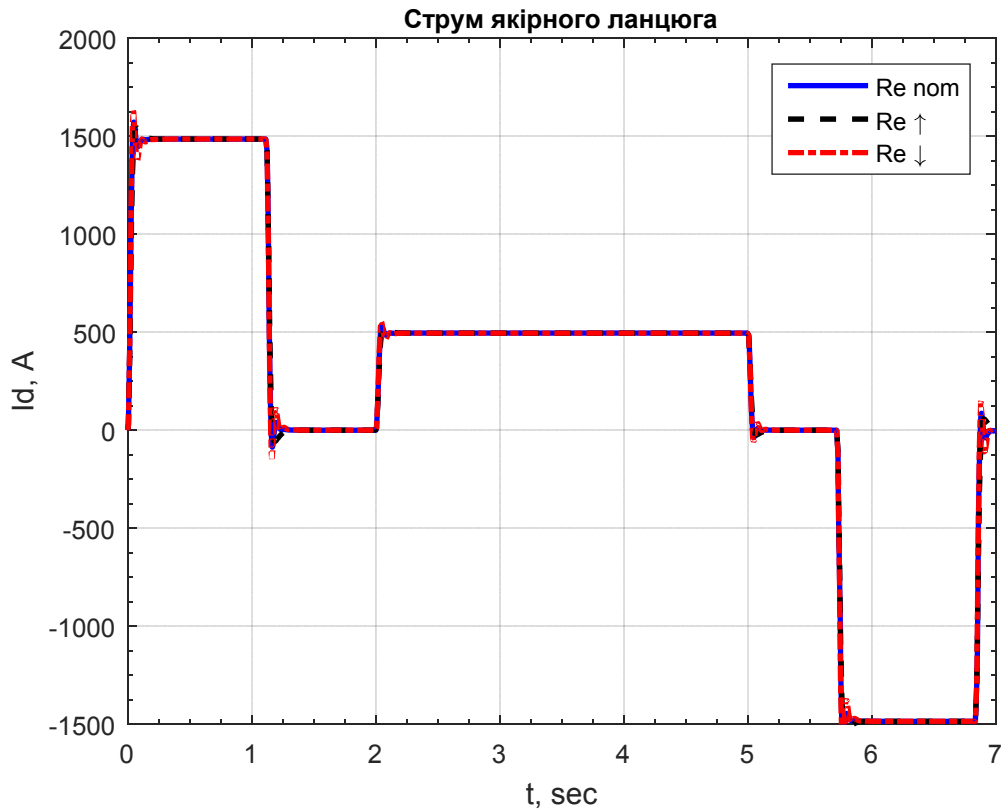


Рисунок 5.13 – Графік перехідного процесу струму якоря при зміні R_3 у 2 рази ($I_c = 0,5I_H$)

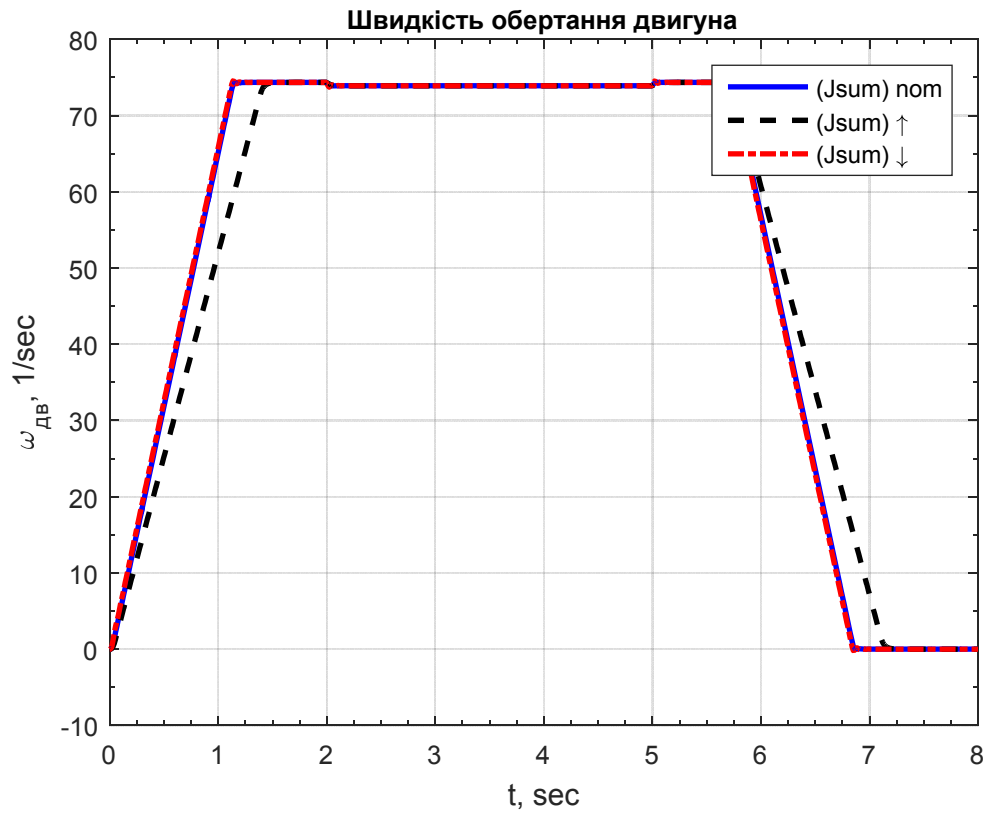


Рисунок 5.14 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при зміні J_{Σ} у 2 рази ($I_c = 0,5I_H$)

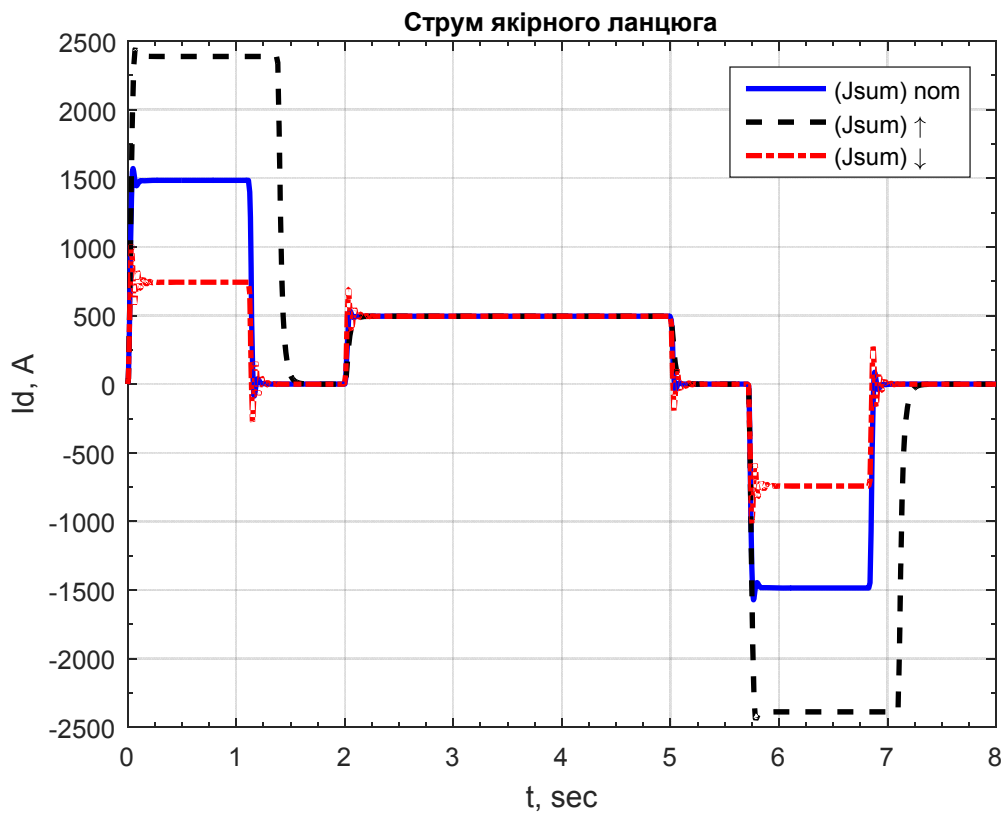


Рисунок 5.15 – Графіки перехідного процесу струму якоря при зміні J_{Σ} у 2 рази ($I_c = 0,5I_H$)

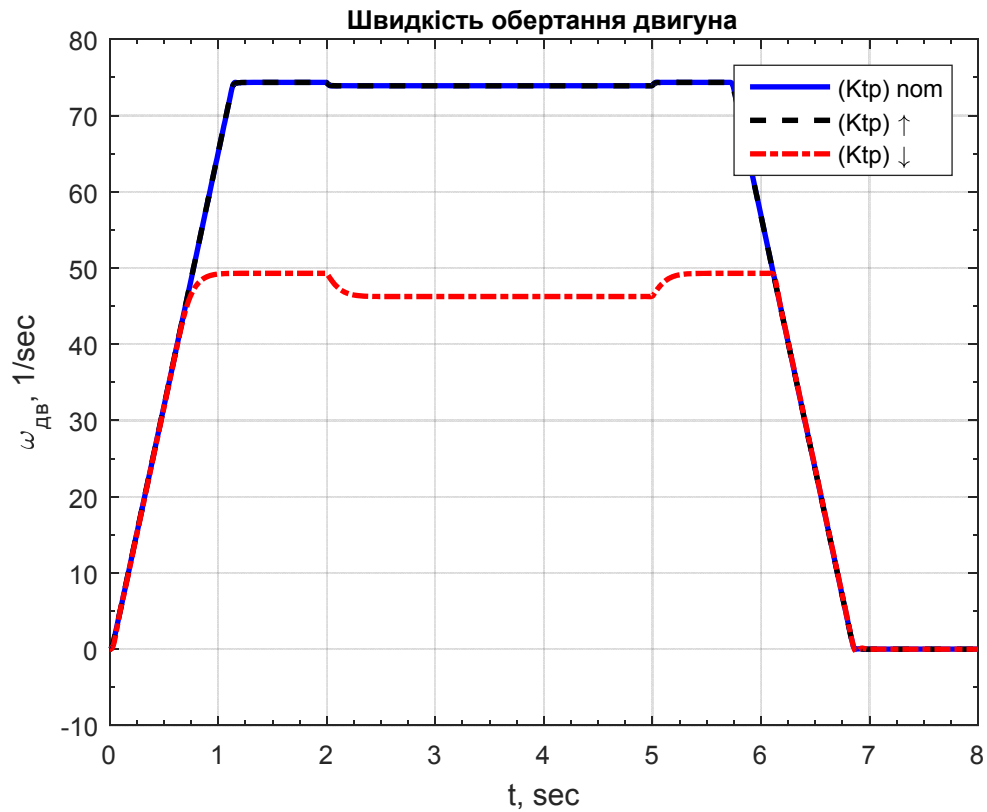


Рисунок 5.16 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при зміні коефіцієнту передачі перетворювача $k_{\text{п}}$ у 2 рази ($I_{\text{с}} = 0,5I_{\text{н}}$)

