

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
"Національний гірничий університет"

Електротехнічний
(факультет)

Кафедра Електропривода
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

дипломної роботи

магістра

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань 14 Електрична інженерія

(шифр і назва галузі знань)

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

(освітня програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»)

освітній рівень магістр

(назва освітнього рівня)

Кваліфікація 2151.2 (Int) Інженер-електромеханік

(код і назва кваліфікації)

на тему: Мінімізація динамічної похибки електромеханічної системи
технологічного комплексу обробки металу тиском

Виконавець:

Студент 6 курсу, групи 141М-16-4

Петропавловський В.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту	<u>Азюковський О.О.</u>		
розділів:			
1,2,3	<u>Азюковський О.О.</u>		

Рецензент	Рогоза В.М.		
-----------	-------------	--	--

Нормоконтроль	Казачковський М.М.		
---------------	--------------------	--	--

Дніпропетровськ
2018

**Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
"Національний гірничий університет"**

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
Електроприводу
(повна назва)

_____ Казачковський М.М.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2017 року

ЗАВДАННЯ
на виконання кваліфікаційної роботи магістра
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
**(освітня програма «Електромеханічні системи автоматизації та
електропривод»)**

студенту 141М-16-4 Петропавловський В.О.
(група) (прізвище та ініціали)

Тема дипломної роботи : Мінімізація динамічної похибки електромеханічної системи
технологічного комплексу обробки металу тиском

Наказ ректора ДВНЗ "НГУ" від 31.10.2017 № 1806-л

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок- кінець)
Характеристика об'єкту проектування, обґрунтування вимог до електроприводу та постановка задач проектування.	1.11.2017– 19.11.2017
Розрахунок та вибір електротехнічного обладнання, вибір функціональної системи керування, розробка моделі та її дослідження	20.11.2017– 4.12.2017
Аналіз шкідливих і небезпечних факторів та заходи щодо їх усунення	5.12.2017– 19.12.2017

Завдання видав _____

(підпис)

Азюковський О.О.

(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Петропавловський В.О.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: _____

Термін подання дипломної роботи до ЕК _____

ЗМІСТ

	стр.
РЕФЕРАТ	3
ВСТУП.....	6
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	8
1.1 Загальні відомості.....	9
1.2 Призначення, склад і технічна характеристика моталки стану 1700 холодної прокатки	11
1.3 Технологія роботи моталки стану 1700 холодної прокатки	15
1.4 Технологічні вимоги пред'являються до електроприводу моталки...	19
2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВІД	22
2.1 Технічне завдання на проектування.....	23
2.2 Розрахунок потужності двигуна.....	23
2.3 Вибір потужності двигуна.....	28
2.4 Вибір комплектного електроприводу.....	31
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	39
3.1 Регулювання систем підпорядкованого регулювання.....	40
3.2 Розрахунок САУ за допомогою логарифмічних частотних характеристик.....	49
3.3 Покарщення характеристик перехідного процесу електромеханічної системи.....	55
3.4 Кутова характеристика синхронного двигуна	61
3.5 Механічні характеристики синхронного двигуна	63
3.6 Аналіз динаміки електроприводу.....	64
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	66
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів прокатного виробництва.....	67
4.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці.....	67
4.3 Пожежна безпека.....	70
ВИСНОВОК.....	72

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ І ЛІТЕРАТУРИ.....	73
--	----

Реферат

Объект работы: прокатный стан холодной прокатки 1700.

Цель работы: модернизация моталки прокатного стана, путём правильного выбора мощности двигателя, использования комплектного электропривода и системы контроля и диагностики аварийных ситуаций.

Выбраны элементы силовой цепи: асинхронный электродвигатель 1DQ4246-6BA02-Z, преобразователь частоты SIMOVERT D.

Исследована динамика проектируемого электропривода в режимах пуска в холостую, установившегося движения с последующим набросом нагрузки и свободный выбег с использованием специализированного пакета MATLAB приложения Simulink.

Предложены инженерные мероприятия по снижению влияния вредных и опасных факторов.

Определены капитальные и эксплуатационные расходы в результате модернизации системы управления с возможностью снижения затрат на энергоресурсы.

СТАН ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ, ЭЛЕКТРОПРИВОД
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА, ОДНОЗОННАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ,
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, БЕЗОПАСНОСТЬ.

Реферат

Об'єкт роботи: прокатний стан холодної прокатки 1700.

Ціль роботи: модернізація моталки стан холодної прокатки шляхом правильного вибору потужності двигуна, використання комплектного електропривода та системи контролю діагностики аварійних ситуацій.

Вибрані елементи силового ланцюга: асинхронний електродвигун 1DQ4246–6BA02-Z, перетворювач частоти SIMOVERT D.

Досліджена динаміка проектованого електропривода в режимах пуску, усталеного руху та вільній вибіг з використанням спеціалізованого пакета MATLAB додатка Simulink.

Запропоновані інженерні заходи по зниженню впливу шкідливих і небезпечних факторів.

Визначені капітальні та експлуатаційні витрати у результаті модернізації системи керування з можливістю зниження затрат на енергоресурси.

СТАН ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ, ЕЛЕКТРОПРИВІД ЗМІННОГО СТРУМУ, ОДНОЗОННА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТА ДІАГНОСТИКИ, ЕНЕРГОСБЕРЕЖЕННЯ, БЕЗПЕКА.

Abstract

The object of detailed design: Cold rolling mill 1700.

Objective: cold mill electric mill, through the appropriate choice of engine power, the use of complete electric drive and control system and diagnostics emergencies.

Selected elements of the main circuit: induction motor 1DQ4246–6BA02-Z, frequency converter SIMOVERT D.

Research the dynamics of the planned start-up in the drive in idle mode, steady motion, followed by load and lashed a free coasting using specialized package MATLAB Simulink applications.

Proposed engineering measures to reduce the impact of harmful and hazardous factors.

Determined capital and operating costs as a result of the modernization of the control system with the ability to reduce energy costs.

COLD ROLLING MILL, BUCKET ELEVATOR, AC DRIVES, SINGLE-BAND CONTROL SYSTEM, FREQUENCY CONVERTER, CONTROL SYSTEM AND DIAGNOSTICS EMERGENCIES, ENERGY SAVING, SAFETY.

ВСТУП

Основна частина одержуваної сталі проходить через прокатні цехи і лише незначна кількість через ливарні і ковальські цехи. Тому розвитку прокатного виробництва приділено велику увагу.

В даний час частка холоднокатаних листів в загальній масі тонколистового прокату становить близько 50%. Виробництво холоднокатаних листів, смуг і стрічок продовжує інтенсивно розвиватися. Основну масу (приблизно 80%) холоднокатаних листів становить низьковуглецевий конструкційна сталь товщиною 0,5-2,5 мм, шириною до 2300 мм. Таку тонколистову сталь широко використовують в автомобілебудуванні, тому часто її називають автолист. Методом холодної прокатки виробляють майже всю жість - продукцію, що йде в великих кількостях для виготовлення харчової тари, зокрема консервних банок. Матеріалом для жерсті також служить низьковуглецева сталь, але в більшості випадків жість випускають із захисним покриттям, найчастіше - олов'яним. Жість прокочують у вигляді смуг товщиною 0,07-0,5 мм, шириною до 1300 мм. До поширених видів холоднокатаної продукції також відносяться: декапірують (травлення і відпалений сталь, застосовувана при виробництві емальованого посуду та інших виробів з покриттями), покрівельний лист (часто випускається оцинкованим), низьколеговані конструкційні сталі. Особливо слід відзначити дві важливі групи легованих сталей - корозійностійкої (нержавіючу) і електротехнічну (динамную і трансформаторну).

Початок холодної прокатки листів відноситься до 80-м рр. 19 ст. ; холодно-ва прокатка труб освоєна в 1930 в США.

В СРСР першим досягненням станостроєння стало спорудження Іжора-ським заводом двох блюмінгів, які в 1933 введені в експлуатацію на Макіївському і Дніпродзержинському металургійних заводах.

Холодна прокатка в порівнянні з гарячою має два великих пре-майна: по-перше, вона дозволяє виробляти листи і смуги товщиною менше 0,8 - 1 мм, аж до декількох мікрон, що гарячої катки недосяжно; по-друге, вона забезпечує отримання продукції більш високої якості за всіма показниками - точності розмірів, обробці поверхні, фізико-механічними властивостями. Ці переваги холодної прокатки обумовили її широке використання, як у чорній, так і в кольоровій металургії. Разом з тим необхідно відзначити, що процеси холодної прокатки є більш енергоємними, ніж процеси гарячої прокатки. При холодної деформації метал зміцнюється (наклепивається); в зв'язку з цим для відновлення пластичних властивостей доводиться проводити відпал. Технологія виробництва холоднокатаних листів включає велику кількість переділів, вимагає застосування складного різноманітного обладнання.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні відомості

Прокатним станом називають комплекс машин і агрегатів, призначення для здійснення процесу прокатки металу, подальшої його обробки (редагування, різання) і транспортування (Рис.1.1)

Устаткування прокатного стану можна поділити на 2 групи - основну, розташоване в робочій лінії стану, і допоміжне, служачи-ний для транспортування і обробки прокочується смуги. Робоча лінія складається з робочої кліті і лінії приводу, що включає в загальному випадку двигун, редуктор, шестеренних кліть і сполучні деталі. Число клітей прокатного стану залежить від його призначення і у деяких станів досягає декількох десятків. Кожна кліть може мати свою лінію приводу.

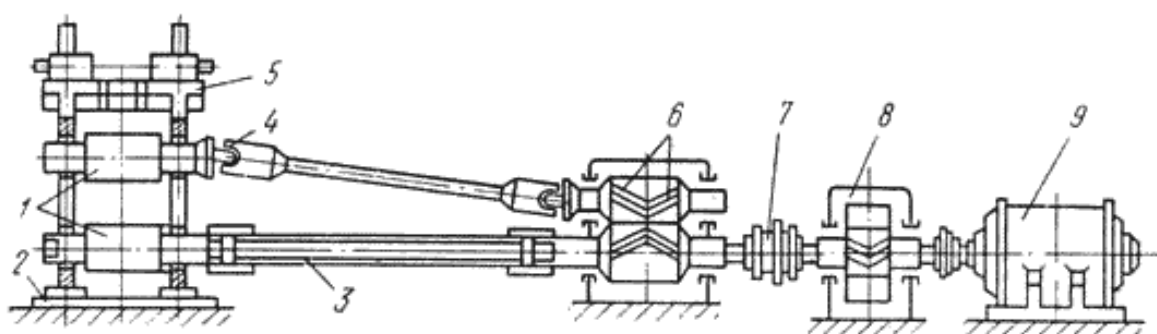


Рис.1.1 - Схема прокатного стану

1 - прокатні валки; 2 - плита; 3 - тріфазний шпindel; 4 - універсальний шпindel; 5 - робоча кліть; 6 - шестернева кліть; 7 - муфта; 8 - редуктор; 9 - двигун.

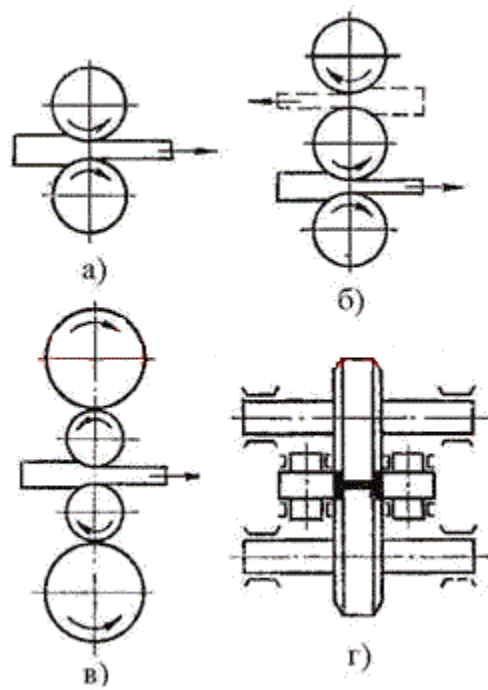


Рис. 1.2 – прокатні кліті.

У двовалкової клітях (рисунок 1.2, позиція а) здійснюється тільки по одному пропуску металу в одному напрямку. Метал в тривалкових клітях (рисунок 1.2, позиція б) рухається в одну сторону між нижнім і верхнім, а у зворотний - між середнім і верхнім валками.

У чотирехвалкових клітях (рисунок 1.2, позиція в) уста-навливаються опорні валки, які дозволяють застосовувати робочі валки малого діаметра, завдяки чому збільшується витяжка і знижуються деформують зусилля.

Універсальні кліті (рисунок 1.2, позиція г) мають неприводні вертикальні валки, які знаходяться між опорами підшипників горизонтальних валків і в одній площині з ними.

Шестернева кліть б призначена для розподілу крутного моменту двигуна між валками. Це одноступінчатий редуктор, переда-точне ставлення якого дорівнює одиниці, а роль шестерень виконують шестеренні валки.

1.2 Призначення, склад і технічна характеристика моталки стану 1700 холодної прокатки

Стан призначений для прокатки гарячекатаних заготовок, різних сортів сталі, з наступними основними параметрами:

Межа плинності металу: 370-600 Н / мм²

Тимчасовий опір на розрив: 490-690 Н / мм²

Розміри смуги:

Ширина смуги: 800 мм - 1650 мм

Товщина смуги:

на вході: 1,5 мм - 5,0 мм

на виході: 0,35 мм - 3,0 мм

Розміри рулону:

- Зовнішній діаметр: 990 мм - 2200 мм

- Внутрішній діаметр: 610 мм

- Маса рулону: не більше 35000 кг

Зусилля тиску металу на валки:

Сумарне зусилля тиску: не більше 22000 кН

Швидкість прокатки: не більше 1350 м / хв (22,5 м / с) на виході

стана

Час розгону:

- Нормальний розгін і останов до швидкості 22,5 м / с можна осу-вати за 18 с, тобто з прискоренням 1,25 м / с² (регулюється)

- Швидкий останов зі швидкості 22,5 м / с до 0 м / с здійснюється за 10 с, тобто з прискоренням 2,25 м / с²

- Аварійна зупинка триває 7,5 с, з прискоренням 3 м / с².

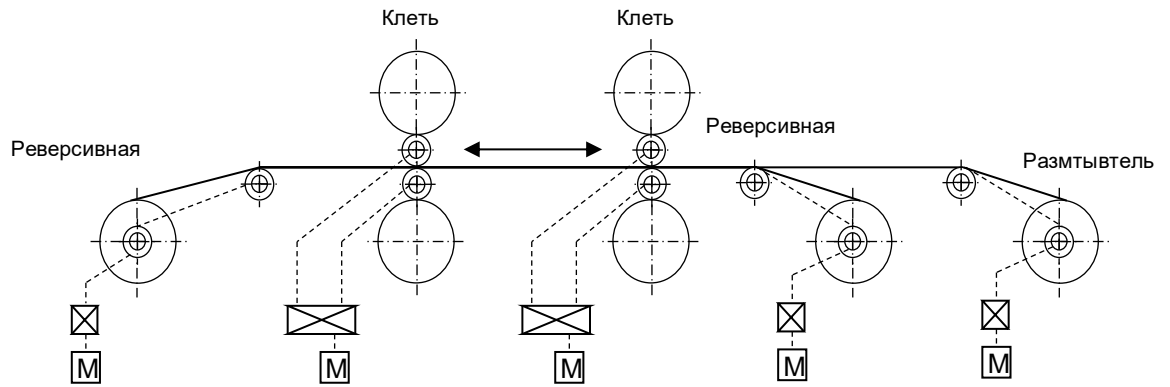


Рисунок 1.2.1 – Головні приводу стану

Основні пристрої і механізми двухклетевого стану

1. Сідельна крокує балка (крокуючий конвеєр), призначені-ченная для транспортування рулонів, що підлягають прокатці, в позицію пе-редачі.
2. Рулонні візки - призначені для транспортування рулона-нів.
3. Рулонопод'ємник - служить для підняття і опускання транс-кравець візки з рулоном з метою позиціонування його на Розмотувачі і зняття прокатанного рулону з моталки.
4. Розмотувач - призначений для розмотування рулону, подавання в прокатну кліть і підтримки зворотного натягу.
5. Прижимний ролик на вході розмотувача - наводить передній кінець рулону, надягнутого на барабан розмотувач, в положення, необхідне для подачі в станцію підготовки рулонів.
6. Стаціонарні та напрямні поворотні столи - розміщені під смугою і служать для забезпечення потрібного напрямку.
7. Трехроліковий правильно-тягне агрегат - призначений для правки деформованих ділянок і забезпечення необхідного вигину по-смуги для подачі її в розчин робочих валків першої кліті.
8. Прес з бічними направляючими - для додання смузі необхідного положення при вході в робочу кліть №1 і виході з неї при зворотному

проході, а також для забезпечення зворотного натягу при виході з кліті під час зворотного проходу.

