

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

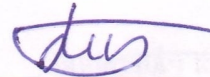
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



(підпис)

I. С. Білюк

« 16 » 06 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код та назва спеціальності)

освітня програма Електромеханіка та електроенергетика

(назва освітньої програми)

на тему: «Модернізація системи керування електропривода переміщення кран-балки»

Виконав: студент IV курсу, групи 4371

Вакар Максим Геннадійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник доц. каф. автоматики, к.т.н., доц. Васильєв О.Г.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Нормоконтроль доц. каф. автоматики, к.т.н., доц. Васильєв О.Г.

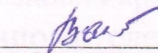
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н., доц., Новогрецький С.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2025 р.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра автоматики
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)
Освітня програма «Електромеханіка та електроенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, к.т.н. доцент

І.С. Білюк

«7» 02 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

гр.4371 Вакару Максиму Геннадійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Модернізація системи керування електропривода переміщення кран-балки»

керівник роботи Васильєв Олександр Григорович, кандидат технічних наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «23» квітня 2025 року
№ УЧ-343.

2. Строк подання студентом роботи 10 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Вантажопідйомність кран-балки 10 т; швидкість
пересування до 0,35 м/с; регулювання швидкостей 5-100%; основні показники якості:
 $\sigma < 20\%$; $T_{\max} < 1\text{с}$; $N \leq 2$; $\varepsilon = 0$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Опис об'єкту дослідження. Кран-балка. 2 Вибір електродвигуна
механізму переміщення кран-балки. 3 Вибір комплектного електропривода. 4
Аналіз динаміки системи керування електропривода механізму переміщення кран-
балки. 5 Охорона праці при роботі з електрообладнанням кранових механізмів

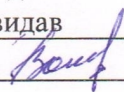
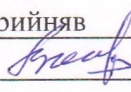
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1 Кран-балка вантажопідйомністю 10 тонн. 2 Принципова електрична схема
електропривода. 3 Функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотно-
струмовим керуванням. 4 Схеми системи керування електропривода. 5 Аналіз
динаміки САК

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з 76 сторінок: з 68 сторінок

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Васильєв О.Г., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 04 березня 2025 р.

Мета роботи – дослідження динамічних властивостей системи керування

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опис об'єкту дослідження. Кран-балка	06.04.25	
2	Вибір електродвигуна механізму переміщення кран-балки	04.05.25	
3	Вибір комплектного електропривода	18.05.25	
4	Аналіз динаміки системи керування електропривода механізму переміщення кран-балки	27.05.25	
5	Охорона праці при роботі з електрообладнанням кранових механізмів	05.06.25	

Студент

(підпис)

Вакар М.Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Васильєв О.Г.

(прізвище та ініціали)

пред'являються до електроприводів транспортуючих механізмів.

В розділі 5 розглянуть питання з охорони праці при експлуатації електрообладнання кран-балки.

Додаток містить 8 слайдів мультимедійної презентації.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з 76 сторінок: з 68 сторінок тексту, 5 розділів, 5 таблиць, 16 рисунків, 17 літературних джерел, 1 додатку на 8 сторінках.

Ключові слова: аналіз динаміки, кран-балка, математична модель, механізм переміщення, комплектний електропривод, система керування

Об'єкт дослідження – система керування автоматизованого електропривода механізму переміщення кран-балки.

Мета роботи – дослідження динамічних властивостей системи керування автоматизованого електропривода механізму переміщення кран-балки.

У розділі 1 розглянуті особливості сучасних кран-балок та їх застосування, вибрана кран-балка електрична опорна вантажопідйомністю 10 тонн.

У розділі 2 виконаний розрахунок потужності двигуна механізму переміщення кран-балки, проведений вибір типу електродвигуна, розглянуте застосування асинхронних двигунів загального призначення в крановому електроприводі.

У розділі 3 виконаний аналіз існуючих систем керування двигунами перемінного струму, для обраного двигуна застосований комплектний електропривод Siemens MICROMASTER 440.

У розділі 4 зроблений математичний опис елементів системи керування, проведені розрахунки по їх вибору, складена розрахункова динамічна модель системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей.

В результаті моделювання отримані такі показники якості перехідного процесу, які показали, що розглянута система задовольняє вимогам, які пред'являються до електроприводів транспортуючих механізмів.

В розділі 5 розглянуті питання з охорони праці при експлуатації електрообладнання кран-балки.

Додаток містить 8 слайдів мультимедійної презентації.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОПИС ОБ’ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ. КРАН-БАЛКА	8
1.1 Особливості сучасних кран-балок та їх застосування.....	8
1.2 Опис та основні технічні характеристики опорної кран-балки	12
1.3 Існуюча система керування.....	14
2 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ	
КРАН-БАЛКИ	18
2.1 Розрахунок механізму переміщення та вибір двигуна кран-балки ...	18
2.2 Застосування асинхронних двигунів загального призначення	
в крановому електроприводі	23
3 ВИБІР КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	26
3.1 Призначення й основні вимоги до систем керування	
електроприводів.....	26
3.1.1 Особливості електропривода механізмів горизонтального	
переміщення	29
3.2 Аналіз існуючих систем керування двигунами перемінного струму	31
3.3 Загальна характеристика й основні технічні дані комплектного	
електропривода Siemens MICROMASTER 440	36
4 АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	
ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ КРАН-БАЛКИ.....	41
4.1 Функціональна та структурна схеми системи керування.....	41
4.1.1 Математичний опис структурної схеми електропривода	
з частотно-струмовим керуванням.....	43
4.2 Синтез регуляторів електропривода з частотно-струмовим	
керуванням.....	50
4.3 Аналіз динаміки системи керування електропривода	54
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ	
КРАНОВИХ МЕХАНІЗМІВ	59
5.1 Аналіз небезпек і шкідливих факторів, характерних для робіт,	

пов'язаних з налагодженням і обслуговуванням електропривода	59
5.1.1 Дія та наслідки ураження електричним струмом.....	60
5.1.2 Шум та вібрації при експлуатації системи керування кран-балки. .	62
5.2 Захист від шкідливих та небезпечних факторів при експлуатації системи керування кран-балки.....	63
ВИСНОВКИ	66
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	67
ДОДАТОК А. Мультимедійна презентація	69

ВСТУП

Одним з найбільш поширених засобів механізації навантажувально-розвантажувальних робіт на промислових підприємствах, будівельних майданчиках, в річкових і морських портах, на залізничному транспорті є вантажопідйомні крани, що забезпечують підйом вантажу, переміщення його на незначну відстань і опускання за допомогою вантажозахватного пристрою.

Кран-балки є найпростішими вантажопідйомними пристроями, основними механізмами яких є механізми підйому та переміщення, що забезпечуються індивідуальними, реверсивними електроприводами, розрахованими для роботи в повторно-короткочасному режимі.

У кожному робочому циклі мають місце несталі режими роботи електропривода: пуски, реверси, гальмування, що надають істотний вплив на продуктивність механізму, на ККД установки й на ряд інших факторів. Всі ці умови пред'являють до електропривода складні вимоги відносно надійності й безпеки. Від технічної досконалості електроприводів у значній мірі залежать продуктивність, надійність роботи, простота обслуговування. Кран дозволяє позбавити робітників від фізично важкої роботи, зменшити дефіцит робітників у виробництвах, що відрізняються важкими умовами праці.

У цей час кранове електроустаткування має у своєму складі серії кранових електродвигунів змінного і постійного струму, серії силових і магнітних контролерів, командоконтролерів, кнопкових постів, кінцевих вимикачів, гальмових електромагнітів і електрогідравлічних штовхачів і ряд інших апаратів, що комплектують різні кранові електроприводи.

Сучасний автоматизований електропривод - це регульований електропривод. Розвиток техніки у всіх галузях народного господарства значно підвищив потребу в електроприводах, які допускають регулювання кутової швидкості і розвиваючого моменту. У крановому електроприводі досить широко почали застосовуватися різні системи тиристорного регулювання і дистанційного керування.

Впроваджуються системи безконтактного й безперервного керування на базі силових напівпровідникових приладів. Подальше вдосконалювання кранового електропривода йде по шляху розширення діапазону регулювання, підвищення рівня автоматизації, надійності, простоти контролю, експлуатації й ремонту, впровадження діагностичних приладів і т.п.

У зв'язку із цим виникає необхідність використання для кранових механізмів більш сучасних електроприводів із плавним регулюванням швидкості.

У крановому електроприводі досить широко почали застосовуватися різні системи тиристорного регулювання і дистанційного керування по радіоканалу або одному проводу.

Використання тиристорних та транзисторних перетворювачів для регулювання швидкості електроприводів дозволяє суттєво покращити їх динамічні характеристики і енергетичні показники, підвищує надійність приводу та його експлуатаційні якості.

Метою даної кваліфікаційної роботи бакалавра є модернізація системи керування електропривода механізму переміщення кран-балки.

Завдання даної роботи полягає в тому, щоб замінити існуючий електропривод на електропривод, з кращими технічними характеристиками, що значно покращить експлуатаційні характеристики транспортуючого засобу.

Робота направлена на виявлення параметрів налагодження регуляторів системи керування електропривода механізму переміщення кран-балки для отримання найкращих технічних характеристик транспортуючого засобу.

РОЗДІЛ 1

ОПИС ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ. КРАН-БАЛКА

1.1 Особливості сучасних кран-балок та їх застосування

Кран-балка відноситься до вантажопідйомного обладнання мостового типу.

Досить часто кран-балку плутають із мостовим краном. Це не зовсім коректно. Так, обидва пристрої належать до одного типу вантажопідйомних машин, але мають характерні відмінності. Кран-балка - компактна, займає менше вільного простору. Проста конструкція забезпечує швидкий монтаж кран-балки, зборку, нескладне техобслуговування.

Технічні характеристики кран-балок дають можливість працювати з важкими та великогабаритними вантажами при виконанні технологічних операцій розвантаження й навантаження, при виконанні будівельних, монтажних, ремонтних робіт і здійсненні технічного обслуговування [11].

Кран-балка фактично являє собою досить спрощений різновид мостового крана, розрахованого на виконання операцій з вантажами масою до 10 тонн.

Види кран-балок

Підвісна кран-балка. Такий кран пересувається по підкранових коліях, які, як правило, жорстко і надійно прикріплюються до капітальних перекриттів споруди. З цієї причини підвісні моделі завжди використовуються тільки всередині приміщення і ніколи - зовні. Основним плюсом такого рішення є збільшена робоча зона, і її чудовий огляд.

Опорна кран-балка. Рух ходових коліс, якими укомплектовані опорні крани, здійснюється по підкранових коліях, які кріпляться до спеціально збудованих опор з металу. Таке рішення дозволяє використовувати підвісні моделі і всередині, і зовні будівлі. Наявність опор помітно підвищує стійкість і надійність всієї мостової конструкції, що надає можливість проводити операції з більш важкими вантажами. Однак опори ускладнюють огляд на майданчику та створюють зони, недоступні для обслуговування. Фактично протяжність рейкових шляхів опорного крана

мостового типу може бути необмеженою.

Конструкції кран-балок дуже різноманітні. А ось принцип роботи однаковий для кожного з різновидів.