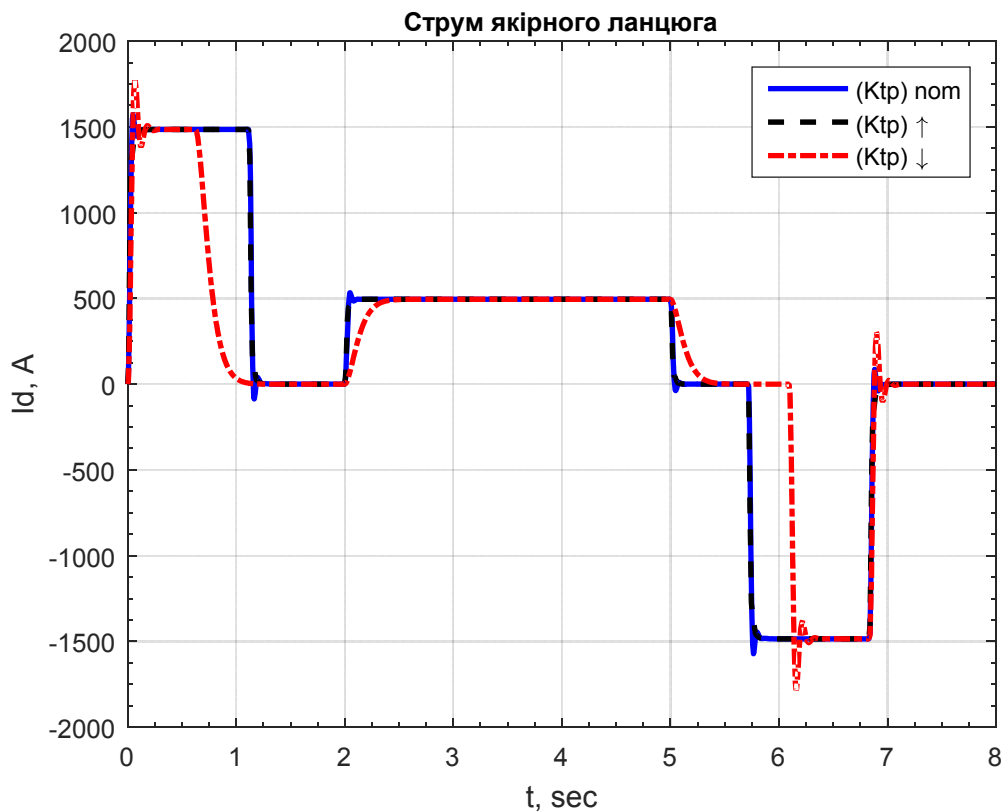


Рисунок 5.17 – Графік перехідного процесу струму якоря при зміні коефіцієнту передачі перетворювача $k_{\text{п}}$ у 2 рази ($I_{\text{с}} = 0,5I_{\text{н}}$)

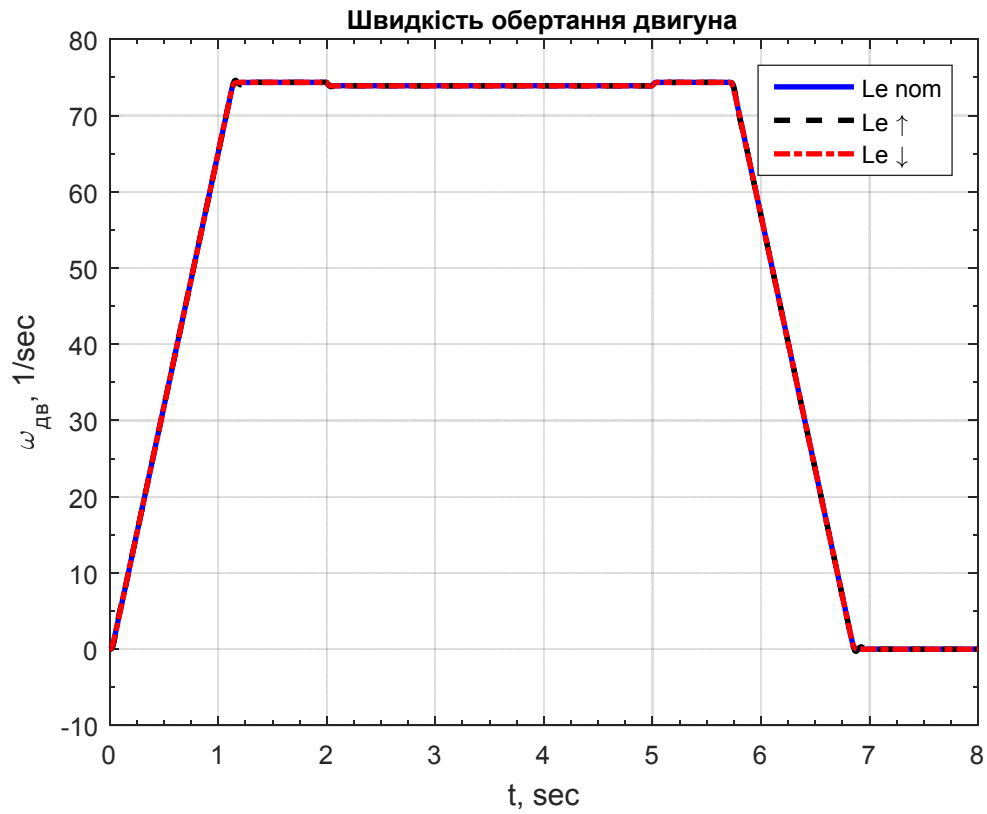


Рисунок 5.18 – Графіки перехідного процесу швидкості при зміні еквівалентної індуктивності системи у 2 рази ($I_c = 0,5I_H$)

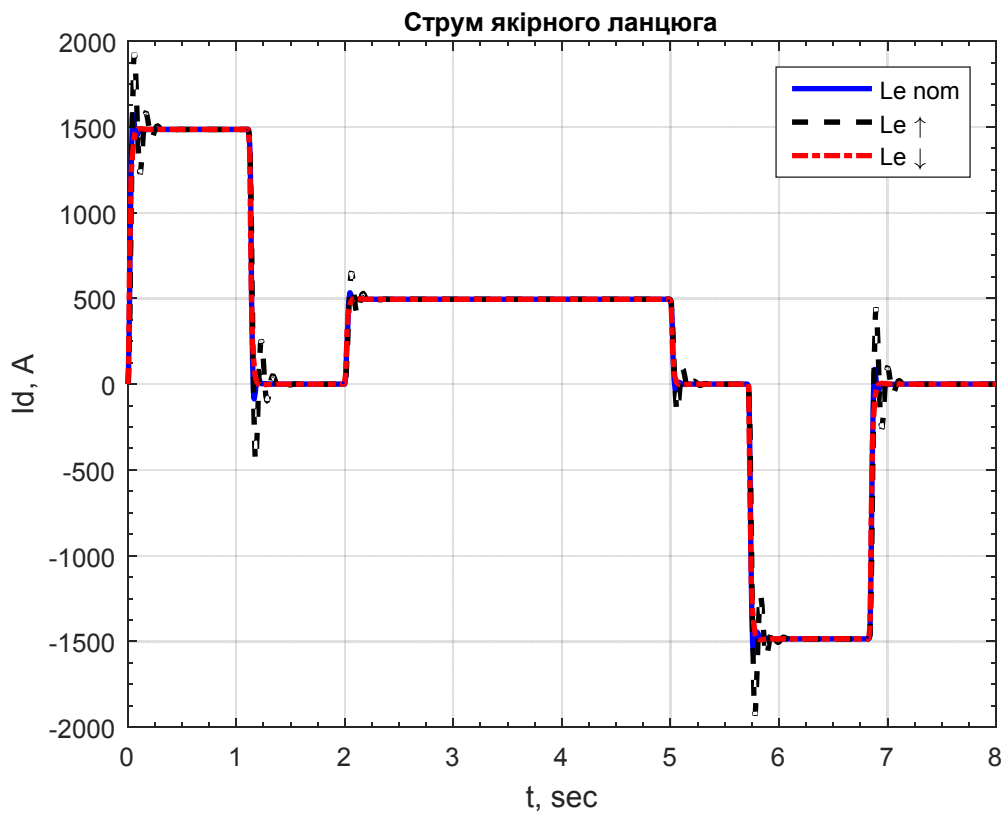


Рисунок 5.19 – Графіки перехідного процесу струму якоря при зміні еквівалентної індуктивності системи у 2 рази ($I_c = 0,5I_H$)

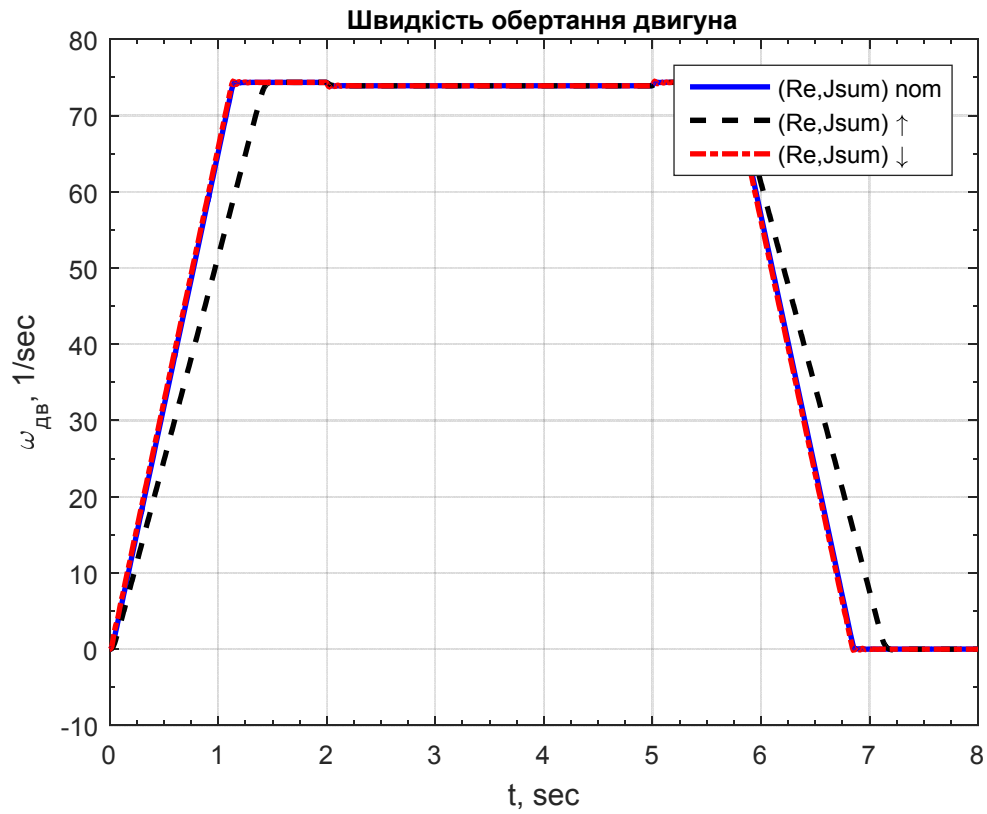


Рисунок 5.20 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при сумарній зміні R_e та J_{Σ} у 2 рази ($I_c = 0,5I_H$)