9. Реверсивні моталки №1 і №2 - для змотування в рулон смуги, що виходить з робочої кліті, і підтримки натягу смуги.

Барабан моталки має наступні характеристики:

- максимальний діаметр (при розціпленого сегментах) 610 мм;
- мінімальний діаметр (при стислих сегментах) 586 мм.

10. Амортизуючий ролик - встановлений на вході моталки №1 і №2 і служить для утримування зовнішнього витка рулону при знятті його з барабана моталки.

11. Стикаються щит - рухається слідом за знімається рулоном і запобігає виходу (телескопування) внутрішніх витоків.

12. Вигинаючі ролики - для забезпечення необхідного вигину смуги для подачі її до барабану моталки №1 або №2.

13. Прокатні кліті - є клетями типу кварто, тобто мають по два робочих і по два опорних валка.

Кліті оснащені гідравлічними нажимними циліндрами, розположеними у верхній частині прокатних станин і призначених для створення зусиль прокатки. Кожна кліть оснащена системою позитивного і негативного вигину робочих валків.

Встановлені під подушками нижніх опорних валків клини забезпечують постійну висоту (рівень) прокатки незалежно від діаметрів використовуваних валків.

Кліті мають систему осьової зсування робочих валків (СМС).

Зрушення проводиться за допомогою гідравлічних циліндрів.

Кліті мають наступні характеристики:

- тип: 4High-CVC;
- відстань між клітями: 4500 мм;
- сумарне зусилля на кліть: 22000 кН;
- зрушення робочого валка: \square 100 мм.

14. Натяжна ролик - для вимірювання натягу смуги і підтримки постійного рівня лінії прокатки для пристрою вимірювання товщини смуги.

Розміри натяжної ролика:

- зовнішній діаметр: 275 мм;
- довжина бочки: 1800 мм.

15. Два передавальних напрямних столу - встановлені між першою і другою клітями нижче лінії прокатки і служать для підтримки смуги в проміжку між клітями під час заправки і забезпечення до-ступа до пристроїв вимірювання товщини смуги і швидкості під час технічного обслуговування.

16. Пристрій охолодження валків - для постачання робочих клітей охладающо-змазує емульсією. Розподіл емульсії в клітях відбувається через форсункові розпилювальні колектори, розташовані по обидва боки робочих валків.

17. Пристрій для перевалки валків.

18. Шестеренчатий редуктор, призначений для передачі крутного моменту від приводного двигуна до робочих валів. Редуктор виконаний підвищує, так як приводний двигун має тихохідне виконання. Передавальне число редуктора $i = 0,582$.

Режими роботи стану

Прокатний стан може працювати з різною кількістю проходів, які можна змінювати в залежності від прокочується марки сталі і вихідних параметрів смуги. В роботі табору можна виділити наступні режими:

1 Режим заправки смуги (перший прохід).

Смуга розмотується з розмотувача зі швидкістю заправки. До створення натягу смуги головні приводи працюють з регульованою частотою обертання при натягу > 2 кН. Після досягнення необхідного натягу смуги притискні і тягнуть ролики відводяться і включається система центрування смуги. При необхідності гідронажимні пристрої клітей спрацьовують на перекіс.

1. Режим прокатки (перший прохід).

Смуга розмотується з розмотувача зі швидкістю прокатки (визначається ЕОМ для конкретної марки сталі) і, проходячи через робочі валки, намотується на реверсивної моталці №2. У кожній кліті виробляється обтиснення смуги по товщині, що доходить до 40%.

2. Реверсивний режим прокатки (другий прохід).

Смуга розмотується з реверсивної моталки №2 і намотується на моталці №1. У кожній кліті виробляється обтиснення смуги по товщині, що доходить до 40%.

3. Реверсивний режим (третій прохід).

Проводиться розмотування смуги з реверсивної моталки №1 і намотування на моталці №2. Обтиснення в кожній кліті також може досягати 40%.

1.3 Технологія роботи моталки стану 1700 холодної прокатки

Підкатом (заготівлею) для двухклетевого реверсивного стану служить гарячекатана травлення смуга з нелегованої або мікролегованої вуглецевої сталі з обрізаним під прямим кутом переднім і заднім кінцями, змотана в рулон.

Призначені для прокату рулони електромостового краном встановлюються на завантажувальний конвеєр з крокуючою балкою, за допомогою яких в автоматичному режимі або по команді оператора головного поста, рулони транспортуються до останньої завантажувального секції, де їх розгортає на 180° пристрій повороту, приймає транспортна візок і подає до Розмотувачі.

На ділянці між завантажувальним конвеєром і розмотувачем за допомогою фотоелементних пристроїв проводиться вимірювання параметрів рулону: ширина, зовнішній внутрішній діаметри з метою встановлення і центрування рулону на осі барабана розмотувача. Після установки рулону на

барабан розмотувач рулон фіксується за допомогою гідравліки чотирма розціпленого сегментами.

Опускається притискною ролик на зовнішні витки рулону і він прокручується в положення, зручне для відгинання переднього кінця скребковим отгібателем.

Після захоплення переднього кінця рулону скребковим отгібателем включається привід обертання барабана розмотувача і притискного ролика на транспортування його до трехролікової правильно-тянущей машини, де проводиться правка деформованих ділянок і забезпечення необхідного вигину смуги для подальшого транспортування та завдання її в розчин робочих валків першої кліті.

Заправка смуги, настройка стану виробляються при зниженій швидкості в режимі поштовху. При заправці смуги важливо, щоб швидкість за-хвата металу валками не була дуже високою, тому що в протилежному випадку метал може не увійти в валки, оскільки з підвищенням швидкості коефі-цієнт тертя зменшується.

У процесі пуску і гальмування стану швидкість прокатки змінюється від нуля до повної. При збільшенні швидкості прокатки і збереженні неізмінним розчину валків товщина металу не залишається постійною - вона зменшується (явище «ефекту швидкості»). У зв'язку з цим необхідно, щоб довжина частини смуги, прокочується в процесі пуску і гальмування і виходить з допусків по товщині, була мінімальною, тобто щоб час процесів пуску і гальмування було найменшим.

Холодна прокатка металу повинна виконуватися з натягом смуги між клітями і між кліттю і моталкой. Лише за цієї умови можливе отримання листа високої якості. Відсутність натягу вважається аварійним режимом, так як це може призвести в кращому випадку до неякісної поверхні, а в гіршому - до петлеоб-разованію, попаданню петлі в валки і їх поломки.

Процес прокатки починається з захоплення переднього кінця рулону скребковим отгібателем, після чого включається привід обертання барабана

розмотувача і притискного ролика на транспортування його до трехролікової правильно-тянущей машини, де проводиться правка деформованих ділянок і забезпечення необхідного вигину смуги для подальшого транспортування та завдання її в розчин робочих валків першої кліти.

Величина попереднього розчину робочих валків клітей №1 і №2 і режими прокатки встановлюються автоматично після введення оператором головного поста в ЕОМ номера програми, яка відповідає цьому сортаменту.

Транспортування переднього кінця смуги від розмотувача до реверсивної моталки №2 проводиться на заправній швидкості 0,5 год 1 м / с (30ч60 м / хв). Після захоплення смуги реверсивної моталкою №2 і намотування двох - трьох витків створюється прокатне натяг і стан розганяється до робочої швидкості (не більше 22 м / с).

Холодна прокатка на реверсивному стані здійснюється в автоматичному режимі. Однак, у міру необхідності або в разі аварійної ситуації, оператор може переходити на «ручне управління», змінюючи режими прокатки, або виробляти форсовану зупинку стану.

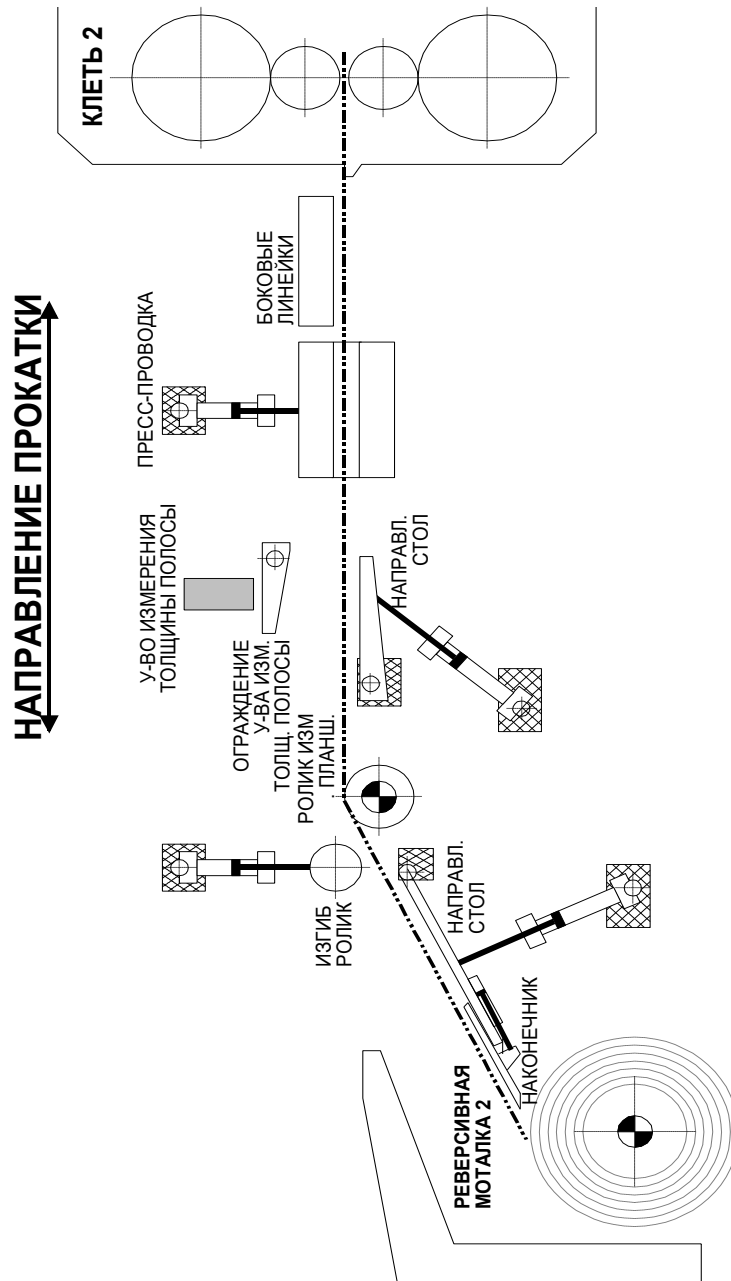
За 120год 140 метрів до заднього кінця рулону система автоматичного ведення процесу прокатки або оператор головного поста, працюючи в режимі «ручного» управління, дають команду на гальмування, знижуючи швидкість від робочої до заправної.

На заправній швидкості 0,5год 1 м / с задній кінець рулону, проходячи через робочі валки клітей №1 і №2 і Проводковая арматура стану, намотується на зовнішню частину рулону, що знаходиться на барабані реверсивної моталки №2 при притиснутому амортизується ролику. На цій операції процес прокатки рулону за перший прохід закінчується.

При прокатці металу в два проходи після завершення першого проходу проводиться реверс обертання робочих валків клітей №1 і №2 і барабана моталки №2. Подальші технологічні операції виконуються в тій же послідовності.

Загальна схема намотування і кінематична схема моталки представлені на рисунку 1.2.1 і рисунку. 1.2.2 відповідно.

Рис. 1.3.1. Загальна схема механізму моталки



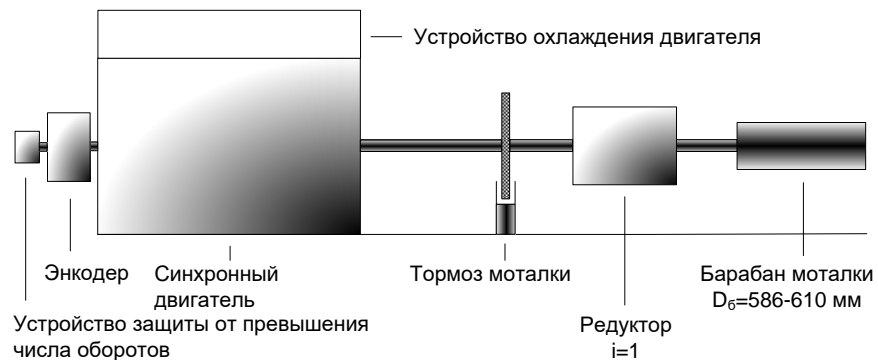


Рис.1.3.2. Кінематична схема приводу реверсивної моталки

1.4 Технологічні вимоги, що пред'являються до електроприводу моталки

- 1) Заправка та випуск смуги повинні проводитися на малій (повзучої) швидкості (0,5ч1 м / с).
- 2) Широкий діапазон регулювання швидкості при мінімальних втратах. Діапазон регулювання для двигунів моталок визначається відношенням максимальної швидкості прокатки до величини заправної швидкості.
- 3) Можливість спільного і роздільного управління двигунами клітей і моталок в будь-якому напрямку.
- 4) Можливість толчкового режиму роботи табору.
- 5) Система електроприводу повинна забезпечувати мінімально можливий час прискорення і уповільнення стану.
- 6) Електропривод повинен забезпечувати оптимальне протікання перехідних процесів при розгоні, гальмуванні, реверсуванні і регулювання швидкості обертання двигуна.
- 7) Привід повинен мати надійний захист від перевантажень і аварій, простоту управління і обслуговування.

Основна вимога пред'являється до електроприводів моталок і Розмотувачі будь-якої конструкції, полягає в забезпеченні підтримки натягу

при якісній намотуванні оброблюваної смуги в рулон. Відсутність натягу вважається аварійним режимом, так як веде до перекосу смуги і утворення петлі.

Точність регулювання параметрів намотування в значній мірі визначає якість продукції, що випускається. Високі технологічні вимоги повинні бути забезпечені у всіх режимах, в тому числі в динамічних, в режимі заправки і прокатці кінця смуги. При цьому повинні компенсуватися різного роду параметричні збурення, такі як ексцентриситет рулону, і вплив пружних зв'язків, облік яких вносить додаткові складності в математичний опис процесів і відповідно структуру системи керування електроприводом.

На підставі досліджень і обліку дослідів експлуатації сформован критерій оцінки якості роботи систем регулювання натягу електроприводів Розмотувачі і моталок. Для прокатних станів достатньою умовою для нормального протікання технологічного процесу є підтримка натягу з точністю до .Заданное натяг має підтримуватися в усіх режимах роботи стану: при нульовій швидкості (режим спокою), при розгоні і гальмуванні, при роботі на сталій швидкості. Діапазон уставок натягу залежить від сортаменту прокочується смуги, і, як правило, складає 1:10, рідше, для моталок і багатовалкових станов-до 1:50.

Діапазон зміни кутової швидкості двигуна моталки залежить від діапазону зміни діаметра рулону DR і діапазону зміни швидкості DV прокатки:

$$D_{\omega} = D_R \cdot D_V, \quad D_R = \frac{R_{\max}}{R_0}, \quad D_V = \frac{V_{\max}}{V_{\min}},$$

де R_0 - мінімальний радіус рулону, який визначається радіусом бару-бана розмотувача;

R_{\max} - максимальний радіус рулону;

V_{\max} , V_{\min} - максимальна і мінімальна швидкості прокатки.