Принцип роботи пристрою

Кран-балка **складається з таких елементів:**

- прогоновий міст;
- кінцеві балки з закріпленими на кінцях ходовими візками;
- вантажопідйомний механізм - таль.

Підйомний механізм переміщається пролітною балкою в двох напрямках: по вертикалі і по горизонталі. Сам механізм у дію наводиться завдяки приводу, що регулюється пультом керування. Весь процес роботи техніки можна розділити на кілька основних ступенів:

- підйом вантажу;
- робочий хід (переміщення вантажу до місця призначення);
- вивантаження;
- холостий хід (повернення до місця завантаження).

Така конструкція дуже зручна. Її можуть використовувати як зовні, так і всередині приміщення. Окремі різновиди цього інструменту можна встановлювати навіть у невеликих кутах, які часто залишаються порожніми через своє незручне розташування.

Для переміщення вантажів у електричних кран-балках застосовуються лебідка або таль, які змонтовані на спеціальні візки.

Таль (електрична або ручна) закріплюється на прогоновому мосту і може переміщатися уздовж нього, а сам міст, у якого по краях розташовані кінцеві балки, здатний пересуватися уздовж всього прогону. Мостова конструкція приводиться в рух за допомогою механічного приводу або мотор-редуктора. Таким чином, вантаж, що піднімається талем, може переміщатися в усіх трьох можливих площинах.

Механізм приводять у дію за допомогою:

- редуктора;

- коліс візка;
- електродвигуна.

Основні параметри пристрою

Основний параметр, яким відрізняється кран-балка – вага вантажу, що піднімається. Крім цього, виділяють такі особливості:

- вантажопідйомність цього механізму залежить від типу конструкції. Для опорних балок значення становить 1—10 тонн;
- підвісні конструкції мають менше значення, що не перевищує чотирьох-п'яти тонн;
- швидкість руху механізму може змінюватись.

Підвісні пристрої працюють дещо повільніше. Їхня швидкість не перевищує 0,5 метра в секунду. В описі до цього механізму завжди обов'язково вказуються дані за величиною прольоту. У такого типу пристроїв вона буває **не більше від 3 до 28 метрів** (іноді 28,5). Під прольотом слід вважати площу (простір), який пристрій здатний обслуговувати.

Зазначений параметр можна розділити на 2 категорії:

- з одним прольотом (ці пристрої характеризуються довжиною від 3 до 15 метрів);
- з двома прольотами (цим пристроям відповідає значення протяжності від 7 до 12 метрів).

Підвісними різновидами кран-балок вантажі можуть підняти на висоту 6—36 метрів. Для опорних різновидів кран-балок це значення нижче і досягає 6-18 метрів.

Однобалкова кран-балка зазвичай виготовляється з двотавра з трикутним або прямокутним перерізом і, як і у вищеописаному випадку, виготовляється у вигляді ферми чи листа. Усередині головних балок посилення конструкції приварюються діафрагми.

Вони розташовуються під кутом 90 градусів до осі, що несе балки. Їх довжина майже тотожна висоті стін. При великій довжині головних балок нерідко зустрічалися ситуації їх прогину всередину через нездатність витримувати вплив ваги вантажів, що переміщуються. Щоб усунути цей недолік, балки попередньо

відгинають нагору, формуючи таким чином так званий будівельний підйом.

Кінцеві балки за своєю структурою мають схожість із коробками прямокутної форми. На них встановлюють букси та обмежувачі переміщення кранів. У пристроях, які експлуатуються поза приміщенням, усередині кінцевих балок розміщують додатково протиугінні системи. Вони оберігають процес переміщення під впливом сильного вітру.

Експлуатація таких механізмів у будівництві та інших областях значно спрощує виконання багатьох робіт. А в окремих випадках застосування їх у роботі – єдиний можливий спосіб для переміщення або підйому вантажів. Саме за рахунок цього їхня поширеність настільки велика.

Перевага цього обладнання полягає в тім, що з його допомогою можна переміщати не тільки впаковані вантажі, але й сипучі або розплавлені матеріали.

Кран-балки бувають загального призначення, пожежобезпечні, вибухозахищені, хімічнозахищені, тропічного виконання.

Живлення кран-балки здійснюється від трифазної мережі змінного струму напругою 380В и частотою 50 Гц.

Кран-балки виготовляються з довжиною прольоту до 22 метрів; повна довжина може досягати 25 метрів. Висота підйому залежить від використовуваної електричної талі й може досягати 70 метрів. Вантажопідйомність кран-балки може досягати 16 тонн. Опорні кран-балки з довжиною прольоту від 4.5м до 16.5м мають балку двотаврового перерізу. При прольотах більше 10,5 м балка крана підсилюється підкосами.

Для збільшення несучої здатності кран-балки пролітна балка може бути виконаною з перфорацією, а верхній пояс із посиленням. Перфоровані балки легше, у порівнянні зі звичайними, і мають більший запас міцності.

Кран-балка опорна вважається найбільш довговічною й безпечною.

Цикл роботи як опорної, так і підвісної кран-балки складається із захвата необхідного вантажу, робочого ходу для його переміщення й вивантаження й холостого ходу для повернення до місця виконання робіт. Основною технічною

характеристикою даної вантажно-розвантажувальної техніки є її вантажопідйомність – гранична маса вантажу, що піднімається кран-балкою.

В якості об'єкту дослідження розглядається кран-балка електрична опорна вантажопідйомністю 10 тонн [8].

1.2 Опис та основні технічні характеристики опорної кран-балки

Загальний вид опорної кран-балки вантажопідйомністю 10 тонн із зазначенням основних складових частин наведений на рисунку 1.2.



1 - кінцеві балки; 2 - пролітна балка; 3 - піднімальний механізм (таль); 4 - рейки (підкранові колії)

Рисунок 1.2 - Загальний вид опорної кран-балки

Кран-балка являє собою конструкцію, що складається з наступних складових частин: моста, механізму переміщення крана, електричної талі, електрообладнання.

При швидкості переміщення кран-балки до 50 м/хв механізмом керують з підлоги за допомогою підвісної кнопкової коробки; при швидкості, що перевищує 50 м/хв, керування переносять у кабінку, прикріплену до моста кран-балки.

Основу кран-балки складає несуча (пролітна) балка 2 з кінцевими опорними балками 1, на якій установлені основні частини й механізми. У якості механізму підйому використовується електрична таль 3 поздовжнього розташування із

крюковою підвіскою й вантажозахватними пристроями. Таль має механізм переміщення, що входить до її складу, за допомогою якого вона переміщається уздовж головної несучої балки. Переміщення талі обмежується упорами й кінцевими вимикачами, установленими на початку й кінці шляху.

Переміщення крана по напрямним здійснюється кінцевими балками.

Кінцеві балки 1 опорної кран-балки обладнані зносостійкими колесами, що опираються на рейки (підкранові колії) 4.

Механізм переміщення кран-балки виконаний з роздільним або спільним приводом залежно від прольоту крана, складається з двох приводних і двох холостих коліс, які за допомогою букс кріпляться до кінцевих балок моста. При довжині прольоту більше 16 м використовується роздільний привод.

Двошвидкісний електродвигун у фланцевому виконанні з вбудованим гальмом кріпиться на фланці навісного редуктора.

Механізм переміщення кран-балки з роздільним приводом відрізняється тим, що на кожному приводному ходовому колесі встановлений свій редуктор з електродвигуном.

Піднімальний механізм, пересуваючись по пролітній балці, здійснює переміщення вантажу в горизонтальній або вертикальній площині.

Кран-балка має прилади й пристрої, що забезпечують її безпечну роботу: обмежник висоти підйому вантажу, кінцеві вимикачі механізмів переміщення талі й усієї кран-балки, звукову й світлову сигналізацію.

Усі вузли й механізми виконані з дотриманням "Правил" [10,13].

Кран-балка опорна електрична вантажопідйомністю 10 тонн виготовляється відповідно до ДСТУ 22045-89.

Технічні характеристики кран-балки вантажопідйомністю 10 тонн наведені в таблиці 1.1 [8].

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики кран-балки

Найменування	Параметр
Вантажопідйомність, т	10
Група режиму роботи крана за ГОСТ 25546-82 (ISO 4301/ 1-86)	A3
Режим роботи механізмів (по ISO 4301/ 1-86)	M5
тривалість включення	ПВ = 15%
Швидкість переміщення кран-балки, м/с (з установкою перетворювача частоти з функціями плавний розгін/гальмування)	0,35 (від 0 до 0,35 м/с)
Керування краном	з підлоги; радіоуправління
Струмopідвод	закритий тролейний
Рід струму й напруга	змінний 380В; 50 Гц
Маса, т	6,9
Навантаження на колесо, кН	70
Тип кранової рейки	P24 ГОСТ 6368-82
Кліматичне виконання, категорія розміщення	У1, У2, У3
Температура навколишнього середовища, °С	мінус 20..+40
Виконання кран-балки (ТУ 11-25-55-54ТУ)	загальнопромислове, пожежнoбезпечне

1.3 Існуюча система керування

Принципова електрична схема електропривода механізму переміщення кран-балки з регулюванням швидкості асинхронних короткозамкнених двигунів зміною напруги в ланцюзі статора за допомогою тиристорного регулятора напруги представлена на рисунку 1.2 [12].

Регулювання швидкості чотирьохдвигунного привода переміщення здійснюється за допомогою трьох пар з'єднаних паралельно тиристорів 3VS1.... 3VS6, включених у ланцюг статорів електродвигунів.

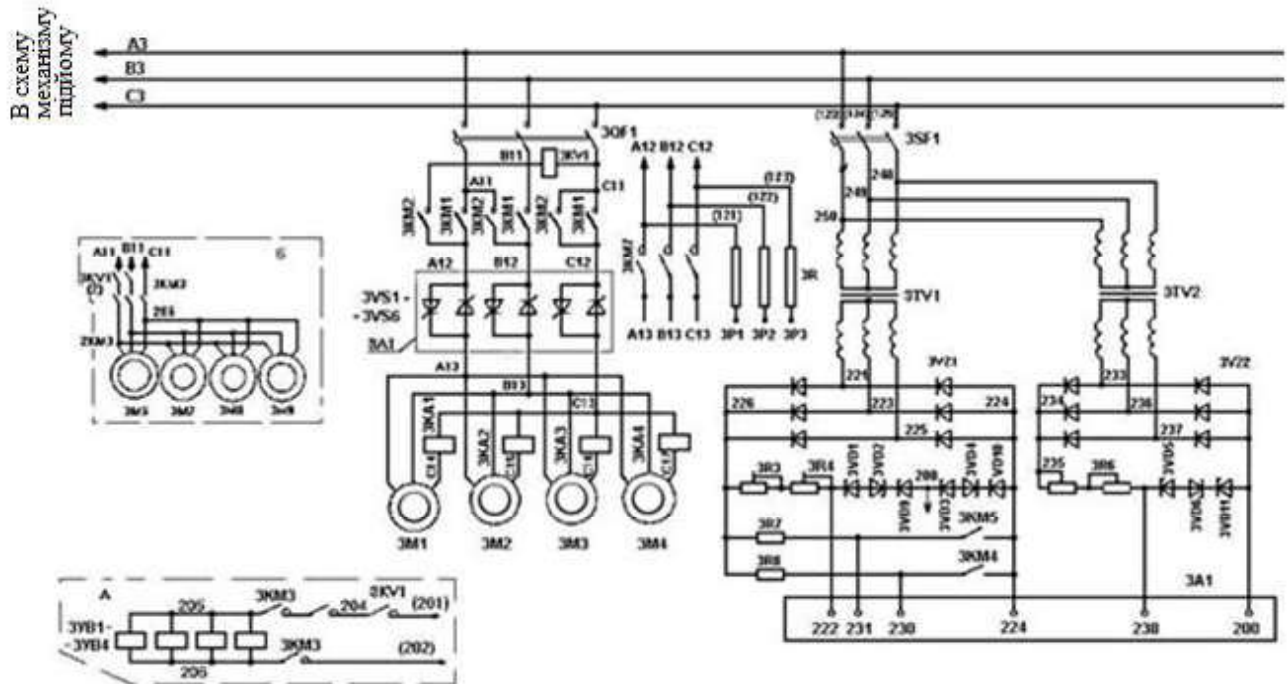


Рисунок 1.2 - Схема електрична механізму переміщення кран-балки

Керування приводами здійснюється командоконтролером 3SA1, підключення привода до мережі здійснюється реверсивним пускачем 3KM1 - 3KM2.