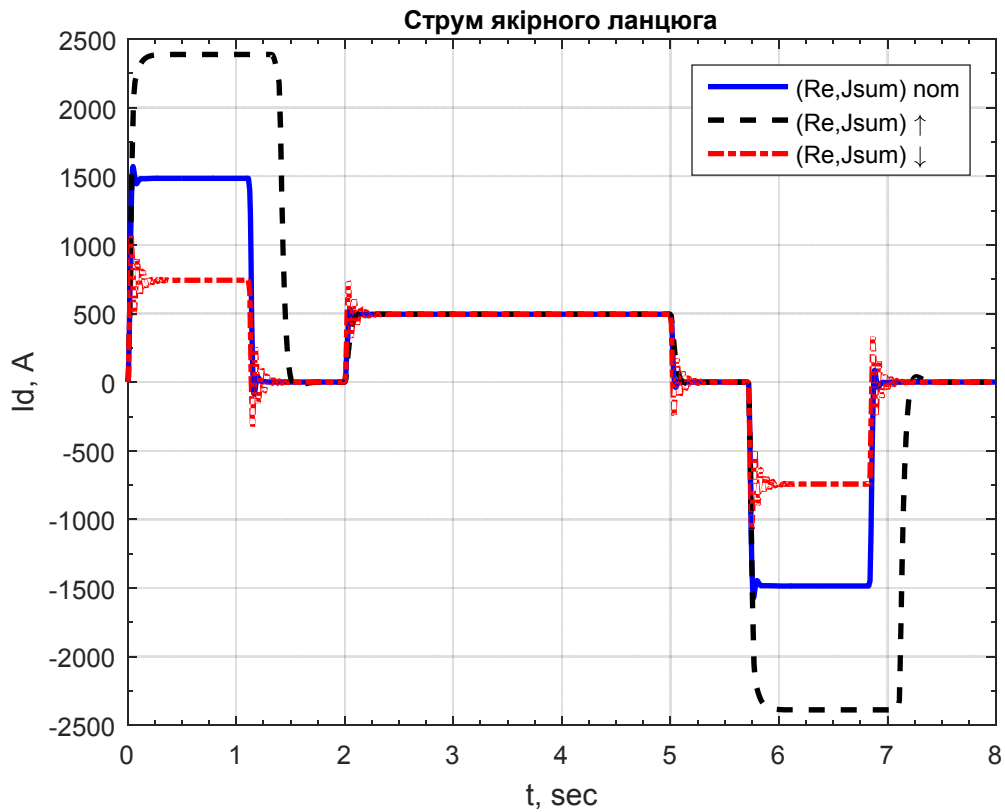


Рисунок 5.21 – Графіки перехідного процесу струму якоря при сумарній зміні R_e та J_{Σ} у 2 рази ($I_c = 0,5I_H$)

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів

У цеху, де працюють ножиці поперечного різання, є виробничі небезпеки: електричний струм, а також виробничі шкідливості, шум, запиленість, різкий перепад температури й теплове випромінювання, є й небезпечні зони.

6.1.1 Забруднення повітря парами і газами

Ряд виробничих процесів супроводжується виділенням шкідливих парів і газів. Так, гальванізація, ізоляційні, лакофарбові, лицювальні та інші роботи протікають з утворенням парів розчинників або кислот, зварювальні роботи, литво, термічна обробка металів, обробка води, зокрема хлором, асфальтобетонні роботи відзначаються виділенням газів. Пари і гази шкідливих речовин у повітрі робочої зони створюють суміші, що при контакті з організмом людини можуть викликати професійні захворювання, виробничі травми або отруєння.

Ступінь і характер впливу парів і газів шкідливих речовин на організм людини залежить від їхнього хімічного складу, шляхів проникнення (через органи дихання, шкіряний покрив або шлунково-кишковий тракт), дози, часу дії, концентрації, біологічної розчинності, стану організму в цілому, а також мікроклімату робочої зони. Наявність парів (газів) шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинна перевищувати граничне допустимих концентрацій (ГДК).

Гранично допустимі концентрації (ГДК) – це концентрації, які при щоденній (крім вихідних днів) роботі протягом 8 годин або іншої тривалості, але не більше 40 годин за тиждень, за час всього робочого стажу не можуть викликати захворювань або відхилень стану здоров'я, які виявляються сучасними методами досліджень у процесі роботи або у віддалені строки життя теперішнього і наступних поколінь.

Оцінка впливу парів і газів шкідливих речовин проводиться в основному за характером впливу на організм і ступенем небезпеки [19]. За характером

впливу на організм людини пари і гази шкідливих речовин підрозділяються на п'ять груп: токсичні, подразнюючі, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні і що впливають на репродуктивну функцію. За ступенем небезпеки – на чотири класи: надзвичайно небезпечні, високо небезпечні, помірно небезпечні і малонебезпечні. Наявність шкідливих речовин у повітрі робочої зони підлягає систематичному контролю для попередження можливості перевищення ГДК – максимально разових у робочій зоні ($\text{ГДК}_{\text{мр.рз.}}$) і середньозмінних у робочій зоні ($\text{ГДК}_{\text{сз.рз.}}$)

Розміри $\text{ГДК}_{\text{мр.рз.}}$ і $\text{ГДК}_{\text{сз.рз.}}$ наведені в [19]. Контроль за дотриманням максимально разової ГДК шкідливих речовин проводиться на найбільш характерних робочих місцях, розташованих у центрі і по периферії приміщень. Середньозмінні концентрації визначають для речовин, для яких встановлений норматив - $\text{ГДК}_{\text{сз.рз.}}$.

Періодичність контролю встановлюється залежно від класу небезпеки шкідливої речовини: для I класу – не менше 1 разу в 10 днів, II класу – не менше 1 разу на місяць, III і IV класів – не менше 1 разу в квартал. При можливості надходження в повітрі робочої зони речовин з гостронаправленим механізмом дії повинен бути забезпечений безперервний контроль із сигналізацією про перевищення ГДК.

Контроль за утриманням шкідливих речовин у повітрі робочої зони здійснюється лабораторними методами (спектроскопічний, хроматографічний, фотометричний), експрес-методами (лінійно-колористичний, колористичний) і автоматичним контролем з безперервним записом вимірів. Для визначення фактичних концентрацій шкідливих речовин найбільш широко використовується лінійно - колористичний експрес - метод, що заснований на швидко протікаючих реакціях шкідливих речовин із спеціальними реагентами.

6.1.2 Характеристика шумових джерел, їх розміщення в цеху

Шум є хаотичним поєднанням звуків різної частоти і інтенсивності і одним з найбільш поширених чинників зовнішнього середовища. Звук є хвилеве коливання пружного середовища, при якому виникає надлишковий

тиск. Відчуття звуку або його чутність виникає за умови, що частоти і енергія коливань, що діють на орган слуху, лежать в межах слухового сприйняття.

Цей надлишковий тиск завдяки пружності навколишнього повітря передається від шару до шару повітря, викликаючи тим самим появу звукових хвиль.

По характеру спектру шум підрозділяється на:

- широкосмуговий (суцільний) - з безперервним спектром шириною більш за октаву;
- вузькосмуговий (тональний) - в спектрі якого є виражені дискретні тони.

Тональний характер шуму встановлюється виміром випромінювання в третьоктавних смугах частот по перевищенню рівня шуму в одній смузі над сусідніми не менше чим на 10 дБ.

По часових характеристиках шум ділиться на:

- постійний - рівень звуку якого за повний робочий день при роботі технологічного устаткування змінюється в часі не більше ніж на 5 дБА;
- непостійний - рівень звуку якого за повний робочий день при роботі технологічного устаткування змінюється в часі більш ніж на 5 дБА.

У свою чергу непостійний шум підрозділяється на:

- що коливається в часі - рівень звуку якого безперервно змінюється в часі;
- переривистий - рівень звуку якого ступінчасто змінюється (на 5 дБА і більш), причому тривалість інтервалів, протягом яких рівень залишається постійним, складає 1 с і більш;
- імпульсний - що складається з одного або декількох звукових сигналів, кожен тривалістю менше 1 с, при цьому, рівні звуку в дБА і та дБА, зміряні на часових характеристиках "імпульс" і "повільно" відрізняються не менше ніж на 7 дБ.

За походженням шуми діляться на:

- механічні (коливання поверхонь тіл або самих тіл) - виникаючі в результаті руху, ударів, тертя поверхонь окремих вузлів і деталей установок,

машин (металообробні верстати, віброі ударостенди і так далі);

- аеродинамічні (нестационарні процеси в газі) - виникаючі в результаті витоку стислого повітря, газів або переміщення газоподібного середовища з великою швидкістю (компресорні і вентиляційні установки, пальники, рух тіл в повітрі, літаки);

- гідродинамічні - що виникають унаслідок стаціонарних і нестационарних процесів в рідинах (кавітація, турбулентність потоку, гідравлічні удари - це насоси і т.і.);

- електромагнітні (змінні магнітні сили, що приводять до коливання робочих органів електричних машин і апаратів) - що виникають в електричних машинах, установках, приладах і апаратах (шум силових трансформаторів за рахунок дії магнітострикції і так далі).