Для розглянутого стану ці параметри наступні:

$$R_0 = 305 \text{ мм} \quad R_{\max} = 1100 \text{ мм}$$

$$V_{\max} = 22,5 \text{ м / с}, \quad V_{\min} = 1 \text{ м / с}$$

$$D_R = \frac{R_{\max}}{R_0} = \frac{1100}{305} = 3.6;$$

$$D_V = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{22.5}{1} = 22.5;$$

$$D_\omega = D_R \cdot D_V = 3.6 \cdot 22.5 = 81.$$

Таким чином, поряд з іншими вимогами, також необхідно забезпечити діапазон зміни швидкості близько 81: 1.

2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВІД

2.1 Технічне завдання на проектування.

Розрахунок потужності двигуна ведеться для найбільш важкого режиму намотування. У таблиці 2.1 наведені максимально можливі технічні дані, відповідні даному режиму намотування.

Таблиця 2.1. Технічні дані на розробку

максимальний натяг смуги	$T=150000$	Н
максимальна швидкість моталки	$V=22,5$	м/с
заправна швидкість моталки	$V=1$	м/с
діаметр барабана	$D_0=0,61$	м
діаметр рулону	$D_p=2,2$	м
ширина полоси	$B=1.65$	м
товщина смуги	$h=3$	мм
максимальна маса смуги	$G=35000$	Кг
час розгону / гальмування	$t_p = 18$	с
прискорення при розгоні / гальмуванні	$a = 1.25$	м/с ²
час циклу	$T_u = 250$	с
момент інерції механізму без рулону	$J=1650$	кгм ²
передавальне число редуктора	$i=1$	
ККД редуктора	$\eta = 0.95$	
межа плинності матеріалу смуги	$\sigma = 500$	Н/мм ²

2.2 Розрахунок потужності двигуна.

Розрахунок будемо проводити згідно з посібником з електроприводу моталок.

Статичний момент на валу барабана моталки складається тільки з моментів, необхідних для вигину смуги і створення натягу на ній. Прийmemo

момент холостого ходу рівним нулю, тому що згідно з технічними даними $M_{xx} = 0$, тоді:

$$M_c = M_{usz} + M_{nam};$$

Момент, необхідний для вигину смуги, визначається рівнянням:

$$M_{usz} = \frac{\sigma_T \cdot b \cdot h}{4 \cdot i \cdot \eta} = \frac{520 \cdot 1,65 \cdot 3^2}{4 \cdot 1 \cdot 0,95} = 2032 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де :

σ_T - предел плинності матеріалу смуги;

b - ширина смуги;

h - товщина смуги;

i - передавальне число редуктора;

η - КПД редуктора

Момент від натягу смуги в початковий момент намотування на заправочной швидкості:

$$M_{nam1} = \frac{T \cdot R_{\sigma}}{i \cdot \eta} = \frac{150000 \cdot 0,305}{1 \cdot 0,95} = 48,157 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

де T - максимальний натяг смуги

Момент від натягу смуги в початковий момент намотування на максі-бітної швидкості:

$$M_{nam2} = \frac{T \cdot R_{\text{пул}}}{i \cdot \eta} = \frac{150000 \cdot 0,545}{1 \cdot 0,95} = 86,052 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

$$\text{де } R_{\text{пул}} = \sqrt{R_0^2 + \frac{h}{\pi} \cdot \int_0^t V_M(t) dt} = \sqrt{R_0^2 + \frac{h \cdot (l_{\text{зан1}} + l_n)}{\pi}} = \sqrt{0,305^2 + \frac{3 \cdot 10^{-3} \cdot (12 + 202,1)}{3,14}} = 0,545 \text{ м,}$$

де $l_{\text{зан1}}$, l_n – довжини смуг, намотаних на заправці і при розгоні від заправної швидкості до максимальної швидкості намотування, м.

$$l_{\text{зан1}} = 12 \text{ м,}$$

$$l_n = V_{\text{зан1}} \cdot t_{n2} + \frac{a_n \cdot t_{n2}^2}{2} = 1 \cdot 17,2 + \frac{1,25 \cdot 17,2^2}{2} = 17,2 + 184,9 = 202,1 \text{ м.}$$

Момент від натягу смуги перед гальмуванням з максимальної швидкості до заправної:

$$M_{\text{нат3}} = \frac{T \cdot R_{\text{пул}}}{i \cdot \eta} = \frac{150000 \cdot 1,0014}{1 \cdot 0,95} = 158,163 \text{ кН} \cdot \text{м,}$$

де

$$\begin{aligned} R_{\text{пул}} &= \sqrt{R_0^2 + \frac{h}{\pi} \cdot \int_0^t V_M(t) dt} = \sqrt{R_0^2 + \frac{h \cdot (l_{\text{зан1}} + l_n + l_{\text{узм}})}{\pi}} = \\ &= \sqrt{0,305^2 + \frac{3 \cdot 10^{-3} \cdot (12 + 202,1 + 738,2)}{3,14}} = 1,0014 \text{ м,} \end{aligned}$$

де $l_{\text{узм}}$ – довжина смуги, намотана на максимальній швидкості намотування, м.

$$l_{\text{узм}} = l_{\text{пол}} - l_{\text{зан1}} - l_{\text{зан2}} - l_n - l_m = 1170 - 12 - 15 - 202,1 - 202,1 = 738,2 \text{ м,}$$

де $l_{\text{зан2}} = 15 \text{ м}$ – довжина смуги, намотана на заправній швидкості в кінці намотування;

$$l_m = V \cdot t_{m2} - \frac{a_m \cdot t_{m2}^2}{2} = 22,5 \cdot 17,2 - \frac{1,25 \cdot (17,2)^2}{2} = 387 - 184,9 = 202,1 \text{ м},$$

де l_m – довжина смуги, намотана при гальмуванні з максимальною швидкістю до заправної.

Момент від натягу смуги перед гальмуванням з заправної швидкості до повного зупинення моталки:

$$M_{нат4} = \frac{T \cdot R_{пул}}{i \cdot \eta} = \frac{150000 \cdot 1,1}{1 \cdot 0,95} = 173,684 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

Необхідно визначити залежність зміни моменту від натягу в усьому діапазоні намотування, для цього розіб'ємо час роботи моталки з смугою на п'ять етапів:

- а) з моменту створення натягу в смузі до моменту початку розгону моталки від заправної до максимальної швидкості;
- б) розгін від заправної до максимальної швидкості;
- в) намотування на максимальній швидкості;
- г) гальмування з максимальною до заправної швидкості;
- д) намотування на заправній швидкості до моменту виходу кінця смуги з п'ятої кліті стану.

На першому етапі залежність моменту від часу характеризується рівнянням:

$$\begin{aligned} M &= \frac{T}{i \cdot \eta} \cdot \sqrt{R_0^2 + \frac{h}{\pi} \cdot \int_0^t V_m(t) dt} = \frac{T}{i \cdot \eta} \cdot \sqrt{R_0^2 + \frac{h \cdot V_{зан1} \cdot t}{\pi}} = \\ &= \frac{150000}{1 \cdot 0,95} \cdot \sqrt{0,305^2 + \frac{3 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot t}{3,14}} = 157894,736 \cdot \sqrt{0,0930 + 0,000955 \cdot t}; \end{aligned}$$

При $t_{зан1} = 12 \text{ с}$ можна визначити момент:

$$M = 157894,736 \cdot \sqrt{0,0930 + 0,000955 \cdot 12} = 157894,736 \cdot \sqrt{0,0930 + 0,000955 \cdot 12} = 51,033 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

На цьому етапі момент змінюється від $48,1571$ до $51,033$ кН·м, при цьому радіус рулону змінюється від $0,305$ до $0,323$ м ($R_{пул1}$).

На другому етапі залежність моменту від часу наступна:

$$M = \frac{T}{i \cdot \eta} \cdot \sqrt{R_{\text{рун1}}^2 + \frac{h}{\pi} \cdot \int_0^t V_m(t) dt} = \frac{T}{i \cdot \eta} \cdot \sqrt{R_{\text{рун1}}^2 + \frac{h}{\pi} \cdot \left(V_{\text{зан1}} \cdot t + \frac{a_n \cdot t^2}{2} \right)} =$$

$$= 157894,736 \cdot \sqrt{0,1043 + 0,000955 \cdot t + 0,000597 \cdot t^2};$$

При $t_{n2}=17,2$ с можна визначити момент:

$$M = 157894,736 \cdot \sqrt{0,1043 + 0,000955 \cdot t + 0,000597 \cdot t^2} =$$

$$= 157894,736 \cdot \sqrt{0,1043 + 0,000955 \cdot 17,2 + 0,000597 \cdot 17,2^2} = 86,096 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

На цьому етапі момент змінюється від 51,033 до 86,096 кН·м, при цьому радіус рулону змінюється від 0,323 до 0,545 м ($R_{\text{рун2}}$).

На третьому етапі залежність моменту від часу наступна:

$$M = \frac{T}{i \cdot \eta} \cdot \sqrt{R_{\text{рун2}}^2 + \frac{h}{\pi} \cdot \int_0^t V_m(t) dt} = \frac{T}{i \cdot \eta} \cdot \sqrt{R_{\text{рун2}}^2 + \frac{h \cdot V \cdot t}{\pi}} =$$

$$= 157894,736 \cdot \sqrt{0,297 + 0,021498 \cdot t};$$

При $t_{\text{всм}}=32,8$ с можна визначити момент:

$$M = 157894,736 \cdot \sqrt{0,297 + 0,021498 \cdot t} =$$

$$= 157894,736 \cdot \sqrt{0,297 + 0,021496 \cdot 32,8} = 158057,56 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

На цьому етапі момент змінюється від 86,096 до 158057,56 кН·м, при цьому радіус рулону змінюється від 0,545 до 1,0014 м ($R_{\text{рун3}}$).

На четвертому етапі залежність моменту від часу наступна:

$$M = \frac{T}{i \cdot \eta} \cdot \sqrt{R_{\text{рун3}}^2 + \frac{h}{\pi} \cdot \int_0^t V_m(t) dt} = \frac{T}{i \cdot \eta} \cdot \sqrt{R_{\text{рун3}}^2 + \frac{h}{\pi} \cdot \left(V \cdot t - \frac{a_m \cdot t^2}{2} \right)} =$$

$$= 157894,736 \cdot \sqrt{1,0034 + 0,02149 \cdot t - 0,000597 \cdot t^2};$$

При $t_{m2}=17,2$ с можна визначити момент:

$$M = 157894,736 \cdot \sqrt{1,0034 + 0,02149 \cdot t - 0,000597 \cdot t^2} =$$

$$= 157894,736 \cdot \sqrt{1,0034 + 0,02149 \cdot 17,2 - 0,000597 \cdot 17,2^2} = 172707,106 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

На цьому етапі момент змінюється від $158057,56$ до $172707,106$ кН·м, ,
при цьому радіус рулону змінюється від $1,0014$ до $1,087$ м ($R_{рул4}$).

На п'ятому етапі залежність моменту від часу наступна:

$$M = \frac{T}{i \cdot \eta} \cdot \sqrt{R_{рул4}^2 + \frac{h}{\pi} \cdot \int_0^t V_m(t) dt} = \frac{T}{i \cdot \eta} \cdot \sqrt{R_{рул4}^2 + \frac{h \cdot V_{зан2} \cdot t}{\pi}} =$$

$$= 157894,736 \cdot \sqrt{1,1963 + 0,000955 \cdot t};$$

При $t_{зан2} = 15$ с можна визначити момент:

$$M = 157894,736 \cdot \sqrt{1,1963 + 0,000955 \cdot t} =$$

$$= 157894,736 \cdot \sqrt{1,1963 + 0,000955 \cdot 15} = 173629 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

На цьому етапі момент змінюється від $172707,106$ до 173629 кН·м при
цьому радіус рулону змінюється від $1,087$ до $1,1$ м ($R_{рул5}$).

Для того щоб визначити статичний момент необхідно скласти момент
від натягу з моментом який йде на створення натягу у всьому діапазоні зміни
радіуса рулону.

2.3 Вибір потужності двигуна.

Зробимо попередній вибір двигуна. Приводний двигун обертається з
мінімальною швидкістю в режимі заправки, тобто:

$$\omega_{зан1} = \frac{V_{зан1}}{R_{\sigma}} = \frac{1}{0,305} = 3,278 \text{ с}^{-1},$$

$$n_{зан1} = \frac{60 \cdot \omega_{зан1}}{2 \cdot \pi} = \frac{60 \cdot 3,278}{6,28} = 31,31$$

Максимальної швидкості двигун досягає на початку процесу намотки на сталій швидкості:

$$\omega_1 = \frac{V}{R_{\text{рун2}}} = \frac{22,5}{0,545} = 41,28 \text{ c}^{-1},$$

$$n_1 = \frac{60 \cdot \omega_1}{2 \cdot \pi} = \frac{60 \cdot 41,28}{6,28} = 394,43 \text{ об/мин}.$$

В кінці намотування швидкість двигуна складе:

$$\omega_2 = \frac{V}{R_{\text{рун5}}} = \frac{22,5}{1,1} = 20,45 \text{ c}^{-1},$$

$$n_2 = \frac{60 \cdot \omega_2}{2 \cdot \pi} = \frac{60 \cdot 20,45}{6,28} = 195,42 \text{ об/мин}.$$

Діапазон регулювання швидкості двигуна під час намотування за рахунок регулювання магнітного потоку $D = \psi_1 / \psi_2 = 2$.

Такий діапазон регулювання швидкості може забезпечити двигун типу 1DQ4246-6BA02-Z с номінальною швидкістю 205 об/мин наближено знайдемо тривалість включення $\varepsilon_{\text{факт}}$.

Час намотування рулону $t_p = 99,8$ с.

Так як $t_{\text{п}} = 150$ с, тоді можна знайти час циклу:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{п}} + t_p = 99,8 + 150 = 249,8 \text{ с};$$

Тоді фактична тривалість включення буде дорівнює:

$$\varepsilon_{\text{факт}} = \frac{t_p}{T_{\text{ц}}} = \frac{99,8}{249,8} = 0,4;$$

Знайдемо потужність приводного двигуна, виходячи з розрахованих даних:

$$P_n \geq k_3 \cdot (M_{изг} + M_{нат4}) \cdot \omega_n \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_{факт}}{\varepsilon_{стан}}} = 1,4 \cdot (2032 + 173684) \cdot 21,45 \cdot \sqrt{\frac{0,4}{1}} = 3,3 \text{ МВт},$$

де $\varepsilon_{стан}$ – стандартна тривалість включення ($\varepsilon_{стан}=1$);

k_3 – коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження приводу (коефіцієнт запасу);

ω_n - номінальна швидкість двигуна 1/с.

Двигун вибираємо по каталогу з серії 1DQ, керуючись такими даними

$P_{ндв} \geq 3,3$ кВт, $n_n=205$ об/мин, $n_{max}=658$ об/мин, $U_n=1520$ В.

Таблиця 2.3. Технічні дані двигуна типу 1DQ4246–6BA02-Z

Номінальна безперервна потужність (S1)	P_n , кВт	3550
Тривала потужність (S9)	$P_{дл}$, кВт	4083
Максимальна потужність (20 з після режиму S9)	$P_{макс}$, кВт	7100
Число оборотів ном. / Макс.	n , об/мин	205/658
Частота напруги ном. / Макс.	f , Гц	6,83/21,93
Номінальна лінійна напруга	U_l , В	1521
Номінальна фазна напруга	$U_{ф}$, В	877
Номінальний фазний струм (S1)	$I_{ф}$, А	1390
Номінальний фазний струм (S9)	$I_{ф}$, А	1608
Фазний імпульсний струм (10 сек)	$I_{ф.макс}$, А	2843/2879
момент номінальний	M_n , кНм	165,4
Напруга збудження при розгоні	$U_{в.р}$, В	288
Номінальна напруга збудження	$U_{в.н}$, В	160
Максимальна напруга збудження	$U_{в.макс}$, В	302
Струм збудження на холостому ходу	$I_{в0}$, А	201
Струм збудження при розгоні	$I_{в.р}$, А	710
Номінальний струм збудження	$I_{в.н}$, А	394
Максимальний струм збудження	$I_{в.макс}$, А	744
Внутрішній коефіцієнт потужності	$\cos\varphi_n$	0,998
Ккд без втрат збудження	η , %	98,0
Число пар полюсів	p	2

опір статора	R_c , Ом	0,0154
	r_c , о.е.	0,0244
Реактивний опір розсіювання статора	$X_{c\sigma}$, Ом	0,0416
	$x_{c\sigma}$, о.е.	0,066
Головне реактивний опір d-осі (вісь ротора перетворена до сторони статора), насиченою машини	X_{pd} , Ом	1,103
	x_{pd} , о.е.	1,635
Головне реактивний опір в q-осі, насиченою машини	X_{pq} , Ом	0,937
	x_{pq} , о.е.	1,485
Реактивний опір розсіювання обмотки демпфера d-осі	$X_{d\sigma}^L$, Ом	0,0435
	$x_{d\sigma}^L$, о.е.	0,069
Реактивний опір розсіювання обмотки демпфера q-осі	$X_{q\sigma}^L$, Ом	0,0435
	$x_{q\sigma}^L$, о.е.	0,069
Опір обмотки збудження	R_{ov} , Ом	0,631
	r_{ov} , о.е.	1,554
Коефіцієнт трансформації між обмоткою статора і обмотки збудження	g	0,442
гідравлічні дискові гальма	M_m , кНм	40
використання холодної води	V , мі/ч	18
температура води на вході (макс.)	$t_{вх}$, °C	30
температура води на виході	$t_{вих}$, °C	40
макс. монтажний вагу	кг	40700
вага (сумарний)	кг	42300
момент інерції	кгм ²	1650

2.4 Вибір комплектного електроприводу.