Керування тиристорами регулятора забезпечується контакторами 3KM4 і 3KM5 через електронний блок керування 3A1 (плата керування й регулювання ПУР-2).

Захист тиристорів від перенапруги забезпечується RC-ланцюжками 3R8-3R10, 3C3-3C5.

Схема забезпечує наступні режими роботи привода: плавний розгін, малу швидкість при зниженій напрузі статора, робочий хід, вільний вибіг після переключення рукоятки командоконтролера із другої або третьої позиції в першу.

Максимальний захист забезпечується максимальними реле 3KA1 (KA4 і автоматичними вимикачами 3QF1 і 3SF1 (для ланцюгів керування). Швидкість наростання моменту двигунів обумовлена швидкістю наростання завдання в блоці керування ПУР-2, позначеному в схемі 3A1.

При установці рукоятки командоконтролера 3SA1 у другу позицію

включається контактор 3KM1 або 3KM2 реверсивного пускача 3KM – залежно від обраного напрямку руху. При цьому включається контактор 3KM4, його контакт включає контактор 3KM3 гальма. Привод розгальмовується й залишається на "підхопленні" на контактах 213 – 214.

Одночасно контакт 3KM4 (230 – 224) підключає сигнал завдання $U_{зд1}$ у ПУР-2, при цьому двигуни починають працювати з малим моментом на характеристиці (1)П, при цьому напруга на статорах двигунів становить приблизно $0,7 U_n$.

При перекладі 3SA1 на третю позицію включається пускач 3KM5, його контакт (231 – 224) подає в ПУР-2 сигнал завдання $U_{зд2}$ – тиристори повністю відкриваються й двигуни переходять на природну характеристику (2).

При перекладі рукоятки 3SF1 на першу позицію пускач напрямку (3KM1 або 3KM2) відключається, знімається струм завдання в ПУР-2, залишається включеним (через контакти "підхоплення") контактор гальма – відбувається вільний вибіг крана.

Блок-схема і ланцюг керування електропривода механізму переміщення кран-балки показані на рисунку 1.5.

Блок-схема електропривода механізму переміщення складається з наступних елементів: ТРН – тиристорного регулятора напруги; АД – асинхронного короткозамкненого двигуна; ПУР-2 – блоку керування електронного.

Блок керування ПУР-2 у свою чергу включає: БУР-2 – блок керування регулятором; УЗУ – вузол завдання уставок.

Блок керування регулятором БУР-2 у свою чергу складається з: ГПН – генератора пилкоподібної напруги; КУТ1...КУТ6 – каналів керування тиристорами. Для живлення електронного блоку керування БУР-2 використовується напруга ± 15 В.

Напруга із вторинної обмотки трифазного трансформатора 3TV1 випрямлюється мостом 3VZ1 і через струмообмежувальні опори 3P3 і 3P4 надходить на стабілітрони 3VD1 – 3VD4 і 3VD9, 3VD10. Із проводу 224 відносно загального проводу 200 знімається напруга +15 В, із проводу 222 напруга мінус 15 В.

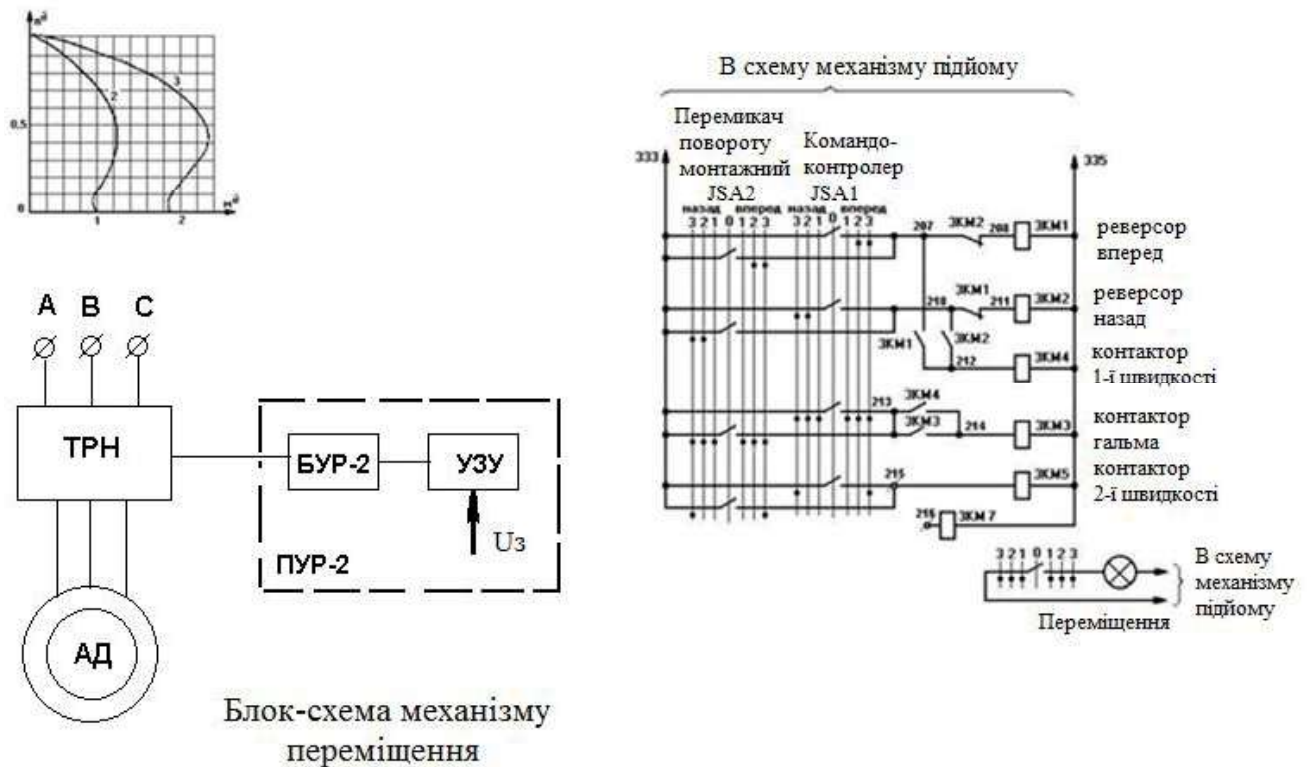


Рисунок 1.5 - Блок-схема і ланцюг керування електропривода механізму переміщення кран-балки

Блок керування ПУР-2 забезпечує планове наростання напруги на виході регулятора ТРН до значення, обумовленого сигналами завдань $U_{зд1}$ і $U_{зд2}$.

Для захисту силового ланцюга привода переміщення крана обраний автоматичний вимикач.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ КРАН-БАЛКИ

Типова кран-балка включає балку, що переміщається на ходових колесах по підкранових коліях уздовж цеху. По балці переміщається візок, постачений механізмом підйому вантажу. Механізм переміщення крана встановлений на мосту, а механізм переміщення візка - безпосередньо на візку. Таким чином, переміщення вантажу може відбуватися в трьох взаємно перпендикулярних напрямках.

Розрахункова схема всіх переміщень кран-балки показана на рисунку 2.1.

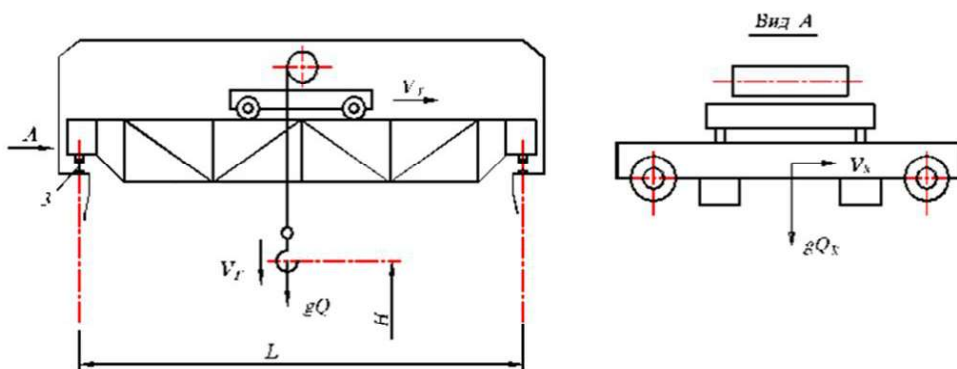


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема переміщень кран-балки

Механізм переміщення кран-балки призначений для його переміщення до об'єкта або в його межах. Він забезпечує, як правило, горизонтальний рух кран-балки або візка.

Механізм переміщення складається з електродвигуна, проміжних передач, ходової частини із ведучими й відомими ходовими колесами.

2.1 Розрахунок механізму переміщення та вибір двигуна кран-балки

Механізм переміщення – це приводний пристрій для переміщення крана або візка по горизонталі. Механізми переміщення виконуються для переміщення по рейковому, безрейковому або канатному шляху. По рейковому шляху пересуваються мостові, козлові, баштові, порталні і ряд інших вантажопідійомних

машин. Канатний шлях мають візки кабельних кранів [4,5].

Безрейковий шлях використовується стріловими кранами на автомобільному, пневмоколісному, гусеничному ході.

Переміщення по рейковому шляху здійснюється одним з двох типів механізмів: 1) з приводними колесами; 2) з ланцюговою або канатною тягою.

Механізм переміщення з приводними колесами встановлений безпосередньо на візку або мосту крану, а механізм з канатною тягою розташований окремо від об'єкта, що переміщується, і з'єднаний з ним гнучким елементом.

Механізми переміщення з приводними колесами. Крани і кранові візки спираються на ходові колеса. Колеса, що з'єднані з приводом, є приводними (ведучими), інші колеса – холостими (веденими). Привод коліс може бути централізованим, груповим і індивідуальним. Для виключення перекосу рами візка, його забігання приводні колеса повинні розташовуватися з обох сторін візка. Машини з рейковим ходом мають переважно ходові колеса з двома ребордами.