Шум може викликати різні загальнобіологічні роздратування, патологічні зміни, функціональні розлади і механічні пошкодження. Тривала дія інтенсивного шуму може привести допатологічного стану слухового органу, до його стомлення і виникнення професійного захворювання - приглухуватості, а при рівнях 120-140 дБА здатний викликати механічне пошкодження органів слуху (розрив барабанної перетинки). Ознакою захворювання слухового рецептора є головні болі і шум у вухах, інколи втрата рівноваги і нудота.

Шум викликає зміни серцево-судинної системи, що супроводжуються порушеннями тону і ритму серцевих скорочень, змінюється артеріальний тиск, з'являються головні болі, запаморочення, відбувається зміна об'ємів внутрішніх органів. Шум приводить до порушення нормальної функції шлунку - зменшується виділення шлункового соку і змінюється кислотність (виникає гастрит). Особливо схильна до дії центральна нервова система. Наголошувалися зміни в органі зору людини (знижується стійкість ясного бачення і гострота зору, змінюється чутливість до різних кольорів і ін.) і вестибулярному апараті, підвищення внутрічерепного тиску, порушення в обмінних процесах організму і тому подібне. Патологічні зміни, що виникають під дією шуму, розглядаються як шумова хвороба.

6.2 Інструкція з охорони праці для електрослюсарів

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 нарузі. 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 заборів 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 кузова 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!».

Шліфівка 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.

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 дільниці.
- прийняти заходи по обмеженню розповсюдження вогню і ліквідації пожежі.

6.3 Засоби індивідуального захисту органів дихання

Найбільшого поширення набули фільтруючі протигази ГП-5 (ГП-5М) і ГП-7 (ГП-7В) призначені для захисту людини від попадання в органи дихання, на очі й обличчя радіоактивних, отруйних, хімічно небезпечних речовин. Принцип захисної дії заснований на попередньому очищенні (фільтрації) вдихуваного повітря від шкідливих домішок.

Також широкого поширення набули респіратори. Респіратори діляться на два типи:

- у яких напівмаска і фільтруючий елемент одночасно служать і лицьовою частиною.
- очищає вдихуваний повітря в фільтруючих патронах, що приєднуються до напівмасці.

За призначенням поділяються на протипилові, протигазові та газопилозахисні.

Також до засобів індивідуального захисту відносяться різні види спецодягу:

- захисна фільтруюча одяг (ЗФН);
- загальновійськовий захисний комплект (ЗЗК);
- легкий захисний костюм (Л-1).

Спецодяг ізолюючого типу виготовляється з таких матеріалів, які не пропускають ні краплі, ні пари отруйних речовин, забезпечують необхідну герметичність і, завдяки цьому, захищають людину.

ВИСНОВОК

У ході проектування була розглянута технологія роботи, призначення й особливості роботи електропривода ножиців поперечного різання товстолистового стану 3000.

Була розрахована / перевірена потужність двигуна, динамічні і статичні моменти навантаження. У результаті розрахунку було обрано/перевірено двигун постійного струму типу П2ПМ-450-135-6В3.

В ході розрахунку були знайдені необхідні значення динамічного моменту розгону і гальмування електроприводу, що забезпечують необхідну динаміку механізму. Для живлення двигунів обраний цифровий комплектний електропривод Siemens типу SIMOREG DC MASTER 6RA7093-4GS02, призначений для керування електродвигунами постійного струму.

Розроблений склад обладнання електроприводу ножиць та опис системи керування електроприводом.

Представлені детальні розрахунки системи підпорядкованого керування р ПІ-регулятором струму та П-регулятором швидкості. Складено структурну схему швидкісної системи підпорядкованого регулювання.

На основі структурної схеми електропривода була розроблена математична модель. Проведене моделювання роботи ЕП у середовищі Matlab/Simulink, з номінальними параметрами, а також при варіації опору якірного ланцюга, сумарного моменту інерції, коефіцієнту передача перетворювача та еквівалентної індуктивності системи, тим самим отримана оцінка якості перехідних процесів при зміні її динамічних процесів. Отримані перехідні процеси свідчать про правильність налагодження системи. Досліджуваний електропривод із синтезованою системою управління повністю задовольняє технологічні вимоги.

У розділі «Охорона праці» розглянуто забруднення повітря парами і газами, інструкція з охорони праці для електрослюсаря та засоби індивідуального захисту органів дихання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Коцюбинский В.С. Выбор мощности электропривода общепромышленных механизмов: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / В.С. Коцюбинский. – Алчесвк: ДонГТУ, 2007. – 205 с.
2. Зеленов А.Б. Выбор мощности электропривода механизмов прокатных станов: Учебное пособие / А.Б. Зеленов. – К.: УМК ВО, 1990. – 200 с.
3. Альбом 02047.11. Рабочая документация: электроприводы. Ножницы поперечной резки / ЗАО «Струм». – Харьков, 2004.
4. Третьяков А.В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.В. Третьяков, В.И. Зюдин. – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.
5. Королев А.А. конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. – М.: Металлургия, 1985. – 376 с.
6. Леонов И.С. Ножницы для резки сортового и листового проката / И.С. Леонов, Г.П. Фуга, Г.Л. Крылов, В.Г. Песоцкий. – М.: Машиностроение, 1972. – 376 с.
7. Технологическая инструкция по прокатке металла в толстолистовом стане 3000.
8. SIEMENS: SIMOREG DC-MASTER 6RA70: Цифровые встраиваемые преобразователи тока: Каталог. – DA 21.1, 2001 – 151 с.
9. SIEMENS: SIMOREG DC MASTER 6RM70: Преобразователи шкафного исполнения: Каталог. – DA 22, 2002 – 50 с.
10. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник/ И. Х. Евзеров, А.С. Горобец, Б.И. Мошкович и др.; Под ред. канд. техн. Наук В.М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.: ил.
11. Анхимюк В.Л. Проектирование систем автоматического управления электроприводами / В.Л. Анхимюк, О.Ф. Опейко. – Минск: Высшая школа, 1986. – 143 с.

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

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

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

15. Зимин Е.Н. Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями / Е.Н. Зимин., В.Л. Кацевич, С.К. Козырев. – М.: Энергоиздат, 1981. – 192 с.

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

17. Правила техники безопасности при эксплуатации эл. установок. – М.: Энергия, 1973.

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

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

Додаток А

Технічні данні перетворювача SIMOREG DC Master 6RM7093-4GS02

SIMOREG DC MASTER 6RM70

Digital Converter Cabinet Units

Selection and ordering data

Three-phase connection		DC connection, armature circuit		Field current connection		SIMOREG cabinet unit					
Rated input voltage V	Rated input current A	Rated DC voltage V	Rated DC current A	Rated output kW	DC field voltage	DC field current A	Order No.	Weight ca. kg			
SIMOREG cabinet units for single-/two-quadrant operation B6C											
3-ph. 400	25	485	30	14.5	325	5	6RM7018-6DS02	120			
	50		60	29		10	6RM7025-6DS02	125			
	75		90	44		10	6RM7028-6DS02	185			
	104		125	61		10	6RM7031-6DS02	200			
	175		210	102		15	6RM7075-6DS02	205			
	233		280	136		15	6RM7078-6DS02	220			
	332		400	194		25	6RM7081-6DS02	270			
	498		600	291		25	6RM7085-6DS02	290			
	705		850	412		30	6RM7087-6DS02	455			
	995		1200	582		30	6RM7091-6DS02	495			
	1326		1600	776		40	6RM7093-4DS02	620			
1658	2000	970	40	6RM7095-4DS02	685						
3-ph. 460	25	550	30	16.5	373	5	6RM7018-6FS02	120			
	50		60	33		10	6RM7025-6FS02	125			
	75		90	49.5		10	6RM7028-6FS02	185			
	104		125	68.7		10	6RM7031-6FS02	200			
	175		210	115		15	6RM7075-6FS02	205			
	233		280	154		15	6RM7078-6FS02	220			
	375		450	247		25	6RM7082-6FS02	270			
	498		600	330		25	6RM7085-6FS02	290			
	705		850	467		30	6RM7087-6FS02	455			
	995		1200	660		30	6RM7091-6FS02	495			
	3-ph. 500 ¹⁾		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			30	6RM7086-6KS02	670
		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			

7 РОЗРАХУНОК УСТАЛЕНИХ ПОМИЛОК В АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ

7.1 Основні характеристики випадкових процесів

При вивченні явищ навколишнього світу ми часто маємо справу із процесами, розвиток яких заздалегідь передбачити неможливо. Така непередбачуваність пояснюється впливом на хід процесів випадкових факторів. Строго кажучи, у природі немає невідповідних явищ, але є процеси, на які випадковість впливає несуттєво, і при їх вивченні цей вплив можна не брати до уваги, але є і такі, де випадковість відіграє основну роль (наприклад, броунівський рух частинок). Між цими двома полюсами перебуває багато процесів, на перебіг яких випадковість впливає більшою або меншою мірою.

У курсі теорії ймовірностей основним об'єктом дослідження є випадкові величини. У результаті випробувань випадкова величина набуває єдиного значення, причому воно заздалегідь невідоме. Застосування такого елементарного підходу до вивчення випадкових явищ не може задовольнити практичні потреби. Зрозуміло, що $T(h)$ і $U(t)$ є випадковими величинами, на які діють випадкові фактори. Однак вони змінюються протягом випробування, зі зміною аргументів h і t (висота й час). Випадкові величини, які змінюються протягом випробування, називаються випадковими функціями. Вивченням подібних випадкових об'єктів, які є узагальненням поняття випадкових величин, займається новітній розділ теорії ймовірності – теорія випадкових функцій. Теорія випадкових (стохастичних) процесів – це математична наука, яка вивчає закономірності випадкових явищ у динаміці їх розвитку (розбіжності між поняттями «випадкова функція» і «випадковий процес» будуть пояснені нижче).

Теорія випадкових функцій продовжує активно розвиватися, оскільки в багатьох практичних задачах системного аналізу й теорії керування потрібно

враховувати випадкові фактори саме в динаміці, тобто зважати на їхню мінливість у процесі випробування.