Для роботи електроприводу моталки застосовується синхронний двигачель з перетворювачем частоти SIMADYN D, що відповідає найвищим вимогам надійності і готовності, а також мінімуму технічного обслуговування. Перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком (НПЧ), або циклоконвертори, дозволяють здійснити регулювання як вихідної напруги від 0 до, так і частоти від 0 до приблизно. При цьому регулювання напруги і частоти може здійснюватися незалежно.

У НПЧ напруга мережі безпосередньо без проміжної ступені постійного струму перетвориться в напругу зниженої частоти. НПЧ складається з декількох керованих випрямлячів, підключених до мережі змінного струму, який забезпечує природну комутацію тири-сторі.

Основні переваги НПЧ з природною комутацією:

- повна оборотність, високий ККД за рахунок одноразового пресо-віти енергії;
- при низьких частотах форма вихідного синусоїдального напруги поліпшується, так як низькочастотна крива складається з великої кількості відрізків синусоїд напруги;
- висока надійність, перевантажувальна здатність і простота сі-лової схеми, що визначається природною комутацією вентилів;
- можливість незалежного плавного регулювання струму і напруги;
- кращі масогабаритні показники за рахунок відсутності пристроїв примусової комутації та фільтрів;
- можливість вільного обміну енергією між живильною се-ма і двигуном, що дозволяє реалізувати гальмівні режими електро-приводу з рекуперацією енергії в мережу;
- можливість отримання як завгодно низьких частот вихідної напруги і забезпечення рівномірного обертання двигуна на малих обертах;
- стійкий режим роботи на навантаження з будь-яким $\cos\varphi$;
- практично необмежена потужність НПЧ (за рахунок паралель-ного з'єднання вентильних груп).

Серед недоліків НПЧ слід зазначити наступні:

- діапазон вихідних частот обмежений на рівні 25 Гц;
- наявність субгармонік і постійних складових вихідної напруги і струму при несприятливих співвідношеннях частот на вході і на виході перетворювача;

- низький коефіцієнт потужності, несинусоїдальність і модуля-ція вхідних струмів;
- багатоелементного силових ланцюгів і ланцюгів управління, що є виправданим лише в перетворювачах великої потужності.

Як було зазначено, недоліком НПЧ є низький коефіцієнт потужності на стороні мережі живлення (). Однак при включенні на стороні мережі живлення батареї конденсаторів типовий потужністю споживана перетворювачем частоти з безпосереднім зв'язком реак-тивна потужність стає менше, ніж в перетворювачі частоти на ос-нове автономного інвертора при коефіцієнті потужності навантаження $\cos\varphi > 0,8$. Можна вважати, що при $\cos\varphi > 0,9$ НПЧ за всіма показниками пре-сходять ПЧ на основі автономних інверторів. Тому в діапазоні частот від нуля до 20ч25 Гц доцільно застосування перетворювачів частоти з безпосереднім зв'язком.

У зв'язку з вищепереліченим НПЧ отримали широке застосування в регульованих синхронних і асинхронних електроприводах середньої і великої потужності. Системи безпосередній перетворювач частоти - синхронний двигун (НПЧ - СД) перспективні при створенні безредукторних тихохідних електроприводів металургійного обладнання, що відрізняються підвищеними вимогами до швидкодії, перевантажувальної здатності і якості регулювання частоти обертання. Тому для харчування синхронного двигуна прокатної кліті застосовується НПЧ з природною комутацією.

У НПЧ відсутня ланцюг постійного струму. Внаслідок цього формування кривої вихідної напруги перетворювача проводиться з відрізків кривих напруги живильної мережі завдяки циклічному підключенню навантаження на певні інтервали часу до різних фаз мережі живлення.

НПЧ в мінімальній конфігурації містить (по числу фаз двига-теля) окремих реверсивних перетворювачів постійного струму, управ-ня якими здійснюється змінним модулюючим напругою. Форма, частота і амплітуда напруги, що модулює визначають форму гладкою складової (основний гармонійної), частоту f_2 і амплітуду напруги U_2 на виході НПЧ. Регулювання

вихідної напруги характеризують коефіцієнтом модуляції μ , який змінюється в межах від 0 до 1 і ϵ , по суті, відносної амплітудою напруги, що модулює. Напруження управління окремими фазами НПЧ мають однакові амплітуду і частоту, але зрушені відносно один одного на кут $2\pi / m_1$.

Управління групами тиристорів, як і в реверсивних перетворювачах постійного струму, може бути спільним або роздільним. В останньому випадку для запобігання внутрішнього короткого замикання керуючі імпульси в будь-який момент часу повинні подаватися тільки на тиристори однієї з вентильних груп відповідно до напрямку струму в навантаженні. У цьому випадку немає необхідності в установці у внутрішньому контурі схеми реактора. При узгодженому управлінні необхідні додаткові реактори, обмежуючі зрівняльні струми між вентильними групами. Перетворювачі з спільним управлінням вентильних груп мають по-щонайменше типову потужність елементів силової схеми, особливо при малому щодо вхідній і вихідній частоті перетворювача. У зв'язку з цим для управління вентилями НПЧ приймається окреме керування.

У тиристорних НПЧ, як правило, використовується природна комутація струму в вентилях, здійснювана за рахунок напруги мережі. При цьому вихідна напруга U_2 має періодичний характер при частоті f_2 тільки для дискретних її значень:

$$f_2 = \frac{m_1 \cdot f_1}{m_1 + k},$$

де m_1 – число фаз живлення НПЧ;

f_1 – частота напруги живлення;

k – цілі числа ($1 \leq k \leq \infty$).

При проміжних значеннях вихідної частоти f_2 , при яких k не є цілим числом, в напрузі U_2 з'являються низькочастотні субгармоніки (тобто гармоніки з частотами нижче f_2), вплив яких тим більше, чим ближче значення частот f_2 і f_1 . Поява низькочастотних субгармонік в напрузі

харчування двигуна призводить до коливань електромагнітного моменту. Тому вихідні частоти НПЧ в діапазоні, відповідному $k < 3$, зазвичай не є робочими. Так, для трифазного мостового НПЧ максимальна вихідна частота $f_2 \max 25$ Гц.

Крива вихідної напруги містить повний спектр непарних вищих гармонік, амплітуди яких зменшуються обернено пропорційно порядковому номеру гармоніки.

У НПЧ з трифазним виходом за відсутності в ланцюзі навантаження нульового проводу гармонійний склад вихідної напруги поліпшується, так як з кривої напруги виключаються гармоніки, кратні трьом. На рис. 2.4.1 показана силова схема трифазного НПЧ, в якому використані мостові реверсивні перетворювачі постійного струму, а фази двигуна потенційно розділені, щоб уникнути міжфазних коротких замикань.

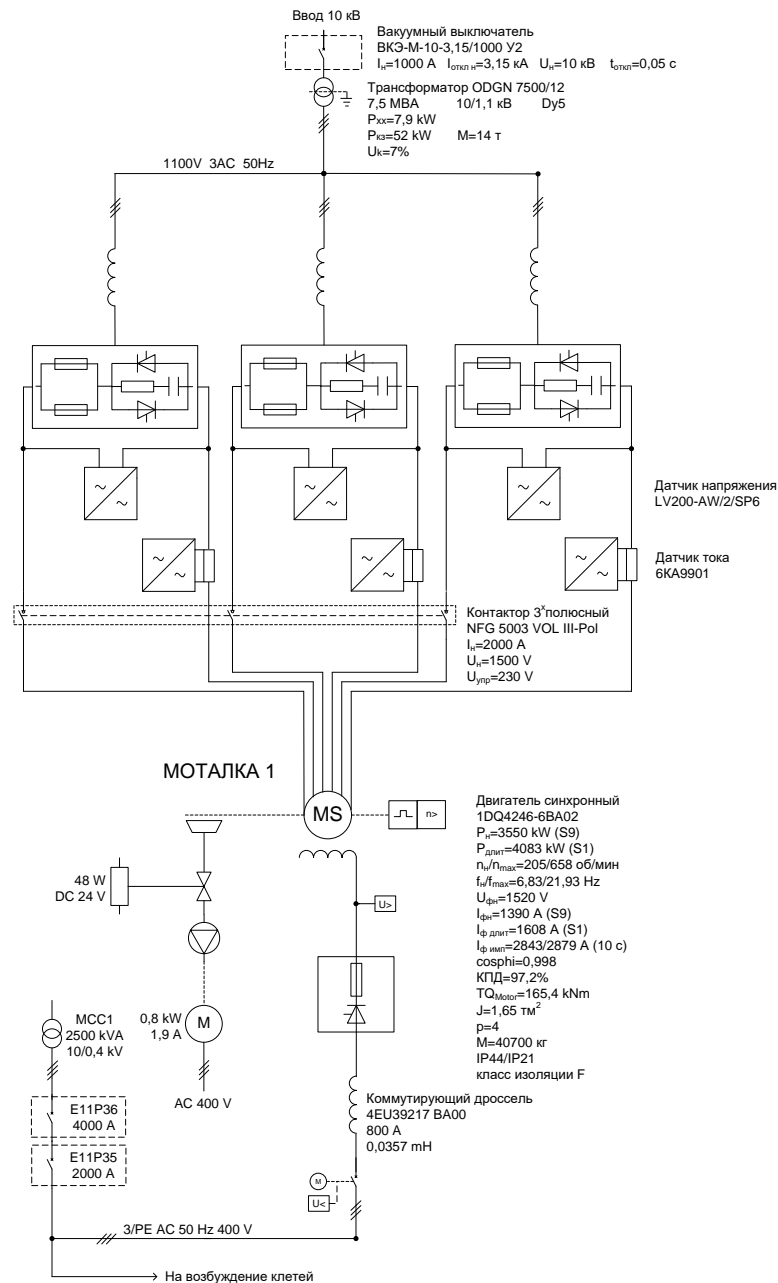


Рисунок 2.4.1 – Оглядова схема електроустаткування моталки

Ця схема дозволяє формувати шестіпульсний напруга на кожній фазі двигуна незалежно від інших фаз, що сприяє помітному поліпшенню властивостей перетворювача з управління.

Частота вихідної напруги може змінюватися від нуля включительно. У міру збільшення вихідної частоти погіршується гармонійний склад вихідної

напруги і відбувається спотворення форми струму, що викликає пульсації моменту регульованого двигуна. Вихідний струм НПЧ завжди відстає від напруги мережі, тому що незалежно від характеру навантаження тиристри завжди відмикаються з запізненням.

Кожна вихідна фаза перетворювача формується двома групами вентилів, включених по зустрічно-паралельною схемою. Наявність двох вентильних комплектів дозволяє отримати на навантаженні напруга змінюючоїся полярності при струмі, який може змінювати свій напрям.

2.5 Вибір перетворювача частоти

Для харчування синхронного двигуна вибирається трифазний мостовий НПЧ з гальванічним поділом фаз навантаження. Підключення НПЧ до мережі змінного струму здійснюється через понижуючий трансформатор.

При виборі перетворювача необхідно забезпечити виконання наступних умов:

$$U_{дн} \geq U_{нф} ;$$

$$I_{дн} \geq I_{нф} ,$$

де $U_{дн}, I_{дн}$ – номінальні значення напруги і струму перетворювача частоти;

$U_{нф}, I_{нф}$ - номінальні фазні значення напруги і струму двигуна.

Фазна напруга двигуна

$$U_{нф} = \frac{U_{нл}}{\sqrt{3}} = \frac{1521}{\sqrt{3}} = 878,15 \text{ В} .$$

Фазний струм двигуна

$$I_{нф} = 1390 \text{ А} .$$

Таким чином, повинні забезпечуватися умови

$$U_{дн} \geq 878,15 \text{ В} , I_{дн} \geq 1390 \text{ А} .$$

Цим умовам задовольняє безпосередній перетворювач ча-простоти серії SIMOVERT D фірми «Siemens» типу 6QC6301-2SP13, технічні дані якого наведені в таблиці 2.5.1.

Таблиця 2.5.1. Технічні дані НПЧ типу 6QC6301–2SP13

Найменування	Величина	Од. вимірювання
Номинальна фазна вихідна напруга	953	В
Номинальний фазний вихідний струм	1750	А
перевантажувальний струм	2800	А
Кількість паралельних мостів (для кожної фази)	1	-
Діапазон зміни вихідної частоти	0ч25	Гц

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПРИВОДУ

3.1 Регулювання систем підпорядкованого регулювання

Для управління складними технологічними комплексами і електроприводами промислових установок широко використовують багатоконтурні системи з декількома зворотними зв'язками з проміжними змінними. Найбільш поширені в сучасному регульованому електроприводі так звані системи підлеглого регулювання.

Система підпорядкованого регулювання являє собою багатоконтурну систему з каскадним включенням регуляторів. Число регуляторів і контурів регулювання в такій системі дорівнює числу величин підлягають регулюванню. Назва системи пояснюється тим, що вихідний сигнал регулятора, який включений в зовнішнього контуру, є задає для регулятора, який включений в внутрішнього контуру, тобто один регулятор підпорядкований іншому.

Важливою перевагою є те, що настройка контурів виробу водиться незалежно і послідовно від внутрішнього контуру до зовнішнього.

Принципова схема електроприводу виконаного по системі підлеглого регулювання, приведена на рис. Двигун постійного струму D з незалежним збудженням отримує харчування від тиристорного перетворювача ТП. У схемі використано два регулятора: регулятор струму РСТ і регулятор швидкості РС. Сигнал зворотного зв'язку по струму знімається з резистора шунта R , який включений в ланцюг якоря двигуна. Зворотній зв'язок по швидкості здійснюється за допомогою тахогенератора ТГ, напруга якого подається до входу регулятора швидкості РС.

Ланцюг зворотного зв'язку за швидкістю є головним в приводі, і від його роботи і динамічних властивостей в значній мірі залежать характеристики приводу.

Структурна схема системи підлеглого регулювання приведена на рис. , Де показані два контури регулювання, замкнуті за допомогою незалежних зворотних зв'язків. Контур струму складається з про об'єкта регулювання -

ланцюга якоря двигуна, силового перетворювача і регулятора струму. Контур замикають зворотний зв'язок по напрузі, що знімається з шунта в ланцюзі якоря.

Коефіцієнт перетворення зворотного зв'язку по струму дорівнює k_{cm} .

Об'єктом регулювання зовнішнього контуру швидкості є замкнений контур струму ланка, яке визначає механічний опір двигуна. Контур замикається за допомогою зворотного зв'язку за швидкістю з коефіцієнтом перетворення k_{cm} .

За регуляторами струму і швидкості в таких системах підлеглого регулювання використовують регулятори, що реалізують типові P, PI і PID- закони управління.