Механізми переміщення кранів на рейковому ході діляться на центральні й роздільні.

Загальним недоліком усіх схем із центральним приводом є необхідність обладнання на мосту крана спеціального майданчика для установки механізму переміщення. Це підвищує вартість кранового мосту й збільшує його масу.

Через високу частоту обертання трансмісійного вала необхідні висока точність його виготовлення й монтажу, проведення балансування й забезпечення підвищеної жорсткості металоконструкції мосту. Конструкція муфт повинна дозволити компенсувати деформації майданчиків, що виникають у процесі роботи крана під навантаженням.

Як показують техніко-економічні розрахунки, при прольотах кранів до 15 м доцільно застосовувати механізм переміщення із центральним розташуванням привода, а при великих прольотах — з роздільним приводом. Роздільний механізм встановлюється окремо на кожне приводне колесо.

Недоліком роздільних приводів є перекіс мосту крана при неоднакових навантаженнях на ходові колеса, який доводиться компенсувати за рахунок тертя

реборд коліс об рейки й жорсткості кранового мосту.

При роботі механізмів з роздільним приводом перерозподіл навантажень між електродвигунами здійснюється через металоконструкцію мосту. На стороні мосту, що забігає вперед, завдяки підвищенню опору на приводних ходових колесах і зростанню навантаження на електродвигун спостерігається падіння швидкості руху. Для протилежної сторони у зв'язку зі зменшенням у цей час опору на приводних колесах і навантаження на двигун відбувається деяке підвищення швидкості обертання й у результаті виникає автоматичне вирівнювання перекосу.

Отже, рух мосту крана з роздільним приводом відбувається з меншими перекосами, що й сприяє широкому застосуванню цього типу приводу.

Застосуємо роздільний привод у зв'язку з тим, що він відповідає сучасним принципам конструювання машин з максимальним наближенням приводу до виконавчого механізму [4,5,7].

Основні переваги такого типу приводу: простота конструкції, мала металоємність і розміри, відсутність довгих трансмісійних валів, муфт і підшипників, більш плавний рух крана та ін.

В механізмі переміщення з **роздільним приводом** (рисунок 2.2) кожне ведуче колесо моста має самостійний привод з окремими двигуном, редуктором і гальмом. Схема механізму вимагає наявності двох двигунів, двох гальм і двох редукторів, але вона найбільш дешева, має малу масу і проста у виготовленні.

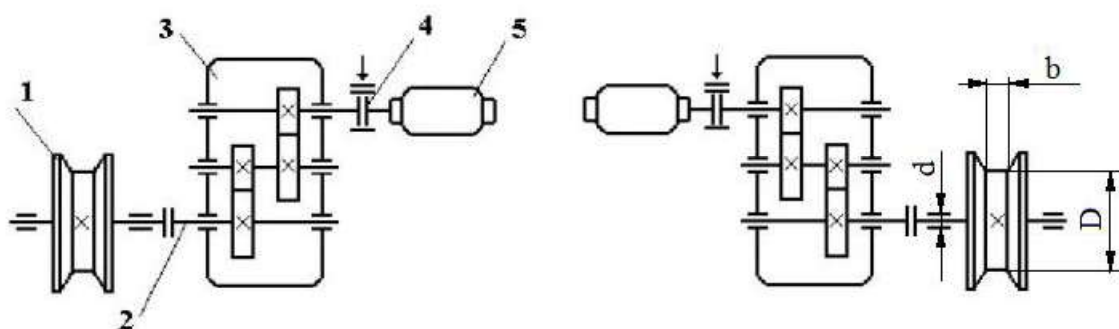


Рисунок 2.2 - Схема механізмів переміщення кран-балки з роздільним приводом

На схемі (рисунок 2.2) електродвигун 5 через зубчасту муфту–гальмовий шків 4 з'єднаний з вертикальним триступінчастим зубчастим редуктором 3. На

гальмовому шківі встановлене гальмо. Кінці вихідного вала редуктора з'єднані зубчастими муфтами із трансмісійним валом 2, який установлено на проміжних опорах. Вал передає обертання через зубчасті передачі в кінцевих балках на ходові колеса 1.

Електродвигуни розраховуються з урахуванням можливої нерівномірності їх завантаження кожний на 60% від загальної необхідної потужності.

Максимальне навантаження на ходові колеса визначається з розрахункової схеми дії всіх навантажень, сприйманих колесами. Причому така схема складається з урахуванням найбільш несприятливої комбінації дії цих навантажень.

Основні параметри кран-балки: вантажопідйомність $Q = 10\text{т}$; маса крана $G = 6,9\text{ т}$; проліт $L = 16,5\text{м}$.

Режим роботи механізмів середній (клас М5 по ISO 4301/ 1-86), тривалість включення ПВ = 15%.

Вибираємо двохребордне колесо конічного виконання навантаженням на рейку 70 кН, діаметром $D = 400\text{ мм}$, шийка вала $d = 80\text{мм}$, рейка Р-24. Швидкість переміщення кран-балки $v = 0,33\text{ м/с} = 20\text{ м/хв}$.

Опір пересуванню рейкових механізмів W визначається вантажопідйомністю Q і власною вагою кран-балки G [7].

$$W = F_T + F_K + F_P ,$$

де F_T - сила тертя в опорах;

F_K - сила тертя кочення колеса по рейці;

F_P - додаткова сила тертя в ребордах коліс.

Коефіцієнт тертя в підшипниках приймемо $f = 0,08$.

Вантажопідйомність $Q = 100\text{ кН}$;

$$G = m_{кр} \cdot g ; G = 69\text{ кН}.$$

Сила тертя F_T , Н, в опорах визначається з виразу

$$F_T = (Q + G) \cdot \frac{f \cdot d}{D} ,$$

де D - діаметр ходового колеса, $D = 400\text{ мм}$;

d – діаметр шийки вала, $d = 80$ мм;

$$F_T = F_T = (100 + 69) \cdot \frac{0,08 \cdot 80}{400} = 2,7 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт кочення по рейці складає $k = 0,5$ мм.

Сила тертя кочення визначається як

$$F_K = (Q + G) \cdot \frac{2 \cdot k}{D};$$

$$F_K = (100 + 69) \cdot \frac{2 \cdot 0,5}{400} = 0,42 \text{ кН.}$$

Силу F_p теоретично визначити не можна через невизначеність усіх факторів, що впливають на тертя в ребордах і таке ін. Тому додаткові опори враховують коефіцієнтом k_p . Загальний опір пересувного крана з урахуванням сил F_{yK} для подолання уклону шляху W , Н, можна записати у такому вигляді

$$W = (Q + G) \cdot \left(\frac{f \cdot d + 2 \cdot k}{D} \right) \cdot k_p + F_{yK}.$$

Тобто $W = (F_T + F_K) \cdot k_p + F_{yK}$;

Прийmemo значення $k_p = 2$.

Зусилля від уклону шляху F_{yK} , Н

$$F_{yK} = (Q + G) \cdot \sin(\alpha_y) = (Q + G) \cdot \alpha_y,$$

W

де α_y - уклон підкранової колії.

Для кран-балки $\alpha_y = 0$. $F_{yK} = 0$.

$$W = (2,7 + 0,42) \cdot 2 = 6,24 \text{ кН.}$$

З урахуванням дефекту шляху опору приймаємо $W = 2,7 \cdot W$;

$$W = 16,8 \text{ кН.}$$

Для вибору двигуна визначимо загальне зусилля переміщення кран-балки з урахуванням сил інерції мас у пусковий період, W_{o6} , Н,

$$W_{o6} = W + 1,3 \cdot (m_{\Gamma} + m_{KP} + m_K) \cdot a,$$

де $m_{\Gamma} + m_{KP} + m_K$ - маса гакової підвіски, вантажу та крана, тонн;

$a = 0,1$ - середнє прискорення крана при пуску, $\frac{M}{c^2}$;

1,3 - коефіцієнт, що враховує інерцію рухомих частин,

$$W_{об} = 16,8 + 1,3 \cdot 17,9 \cdot 0,1 = 19130 \text{ Н.}$$

Потужність обраного двигуна, $P_{дв}$, кВт,

$$P_{дв} = \frac{W_{об} \cdot v}{10^3 \cdot \eta \cdot \phi_{п.ср}};$$

де середня кратність пускового моменту двигуна: $\phi_{п.ср} = 1,1$;

загальний ККД $\eta = 0,85$.

$$P_{дв} = \frac{19130 \cdot 0,33}{10^3 \cdot 0,85 \cdot 1,1} = 6,7 \text{ кВт.}$$

Потужність одного двигуна $P = 0,5 \cdot P_{дв}$; $P = 3,4$ кВт.

Вибираємо двигун потужністю 4 кВт.

2.2 Застосування асинхронних двигунів загального призначення в крановому електроприводі

Асинхронні короткозамкнені двигуни загального призначення відрізняються від кранових двигунів, як електричними параметрами, так і конструктивним виконанням.

Двигуни загального призначення в порівнянні із крановими двигунами мають менший пусковий і максимальний моменти, більше значення пускового струму, менше номінальне ковзання. Вал, підшипникові щити, станина мають менший запас міцності. Пакет ротора на валу часто кріпиться посадкою з натягом без шпонкового з'єднання, що зовсім неприпустимо для кранових електродвигунів. Тому область застосування таких двигунів у крановому електроприводі обмежувалася механізмами переміщення кранів з низькими номінальними

швидкостями – електроталей, баштових і порталних кранів. Для цього, як правило, використовувалася модифікація двигунів загального призначення з підвищеним ковзанням [1].

Двигуни загального призначення мають при однаковій із крановими двигунами потужності менший номінальний струм статора, менше номінальне ковзання, більш високий ККД, коефіцієнт потужності.

Таким чином, по електричних параметрах двигуни загального призначення більш придатні для роботи в складі частотнорегульованого електропривода, чим традиційні кранові двигуни. Крім того, вони мають меншу масу й, як наслідок, більш низьку вартість.

Проте, менший запас міцності механічних деталей, посадка пакета ротора без шпонкового з'єднання, часто більш низький клас ізоляції двигунів загального призначення вимагає обережності при їхньому застосуванні в електроприводі механізмів підйому, особливо на кранах інтенсивного режиму роботи.

З каталогу [1] вибираємо електродвигун АИР100L4У3.