Випадковою функцією (ВФ) називається функція, яка внаслідок випробування може набути того чи іншого конкретного вигляду, заздалегідь невідомо, якого саме. Випадкові функції аргументу t позначають $X(t)$, $Y(t)$. Наприклад, якщо U – випадкова величина, то $X(t) = \sin(tU)$ – випадкова функція. Конкретний вигляд, набутий ВФ внаслідок випробування, називається реалізацією ВФ. Наприклад, якщо маємо випадкову величину U , яка набула в першому випробуванні значення: $u_1 = 1$, а в другому: $u_2 = 2,5$, то реалізаціями випадкової функції: $X(t) = \sin(tU)$, у першому й другому випробуванні будуть відповідно: $x_1(t) = \sin t$ та $x_2(t) = \sin 2,5t$. Вочевидь, реалізації ВФ є функціями не випадковими. Якщо над ВФ провести кілька випробувань, то ми одержимо групу, або сім'ю, реалізацій цієї функції: $x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_n(t)$. Це основний експериментальний матеріал, на базі якого обчислюються характеристики випадкової функції.

У практиці нерідко спостерігаються ВФ, аргументом яких є час. Такі ВФ називаються випадковими процесами. Крім того, ВФ можуть залежати від кількох аргументів. Наприклад, температура повітря в даній місцевості є ВФ чотирьох аргументів – трьох просторових і часу.

Розглянемо ВФ $X(t)$. Нехай унаслідок n випробувань отримано її реалізації $x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_n(t)$. Конкретне випробування перетворює ВФ $X(t)$ на не випадкову функцію, тобто на одну зі своїх реалізацій. Зафіксуємо деяке значення аргументу: $t = t_0$. Тоді ВФ перетворюється на випадкову величину $X(t_0)$, яка називається розрізом ВФ для аргумента: $t = t_0$. Тобто ВФ $X(t)$ об'єднує в собі властивості випадкової величини й функції.

Серед випадкових процесів окремо виділяють процеси характерні дискретним та неперервним часом. Випадковий процес називається процесом із дискретним часом, коли система, в якій він відбувається, змінює свій стан тільки у моменти t_1, t_2, \dots, t_j , число яких скінченне або лічильне. Прикладом такого процесу може бути робота ЕОМ, яка змінює свій стан у моменти $t_1, t_2,$

..., t_j , що визначаються тактом машини. Якщо розглядати одновимірний випадковий процес $X(t)$ із дискретним часом, то його розрізи в моменти t_1, t_2, \dots, t_j утворюють послідовність випадкових величин $X(t_1), X(t_2) \dots X(t_j) \dots$. За аргументи послідовності може бути вибраний номер значення моменту переходу: $X(1), X(2), \dots, X(j)$. Випадковий процес $X(t)$ називається процесом, що характеризується неперервним часом, якщо переходи системи від одного стану до іншого можуть відбуватися в будь-який момент часу t протягом спостережуваного періоду τ .

Випадковий процес називається процесом, який характеризується неперервними станами, коли його розрізом у будь-який момент часу t є неперервна випадкова величина.

Таким чином, усі випадкові процеси ми можемо поділити на такі чотири класи:

1. Процеси, характерні дискретними станами і дискретним часом.
2. Процеси, характерні дискретними станами і неперервним часом.
3. Процеси, характерні неперервними станами і дискретним часом.
4. Процеси, характерні неперервними станами і неперервним часом.

Що ж являє собою закон розподілу ВФ? Очевидно, що набір m розрізів буде являти собою систему m випадкових величин і ця система повинна описуватися m -вимірним законом розподілу ймовірностей. Розглянемо деякий розріз ВФ $X(t)$ для аргументу t . Ця випадкова величина в загальному випадку залежить від значення t і має закон розподілу $f(x, t)$. Функція $f(x, t)$ називається одновимірним законом розподілу ВФ. Вона повністю описує кожний окремий розріз, але не дає повного опису випадкової функції. Наприклад, неможливо виконувати над випадковою функцією операції, для яких потрібен сумісний розгляд сукупності розрізів, знаючи тільки вигляд одновимірної щільності розподілу, оскільки вона не дає інформації про зв'язок між розрізами ВФ. Із цього погляду більш повною характеристикою ВФ є двовимірний закон розподілу $f(x_1, x_2, t_1, t_2)$, який виступає результатом сумісного розгляду двох розрізів ВФ $X(t)$: $X_1 = X(t_1)$ та $X_2 = X(t_2)$, тобто вивчення системи двох

випадкових величин (X_1, X_2). Але цей закон розподілу також не дає повного опису будь-якого випадкового процесу (він достатній для опису нормально розподіленої випадкової функції або марковського випадкового процесу). Тоді виникає необхідність розглядати тривимірні $f(x_1, x_2, x_3, t_1, t_2, t_3)$, чотиривимірні й т. д. функції розподілу. Взагалі, щоб повністю описати випадкову функцію (або випадковий процес) необхідно розглядати нескінченновимірний закон розподілу або хоч би n -вимірний. Оскільки такий спосіб вивчення випадкових функцій дуже громіздкий, то на практиці він застосовується лише в окремих випадках (наприклад, $f(x_1, x_2, t_1, t_2)$ – для опису процесів без післядії). Звичайно ж опис ВФ виконується за допомогою найпростіших її характеристик (моментів), аналогічних характеристикам випадкової величини.

Відомі характеристики випадкових величин (математичне сподівання (МС), дисперсія, середнє квадратичне відхилення) являють собою числа. Характеристиками ВФ у загальному випадку є не числа, а функції. Математичним сподіванням ВФ $X(t)$ називається не випадкова функція $m_X(t)$, яка для кожного значення аргументу t дорівнює математичному сподіванню відповідного розрізу випадкової функції: $m_X(t) = M[X(t)]$. Геометрично математичне сподівання випадкової функції можна розуміти як “середню криву”, навколо якої розташовані інші криві, що відображають реалізації ВФ.

Одержання й використання багатовимірних функцій й щільностей розподілу для описування випадкових процесів викликає великі труднощі при розв’язаннях практичних задач і у більшості випадків поєднується з дуже громіздкими математичними перетвореннями. Тому на практиці частіше використовують ймовірнісні характеристики випадкових функцій, які аналогічні статистичним характеристикам розподілу випадкових величин: математичному сподіванню, дисперсії, коваріації, кореляції. На відміну від статистичних характеристик випадкових величин, які є простими числами, ймовірнісні характеристики випадкових функцій є функціями їх аргументу.

7.2 Проходження випадкового сигналу крізь лінійну систему

Розглянемо стійку стаціонарну лінійну систему автоматичного керування з передавальною функцією $W(s)$ й імпульсною перехідною функцією $w(t)$. Припустимо, що на вхід цієї системи надходить стаціонарний випадковий процес $X(t)$ із середнім значенням, що дорівнює нулю, кореляційною функцією $R_x(\tau)$ і спектральною щільністю $S_x(\omega)$. Усталений вихідний сигнал $Y(t)$ також буде стаціонарним випадковим процесом, середнє значення якого дорівнює нулю, однак, його статистичні характеристики $R_y(\tau)$ і $S_y(\omega)$ будуть відрізнятися від статистичних характеристик вхідного сигналу.

Зв'язок між кореляційними функціями вхідного і вихідного сигналів можна визначити за допомогою інтеграла Дюамеля:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} w(t - \lambda)x(\lambda)d\lambda = \int_{-\infty}^{\infty} x(t - \lambda)w(\lambda)d\lambda, \quad (1)$$

де λ - незалежна змінна інтегрування.

Для моменту часу $(t + \tau)$ отримуємо:

$$y(t + \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} w(t + \tau - \eta)x(\eta)d\eta = \int_{-\infty}^{\infty} x(t + \tau - \eta)w(\eta)d\eta, \quad (2)$$

де η - нове позначення незалежної змінної інтегрування.

Кореляційна функція стаціонарного випадкового процесу дорівнює:

$$R_y(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T y(t)y(t + \tau)dt. \quad (3)$$

Підставивши до (3) вирази (1) і (2), після перетворень отримаємо шукану залежність:

$$R_y(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} w(\lambda)d\lambda \int_{-\infty}^{\infty} w(\eta)R_x(\tau + \lambda - \eta)d\eta. \quad (4)$$

Вираз (21) дозволяє за відомою кореляційною функцією $R_x(\tau)$ випадкового процесу на вході системи і відомою імпульсною перехідною

функцією $w(t)$ системи знайти кореляційну функцію $R_y(\tau)$ випадкового процесу на виході системи.

На підставі (1) і (4) з урахуванням того, що зображенням Фур'є імпульсної перехідної функції є комплексна передавальна функція, тобто $F\{w(t)\} = W(j\omega)$, можна визначити зв'язок між спектральними щільностями вхідного і вихідного випадкових процесів:

$$S_y(\omega) = |W(j\omega)|^2 S_x(\omega). \quad (5)$$

Таким чином, *спектральна щільність стаціонарного випадкового процесу на виході лінійної системи дорівнює спектральній щільності випадкового процесу на вході системи, помноженій на квадрат модуля комплексної передавальної функції цієї системи.*

За виразами (4) і (5) можна розв'язувати не тільки задачу аналізу (визначення характеристик випадкової функції на виході системи), а й задачу синтезу, тобто вибирати параметри динамічної системи таким чином, щоб отримати $R_y(\tau)$ і $S_y(\omega)$ близькими до заданих.

Розглянемо два важливі випадки проходження випадкового сигналу крізь лінійну систему.

Статистичне диференціювання. Під час надходження випадкового сигналу до ідеального диференціального пристрою з передавальною функцією $W(s) = s$ маємо: $|W(j\omega)|^2 = |j\omega|^2 = \omega^2$.

Тоді спектральна щільність вихідної величини (похідної від вхідної величини) буде:

$$S_y(\omega) = \omega^2 S_x(\omega). \quad (6)$$

У разі подвійного диференціювання $S_x(\omega)$ помножується на ω^4 і т.д.

Таким чином, чим більш високі частоти містить спектр випадкового сигналу, тим сильніше вони підсилюються. Це завжди необхідно мати на увазі під час уведення до системи коректувального диференціального пристрою. У разі значного рівня випадкових завад уведення такої ланки може не привести до поліпшення динамічних властивостей, а навіть погіршити їх.

Статистичне інтегрування. Під час надходження випадкового сигналу до ідеального інтегрувального пристрою з передавальною функцією $W(s) = 1/s$ маємо: $|W(j\omega)|^2 = |1/(j\omega)|^2 = 1/\omega^2$.

Тоді спектральна щільність вихідної величини (інтегралу від вхідної величини) буде:

$$S_y(\omega) = S_x(\omega) / \omega^2. \quad (7)$$

У разі подвійного інтегрування $S_x(\omega)$ ділиться на ω^4 і т.д.

У даному випадку високі частоти послаблюються (відфільтровуються) інтегрувальною ланкою, на виході якої отримуємо більш згладжений сигнал.