Слід пам'ятати, що в системі підлеглого регулювання використовують не тільки стандартні регулятори, а й стандартні набудівництва цих регуляторів. В основу стандартної настройки покладено ідею синтезу максимально плоских амплітудних характеристик замкнутого контуру регулювання, відповідні фільтрам Баттерворта другого або третього порядку. Таке припущення правомірно, якщо виконується умова:

$$\frac{T_M + T_{\Pi}}{5} \geq 5T_{\Pi}$$

При розрахунку систем підпорядкованого регулювання користуються двома критеріями для оптимізації амплітудної частотної характеристики модульний (технічний) оптимум і симетричний оптимум.

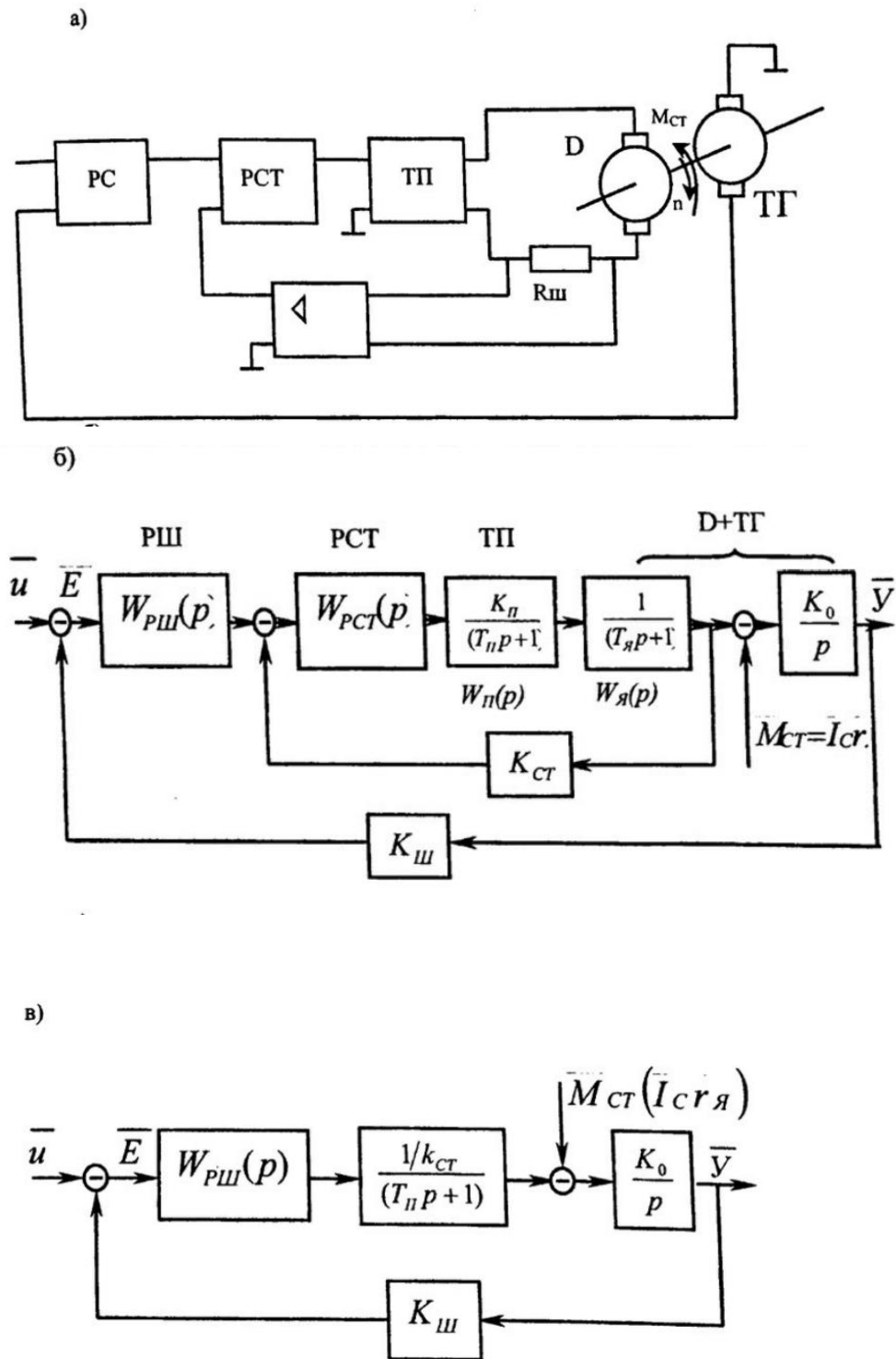


Рис.3.1.1 Принципова і структурна схеми двухконтурной системи підлеглого регулювання.

Критерії модульного оптимуму вимагає, щоб розрахована система наближалася за своїми частотними властивостями до ідеального фільтра низької частоти, який повинен мати прямокутну частотну характеристику. В цьому випадку система буде краще відтворювати заданий вплив і подавати обурення. Налаштування системи за критерієм модульного оптимума забезпечує мале перерегулювання і досить високу швидкість.

Амплітудну характеристику, близька за формою до прямокутної характеристики ідеального фільтра, як зазначалося, мають фільтри Баттерворта.

Розглянемо синтез регулятора струму РСТ для внутрішнього контуру (контур струму) системи підлеглого регулювання, структурна схема якої наведена на рис. Бажана передавальна функція розімкнутого контуру струму:

$$W_{\text{ж}}(p) = W_{\text{РСТ}}(p)W_{\text{Н}}(p)$$

де $W_{\text{Н}}(p)$ – передавальна функція некоректованої частини. У нашому випадку:

$$W_{\text{Н}}(p) = W_{\text{П}}(p)W_{\text{Я}}(p) = \frac{k_{\text{П}}k_{\text{СТ}}}{(T_{\text{П}}p + 1)(T_{\text{Я}}p + 1)}$$

Завдання регулятора $W_{\text{РСТ}}(p)$ полягає насамперед у тому, щоб компенсувати більшу постійну часу в передавальній функції $W_{\text{Н}}(p)$, тобто постійну часу ланцюга якоря ТЯ. Постійна часу ти-рісторного перетворювача ТЯ завжди буде значно менше ТЯ. Отже, в чисельнику передавальної функції $W_{\text{РСТ}}(p)$ повинен бути множник $(ТЯ + 1)$, а сама передавальна функція $W_{\text{Н}}(p)$ тепер буде мати наступний вигляд:

$$W_{\text{Н}}(p) = \frac{k_{\text{П}}k_{\text{СТ}}}{(T_{\text{П}}p + 1)}$$

Бажана же передавальна функція $W_{\text{Ж}}(p)$, щоб відповідати фільтру Баттерворта другого порядку, повинна бути наступною:

$$W_{\text{Ж}}(p) = \frac{1}{2T_{\text{П}} \cdot p \cdot (T_{\text{П}} \cdot p + 1)}$$

Цією передавальної функції відповідає логарифмічна амплі-тудно частотна характеристика (ЛАЧХ) $L(\omega)$ контуру, який розрахований гідно критерієм модульного оптимуму (рис.). На рис. Для цих умов показаний графік перехідного процесу. Перерегулювання при цьому склад-ляєт приблизно 4,3%, а час наростання $t_n = 4,7$ ТП. У загальному випадку ТП визначає некомпенсовану постійну часу оптимізованого контура.

Використовуємо в контурі струму PI- регулятор з передатною функцією:

$$W_{\text{PCT}}(p) = \frac{k_{\text{PCT}}(T_{\text{я}}p + 1)}{T_{\text{я}}p}$$

Виконуючи умови, визначаємо необхідну значення коефіцієнта посилення регулятора струму k_{PCT} :

$$k_{\text{PCT}} = \frac{T_{\text{я}}}{2T_{\text{п}}k_{\text{п}}k_{\text{ст}}}$$

Визначити коефіцієнт посилення відповідно до виразу означає, що ми маємо автоматичну систему, яка налаштована на технічний оптимум. При цьому система буде астатической щодо управління та статистичної по відношенню до порушення.

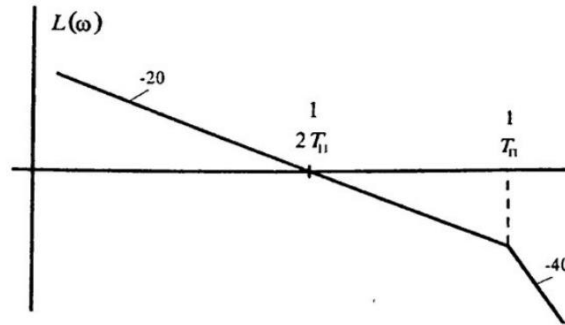
Розрахунок системи підпорядкованого регулювання починається з внутрішнього контуру (контур струму). Внутрішній контур завжди розраховують за умовою технічного оптимуму.

Визначимо тепер передавальну функцію замкнутого контуру струму, налаштований на технічний оптимум. При цьому передатна функція разомкнutoй контуру (3,30) з урахуванням коефіцієнта зворотного н' зв'язку $k_{\text{ст}}$

при-нимаєт вид:

$$W_{\text{роз}}(p) = \frac{1}{2T_{\text{п}}k_{\text{ст}}p(T_{\text{п}}p + 1)}$$

а)



б)

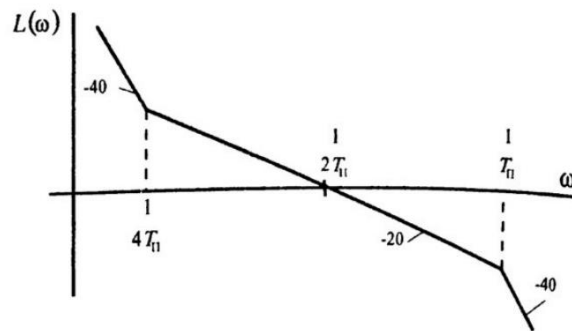


Рис.3.1.2 Логарифмічні, амплітудні, частотні і перехідні характеристики системи регулювання, що відповідає критеріям модульного (а, 1в) і симетричного (б, 2в) оптимуму.

Звідси передатна функція замкнутого контуру:

$$W_{зст}(p) = \frac{1}{2T_{\Pi}k_{СТ}p(T_{\Pi}p + 1)} = \frac{1}{k_{СТ}} \frac{1}{2T_{\Pi}^2 p^2 + 2T_{\Pi}p + 1}$$

Оскільки ТП в реальних системах занадто малою величиною, то передавальну функцію замкнутого контуру струму можна приблизно апроксимувати аперіодическим ланкою:

$$W_{\text{зст}}(p) \cong \frac{1}{\frac{k_{\text{СТ}}}{2T_{\text{П}}p + 1}}$$

Структурна схема двоконтурної системи регулювання з оптимізатора-зірованим контуром струму приведена на рис. Постійна часу аперіодичного ланки $T\tau = 2T_{\text{П}}$ контуру струму мала некомпенсованою постійної часу щодо контуру швидкості.

Залежно від технічних вимог система (рис.) Може бути налаштована на технічний або симетричний оптимум.

Під час прийому технічний оптимум треба виконати умову (со-гласно висловом

$$W_{\text{ж}}(p) = \frac{k_0 k_{\text{Ш}}}{k_{\text{СТ}}(T_{\tau}p + 1)p} = \frac{1}{2T_{\tau}p(T_{\tau}p + 1)}$$

Звідси можемо записати вираз для визначення передавальної функції регулятора швидкості:

$$W_{\text{рш}}(p) = \frac{k_{\text{СТ}}}{2T_{\tau}k_0k_{\text{Ш}}}$$

ЛАЧХ двухконтурної розімкнутої системи, налаштована технічний оптимум, зображена на рис. на рис. , Наведено графік 2 перехідного процесу в двухконтурной системі при налаштуванні її на симетричний оптимум.

Серед типових режимів роботи системи автоматичного управ-ня, які визначають точність роботи цієї системи, досить поширені режими при постійних значеннях вхідного впливу і при зміні його з постійною швидкістю, тобто при лінійному впливу.

Знайдемо значення сталої (статичної) похибки в за-мкнутой системі автоматичного управління при незмінному вхідному впливі $u = \text{const}$.

Нехай передавальна функція розімкнутої системи

Вираз показує, що для налаштування системи (рис.) На технічний оптимум слід використовувати в контурі швидкості П регулятор, коефіцієнт підсилення якого визначається відповідно до ().

Двоконтурна система підпорядкованого регулювання з пропорційної регулятором швидкості матиме швидкісну статичну похибку, оскільки обурення МСТ прикладена перед інтегрованих ланкою. Щоб позбутися від цієї помилки, двоконтурна система (контур швидкості) повинна бути налаштована на симетричний оптимум (рис.). В основі цієї настройки лежить частотна характеристика фільтра Баттерворта третього порядку.

Щоб позбутися від статичної похибки, двухконтурной сис-темі треба налаштувати на симетричний оптимум. Параметри регулятора ско-рости при цьому визначаються з такого співвідношення:

$$W_{PШ}(p) = \frac{k_0 k_{Ш}}{k_{СТ} (T_{\tau} p + 1) p} = \frac{4T_{\tau} p + 1}{8T_{\tau}^2 p^2 (T_{\tau} p + 1)}$$

Звідси :

$$W(p) = \frac{(4T_{\tau} p + 1)(T_{\tau} p + 1) p k_{СТ}}{8T_{\tau}^2 p^2 (T_{\tau} p + 1) k_{Ш} k_0} = \frac{k_{PШ} (T_{Ш} p + 1)}{T_{Ш} p}$$

Тут :

$$k_{PШ} = \frac{k_{СТ}}{2T k_{Ш} k_0}; T_{Ш} = 4T_{\tau}$$

Отже, під час налаштування двухконтурной системи на симетричний опти-мум треба використовувати РІ - регулятор швидкості.

ЛАЧХ двухконтурной розімкнутої системи, налаштована технічний оптимум, зображена на рис. на рис. , Наведено графік 2 перехідного про-цесу в двухконтурной системі при налаштуванні її на симетричний оптимум.

Серед типових режимів роботи системи автоматичного управ-ня, які визначають точність роботи цієї системи, досить поширені режими при

постійних значеннях вхідного впливу i при зміні його з постійною швидкістю, тобто при лінійному впливу.

Знайдемо значення сталої (статичної) похибки в замкнутій системі автоматичного управління при незмінному вхідному впливі $u = \text{const}$.

Нехай передавальна функція розімкнутої системи

$$W(p) = \frac{kA(p)}{B(p)},$$

де $A(p)$, $B(p)$ не мають множника p , тобто вільні члени їх дорівнюють одиниці (система статична).

Запишемо передавальну функцію замкненої системи з похибки

$$W_E(p) = \frac{1}{W(p) + 1} = \frac{B(p)}{B(p) + kA(p)} = \frac{\vec{E}}{\vec{u}}$$

Звідси диференціальне рівняння:

$$[B(p) + kA(p)]\vec{E} = B(p)\vec{u}.$$

Згідно з теоремою про кінцеве значення вираз для стійкої похибки

$$E_y = \lim_{p \rightarrow 0} E(t) = \lim_{p \rightarrow 0} W_E(p)\vec{u}p.$$

Якщо передавальна функція $W_E(p)$ складена правильно, то встоявшися похибка буде:

$$\vec{u} = \frac{1}{p} \quad E_y = \frac{1}{1+k}$$

тому що вільні члени многочленів $A(p)$ і $B(p)$ дорівнюють одиниці. Це значення похибки називається статичною похибкою.

Якщо подавати на вхід системи лінійний заданий вплив

$$u(t) = u + at,$$

то встановлена похибка, як частковий розв'язку зв'язок рівняння () також буде змінюватися з постійною швидкістю. При досить тривалому впливі таке наростання похибки неприпустимо.

Для запобігання такого явища необхідно змінити структуру системи так, щоб многочлен $B_1(p)$ не мав вільного члена, тобто щоб

$$B_1(p) = pB(p).$$

Інакше кажучи, передавальна функція розімкнутої системи $W(p)$ повинна мати нульовий полюс (один з коренів знаменника).

Дійсно, якщо $W(p)$ складена правильно, то при впливі, зображення якого

$$\vec{u} = \frac{1}{p} + \frac{a}{p^2}$$

згідно з формулою () з урахуванням () та () одержуємо:

$$E_y = \frac{a}{k}$$

Отже, в такій системі при лінійному входньому впливі не буде наростаючою похибки. Це постійне значення похибки називається швидкісний похибкою

$$E_{ш} = \frac{a}{k}$$

3.2 Розрахунок САУ за допомогою логарифмічних частотних характеристик

Розглянуті нами аналітичні методи синтезу лінійних неодмінно-ривного автоматичних систем виходять в основному з того, що структурна

схема САУ є заданою, і відрізняються високою точністю розрахунків. Однак не завжди можна заздалегідь визначити структуру системи. Бувають випадки, коли структуру управління необхідно знайти за результатами синтезу. Отримані при цьому результати можуть бути остаточними або мати для дослідника характер рад.