Основні технічні дані електродвигуна наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 -Технічні характеристики асинхронного електродвигуна [1]

Параметр	Значення
Типорозмір	АИР100L4У3
Потужність електродвигуна P_H , кВт	4
Число полюсів	4
Синхронна частота обертання ротора, об/хв.	1500
Швидкість обертання вала, об/хв.	1435
Номінальна частота мережі f , Гц	50
Номінальна напруга U , В	380
Струм при 380 В, I_H , А	8,8
Ковзання S_H , %	4,6
Критичне ковзання S_{KP} , %	31,5

Продовження таблиці 2.1

ККД %	84,2
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$,	0,84
Номінальний крутний момент, $H \cdot m$	27,092
Кратність пускового моменту, $M_{пуск} / M_H$	2,3
Кратність мінімального моменту, M_{min} / M_H	1,6
Кратність максимального моменту, M_{max} / M_H	2,3
Кратність пускового струму, $\frac{I_{п}}{I_H}$	7
Момент інерції ротора J_o , $кг \cdot м^2$	0,013
Індуктивний опір ланцюга намагнічування X_{μ} ,	2,4
Індуктивний опір статора X_1 ,	0,079
Індуктивний опір ротора X_2' ,	0,14
Активний опір статора R_1 ,	0,067
Активний опір ротора R_2' ,	0,053

РОЗДІЛ 3

ВИБІР КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Призначення й основні вимоги до систем керування електроприводів

Основні вимоги до кранових електроприводів (ЕП) [3,14] обумовлені особливостями статичних і динамічних навантажень і полягають у наступному:

- забезпечення підвищеної перевантажувальної здібності та пускових моментів;
- забезпечення регулювання швидкості і моменту двигунів відповідно до визначеного набору механічних характеристик;
- обмеження динамічних навантажень в елементах механічної частини електропривода (прискорень і моментів);
- підвищена надійність і безпека роботи кранових установок. Для захисту ЕП кранових механізмів використовують спеціальні комплектні пристрої - захисні панелі, що здійснюють максимальний, нульовий і кінцевий захист, а також нульове блокування;
- використання по можливості максимально простих схем ЕП, що обумовлено масовістю кранових установок і прагненням підтримувати невисоку вартість їхньої експлуатації. Разом з тим характерними рисами розвитку масових кранових установок є підвищення їхньої продуктивності шляхом збільшення середніх швидкостей руху при одночасному зниженні усталених швидкостей для підвищення точності зупинки. Це обумовлює збільшення діапазону регулювання швидкості. Так, у 1980 р. задовільним вважався діапазон регулювання 4:1, а в даний час ставиться задача одержання для більшості кранів діапазону $(8..10):1$;
- спрощення керування краном з метою зменшення стомлюваності крановиків. При використанні максимально простих систем ЕП з реостатним регулюванням і релейно-контакторним керуванням через незадовільний вид механічних характеристик крановику приходится робити більшу кількість додаткових переключень, що підвищує число включень елементів

електроустаткування, збільшує знос апаратури й інтенсифікує працю крановика. При використанні більш складних ЕП число переключень при керуванні краном різко зменшується. При цьому ефективність роботи ЕП підвищується в тому випадку, якщо забезпечується висока надійність його роботи;

- формування спеціальних динамічних режимів у деяких кранах (автоматичне заспокоєння коливань вантажів на перевантажувачах і баштових кранах, синхронізація опор великих козлових кранів і т.д.);

- підвищена точність зупинки для ряду кранових установок (крани-штабелери, контейнерні крани), для забезпечення якої в ряді випадків необхідне застосування позиційних ЕП.

Вказані вимоги потрібно враховувати як при виборі двигунів для електроприводів кранів, так і при виборі типу (системи) електропривода, який би забезпечив необхідне керування електроприводом та задані регулювальні характеристики.

У крановому ЕП, як правило, використовують електродвигуни наступних типів:

- асинхронні двигуни (АД) з фазним та з короткозамкнутим ротором, а також багатошвидкісні (із двома чи трьома обмотками статора зі співвідношенням полюсів до 6:1);

- двигуни постійного струму (ДПС) із послідовним чи незалежним збудженням.

Для електропривода кранових механізмів випускаються спеціальні двигуни постійного струму серії Д і асинхронні двигуни серій МТФ і МТН (кранових та краново-металургійних серій). Найбільш широко використовуються АД, що складають до 90 % загального числа двигунів, а з урахуванням двигунів некранового призначення (на електроталях) число АД перевищує 95 %.

Способи регулювання швидкості оцінюються шістьма основними показниками, описаними далі.

Діапазон регулювання. Цей показник визначається відношенням максимальної швидкості обертання $\omega_{\max}$ до мінімальної $\omega_{\min}$ при незмінному

моменті навантаження ($M_{ст} = \text{const}$). $D = \omega_{\max} / \omega_{\min}$.

Стабільність швидкості. Характеризується зміною швидкості при можливих коливаннях моменту навантаження на валу двигуна. Цей показник визначається жорсткістю механічних характеристик двигуна $\beta_{ж} = \Delta M / \Delta \omega$.

Чим вона більше, тим стабільніше швидкість при змінах моменту навантаження і навпаки.

Плавність регулювання швидкості. Цей показник визначається зміною швидкості при переході з однієї штучної характеристики на іншу.

Напрямок регулювання швидкості. У залежності від способу впливу на двигун і тим самим виду одержуваних штучних характеристик його швидкість може збільшуватися чи зменшуватися в порівнянні з роботою на природній характеристиці при даному моменті навантаження.

Допустиме навантаження двигуна. Електричний двигун розрахований і спроектований таким чином, що, працюючи на природній характеристиці з номінальними швидкістю, струмом, моментом і потужністю, він не нагрівається вище визначеної температури, на яку розрахована його ізоляція. У цьому випадку термін його служби є нормативним і складає звичайно 15 - 20 років.

Економічність регулювання швидкості. Однакові показники - діапазон, стабільність, плавність і т.д. - можуть бути забезпечені різними електроприводами і способами регулювання їхньої швидкості. Для вибору найбільш раціонального виду регульованого електропривода використовуються різні техніко-економічні показники - капітальні витрати на його реалізацію, експлуатаційні витрати, надійність, зручність і простота в експлуатації, серійність і уніфікованість засобів керування і т.д.

Кран-балки можуть працювати в важкому режимі роботи. Для механізму підйому число включень у час $n_{вк} = 600$, число включень за рік $S_k = 1,0 \div 1,6 \cdot 10^6$, число часів роботи за рік $T = 3000$.

Механізми переміщення візка і крана, повороту і зміни вильоту мають усі параметри на 20 - 40% нижче, ніж для механізмів підйому.

3.1.1 Особливості електропривода механізмів горизонтального переміщення

До механізмів горизонтального переміщення відносять механізми переміщення кранів і вантажних візків, а також механізми повороту. Усі ці механізми мають реактивний (тобто не залежний від напрямку руху) момент навантаження [14].

Ідеальний електропривод механізму горизонтального переміщення повинен забезпечувати жорсткі механічні характеристики (Рисунок 3.1) у руховому й гальмовому режимах. На відміну від механізму підйому гальмовий режим механізмів горизонтального переміщення займає лише невеликий час циклу й виникає, як правило, при переході з вищих швидкостей на нижчі.

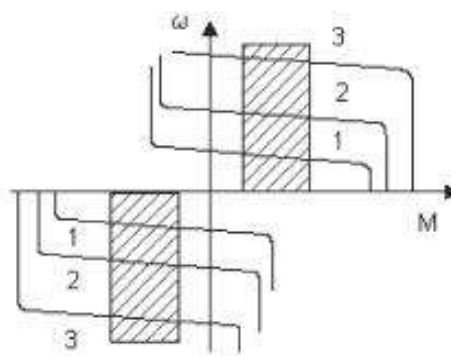


Рисунок 3.1 - Бажані механічні характеристики електропривода механізму горизонтального переміщення

У гальмовому режимі електропривод механізмів горизонтального переміщення може працювати також при русі під ухил (що буває при несправності рейкових шляхів) або при русі по вітру.

Багато механізмів горизонтального переміщення мають великий приведений момент інерції, тому, щоб уникнути підвищених динамічних навантажень на металоконструкції й механізми електропривод повинен обмежувати прискорення при пуску й гальмуванні.

У зв'язку з великим моментом інерції електродвигуни таких механізмів вибираються з урахуванням підвищених пускових втрат, через цей статичний момент на валу електродвигунів у режимі, що встановився, не перевищує, як

правило, 50% номінального моменту.

Маса переміщуваного вантажу, як правило, впливає на статичний момент електропривода механізму переміщення, тому що маса металоконструкції крана звичайно більше маси вантажу.

Маса вантажу й маса вантажного візка мостового крана вже порівнянні, а маса вантажного візка баштового крана набагато менше маси вантажу. Тому маса переміщуваного вантажу значно впливає на завантаження механізмів.

Особливістю електроприводів горизонтального переміщення є те, що більшість із них реалізуються як багатодвигунні приводи, наприклад, приводи механізмів переміщення кранів і механізмів повороту. У цьому випадку електродвигуни можуть живитися як від одного перетворювача частоти (Рисунок 3.2), що є найбільш економічним варіантом, так і від індивідуальних перетворювачів, що забезпечують більш гнучке керування крановими механізмами. Можна припустити, що в багатодвигунних приводах мостових і козлових кранів загального призначення з невеликими прольотами досить одного перетворювача для живлення групи двигунів. У цьому випадку, кожний двигун повинен бути обладнаний індивідуальним захистом від перевантаження у вигляді теплового реле (Рисунок 3.2).

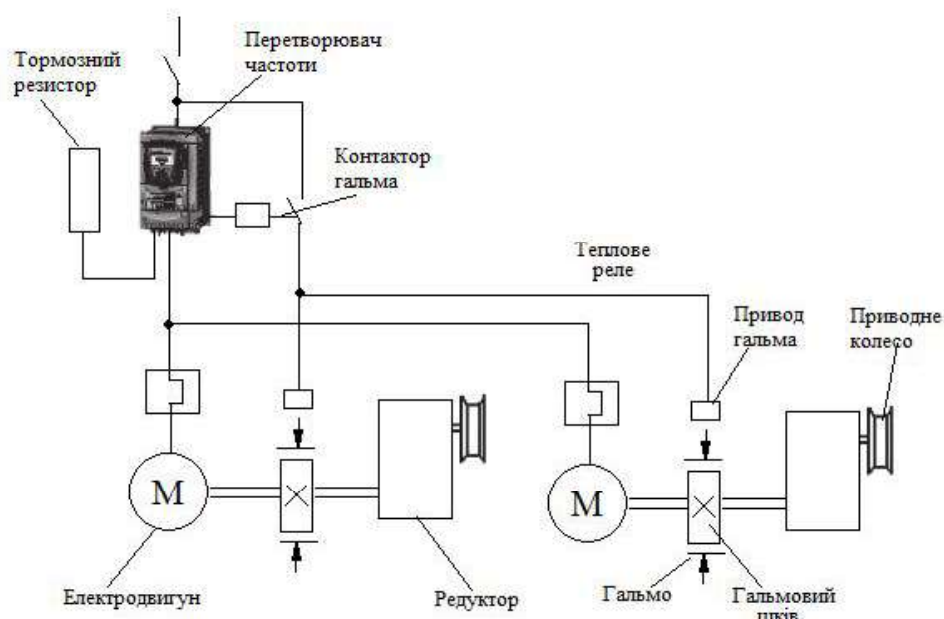


Рисунок 3.2 - Структурна схема електропривода механізму переміщення

3.2 Аналіз існуючих систем керування двигунами перемінного струму

При виборі типу електропривода для механізму переміщення кран-балки за основний критерій приймемо вимоги по регулюванню швидкості.