Рівняння Вінера-Хопфа

Це рівняння встановлює зв'язок між кореляційними функціями вхідного $X(t)$ і вихідного $Y(t)$ сигналів, що діють у лінійній динамічній системі.

Відповідно взаємна кореляційна функція цих сигналів має вигляд:

$$R_{yx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T y(t)x(t-\tau)dt. \quad (8)$$

Тоді з урахуванням (8) напишемо:

$$\begin{aligned} R_{yx}(\tau) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t-\tau)dt \int_{-\infty}^{\infty} w(\lambda)x(t-\lambda)d\lambda = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} w(\lambda)d\lambda \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t-\tau)x(t-\lambda)dt = \int_{-\infty}^{\infty} w(\lambda)R_x(t-\lambda)d\lambda. \end{aligned} \quad (9)$$

Цей вираз має назву рівняння Вінера-Хопфа.

Застосувавши до інтегрального рівняння (9) пряме перетворення Фур'є, можна записати:

$$S_{yx}(\omega) = W(j\omega)S_x(\omega) \text{ або } W(j\omega) = S_{yx}(\omega) / S_x(\omega), \quad (10)$$

де $S_{yx}(\omega)$ і $S_x(\omega)$ – взаємна і власна спектральні щільності.

Застосовуючи до (10) обернене перетворення Фур'є, маємо:

$$w(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S_{yx}(\omega)}{S_x(\omega)} e^{j\omega t} d\omega. \quad (11)$$

Рівняння (11) і (12) дозволяють знайти динамічні характеристики системи $W(j\omega)$ і $w(t)$ за відомими імовірнісними характеристиками входу $X(t)$ і виходу $Y(t)$, що визначаються за реалізаціями випадкового процесу.

7.3 Розрахунок усталених помилок в автоматичних системах

Замкнута система автоматичного керування може знаходитись під впливом випадкової керуючої дії $U(t)$ із відомими $R_u(\tau)$ і $S_u(\omega)$ та випадкового збурення $F(t)$ із відомими $R_f(\tau)$ і $S_f(\omega)$ (рис.7.1)

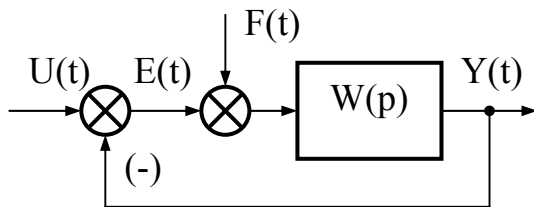


Рис.7.1– Структурна схема замкнутої САК

Необхідно знайти кореляційні функції й спектральні щільності вихідної величини $Y(t)$ і помилки $E(t)$.

Розглянемо спочатку випадок, коли $U(t)$ є випадковим стаціонарним процесом, а $F(t) = 0$.

Комплексна передавальна функція за помилкою для замкнутої системи має вигляд:

$$W_{ue}(j\omega) = \frac{1}{1 + W(j\omega)}. \quad (12)$$

Тоді спектральна щільність помилки відповідно до (22) буде:

$$S_\varepsilon(\omega) = |W_{ue}(j\omega)|^2 S_u(\omega) = \frac{S_u(\omega)}{|1 + W(j\omega)|^2}. \quad (13)$$

Визначимо дисперсію D_ε і середнє квадратичне відхилення σ_ε за умови $\tau = 0$:

$$D_\varepsilon = R_\varepsilon(0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_\varepsilon(\omega) d\omega; \quad \sigma_\varepsilon = \sqrt{D_\varepsilon}. \quad (14)$$

У випадку, коли $U(t) = 0$, а $F(t)$ – випадковий стаціонарний процес, маємо:

$$S_\varepsilon(\omega) = |W_{fe}(j\omega)|^2 S_f(\omega) = \left| \frac{W(j\omega)}{1 + W(j\omega)} \right|^2 S_f(\omega). \quad (15)$$

Тут припускають, що збурення діє на вході системи у місці прикладення керуючої дії. Якщо це не так, то в чисельнику $W_{f\varepsilon}(j\omega)$ буде стояти відповідна передавальна функція $W_{f_y}(j\omega)$, а знаменник не зміниться.

У загальному випадку, коли $U(t)$ і $F(t)$ діють одночасно, спектральну щільність помилки $S_\varepsilon(\omega)$ за умови, що керуючий сигнал і сигнал збурення є корельованими, можна визначити за формулою:

$$S_\varepsilon(\omega) = |W_{u\varepsilon}(j\omega)|^2 S_u(\omega) + W_{u\varepsilon}(-j\omega)W_{f\varepsilon}(j\omega)S_{uf}(j\omega) + W_{u\varepsilon}(j\omega)W_{f\varepsilon}(-j\omega)S_{fu}(j\omega) + |W_{f\varepsilon}(j\omega)|^2 S_f(\omega), \quad (16)$$

де $S_{uf}(\omega)$, $S_{fu}(\omega)$ – взаємні спектральні щільності між $U(t)$ і $F(t)$.

За відсутності кореляції між процесами $U(t)$ і $F(t)$ їх взаємні спектральні щільності дорівнюють нулю і вираз для спектральної щільності помилки спрощується:

$$S_\varepsilon(\omega) = |W_{u\varepsilon}(j\omega)|^2 S_u(\omega) + |W_{f\varepsilon}(j\omega)|^2 S_f(\omega). \quad (17)$$

Дисперсія помилки, що визначається за (16), у загальному випадку містить такі складові:

$$D_\varepsilon = D_\varepsilon^u + D_\varepsilon^{uf} + D_\varepsilon^{fu} + D_\varepsilon^f. \quad (18)$$

Відповідно до (12) середнє значення квадрата помилки дорівнює:

$$\bar{\varepsilon}^2(t) = D_\varepsilon(t) + m_\varepsilon^2(t), \quad (19)$$

де $m_\varepsilon(t)$ – регулярна складова (математичне сподівання) помилки, що визначається за формулою:

$$m_\varepsilon(t) = W_{u\varepsilon}(s)m_u(t) + W_{f\varepsilon}(s)m_f(t) = m_\varepsilon^u(t) + m_\varepsilon^f(t). \quad (20)$$

Тут $m_u(t)$ і $m_f(t)$ – еквівалентні регулярні складові керуючого сигналу і збурення, що містять математичне сподівання відповідного випадкового процесу і відповідний регулярний сигнал.

У випадку, коли зовнішні дії не містять регулярних складових ($m_\varepsilon=0$) як критерій динамічної точності системи можна взяти дисперсію помилки або середнє квадратичне відхилення помилки:

$$\bar{\varepsilon}^2 = D_\varepsilon, \quad \sigma_\varepsilon = \sqrt{D_\varepsilon}. \quad (21)$$

Аби за відомою спектральною щільністю знайти дисперсію помилки, необхідно обчислити інтеграл, що є складною задачею. Тому на практиці це обчислення виконують або аналітичним методом за допомогою табличних інтегралів, або методом графоаналітичного інтегрування.

Аналітичний метод визначення дисперсії помилки

Цей метод ґрунтується на припущенні, що спектральні щільності й частотні передавальні функції у виразі (33) є дробове-раціональними функціями від ω . Тоді для спектральної щільності можна подати у вигляді:

$$S_i(j\omega) = |B(j\omega)|^2 / |H(j\omega)|^2, \quad (22)$$

де $B(j\omega)$, $H(j\omega)$ – деякі поліноми від комплексної змінної $j\omega$.

Обчислення окремих складових дисперсії помилки зводиться до обчислення інтегралів стандартного типу:

$$J_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_i(j\omega) d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|B(j\omega)|^2}{|H(j\omega)|^2} d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{M(j\omega)}{H(j\omega)H(-j\omega)} d\omega, \quad (23)$$

де

$$\begin{cases} H(j\omega) = a_0(j\omega)^n + a_1(j\omega)^{n-1} + \dots + a_n; \\ M(j\omega) = b_0(j\omega)^{2(n-1)} + b_1(j\omega)^{2(n-2)} + \dots + b_{n-1}. \end{cases} \quad (24)$$

Таким чином, за аналітичним методом спочатку визначають спектральну щільність помилки $S_\varepsilon(\omega)$, що складається з доданків вигляду (24), і знаходять коефіцієнти a_i , b_i поліномів $H(j\omega)$, $M(j\omega)$. Потім за допомогою стандартних інтегралів J_n визначають окремі складові дисперсії помилки і знаходять саму дисперсію помилки D_ε .

На вході замкнутої слідкуючої системи з одиничним зворотним зв'язком діє сигнал $U(t)$, що має спектральну щільність $S_u(\omega) = 2D_u T_u / (1 + \omega^2 T_u^2)$, а на вході розімкнутої системи діє випадкове збурення $F(t)$ типу “білий шум”, спектральна щільність якого $S_f(\omega) = N$. Кореляція між цими сигналами відсутня.

Передавальна функція розімкнутої слідкуючої системи: $W(s) = k/[s(1+Ts)]$.

Визначити середню квадратичну помилку системи за таких умов:

$$D_u = 100 \text{ В}; T_u = 20 \text{ с}; N = 0,01 \text{ В}^2/\text{Гц}; T = 0,1 \text{ с}; k = 5 \text{ с}^{-1}.$$

Зазначимо, що у даному випадку зовнішні дії не містять регулярних складових і середня квадратична помилка співпадає з дисперсією помилки.