Одним з поширених методів синтезу як раніше, так і ті-перь, є методи використання логарифмічних частотних характеристик. Він не є точним, але дозволяє досить часто визначити вид, місце підключення і параметри необхідних коригувальних пристроїв.

Необхідні показники, які повинна забезпечити автоматична-кая система, в загальному випадку мають такий вигляд:

- максимально допустиме статичне похибка;
- задана величина перерегулювання ($\delta_{\max, \%}$);
- необхідний час перехідного процесу (t_0, C)
- вид коригуючого пристрою (послідовний або паралельний).

Конкретні вказівки перерахованих показників залежить від вимог до технологічного процесу, який підлягає автоматизації.

При використанні для розрахунку логарифмічних амплітудної і фазової частотних характеристик можна запропонувати таких порядок:

- скласти структурну схему заданої автоматичної системи і визначити, в якій мірі ця система задовольняє відповідні вимоги якості роботи;
- обґрунтувати доцільність використання коригуючого пристрою, вибрати його вид (якщо він не заданий) і синтезувати параметри;
- маючи передавальну функцію коригуючого пристрою, скласти математичну модель скоригованої системи, визначити якість її роботи і зробити з отриманих результатів.

Необхідність корекції системи автоматичного управління за-висить від вимог, яким вона повинна відповідати. Якщо система не задовольняє цим вимогам, вона повинна коректуватися. Обґрунтувати необхідність корекції системи можна різними способами. Є два найпоширеніші способи,

відповідно до першого необхідно побудувати логарифмічні амплітудну і фазову частотні характеристики розімкнутої заданої і бажаної системи автоматичного управління. Порівнюючи отримані характеристики, можна визначити необхідність корекції заданої системи.

У цій зв'язку з широкими повноваженнями в дослідну та проектну практику обчислювальної техніки широко використовується другий спосіб, згідно з яким за допомогою ЕОМ визначається перехідний процес в заданій системі.

За отриманими результатами можна легко встановити, відповідає задана система необхідним вимогам, тобто відповісти на питання про необхідність її корекції.

Для поліпшення якості роботи автоматично систем використовують як послідовні, так і паралельні коригувальні пристрої. При цьому обидва типи коригуючих пристроїв є еквівалентними. Однак, незважаючи на еквівалентність названих коригувальних пристроїв, паралельні коригувальні пристрої використовують частіше. Ет' Пов'язано це з тим, що корекція за допомогою паралельних коригувальних пристроїв має ряд істотних переваг. При паралельній корекції зменшується залежність показників якості роботи системи від зміни параметрів її елементів, оскільки в істотному діапазоні частот передавальна функція ділянки системи, охопленої зворотним н' зв'язком, визначається зворотною величиною передавальної функції паралельного корегуючого пристрою. У цій зв'язку з цим вимоги до цієї частини можуть бути менш жорсткими, ніж при послідовній корекції.

Живлення паралельного коригувального пристрою, навіть в тому випадку, коли воно потребує значної потужності не викликає ускладнень бо зворотні н' зв'язки починаються від місця закінчення динамічних ланок системи, які мають потужний вихід. Паралельні коригувальні пристрої працюють з меншим рівнем перешкод ніж послідовні, оскільки сигнал, що до них подається проходить уздовж всієї системи, яка є хорошим фільтром низьких частот. Завдяки цьому ефективність дії паралельного коректив-

руючого пристрою при накладенні перешкод на сигнал помилки знижується в меншій мірі, ніж послідовно.

Послідовні коригувальні пристрої найбільш зручні в електричних САУ, особливо постійного струму. В цьому випадку послідовні коригувальні пристрої реалізуються у вигляді пасивних чотирьохполюсника, передавальної функції, яких можна замінювати в дуже широкому діапазоні. Недоліком послідовної корекції є те, що ефективність її зменшується в процесі експлуатації н' зв'язку зі зміною параметрів (коефіцієнта посилення, постійних часу) послідовно з'єднаних динамічних ланок. Тому при послідовній корекції до стабільності елементів системи відносяться підвищені вимоги.

Для поліпшення роботи автоматичних систем досить часто об'єднують, як послідовні так і коригувальні пристрої.

При синтезі систем ЛЧХ використовують як послідовні так і паралельно коригувальні пристрої. На рис. наведені узагальнені структурні схеми автоматичних систем при використанні паралельних (рис.) і послідовних (рис.) коригувальних пристроїв.

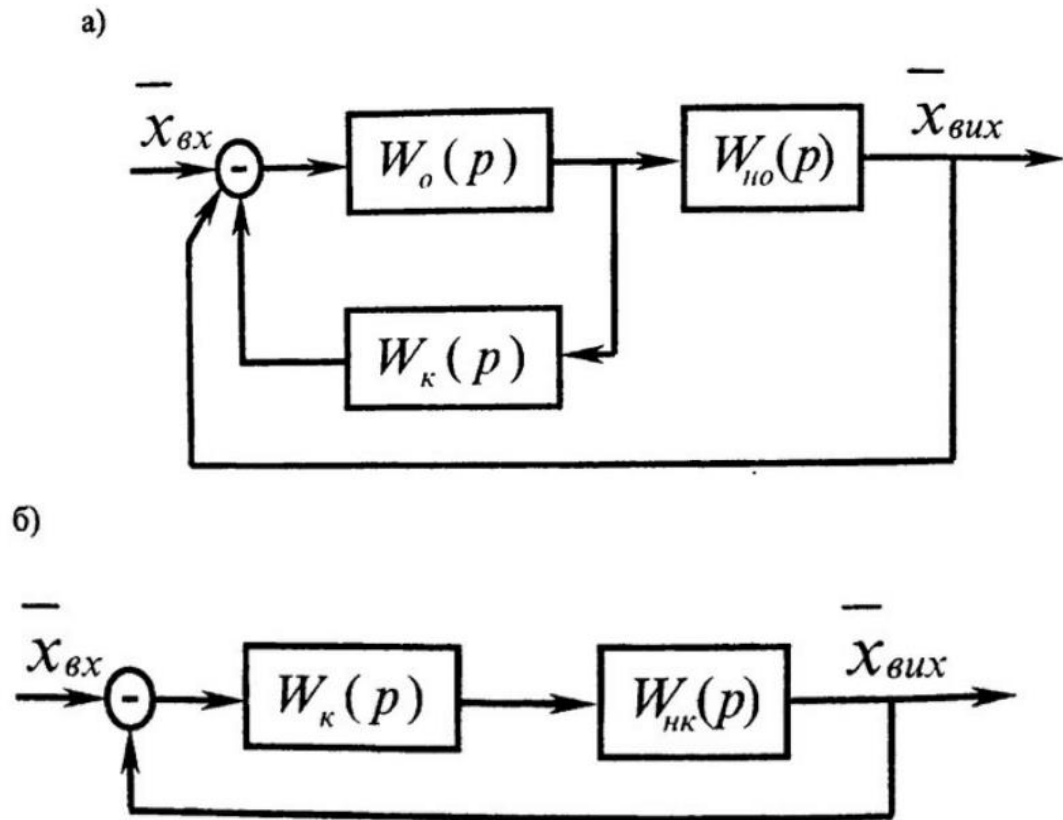


Рис.3. 2.1 Узагальнені структурні схеми САУ при паралельній та послідовній корекції.

На рис. $W_k(p)$ - передавальна функція коригувального пристрою;

$W_{нк}(p)$ - передавальна функція розімкнутої нескоректована системи;

$W_{но}(p)$ - передавальна функція динамічних ланок системи, що не охоплені коригуючих пристроєм;

$W_o(p)$ - передавальна функція динамічних ланок системи, які охоплюються коригуючих пристроєм.

Синтез коригувальних пристроїв виконується за допомогою Логарфмічних частотних характеристик (ЛЧХ) в такій послідовності. Будуються логарифмічні амплітудна ЛНК (ω) (ЛАЧХ) і фазова $\Theta НК$ (ω) (ЛФХ) частотні характеристики розімкнутої некоректованої системи. На тій же площині, виходячи з необхідних показників якості, будується бажана ЛАЧХ $L\delta$ (ω) розімкнутої скоригованої системи. Ця характеристика порівнюється з характеристикою некоректованої системи. Далі приймається тип

коригуючого пристрою (паралельний або послідовний), і визначається його ЛАЧХ, передавальна функція і параметри.

Логарифмічні амплітудна і фазова частоті характеристики розімкненої некоректованої системи будуються за методикою, наведеною в попередньому розділі. Її використання розглянуто далі на прикладах конкретних автоматичних систем.

Бажаною називають таку ЛАЧХ $L\delta(\omega)$ розімкненої системи, по котрою можна забезпечити задані властивості САУ. Характеристика $L\delta(\omega)$ складається з трьох характерних ділянок: низькочастотної, середнечастотної і високочастотної.

Ділянка низьких частот знаходиться в межах від нуля до першої частоти сполучення. Для статичних систем нахил характеристики на цій ділянці становить 0, дБ / дек, для статичних - - 20 m, дБ / дек (m - число інтегрованих динамічних ланок в системі). За ділянку низьких частот $L\delta(\omega)$ можна прийняти низькочастотну частину характеристики ЛНК (ω) некоректованої системи. Ця ділянка характеристики визначає точність відтворення системою повільно змінюються впливів.

Середнечастотна ділянки ЛАЧХ $L\delta(\omega)$ і її сполучення з низькочастотної визначають динамічні властивості системи: стійкість і показники якості процесу управління. У зоні середніх частот $L\delta(\omega)$ має перетинати вісь абсцис при частоті ω , яка називається частотою зрізу.

Побудова середнечастотної ділянки $L\delta(\omega)$ починають з визначення частоти зрізу ω . Це можна зробити за такою приблизною формулою:

$$\omega_z = 0,12\pi\delta_{max}/t_0$$

Протяжність середнечастотної ділянки $L\delta(\omega)$ знаходиться виходячи з необхідного запасу стійкості системи. Для визначення меж цієї ділянки можна керуватися таким положенням. Чим ширше буде середнечастотная ділянку з нахилом -20дб / дек, тим більше буде запас стійкості і меншою

коливальність системи. Бажано, щоб ширина цієї ділянки білого не менше одну декаду. Праву кордон середнечастотної ділянки визначають гідно з

такою порадою

$$\omega_{\text{П}} = (2 \div 4)\omega$$

А ліву:

$$\omega_{\text{Л}} = (0,5 \div 0,25)\omega$$

Високочастотний відрізок бажаної ЛАЧХ мало впливає на властивості автоматичної системи, тому його може не підлягати корекції або вибирати таким, щоб коригувальний пристрій було якомога простіше. Цього можна досягти, якщо поєднати високочастотні відрізки бажаної ЛЧХ і ЛАЧХ некоректованої системи.

Порядок синтезу коригувального пристрою залежить від його виду. Якщо проектувальник зупинив свій вибір на послідовному коригувальні пристрої, то його логарифмічна амплітудна частотна характеристика $L_K(\omega)$ може бути отримана вирахуванням від бажаної характеристики $L_{\delta}(\omega)$ характеристики $L_{\text{НК}}(\omega)$ некоректованої розімкнутої системи.

$$L_K(\omega) = L_{\delta}(\omega) - L_{\text{НК}}(\omega)$$

Логарифмічна амплітудна частотна характеристика паралельного коректуючого пристрою визначається співвідношенням:

$$L_K(\omega) = L_{\text{НО}}(\omega) - L_{\delta}(\omega)$$

де:

$L_{\text{НО}}(\omega)$ - логарифмічна амплітудна частотна характеристика динамічних ланок, які не охоплюються паралельним коригувальним уст-ройством.

Згідно з отриманою ЛАЧХ коригувального пристрою вибирається його електрична схема і розраховують параметри. Потім складається схема підключення коригуючого пристрою до автоматички системи.

3.3 Покарщення характеристик перехідного процесу електромеханічної системи

Як уже зазначалося, коригуючі пристрої служать для формування такого закону управління, який забезпечив би необхідну якість процесу управління. У тому випадку, коли закон управління відомий і вибирається у вигляді комбінації деяких типових законів, коригуючий пристрій називається регулятором. Залежно від способу включення коригуючого пристрою у структуру системи управління розрізняють: послідовні, зустрічно-паралельні та паралельні коригуючі пристрої (типові регулятори включають, як правило, тільки послідовно).

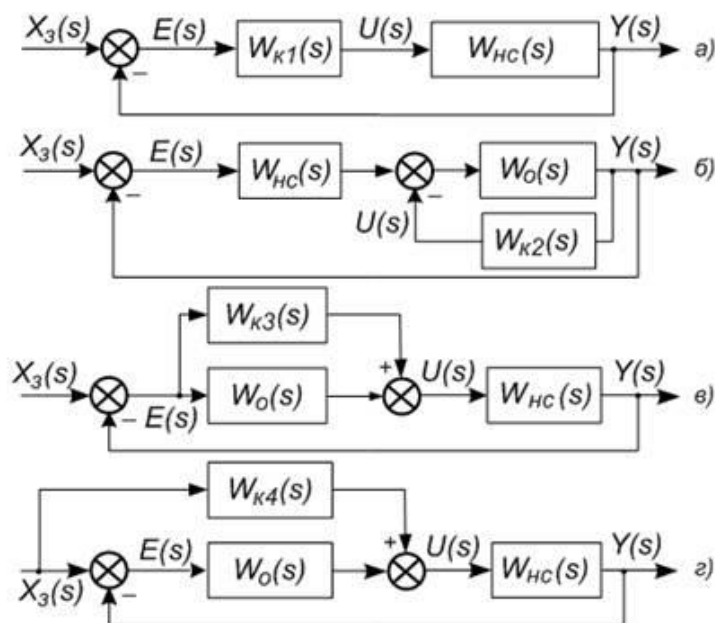


Рис. 3.3.1- Способи ключення корегуючих причторів:

а- послідовна корекція. б - зустрічно-паралельна корекція. в- паралельна корекція. г- корекція збурення.

Послідовний коригуючий пристрій включають безпосередньо в контур управління після елемента порівняння або (частіше) після попереднього підсилювача (див. рис. 3.3.1 а). Передаточна функція розімкненої скоригованої системи:

$$W_m(s) = W_m(s) W_n(s)$$

де: $W_m(s)$ - передаточна функція некоригованої частини системи

$W_n(s)$ - передаточна функція послідовного коригуючого пристрою.

Зустрічно-паралельний коригуючий пристрій (див. рис. 3.3.1 б) є, по суті, місцевим зворотним зв'язком (найчастіше негативним), який охоплює один з елементів прямого ланцюга, яким часто буває виконавчий пристрій або вихідний каскад підсилювача потужності. Передаточна функція розімкненої скоригованої системи

$$W_m(s) = \frac{W_t(s)W_m(s)}{1+W_t(s)W_m2(s)}$$

де: $W_m(s)$ передаточна функція частини системи, не охопленої зворотним зв'язком; $W_t(s)$ - передаточна функція частини системи, охопленої зворотним зв'язком. $W_m2(s)$ – передаточна функція зустрічно – паралельного коригуючого пристрою.

Застосування зустрічно-паралельної корекції підвищує стабільність характеристик системи в області робочих частот. Це впливає , якщо врахувати, що в діапазоні частот, де $W_t(j\omega)W_m2(j\omega) \gg 1$ частотна передаточна функція скоригованої системи

$$W_m(j\omega) \sim \frac{W_t(j\omega)}{W_m2(j\omega)}$$

перестає бути залежною від властивостей ланок, охоплених зворотним зв'язком, а визначається лише властивостями коригуючого пристрою.