В даний час для керування механізмами порталних кранів широко застосовуються такі системи керування [15]:

- керування від магнітного контролера асинхронним двигуном з короткозамкнутим ротором: одно- і багатошвидкісним із жорсткими механічними характеристиками. Основним недоліком такої системи є невелике число включень у годину. Застосовується для механізмів загального призначення;

- керування від магнітного контролера двигуном послідовного збудження для механізмів усіх типів. Основний недолік - східчасте регулювання швидкості;

- керування по системі генератор-двигун (Г-Д) двигуном постійного струму незалежного збудження, що забезпечує жорсткі механічні характеристики. Використовується на механізмах переміщення і підйому. Застосовується двохзонне регулювання швидкості: вище і нижче основної. Забезпечує гарні регульовальні властивості. Основний недолік - наявність електромашинного перетворювача, що має велику інерційність; незадовільні масогабаритні показники. Застосовується для потужних порталних кранів;

- керування по системі керований випрямляч - двигун (КВ-Д). Електропривод постійного струму з двигуном незалежного збудження, що має жорсткі механічні характеристики. Застосовується на механізмах повороту, підйому і переміщення, має гарні регульовальні властивості. Основні недоліки - висока вартість, наявність колектора в двигуні, необхідність кваліфікованого обслуговування, знижує якість мережі. Застосування - для потужних порталних кранів;

- керування по системі перетворювач частоти - двигун (ПЧ-АД). Багатошвидкісний електропривод із двигуном з короткозамкнутим ротором, що має жорсткі механічні характеристики, великий діапазон регулювання, високі динамічні показники, можливість плавного регулювання швидкості. На механізмах поворота застосовуються асинхронні короткозамкнуті двигуни, що живляться від

перетворювача частоти.

Розвиток напівпровідникової перетворювальної техніки привів до широкого використання електроприводів з електродвигунами перемінного струму, до створення нових систем керування цими електродвигунами. У порівнянні із системами керування електроприводами постійного струму системи керування електроприводами перемінного струму значно більш різноманітні. У регульованих електроприводах використовуються асинхронні електродвигуни з короткозамкненим чи фазним ротором, синхронні і вентильні електродвигуни [6,15].

Електродвигуни перемінного струму простіші у виготовленні і надійніші в експлуатації, чим двигуни постійного струму (ДПС). При раціональній конструкції обертового ротора (малий діаметр і велика довжина) і зниженні його шорсткості шляхом заливання епоксидними смолами (з наступною обробкою) вдається одержати високі ККД двигуна – до 80%.

Параметри двигунів перемінного струму залежать від номінальної частоти живильної напруги. Так, з підвищенням частоти погіршуються електричні показники і ККД, але зате в значній мірі зменшуються їх массогабаритні показники.

В даний час, завдяки використанню нових схем і спеціальних імпульсних силових напівпровідникових приладів, забезпечується зниження вартості і втрат електроенергії (особливо при застосуванні силових приладів). Таким чином, асинхронні машини усе більше витісняють ДПС у регульованих електроприводах.

Застосовуються різні способи регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна:

- параметричне регулювання;
- зміною частоти живильної напруги;
- переключенням числа полюсів;
- частотне регулювання;
- векторне керування.

Найбільш поширені два останніх способи.

Розрізняють два основних способи частотного (скалярного) керування:

- частотне керування, при якому як керуючі впливи прийняті частоти і напруги статора;
- частотне керування, при якому як керуючі впливи прийняті частота і струм статора.

Другий спосіб називається **частотно-струмовим керуванням**. Формування механічних характеристик асинхронних двигунів при частотному керуванні, як і при керуванні двигунами постійного струму, служить задачам забезпечення необхідної перевантажувальної здатності і жорсткості характеристик у всьому діапазоні регулювання швидкості.

Задана перевантажувальна здатність забезпечується шляхом виконання визначених співвідношень між частотою і напругою статора.

Жорсткість механічних характеристик може бути як завгодно високою при використанні зворотних зв'язків по швидкості. Варто підкреслити, що і без зворотних зв'язків по швидкості жорсткість механічних характеристик частотно-керованих електроприводів перемінного струму виявляється більш високою, ніж у приводів постійного струму. Ця обставина сприяє застосуванню простих систем керування асинхронними електроприводами, не оснащеними датчиками швидкості і контурами регулювання швидкості.

Крім вимог формування механічних характеристик двигунів, до систем керування можуть пред'являтися також вимоги відносного керування по енергетичних витратах, наприклад забезпечення необхідних моменту і швидкості при мінімумі струму статора чи мінімумі втрат, забезпечення максимального моменту при заданому струмі статора.

Такі задачі керування вирішуються при використанні екстремальних систем керування.

Система векторного керування. Роздільне керування швидкістю й потокозчепленням асинхронного короткозамкненого електродвигуна можна ефективно робити, використовуючи принцип векторного керування. Координати електропривода, обмірювані в нерухомій системі координат, можуть бути перетворені до обертової системи координат, і з них можуть бути виділені постійні

значення, пропорційні складовим векторам в обертовій системі координат. По цих координатах і виконується керування.

Вихідною інформацією для побудови системи векторного керування є інформація про миттєві значення й просторове положення вектора потокозчеплення в повітряному зазорі, миттєвих значеннях струмів або напруг статора й швидкості ротора двигуна. Обертова система координат приймається певним чином орієнтованою щодо вектора потокозчеплення двигуна. Зручні алгоритми керування мають місце при орієнтації координатної системи щодо вектора потокозчеплення ротора.

Переваги векторного регулювання:

- точне відпрацювання швидкості з компенсацією ковзання (навіть без зворотного зв'язку по швидкості);
- глибокий діапазон регулювання;
- в області малих частот двигун працює плавно й зберігає момент аж до нульової швидкості;
- швидка реакція на стрибки навантаження;
- при різких стрибках навантаження практично не відбувається стрибків швидкості, внаслідок високої динаміки регулювання;
- оптимізація ККД двигуна на низьких частотах;
- за рахунок регулювання струму намагнічування здійснюється оптимізація режиму роботи двигуна й зниження втрат.

Недоліком системи векторного керування є складність керуючих і функціональних пристроїв при реалізації перетворення координат і фаз, виконання компенсаційних зв'язків при широкому діапазоні регулювання швидкості й навантаження електропривода.

Серед чисельних способів регулювання швидкості асинхронного електродвигуна виняткова роль належить частотно-струмовому керуванню. В даний час цей спосіб дозволяє змінювати швидкість у широких межах.

Переваги систем із частотними перетворювачами (ПЧ):

- енергозбереження. Впровадження системи керування на базі ПЧ замість традиційних систем, реалізованих на релейно-контакторному устаткуванні, дозволяє знизити споживання електроенергії від 1,5 до 2 рази залежно від номінальної потужності електродвигунів. Поліпшення енергетичних показників електропривода;

- плавний запуск і зупинка електропривода кранового механізму. Це забезпечує зменшення ударних навантажень (коливань пускового моменту) при запуску й зупинці, обмеження пускових струмів електродвигунів. Гальмування механізму відбувається електродвигуном. Гальма використовуються тільки для втримання механізму під час стоянки;

- регулювання швидкості в широкому діапазоні з бажаною точністю дозволяє зменшити час на позиціонування, що дозволяє підвищити продуктивність;

- надійність;

- повний захист електродвигунів від перевантажень по струму перегріву, обриву фаз і втрати на землю.;

- збільшення строку використання електроустаткування й механічних частин електропривода (гальм, редукторів, валів і муфт);

- зменшення витрат на технічне обслуговування й ремонт, як електричних так і механічних частин кран-балки.

Проаналізувавши наявні засоби і системи керування швидкістю обертання асинхронного електродвигуна, приходимо до висновку, що для керування електроприводом механізму переміщення кран-балки доцільно використати тиристорний перетворювач з частотною системою керування.

На основі проведеного аналізу існуючих типів керування двигунів перемінного струму для керування електродвигунами переміщення кран-балки обраний комплектний електропривод Siemens Micromaster 440 з частотно-струмовим керуванням.

3.3 Загальна характеристика й основні технічні дані комплектного електропривода Siemens MICROMASTER 440

Перетворювачі частоти серії MICROMASTER 440 [17] застосовуються для зміни і регулювання швидкості обертання низьковольтних двигунів змінного струму з навантаженням постійного або вентиляторного типу, для процесів з високою динамікою та підвищеними вимогами до стартового моменту і перевантаження.

Переваги застосування перетворювачів частоти Siemens:

- висока точність регулювання асинхронним електродвигуном;
- економія електроенергії в разі змінного навантаження, рівного максимальному пусковому моменту;
- можливість дистанційної діагностики привода з промислової мережі. Облік мотогодин;
- підвищений ресурс устаткування;
- зменшення гідравлічного опору трубопроводу через відсутність регулюючого клапана;
- кероване гальмування і автоматичний перезапуск при пропажі мережевої напруги;
- підхоплення обертового електродвигуна. Стабілізація швидкості обертання при зміні навантаження;
- значне зниження акустичного шуму електродвигуна;
- додаткова економія електроенергії від оптимізації збудження електродвигуна;
- можливість заміни автоматичного вимикача.

Загальна схема частотного перетворювача Micromaster 440 наведена на рисунку 3.3.