1. Знаходимо передавальні функції замкнутої системи за помилкою і за керуванням:

$$W_{ue}(s) = 1/[1+W(s)] = s(Ts+1)/(Ts^2+s+k);$$

$$W_{fe}(s) = W(s)/[1+W(s)] = k/(Ts^2+s+k).$$

2. Спектральна щільність помилки:

$$S_\varepsilon(\omega) = \left| \frac{j\omega(Tj\omega+1)}{T(j\omega)^2+(j\omega)+k} \right|^2 S_u(\omega) + \left| \frac{k}{T(j\omega)^2+(j\omega)+k} \right|^2 S_f(\omega).$$

3. Знаходимо складову середнього квадрата помилки $\bar{\varepsilon}_u^2$, що зумовлена керуючим сигналом і співпадає у даному випадку зі складовою дисперсії помилки D_ε^u :

$$\bar{\varepsilon}_u^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{j\omega(Tj\omega+1)}{T(j\omega)^2+(j\omega)+k} \right|^2 \frac{2D_u T_u}{1+T_u^2\omega^2} d\omega.$$

Оскільки $|j\omega| = \omega$, $|1+jT\omega| = \sqrt{1+T^2\omega^2}$, а $(1+T_u^2\omega^2)$ можна подати у вигляді $|1+jT_u\omega|^2$, то інтеграл напишемо у вигляді:

$$\begin{aligned} \bar{\varepsilon}_u^2 &= 2D_u T_u \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\omega^2 (T^2\omega^2 + 1)d\omega}{|T(j\omega)^2 + (j\omega) + k|^2 \cdot |1 + j\omega T_u|^2} = \\ &= 2D_u T_u \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{T^2(j\omega)^4 - (j\omega)^2}{|TT_u(j\omega)^3 + (T + T_u)(j\omega)^2 + (1 + T_u k)(j\omega) + k|^2} d\omega = 2D_u T_u J_3. \end{aligned}$$

Порівнюючи отриманий вираз із виглядом підінтегральної функції, можна записати поліноми (для $n = 3$):

$$N(j\omega) = a_0(j\omega)^3 + a_1(j\omega)^2 + a_2(j\omega) + a_3 = TT_u(j\omega)^3 + (T + T_u)(j\omega)^2 + (1 + T_u k)(j\omega) + k.$$

$$\text{Тобто } a_0 = TT_u; a_1 = (T + T_u); a_2 = (1 + T_u k); a_3 = k.$$

$$M(j\omega) = b_0(j\omega)^4 + b_1(j\omega)^2 + b_2 = T^2(j\omega)^4 - (j\omega)^2.$$

$$\text{Отже, } b_0 = T^2; b_1 = -1; b_2 = 0.$$

Знаходимо значення стандартного інтеграла J_3 :

$$J_3 = (-a_2 b_0 + a_0 b_1 - a_0 a_1 b_2 / a_3) / [2a_0(a_0 a_3 - a_1 a_2)] = \\ = \frac{-(1 + T_u k)T^2 + TT_u(-1)}{2TT_u[TT_u k - (T + T_u)(1 + T_u k)]} = \frac{-T - TT_u k - T_u}{2T_u(-T - T_u - T_u^2 k)} = \frac{1}{2T_u} \cdot \frac{T + TT_u k + T_u}{T + T_u + T_u^2 k}.$$

Тоді отримуємо:

$$\bar{\varepsilon}_u^2 = 2D_u T_u J_3 = D_u \frac{T + T_u + TT_u k}{T + T_u + T_u^2 k}.$$

4. Знаходимо складову середнього квадрата помилки $\bar{\varepsilon}_f^2$, що обумовлена збуренням, і співпадає у даному випадку зі складовою дисперсії помилки D_ε^f :

$$\bar{\varepsilon}_f^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{k^2 N}{T(j\omega)^2 + (j\omega) + k} \right|^2 d\omega = k^2 N J_2.$$

Порівнюючи отриманий вираз із виглядом підінтегральної функції, можна записати поліноми (для $n = 2$):

$$H(j\omega) = a_0(j\omega)^2 + a_1(j\omega) + a_2 = T(j\omega)^2 + (j\omega) + k.$$

Тобто $a_0 = T$; $a_1 = 1$; $a_2 = k$.

$$M(j\omega) = b_0(j\omega)^2 + b_1 = 1. \text{ Отже, } b_0 = 0; b_1 = 1.$$

Знаходимо значення стандартного інтеграла J_2 :

$$J_2 = (-b_0 + a_0 b_1 / a_2) / (2a_0 a_1) = 1 / (2k).$$

Тоді отримуємо: $\bar{\varepsilon}_f^2 = k^2 N J_2 = kN / 2$.

5. Знаходимо підсумкове значення середнього квадрата помилки, що дорівнює у даному випадку дисперсії помилки D_ε :

$$\bar{\varepsilon}^2 = \bar{\varepsilon}_u^2 + \bar{\varepsilon}_f^2 = D_u \frac{T + T_u + TT_u k}{T + T_u + T_u^2 k} + \frac{kN}{2} = 100 \frac{0,1 + 20 + 5 \cdot 0,1 \cdot 20}{0,1 + 20 + 5 \cdot 20^2} + \frac{5 \cdot 0,01}{2} = 1,5.$$

Середнє квадратичне відхилення помилки: $\sigma_\varepsilon = \sqrt{\bar{\varepsilon}^2} = 1,22 \text{ В}$.

7.4 Синтез лінійних систем із мінімальною середньою квадратичною помилкою

Розглянемо систему автоматичного керування з передавальною функцією $W_3(p)$, яка слугує для підсилення й перетворення керуючого корисного сигналу

$X(t)$ за наявності випадкового збурення $F(t)$. Це перетворення у загальному випадку виконується відповідно до деякого заданого алгоритму перетворення $H(p)$ (рис.7.2).

Система повинна якомога точніше відтворювати на своєму виході не саму керуючу дію $X(t)$, а деяку функцію від неї:

$$Z(t) = H(p)X(t). \quad (25)$$

У системах, що знаходяться під впливом випадкового (або регулярного)

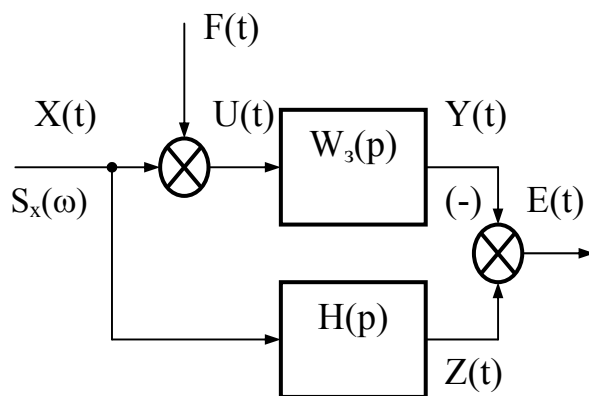


Рис. 7.2 – Структурна схема замкнутої САК

корисного сигналу і випадкового збурення, виникає задача відділення корисного сигналу від перешкоди та фільтрації цієї перешкоди. Цю задачу називають *задачею фільтрації* або *згладжування*.

Уведення перетворюючого оператора $H(p)$ узагальнює задачу не тільки на слідкуючі системи, у яких

$Z(t) = X(t)$ (тобто $H(p) = 1$), але й на інші класи систем, що виконують різні перетворювання керуючого сигналу.

Залежно від вигляду оператора $H(p)$ задача фільтрації поєднується із задачею *відтворення* (якщо $H(p) = \text{const}$), *випередження* або *екстраполяції*, *інтегрування*, *диференціювання* тощо. У загальному випадку оператор $H(p)$ може бути довільним. Через динамічні помилки системи, а також наявність перешкод, вихідний сигнал $Y(t)$ буде відрізнятися від сигналу $Z(t)$. Різницю

$$E(t) = Z(t) - Y(t) \quad (26)$$

називають *випадковою помилкою системи*.

Синтез систем при випадкових впливах полягає у визначенні динамічних характеристик системи, що найкращим чином забезпечують виконання деякого статистичного критерію оптимальності. Найчастіше як такий критерій беруть критерій мінімуму середньої квадратичної помилки:

$$\varepsilon_{\text{с.к.}} = \sqrt{\bar{\varepsilon}^2} = \sqrt{\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \varepsilon^2(t) dt}, \quad (27)$$

де $\varepsilon(t)$ – будь-яка реалізація випадкової помилки.

У цьому випадку задача синтезу полягає у тому, щоб знайти таку оптимальну передавальну функцію замкнутої системи $W_{\text{з.опт.}}(p)$, яку можна фізично реалізувати, і при якій середнє значення квадрата помилки $\bar{\varepsilon}^2$ набувало б мінімуму:

$$\bar{\varepsilon}^2 = \overline{\{Z(t) - X(t)\}^2} = \min. \quad (28)$$

Використання даного статистичного критерію може бути нераціональним у тих випадках, коли вимоги до величини помилки на різні моменти часу неоднакові, але через свою простоту він набув широкого практичного застосування.

Способи розв'язування задачі синтезу при випадкових діях можуть бути різними залежно від вигляду графіка спектральної щільності керуючого сигналу і збурення.

У найпростішому випадку, коли спектри частот корисного сигналу $S_x(\omega)$ і збурення $S_f(\omega)$ не накладаються один на одного (рис.3, а) АЧХ замкнутої системи $A(\omega)$ вибирають достатньо широкою для забезпечення необхідної точності відтворювання керуючого сигналу й водночас достатньо вузькою, щоб система менше реагувала на перешкоду.

Якщо керуючий сигнал має спектр частот, що швидко убиває зі зростанням частоти, а спектр завад є близьким до білого шуму (рис. 7.3, б), то форму АЧХ $|W(j\omega)|$ розімкнутої системи слід вибирати на низьких частотах, де $|W(j\omega)| \gg 1$ і де сконцентрована основна енергія керуючого сигналу, якомога близькою до форми спектральної щільності керуючого сигналу $S_x(\omega)$.

У загальному випадку, коли спектри частот корисного сигналу й перешкоди накладаються і мають довільну форму (рис. 7.3, в) визначення оптимальних параметрів системи стає достатньо складним.