Ця обставина є важливою перевагою зустрічно-паралельної корекції, особливо якщо ланка $W_t(s)$ є істотно нелінійною і її параметри змінюються

у часі. Другою важливою перевагою такого коригуючого пристрою є те, що його вхід підключається до виходу елемента з високим рівнем сигналу, а це знижує вимоги до енергоспоживання коригуючого пристрою. Зворотні зв'язки корекції діляться на жорсткі і гнучкі. Жорсткий зворотний зв'язок діє у системі як у перехідному, так і в усталеному режимі і реалізується безінерційною або аперіодичною ланкою. Гнучкий зворотний зв'язок діє лише в перехідному режимі і реалізується або диференціувальною, або інерційно-диференціувальною ланкою. Паралельний (прямий) коригуючий пристрій (див. Рис 3.3.1 в) застосовується не часто, але інколи дозволяє при меншій складності забезпечити необхідне перетворення сигналу управління. Наприклад, паралельне з'єднання підсилювальної і аперіодичної ланок за умови дотримання малої різниці їх коефіцієнтів передачі дозволяє отримати реальну форсувальну ланку з великою сталою часу. Формально завжди можна вибрати паралельну (пряму або зворотну) схему включення коригуючого пристрою таку, щоб отримати результат, еквівалентний тому, що може бути отриманий при послідовній корекції. Для цього необхідно прирівняти праві частини, наприклад, рівнянь (9-1) і (9-2) та розв'язати отримане співвідношення стосовно $W_m(s)$ чи $W_{m2}(s)$.

Корекція за збуренням, при якій коригуюча ланка включається в додатковий прямий ланцюг, показана на структурній схемі рисунка 9.2г. Така схема корекції не впливає на вільний рух і стійкість замкненої системи та покращує її якість за рахунок зменшення динамічної помилки, що компенсується за збуренням.

З урахуванням принципу суперпозиції вираз для зображення сигналу неузгодження набуває вигляду

$$E(s) = \frac{1}{1+W_t(s)W_t(s)} x(s) - \frac{W_t4(s)W_t(s)}{1+W_t(s)W_t(s)} = \frac{1-W_t4(s)W_t(s)}{1+W_t(s)W_t(s)}$$

З рівняння (9-4) випливає, що якщо вибрати корегуючий пристрій із передаточною функцією $W_{t4}(s) = W_t(s)^{-1}$ то можна повністю усунути динамічну помилку системи незалежно від виду збурювальної дії. Застосування цього методу корекції пов'язане з певними технічними труднощами, передусім із тим, що отримувана передаточна функція корегуючого пристрою $W_{t4}(s)$ може виявитися такою, що практично не реалізується (наприклад, одержуються чисто диференціальні ланки).

Розглянуті вище способи включення коригуючих пристроїв можуть використовуватися як самостійно, так і в комбінації один з одним. Вибір способу включення є складним інженерним завданням і залежить передусім від технічної складності реалізації отриманої передаточної функції.

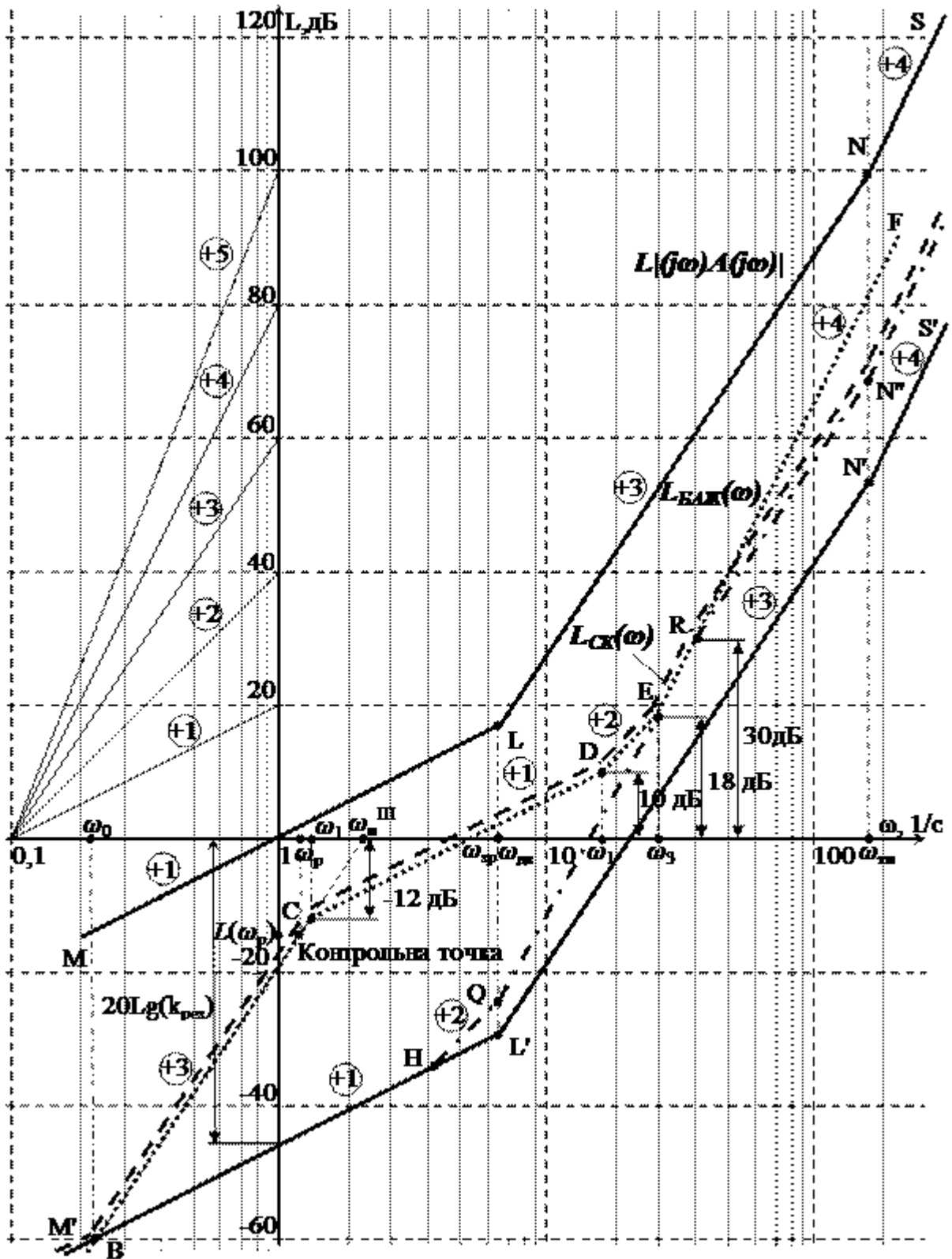


Рис. 3.3.2 - ЛАЧХ розімкненої скоригованої САУ

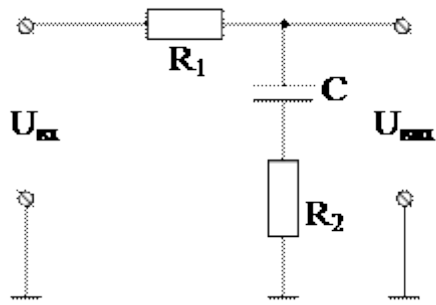


Рис. 3.3.3- Схема послідовного корегуючого пристрою інтегро-диференціуючого типу

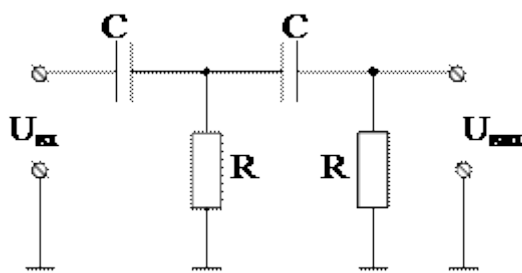


Рис. 3.3.4- Схема паралельного корегуючого пристрою

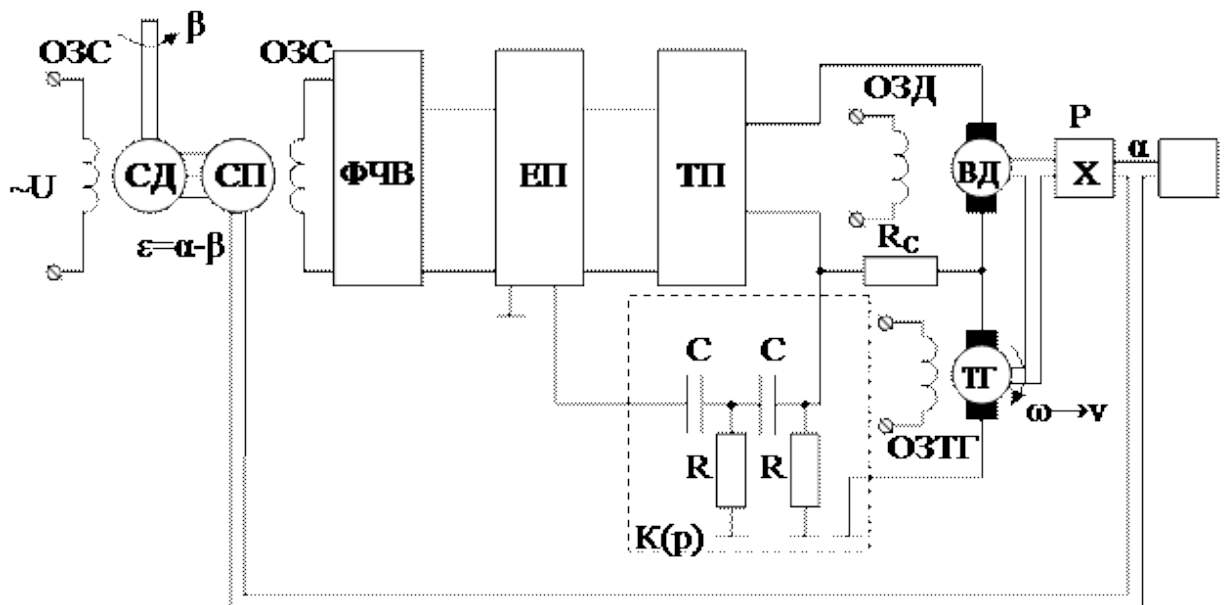


Рис. 3.3.5 Принципова схема слідкуючої САУ після введення паралельного корегуючого пристрою

3.4 Кутова характеристика синхронного двигуна

Для побудови кутовий характеристики двигуна скористаємося рівнянням

$$M = \frac{3 \cdot U_{\phi} \cdot E}{\omega_n \cdot x_d} \cdot \sin \theta = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2}{2 \cdot \omega_n} \cdot \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cdot \sin 2\theta ,$$

где $U_{\phi}=877 \text{ В}$ - номінальна фазна напруга;

θ – кут відставання ротора двигуна від поля статора;

ω_n – номінальна кутова швидкість.

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 205}{30} = 21,456 \text{ с}^{-1} .$$

Реактивні опору необхідно перерахувати для номінальної частоти

$$x_d = X_{pd} \cdot \frac{f_n}{f_{\max}} = 0,52 \cdot \frac{6,83}{21,93} = 0,162 \text{ Ом},$$

$$x_q = X_{pq} \cdot \frac{f_n}{f_{\max}} = 0,47 \cdot \frac{6,83}{21,93} = 0,146 \text{ Ом}.$$

Номінальний струм збудження в відносних одиницях

$$I'_{\phi n} = \frac{I_{\phi n}}{I_{\phi 0}} = \frac{394}{201} = 1,96 \text{ о.е.}$$

За влучним висловом холостого ходу визначаємо значення ЕРС двигуна при номінальному струмі збудження

$$E = 1,17 \cdot U_{\phi} = 1,17 \cdot 877 = 1026,1 \text{ В} .$$

Підставляючи знайдені дані в рівняння отримаємо кутову характеристики синхронного двигуна (рисунок 3.1).

Номінальний кут і визначається для номінального моменту

$$u=15,5\epsilon.$$

Перевантажувальна здатність двигуна по моменту визначається відношенням

$$\lambda = \frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}} = \frac{330,732}{165,4} = 2,0.$$

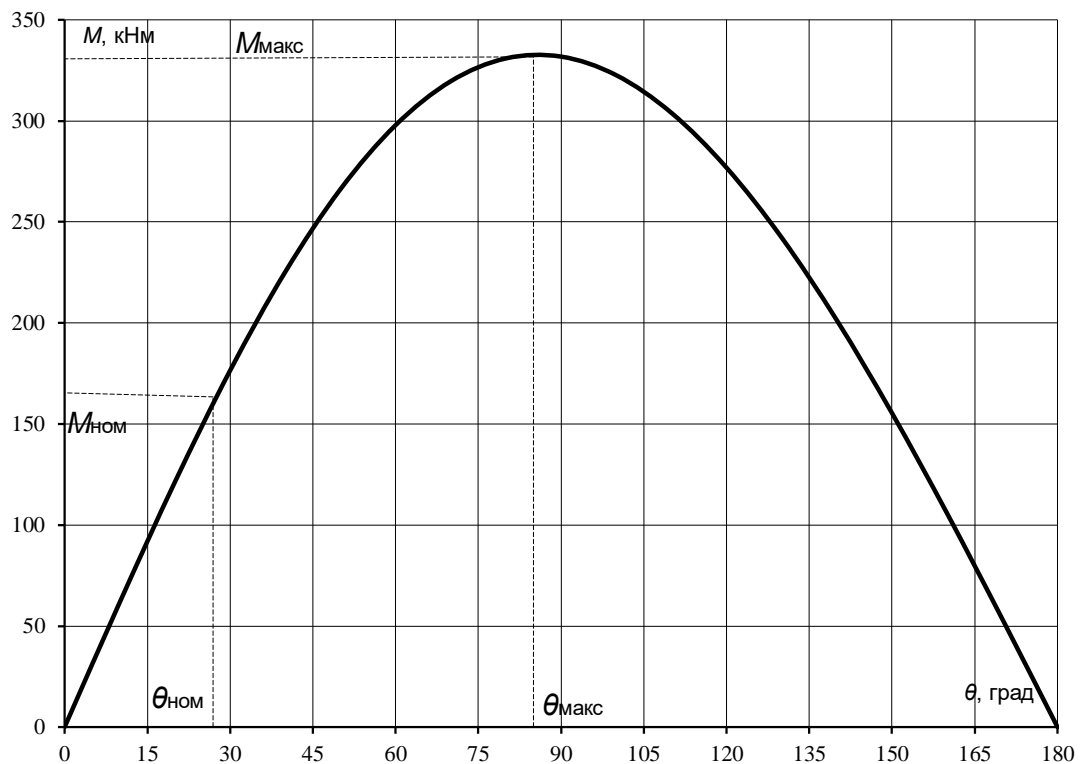


Рисунок 3.3 - Кутова характеристика двигуна

3.5 Механічні характеристики синхронного двигуна

У проектованому електроприводі здійснюється двозонне регулювання швидкості обертання двигуна. У першій зоні регулювання від-ходить до номінальної швидкості при незмінному номінальному моменті. Регулювання вище номінальної швидкості здійснюється при постійній номінальній потужності. При роботі в другій зоні необхідно забезпечити виконання умови

$$P_n = M \cdot \omega.$$

Тому при перевищенні номінальної швидкості необхідно знижувати момент на двигуні. При регулюванні в обох зонах ток залишається рівним номінальному.

Так як ротор синхронного двигуна обертається синхронно з полем статора, а частота обертання поля статора залежить тільки від частоти маю щей мережі і числа полюсів машини, тобто не залежить від навантаження, то характеристика двигуна абсолютно жорстка.

На рисунку 3.2.1 представлені механічні характеристики синхронного двигуна за двозонного регулювання швидкості обертання.