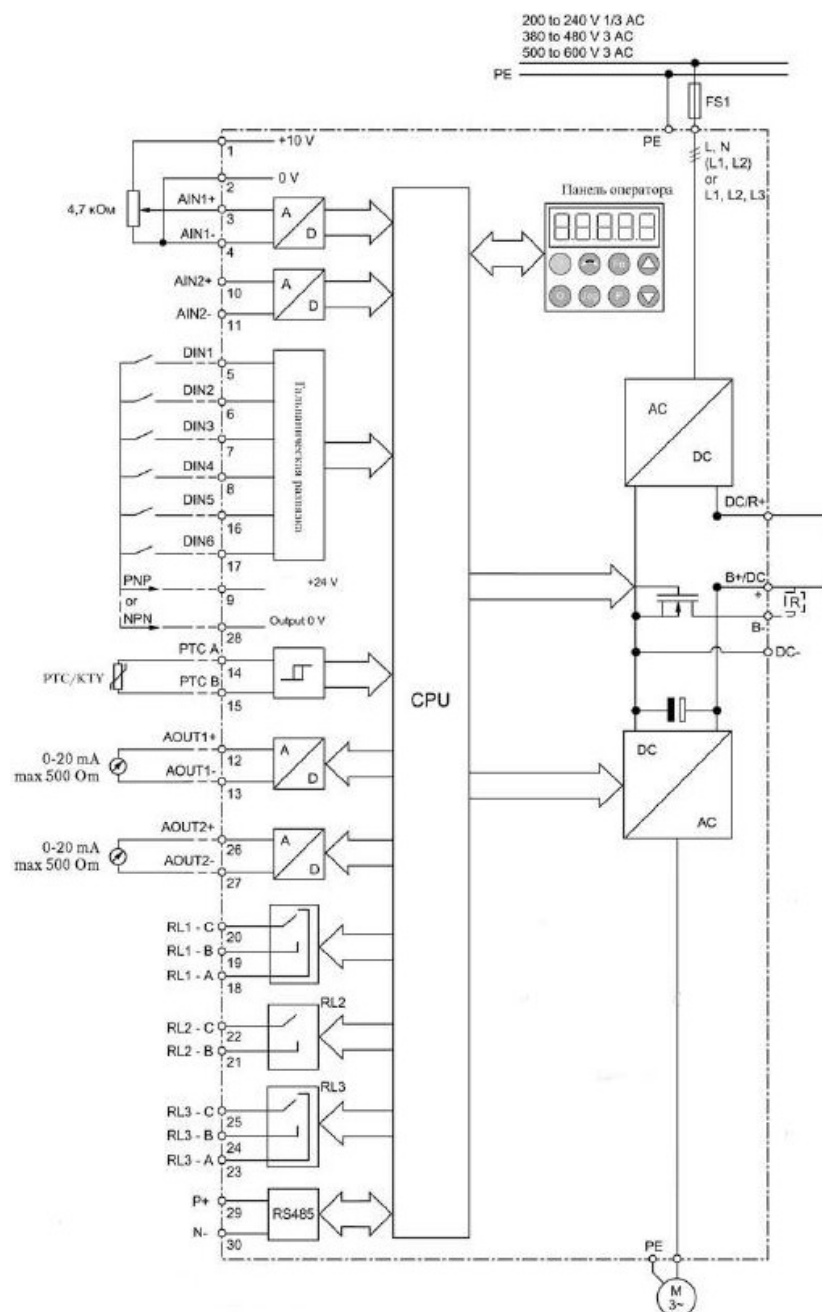


Рисунок 3.3 - Загальна схема частотного перетворювача Micromaster 440

На рисунку 3.4 представлена принципова електрична схема електропривода

Технічні дані перетворювача частоти MICROMASTER 440 наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні дані перетворювача частоти MICROMASTER 440

Напруга мережі та діапазон потужності	1 AC 200-240 В $\pm 10\%$ 0,12- 3 кВт 3 AC 200- 240 В $\pm 10\%$ 0,12- 45 кВт, 5,5- 45 кВт 3 AC 380-480 В $\pm 10\%$ 0,37- 200 кВт 7,5-250 кВт 3 AC 500-600 В $\pm 10\%$ 0,75- 75 кВт 1,5-90 кВт
Частота мережі	47 Гц ... 63 Гц
Вихідна частота	для потужностей 7,5-90 кВт - 0-650 Гц для потужностей 110-250 кВт 0-267 Гц
коефіцієнт потужності	>0.95
ККД перетворювача	96%-97% в залежності від потужності перетворювача
Пусковий струм	Не вище розрахункового вхідного струму
Керування	Векторне керування з/без датчика швидкості; керування моментом; лінійна залежність U/f; квадратична U/f залежність; програмована залежність U/f; пряме керування потоком (FCC)
Перевантажувальна здатність	0,12-75кВт 1,5 х розрахунковий вихідний струм протягом 60 с (кожні 300 с.) 2 х розрахунковий вихідний струм на протягом 3 с, (кожні 300 с.) 90 - 200 кВт 1,36 х розрахунковий вихідний струм протягом 57 с (кожні 300 с.) 1,6 х розрахунковий вихідний струм протягом 3 с, (кожні 300 с.) -VT-(змінний момент) 5,5-90 кВт 1,4 х розрахунковий вихідний струм протягом 3 с (кожні 300 с.) 1,1 х розрахунковий вихідний струм протягом 60 с, (кожні 300 с.) 110 - 250кВт 1,5 х розрахунковий вихідний струм протягом 1 с (кожні 300 с.) 1,1 х розрахунковий вихідний струм протягом 59 с, (кожні 300 с.)
Частота імпульсів	для потужностей 7,5 - 90 кВт 4 кГц (Заводська установка) 2 кГц ... 16 кГц (ступенями по 2 кГц) для потужностей 110-250 кВт 2 кГц (Заводська установка)

Продовження таблиці 3.1

Число фіксованих частот	15, які параметруються
Частоти діафрагмування	4, які параметруються
Дискретність завдання	0,01 Hz цифрове з панелі оператора 0,01 Hz з комп'ютера 10 біт аналогове представлення
Цифрові входи	6 які параметруються, потенційно розв'язані; перемикаються PNP / NPN
Аналоговий вхід	2 які параметруються; • 0 - 10 В, 0 - 20 мА і -10. +10 В Вхід 1 (AIN1) • 0 - 10 В і 0 - 20 мА Вхід 2 (AIN2) • можуть використовуватися як 7 і 8 цифрові входи
Релейний вихід	3, які параметруються, DC 30 В / 5 А (омічного навантаження), AC 250 В / 2 А (індуктивне навантаження)
Послідовний інтерфейс	Вбудований RS-485, опціонально RS-232
Допустима довжина кабелю до двигуна без вихідного дроселя	Для потужності 7,5 - 90 кВт max. 50 м (екран. кабель) max. 100 м (неекранований кабель) для потужності 110-250 кВт max. 100 м (екран. кабель) max. 150 м (неекранований кабель)
Електромагнітна сумісність	Опціонально EMC фільтр по EN 55011, фільтр класу В. Перетворювач з вбудованим фільтром класу А (від 7,5 кВт до 90 кВт), для перетворювачів 110 кВт ... 250 кВт як окрема опція.
Гальмування	Гальмування постійним струмом, комбіноване гальмування
Функції захисту по:	зниженій напрузі; перенапрузі; перевантаженню; включенню на землю; короткому замиканню; блокуванню двигуна; перегріву двигуна; перегріву перетворювача

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ КРАН-БАЛКИ

4.1 Функціональна та структурна схеми системи керування

Принцип роботи електропривода. На рисунку 4.1 представлена функціональна схема системи частотно-струмового керування АД. Джерело струму реалізовано на основі керуючого випрямляча КВ, струм навантаження I_n якого задається вихідною напругою u_{PC} регулятора струму РС, пропорційним різниці напруг $u_{3.C.}$ на виході функціонального перетворювача (ФП) і $u_{3.3.C.}$ датчика струму ДС. Стабілізація швидкості АД забезпечується за рахунок регулятора швидкості РШ, на вході якого порівнюються напруги завдання швидкості $u_{3.ш.}$ і зворотного зв'язку $u_{3.3.ш.}$ з вихода тахогенератора ТГ. Особливість схеми в тому, що тут автоматично формуються сигнали, пропорційні абсолютному ковзанню і завданню синхронної швидкості АД [15].

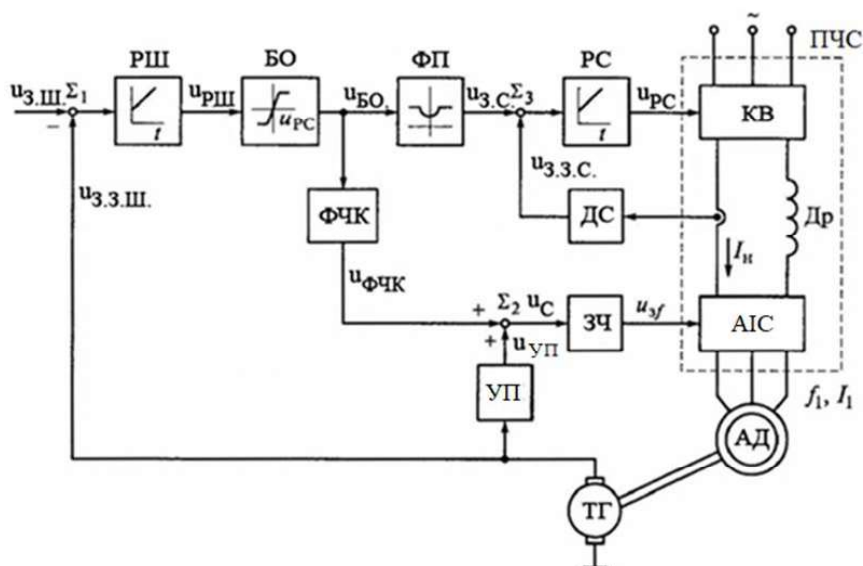


Рисунок 4.1 – Функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотно-струмовим керуванням

Сигнал, пропорційний s_a , формується на виході РШ, оскільки $u_{3.ш.}$ пропорційно завданням швидкості $\omega_{0.3.}$ ідеального холостого ходу АД, а $u_{3.3.ш.}$ –

поточної швидкості ротора ω , тобто $u_{PШ} = (u_{3.Ш.} - u_{3.3.Ш.}) = (\omega_{03} - \omega) = s_a \cdot \omega_{0ном}$. Якщо передатний коефіцієнт формувача частоти ковзання ФЧК вибрати таким чином, щоб з урахуванням $\omega_{0ном}$ його вихідний сигнал $u_{ФЧК}$ був пропорційний $(\omega_{03} - \omega)$, то після сумовування цього сигналу з вихідним сигналом $u_{ПП}$ погоджувачого пристрою ПП, пропорційний поточному значенню ω , на виході суматора Σ_2 пристрою завдання частоти ЗЧ інвертора струму ІС перетворювача ПЧС буде сформований сигнал $u_C = u_{ФЧК} + u_{ПП} \cong (\omega_{03} - \omega) + \omega = \omega_{03}$.

В результаті на вихід ЗЧ буде сигнал завдання частоти вихідного струму ПЧТ $u_{3.f} \cong u_{3.Ш.} \cong \omega_{03}$, що визначає завдання синхронної швидкості АД.

Оскільки електромагнітний момент двигуна пропорційний квадрату струму статорної обмотки ($M \cong I_1^2$), який, у свою чергу, пропорційний абсолютному ковзанню ($I_1^2 \cong s_a$), вихідний сигнал РШ пропорційний s_a і є сигналом завдання електромагнітного моменту АД. Тому вихідна напруга $u_{БО}$ блоку обмеження БО на виході РШ можна впливати і на обмеження максимального моменту АД.

Перед пуском двигуна ($u_{3.Ш.} = 0$, $u_{PШ} = 0$) сигнал завдання частоти перетворювача $u_{3.f} = 0$ і за рахунок характеристики ФП ($u_{3.Ш. \min} \neq 0$) в АД задається постійний струм, який забезпечує потік намагнічення і режим динамічного гальмування АД.

Зі збільшенням $u_{3.Ш.}$ зростає сигнал завдання частоти, струм статора стає змінним із заданою частотою і двигун починає обертання під дією максимального моменту, встановленого сигналом $u_{3.Ш.}$. Збільшення швидкості буде відбуватися до тих пір, поки не зрівняються сигнали завдання і зворотного зв'язку по швидкості двигуна.

Після цього вихідний сигнал РШ при відсутності статичного навантаження на валу АД знову встановиться рівним нулю, але за рахунок позитивного зворотного зв'язку по швидкості вже при $u_{3.f} \neq 0$. Потік холостого ходу АД буде при цьому створюватися змінним струмом $I_{1 \min}$.

4.1.1 Математичний опис структурної схеми електропривода з частотно-струмовим керуванням

Комплектний електропривод Siemens Micromaster 440 [17] має штатні складові, а тому розрахунку та вибору основних елементів не потребує. Але корегуюча ланка заводом-виробником не передбачується, бо вона розраховується під конкретний двигун. Окрім того, при налагодженні привода потрібно встановити значення регулюючих параметрів, які забезпечують необхідні динамічні якості системи. Це потребує проведення аналізу динаміки системи на основі її математичної моделі.