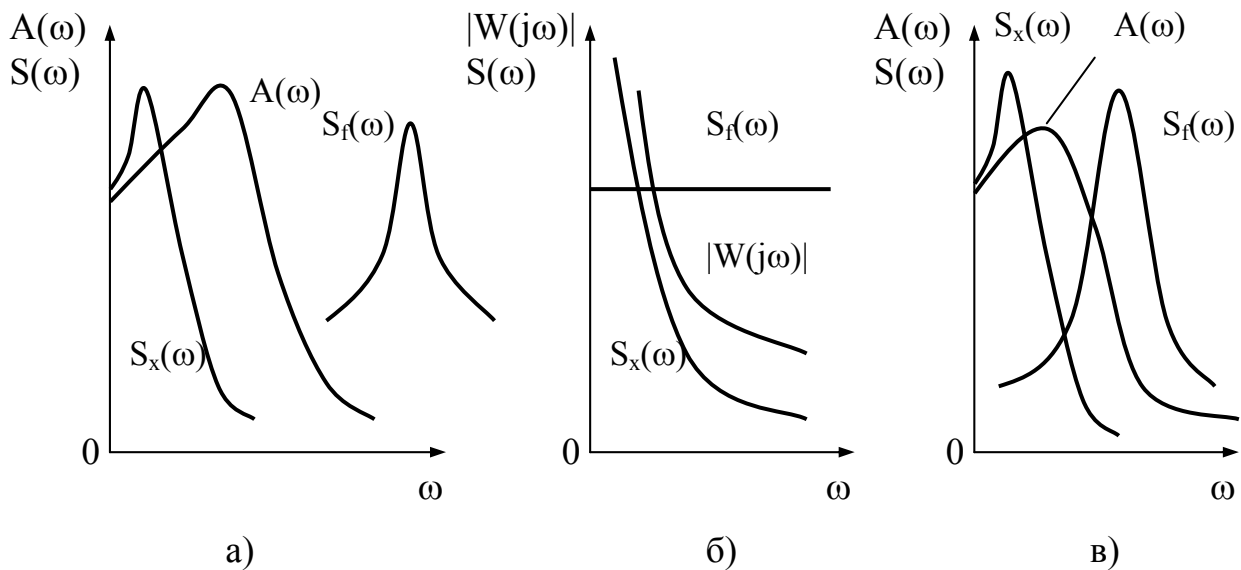


Рис.7.3 – Визначення оптимальних параметрів системи за виглядом спектрів частот керуючого сигналу $S_x(\omega)$ і збурення $S_f(\omega)$

Під час синтезу систем із випадковими впливами розрізняють два види задач:

- синтез при заданій структурі системи керування, коли намагаються досягти мінімуму середньої квадратичної помилки за рахунок вибору оптимальних параметрів коректувальних ланок системи на підставі відомих статистичних характеристик корисного сигналу і збурення;

- синтез при довільній структурі системи керування, коли за відомими статистичними характеристиками корисного сигналу і збурення визначають оптимальну структуру і параметри системи, що забезпечують мінімум середньої квадратичної помилки.

Синтез при заданій структурі системи керування

У даному випадку задані: статистичні характеристики корисного сигналу і збурення, наприклад, їх спектральні щільності $S_x(\omega)$ і $S_f(\omega)$; структура системи та її передавальна функція $W(s) = W(s, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$, де β_i – параметри системи.

Необхідно знайти оптимальні параметри системи $\beta_{1\text{опт}}, \beta_{2\text{опт}}, \dots, \beta_{n\text{опт}}$, за яких забезпечується мінімум середньої квадратичної помилки.

Цю задачу розв'язують так:

- за відомими спектральними щільностями $S_x(\omega)$ і $S_f(\omega)$ та передавальною функцією системи визначають спектральну щільність помилки $S_\varepsilon(\omega)$;

- за допомогою табличних інтегралів знаходять аналітичний вираз середнього значення квадрата помилки $\bar{\varepsilon}^2$, яке залежить від параметрів системи:

$$\bar{\varepsilon}^2 = F(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n); \quad (29)$$

- диференціюють (29) за β_i , i , дорівнюючи до нуля частинні похідні, знаходять n рівнянь, із яких визначають оптимальні параметри системи, що забезпечують мінімум середньої квадратичної помилки.

Як правило, більшість параметрів системи змінити неможливо або важко, оскільки вони визначаються заданими технічними або конструктивними міркуваннями. Тому звичайно вибирають два – три параметри, наприклад сталі часу коректувальних ланок, коефіцієнт підсилення розімкнутої системи тощо. Параметри системи, що вибрані за критерієм мінімуму середньої квадратичної помилки, оцінюють, виходячи з можливості технічної реалізації та припустимих динамічних показників системи (часу регулювання, величини перерегулювання і т.д.).

Синтез при довільній структурі системи керування

Розглянемо систему керування. Сумарний сигнал на вході системи дорівнює: $U(t) = X(t) + F(t)$. Вихідний сигнал системи $Y(t)$ зв'язаний з вхідним сигналом $U(t)$ рівнянням:

$$Y(t) = W_3(p)U(t) = W_3(p) [X(t) + F(t)],$$

де $W_3(p)$ – передавальна функція замкнутої системи.

Припустимо, що система має відтворювати деяку функцію від керуючого сигналу $Z(t) = H(p)X(t)$, помилка відтворення дорівнює: $E(t) = Z(t) - Y(t)$.

Задача синтезу в разі довільної структури лінійної системи полягає в тому, щоб за відомими статистичними характеристиками корисного сигналу і перешкоди знайти таку оптимальну передавальну функцію замкнутої системи $W_{з.опт.}(p)$, при можливій фізичній реалізації якої виконувалася б умова:

$$\bar{\varepsilon}^2 = \overline{\{Z(t) - X(t)\}^2} = \min.$$

Розглянемо спрощену задачу синтезу оптимальної передавальної функції замкнутої системи за таких умов:

- задані спектральні щільності корисного сигналу $S_x(\omega)$ і збурення (завади) $S_f(\omega)$, а також оператор перетворення $H(p)$;

- корисний сигнал і збурення некорельовані (цей випадок часто зустрічається на практиці);

- передавальну функцію спочатку шукаємо без урахування можливості її фізичної реалізації.

Для цієї задачі можна записати такий вираз оптимальної передавальної функції (без виведення):

$$W_{з.опт.}(j\omega) = \frac{S_x(\omega)}{S_x(\omega) + S_f(\omega)} H(j\omega). \quad (30)$$

Із (30) видно, що єдиними статистичними характеристиками корисного сигналу і збурення, що необхідні для визначення оптимальної комплексної передавальної функції замкнутої системи, є їх спектральні щільності.

У загальному випадку ця передавальна функція може виявитися такою, що не реалізується фізично. Зазначимо, що умовою можливості фізичної реалізації системи є рівність:

$$w(t) = 0 \text{ при } t < 0,$$

тобто реакція системи на δ - функцію, що діє на момент часу $t = 0$, дорівнює нулю при $t < 0$.

Передавальна функція $W_{з.опт.}(s)$ системи, що фізично реалізується, повинна мати тільки ліві корені.

Для того, щоби реалізувати функцію, найбільш близьку до оптимальної, необхідно із $W_{з.опт.}(j\omega)$ виділити частину, що фізично реалізується, а решту членів відкинути (наприклад, за методикою Г. Боде і К.Шенона).

Висновки по розділу

У курсі теорії ймовірностей основним об'єктом дослідження є випадкові величини. У результаті випробувань випадкова величина набуває єдиного значення, причому воно заздалегідь невідоме. Застосування такого елементарного підходу до вивчення випадкових явищ не може задовольнити практичні потреби.

Випадкові величини, які змінюються протягом випробування, називаються випадковими функціями. Вивченням подібних випадкових об'єктів, які є узагальненням поняття випадкових величин, займається новітній розділ теорії ймовірності – теорія випадкових функцій. Теорія випадкових (стохастичних) процесів – це математична наука, яка вивчає закономірності випадкових явищ у динаміці їх розвитку (розбіжності між поняттями «випадкова функція» і «випадковий процес» будуть пояснені нижче).

Теорія випадкових функцій продовжує активно розвиватися, оскільки в багатьох практичних задачах системного аналізу й теорії керування потрібно враховувати випадкові фактори саме в динаміці, тобто зважати на їхню мінливість у процесі випробування.

Випадковою функцією (ВФ) називається функція, яка внаслідок випробування може набути того чи іншого конкретного вигляду, заздалегідь невідомо, якого саме.

Серед випадкових процесів окремо виділяють процеси характерні дискретним та неперервним часом. Випадковий процес називається процесом із дискретним часом, коли система, в якій він відбувається, змінює свій стан тільки у моменти t_1, t_2, \dots, t_j , число яких скінченне або лічильне.

Випадковий процес називається процесом, який характеризується неперервними станами, коли його розрізом у будь-який момент часу t є неперервна випадкова величина.

Таким чином, усі випадкові процеси ми можемо поділити на такі чотири класи:

1. Процеси, характерні дискретними станами і дискретним часом.
2. Процеси, характерні дискретними станами і неперервним часом.
3. Процеси, характерні неперервними станами і дискретним часом.
4. Процеси, характерні неперервними станами і неперервним часом.

Спектральна щільність стаціонарного випадкового процесу на виході лінійної системи дорівнює спектральній щільності випадкового процесу на вході системи, помноженій на квадрат модуля комплексної передавальної функції цієї системи.

Чим більш високі частоти містить спектр випадкового сигналу, тим сильніше вони підсилюються. Це завжди необхідно мати на увазі під час уведення до системи коректувального диференціального пристрою. У разі значного рівня випадкових завад уведення такої ланки може не привести до поліпшення динамічних властивостей, а навіть погіршити їх.

Аби за відомою спектральною щільністю знайти дисперсію помилки, необхідно обчислити інтеграл, на практиці це обчислення виконують або аналітичним методом за допомогою табличних інтегралів, або методом графоаналітичного інтегрування.

Аналітичний метод визначення дисперсії помилки ґрунтується на припущенні, що спектральні щільності й частотні передавальні функції є дробово-раціональними функціями від ω .

Синтез систем при випадкових впливах полягає у визначенні динамічних характеристик системи, що найкращим чином забезпечують виконання деякого статистичного критерію оптимальності.

Способи розв'язування задачі синтезу при випадкових діях можуть бути різними залежно від вигляду графіка спектральної щільності керуючого сигналу і збурення.

У найпростішому випадку, коли спектри частот корисного сигналу $S_x(\omega)$ і збурення $S_f(\omega)$ не накладаються один на одного АЧХ замкнutoї системи $A(\omega)$ вибирають достатньо широкою для забезпечення необхідної точності відтворення керуючого сигналу й водночас достатньо вузькою, щоб система менше реагувала на перешкоду.

Якщо керуючий сигнал має спектр частот, що швидко убуває зі зростанням частоти, а спектр завад є близьким до білого шуму, то форму АЧХ $|W(j\omega)|$ розімкнутої системи слід вибирати на низьких частотах, комога близькою до форми спектральної щільності керуючого сигналу $S_x(\omega)$.

У загальному випадку, коли спектри частот корисного сигналу й перешкоди накладаються і мають довільну форму визначення оптимальних параметрів системи стає достатньо складним.

Під час синтезу систем із випадковими впливами розрізняють два види задач:

- синтез при заданій структурі системи керування, коли намагаються досягти мінімуму середньої квадратичної помилки за рахунок вибору оптимальних параметрів коректувальних ланок системи на підставі відомих статистичних характеристик корисного сигналу і збурення;

- синтез при довільній структурі системи керування, коли за відомими статистичними характеристиками корисного сигналу і збурення визначають оптимальну структуру і параметри системи, що забезпечують мінімум середньої квадратичної помилки.

Єдиними статистичними характеристиками корисного сигналу і збурення, що необхідні для визначення оптимальної комплексної передавальної функції замкнutoї системи, є їх спектральні щільності.