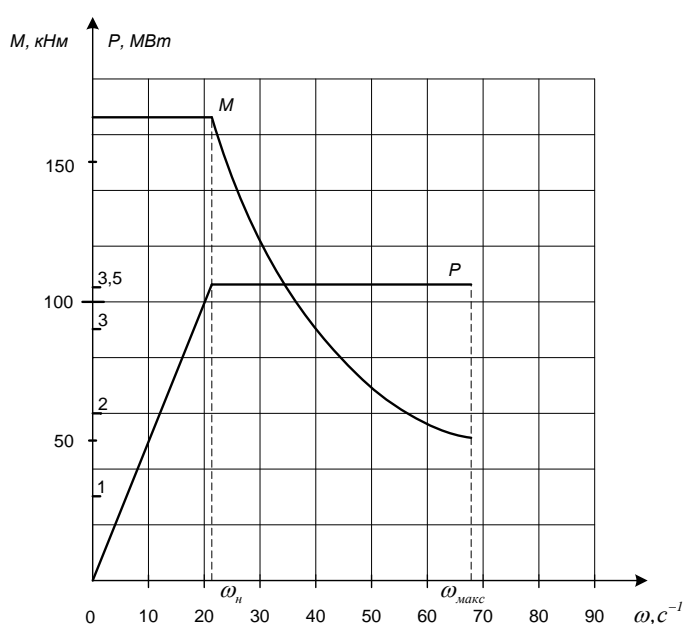


Рисунок 3.4.1. Характеристики синхронного двигуна за двозонного регулювання

3.6. Аналіз динаміки електроприводу

Операційним і алгебраїчним рівнянням відповідає структурна схема СД. Аналіз показує, що СД є нелінійний багатозв'язна об'єкт з наявністю внутрішніх перехресних зворотних зв'язків. Зокрема, в контурах струмів статора є внутрішні зворотні зв'язки по ЕРС обертання ω , які визначають взаємний вплив поздовжніх і поперечних контурів машини.

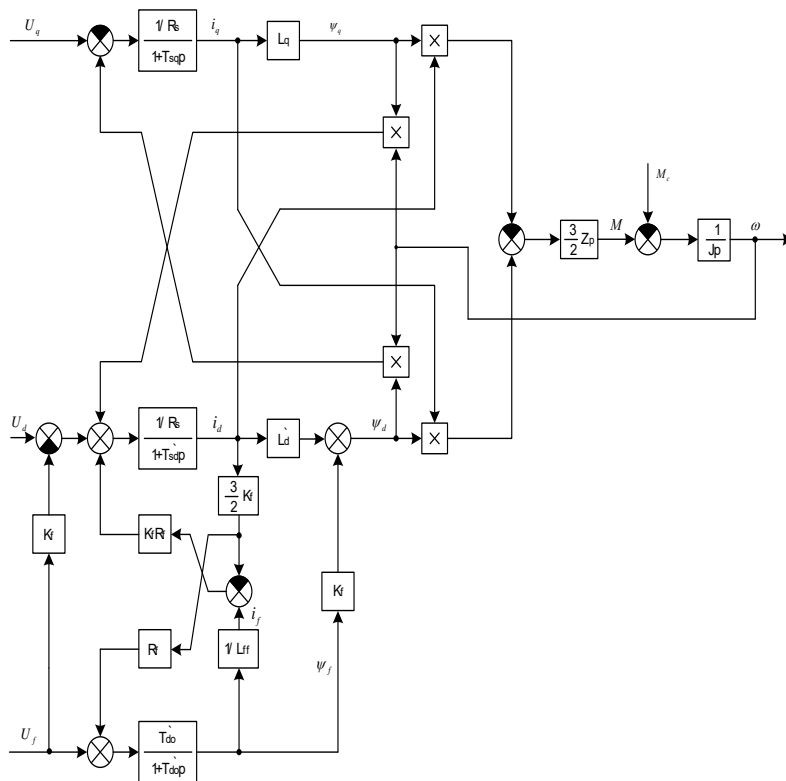


Рисунок 3.5.1 – Структурна схема синхронного двигуна в системі відліку, орієнтованої по ротору

Розрахунок перехідних процесів будемо виробляти по готовій структурній схемі синхронного двигуна, що входить в пакет Matlab.

Спрощений вид структурної схеми зображений на рисунку 3.4.1. Утворені перехідні процеси представлені на рисунку 3.5.2.

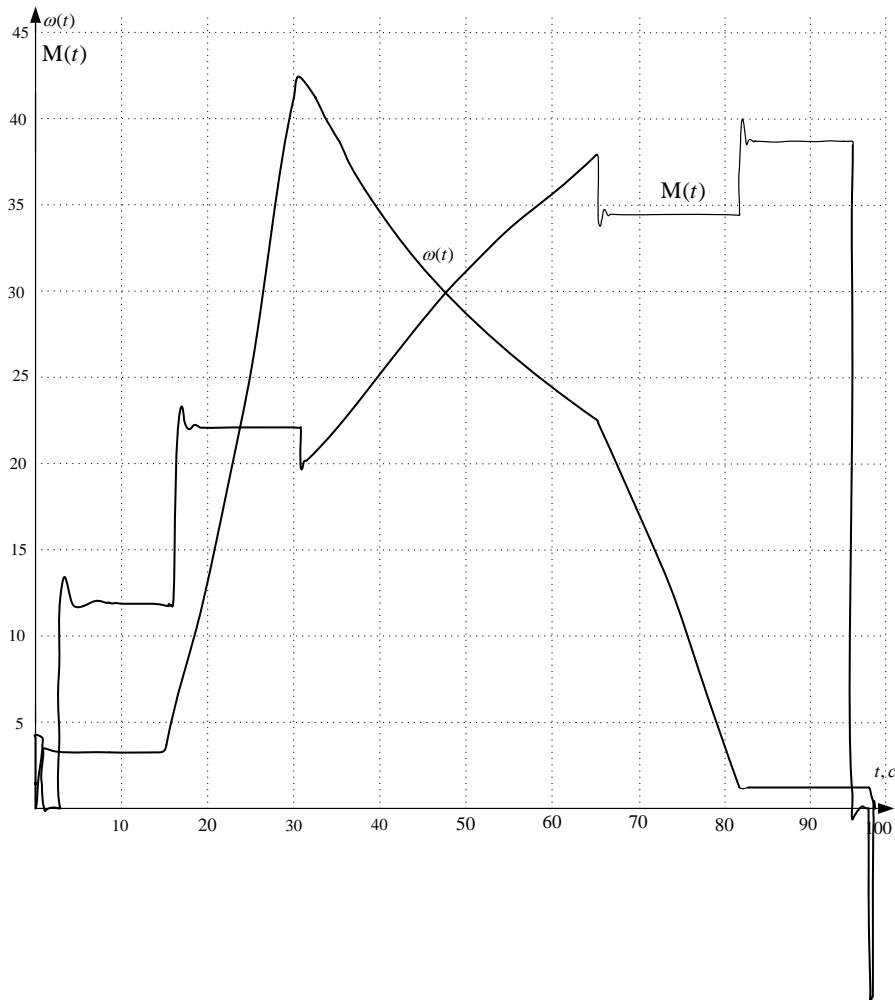


Рисунок 3.5.2. Перехідні процеси електромагнітного моменту і швидкості в системі електроприводу

Оцінюючи результати моделювання, можливо, стверджувати, що система приводу працює відповідно до вимог, які представлені в розділі технологічна частина.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих прокатного про- ництва.

При роботі з прокатним станом необхідно знати, що найбільш небезпечними чинниками, які можуть впливати на працівника під час роботи, є:

- Підвищений рівень шуму на робочому місці;
- Вібрація;
- Рухомі елементи транспортних засобів і переміщувані ними вантажі, матеріали, особливо при розміщенні цих коштів в тунелях, галереях і в інших умовах обмеженого простору;
- Обертіві елементи приводних, натяжних, завантажувальних, розванта-зочний вузлів і ін .;
- Ураження електричним струмом;
- Підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони і виробничих приміщень;
- Недостатня освітленість.

Шкідливі фактори суттєво впливають на роботу людину, і можуть стати небезпечними, в залежності від рівня і тривалості впливу. При проектуванні, виготовленні. Монтажі, випробуваннях, експлуатації, ремонту необхідно зробити все, що б уникнути ризиків в слушну експлуатації. Тому приймаються відповідні заходи до безпеки експлуатації прокатного стану.

4.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці

З небезпечними і шкідливими факторами існують такі способи боротьби:

4.2.1 Для захисту від шуму застосовуються такі методи:

- Зменшення шуму в джерелі його виникнення.

- Раціональні спрямованості з джерела шуму.
- Раціональні планування будівлі.
- Індивідуальні засоби захисту від шуму: беруші, навушники.

4.2.2 Для захисту від вібрації використовуються наступні методи:

- Зменшення вібрації у джерела його виникнення;
- Застосування динамічних систем погашення вібрації;
- Застосовуються спеціальні фундаменти для вібронебезпечного обладнання;

4.2.3 Рухомі частини небезпечні травмами робочих пов'язаних з затуванням спецодягу цими частинами, що рухаються. Тому робочих необхідно забезпечити справним спецодягом і він повинен відповідати умовам роботи.

Для запобігання травм передбачені наступні заходи:

- для зниження ризику нещасного випадку обмежують доступність працівників до рухомих деталей механізмів, які захищають і закривають захисними кожухами і огорожами.

Огородження слід виготовляти з металевих листів, сітки та інших міцних матеріалів. Захисні огорожі табору повинні бути надійними, міцними, що відкриваються (на петлях, шарнірах) або знімні-ми, виготовленими з окремих секцій. Для зручності обслуговування в огорожах повинні бути передбачені дверцята і кришки. У зоні віз-мужнього перебування людей повинні бути огорожені або захищені: при-водні, натяжні і відхиляють барабани, ремінні та інші передачі, муфти і тому подібні, а також опорні ролики і ролики нижньої гілки стану

- Застосування пристрою для зупинки прокатного стану з будь-якого місця уздовж з боку проходу з використанням сигнального троса, натягнутого уздовж прокатного стану;

4.2.4 В якості загальних заходів щодо зниження небезпеки ураження електричним струмом може служити раціональний вибір режиму нейтралі трансформатора, обмеження величини напруги в мережі, застосування ін-

індивідуальну засобів захисту. Можливість ураження електричним то-ком небезпечні опіками, судомами і летальним результатом.

Для запобігання ураження електричним струмом передбачені наступні заходи безпеки:

- Усувають небезпеку дотику до струмоведучих частин шляхом монтажу їх на достатній висоті;

- Передбачається блокування електрообладнання, перешкоджає від-закривання кришки при наявності напруги на неізольованих деталях, які стають доступні після зняття кришки;

- Використовують кабелі замість оголених проводів;

Для захисту від небезпеки дотику до струмоведучих частин, ока-залісь;

Під напругою, застосовують такі заходи:

- Встановлюють захисне заземлення;

- Застосовують захисне відключення;

- Забезпечують неструмоведучих частин електрообладнання ізоляційним покриттям;

У пульта управління повинні знаходитися гумові рукавички таки-лімки. Стан електроустаткування, ізоляції, заземлюючих пристроїв, захисту від витoku струмів, необхідно регулярно перевіряти.

Забороняється застосовувати мережі з глухозаземленою нейтраллю трансформаторів, за винятком трансформаторів, призначених для пита-ня перетворювальних пристроїв контактних мереж електровозної відкатки. Підключення інших споживачів і пристроїв до таких трансформаторів та харчування від таких мереж, крім випадків, передбачених правилами, забороняється.

«Вузлові точки» клітей і місця скупчення просипів повинні мати освітленість не менше 20 люкс. Місцеве освітлення повинно бути низько-вольтною до 368 В. В необхідності користуватися переносною лампою.

4.2.5 Одним з широко поширених несприятливих факторів, що роблять негативний вплив на здоров'я працівників, є вироб-водственная пил. Цілий

ряд технологічних процесів супроводжується утворенням мелкороздробленого частинок твердої речовини (пил), кото-які потрапляють в повітря виробничих приміщень і більш-менш тривалий час знаходяться в ньому в підвішеному стані.

Для захисту працівників від пилу, їм безкоштовно видаються протипожежні-ліві респіратори, захисні окуляри, спеціальна Протипилова одяг. Засоби захисту органів дихання вибирають в залежності від виду шкідливих речовин, їх концентрації. Органи дихання захищають фільтруючими і ізолюючими приладами, наприклад, респіратором типу "Лепесток".

При контакті з порошкоподібними матеріалами, несприятливо впливають на шкіру, використовують захисні пасти і мазі. Для захисту очей застосовують закриті або відкриті окуляри. Окуляри закритого типу з міцними безосколковим стеками використовують при механічній обробці металів.

У процесах, що супроводжуються утворенням дрібних і твердих частиц і пилу, бризок металу, рекомендують окуляри закритого типу з боковинами або маски з екраном.

З спецодягу застосовуються пилозахисні комбінезони (жіночий та чоловічий) з шоломами для виконання робіт, пов'язаних з великим освітою нетоксической пилу, костюми (жіночий та чоловічий) з шоломами, а також скафандр автономний для захисту від пилу, газів і низької температури.

4.3 Пожежна безпека

Для захисту від пожеж і накопичення зарядів статичної електрики, візки, футеровка барабанів і роликів, елементи очисних пристроїв, бортів навантажувальних і перевантажувальних пунктів і ін. Повинні бути виготовлені з негорючих, важко горючих або негорючих матеріалів з поверхневим електричним опором, не перевищує 3 - 108 Ом

Для локалізації і гасіння пожеж на приводі прокатних станів повинні бути встановлені автоматичні установки водяного пожежогасіння. Апаратура й устаткування, що входить до складу установки, повинні відповідати чинним стандартам, технічним умовам, документації її виробників.

Розміщення і кількість протипожежних пристроїв, водойм, засобів пожежогасіння і інструментів, прокладка і параметри пожежно-зрошувального водопроводу, а також вимоги до вогнестійкості визначаються спеціальними інструкціями щодо протипожежного захисту підприємств. Стосовно до діючого стану ці вимоги конкретизуються в проекті протипожежного захисту, погодженому з ДВГРС та затвердженому в установленому порядку.

У кожній приводній голівці прокатного стану розміщуються стаціонарні автоматичні установки водяного пожежогасіння, а на вентиляційних ділянках, обладнаних гідрофіцірування виїмковими комплексами - переносні установки.

ВИСНОВОК

Корегування параметрів, системи автоматичного керування шляхом уточнення коефіцієнтів характеристичного рівняння передатної функції електромеханічної системи забезпечує можливість отримання мінімізації динамічної похибки перехідного процесу за умови одночасного зменшення часу регулювання. Найбільш сприятливим критерієм, є розташування полюсів характеристичного рівняння за критерієм Бесселя, відповідно до якого відсутні пререгулювання системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ І ЛІТЕРАТУРИ

1. Терехов В.М. учебное издание «Система управления электроприводов», 2005. – 296 стр., ил.
2. Методичні вказівки до виконання розділу „Охорона праці“ в дипломних проектах (роботах) бакалаврів інституту електроенергетики / В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. – Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2012. – 8 с
3. Методические указания к выполнению экономической части дипломной работы для студентов направления подготовки 6.050702 «Электромеханика» / Составители: Л.В. Тимошенко, И.В. Шереметьева – Днепропетровск: НГУ, 2015. – 15 с.
4. <http://1ulga1.prom.ua/p144879078-elektrodvigatel-112-ma6.html>
5. <http://reduktora.com.ua/katalog/reduktory-kranovye-ts2/reduktor-ts2-250?gclid=COOwg4KJic0CFUrcngodwEMM9Q>
6. <http://www.schneider-electric.com/products/ua/uk/2900-privodnaa-tehnika/2950-standartnye-pc/1155-altivar-71/>
7. http://www.juridicheskij-supermarket.ua/page_edinyi-vznos.html
8. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства: Учеб пособие для вузов. – 2-е изд. – М: «Высшая школа», 1977.
9. Зеленов А.Б. и др. Электропривод механизмов прокатных станов – Харьков, 1963.

10. Бернштейн А.Я., Гусяцкий Ю.М., Кудрявцев А.В., Сарбатов Р.С. Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе. – М.: «Энергия», 1980.
11. Жемеров Г.Г. Тиристорные преобразователи частоты с непосредственной связью. – М.: «Энергия», 1977.
12. Усынин Ю.С. Системы управления электроприводов: Учеб. Пособие. – 2-е изд.-Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 328 с.
13. Электротехнический справочник в 4 т. Т. 4. Использование электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – М.: Издательство МЭИ, 2002.
14. Вейнгер А.М. Регулируемый синхронный электропривод. – М.: «Энергоатомиздат», 1985.
15. Терехов В.М. Элементы автоматизированного электропривода. – М.: «Энергоатомиздат», 1987.
16. Оглоблин А.Я., Сыромятников В.Я. Структурные схемы двигателей переменного тока. – Магнитогорск: МГТУ, 2003.
17. Косматов В.И. Проектирование электроприводов металлургического производства. – Магнитогорск: МГТУ, 2002 г.
18. Осипов О.И. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод: Учеб. пособие. – М., 2002.