При дослідженні перехідних процесів у трифазних асинхронних електродвигунах доцільно прийняти наступні припущення, які дозволяють в доступній математичній формі відобразити співвідношення основних параметрів та координат:

- сили обмоток двигуна розподілені синусоїдально вздовж кола повітряного зазору;
- втрати у сталі статора і ротора відсутні;
- обмотки статора і ротора строго симетричні зі зміщенням осей обмоток на 120 град.;
- насичення магнітного кола відсутнє.

При розгляданні перехідних процесів досліджується ідеалізований асинхронний двигун, у якому магнітна рушійна сила (МРС) і індукція розподілені по окружності синусоїдально, втрати в сталі відсутні, ланцюг, що намагнічує, є лінійним.

Диференційні рівняння ідеалізованого асинхронного двигуна у системі координат $x - y$, що обертається з синхронною швидкістю ω_0 [15]:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= I_1 \cdot r_1 + \frac{d\psi_1}{dt} + j\omega_0\psi_1; \\ 0 &= I_2 \cdot r_2' \frac{d\psi_2}{dt} + j(\omega_0 - z_p\omega_2)\psi_2; \\ \psi_1 &= L_1 I_1 + L_0 I_2'; \\ \psi_2 &= L_2' I_2' + L_0 I_1, \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

де U_1, I_1, ψ_1 – вектори напруги, струму і потокозчеплення статора;

I_2', ψ_2 – ті ж параметри для ротора, приведені до статора;

L_0 – повна результуюча взаємна індуктивність обмотки статора і ротора;

L_2', L_1' – повні результуючі індуктивності обмотки статора і ротора (приведені до статора), що складаються з індуктивності від головного потоку і індуктивностей від полів розсіювання;

r_1, r_2' – активні опори обмоток статора і ротора (приведені до статора);

ω_0 – кутова швидкість обертання ротора;

z_p – число пар полюсів двигуна.

Обертовий момент двигуна M ,

$$M = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot I_m (\psi_1^* \cdot I_1) = \frac{3}{2} \cdot z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot I_m (\psi_2^* \cdot I_1). \quad (4.2)$$

Рівняння руху двигуна:

$$M - M_c = I \frac{d\omega}{dt}. \quad (4.3)$$

При живленні від АІС, коли заданий струм статора двигуна, доцільно перейти до рівнянь, що містять U_1, I_1, ψ_2 .

З третього і четвертого рівнянь системи (4.1):

$$\psi_1 = \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_1 + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_2,$$

де $\Delta^* = L_1 L_2' - L_0^2$; $I_2' = \frac{1}{L_2'} \cdot \psi_2 - \frac{L_0}{L_2'} \cdot I_1$.

Підставимо дані вирази в перші два рівняння системи (4.1) і одержимо:

$$U_{1x} = R_1 I_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_1}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt} \quad (4.4)$$

$$0 = -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_1 + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_2 + \frac{d\psi_2}{dt} + j(\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_2 \quad (4.5)$$

Спроекуємо вирази (4.5) на осі x і y , а також введемо в якості незалежної перемінної I_l , що спрямована уздовж осі x , при цьому $I_{lx} = I_l$:

$$\left. \begin{aligned} U_{1x} &= R_1 I_{1x} - \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_{1y} + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_{1x}}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt}; \\ U_{1y} &= R_1 I_{1y} - \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_{1x} + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_{1y}}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2y}}{dt}; \\ 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_{1x} + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{d\psi_{2x}}{dt} - (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2y}; \\ 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_{1y} + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{d\psi_{2y}}{dt} + (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2x}. \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

$$\left. \begin{aligned} U_{1x} &= R_1 I_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_1}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt}; \\ U_{1y} &= \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_1 + \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2y}}{dt}; \\ 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_1 + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{d\psi_{2x}}{dt} - (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2y}; \\ 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{d\psi_{2y}}{dt} + (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2x}. \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

Знайдемо момент двигуна з виразу (4.3):

$$M = \frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} I_m \cdot \psi_2^* I_1, \quad (4.8)$$

де $\psi_2^* = \psi_{2x} - j\psi_{2y};$

$$I_1 = I_{1x} + jI_{1y}.$$

Підставимо значення ψ_2^* і I_1 у (4.8) і одержимо:

$$M = \frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} (\psi_{2x} I_{1y} - \psi_{2y} I_{1x}).$$

Так як при $I_{1x} = I_1$, $I_{1y} = 0$, то попередній вираз перетвориться в такий:

$$M = -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} I_1. \quad (4.9)$$

Запишемо систему рівнянь (4.7) і рівняння (4.9) в операторній формі:

$$\left. \begin{aligned} U_{1x}(p) &= (R_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} p) \cdot I_1(p) - \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2x}(p); \\ U_{1y}(p) &= \omega_0(p) \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} I_1(p) + \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \psi_{2x}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2y}(p); \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 &= -\frac{R_2'}{L_2} \cdot L_0 I_1(p) + \frac{R_2'}{L_2} \cdot \psi_{2x}(p) + p \psi_{2x}(p) - (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2y}(p); \\ 0 &= \frac{R_2'}{L_2} \cdot \psi_{2y}(p) + p \psi_{2y}(p) + (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2x}(p); \\ M &= -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) I_1(p). \end{aligned} \right\} \quad (4.11)$$

При живленні двигуна від АІС, нас буде цікавити тільки активна складова напруги $U_{1x}(p)$, тому при побудові структурної схеми асинхронного двигуна, друге рівняння системи (4.10) використовуватися не буде.

$$\left. \begin{aligned} U_{1x}(p) &= R_1 \left(1 + \frac{\Delta^*}{L_2' R_1} p\right) \cdot I_1(p) - \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2x}(p); \\ \psi_{2x}(p) &= \frac{L_0}{\left(1 + \frac{L_2'}{R_2} p\right)} \cdot I_1(p) + \left[-\frac{L_2'}{R_2} / \left(1 + \frac{L_2'}{R_2} p\right) \right] \cdot (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2y}(p); \\ \psi_{2y}(p) &= \left[-\frac{L_2'}{R_2} / \left(1 + \frac{L_2'}{R_2} p\right) \right] \cdot (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2x}(p); \\ M &= -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) I_1(p). \end{aligned} \right\} (4.12)$$

На підставі системи рівнянь (4.12) і рівняння (4.3) складемо структурну схему асинхронного двигуна, що представлена на рисунку 4.2.

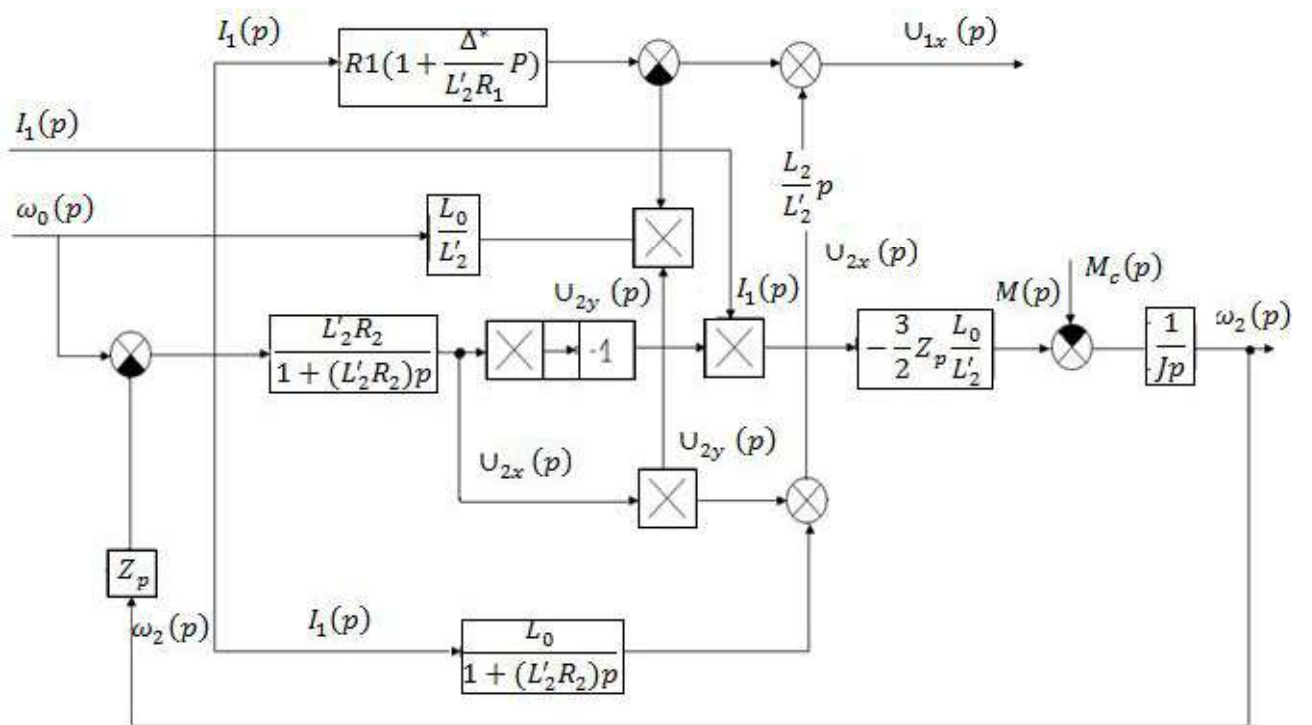


Рисунок 4.2 – Структурна схема асинхронного електродвигуна

Складену структурну схему асинхронного двигуна при керуванні кутовою частотою напруги статора й за умови сталості потокозчеплення статора зручніше побудувати, якщо представити координати двигуна у в.о..

Здійснимо перехід до умовних одиниць, прийнявши за базові значення координат їх значення у номінальному режимі: $M_{нфн}$; $\omega_{1н}$; $U_{1нH}$; $\omega_{0н}$,

$$\omega_{0H} = \frac{\omega_{1H}}{p_i},$$

де ω_{0H} – синхронна кутова швидкість двигуна, c^{-1} .

$$\text{Тоді } \left[\frac{\Delta\omega}{\omega_{0H}} \right] = \Delta\bar{\omega}; \left[\frac{\Delta\omega_1}{\omega_{1H}} \right] = \Delta\bar{\omega}_1; \left[\frac{\Delta M}{M_{п.ф.н}} \right] = \Delta\bar{M}; \left[\frac{\Delta M_o}{M_{п.ф.н}} \right] = \Delta\bar{M}_o; \left[\frac{\Delta u_{1a}}{U_{1aH}} \right] = \Delta u_{1a}.$$

Передатна функція двигуна запишеться так

$$\frac{\Delta\bar{M}(p)}{\Delta\bar{\omega}_1(p) - \Delta\bar{\omega}(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{(T_E p + 1) - \frac{(\frac{S}{S_{kp}})^2}{1 + (\frac{S}{S_{kp}})^2} (T_E p + 2)}{(T_E p + 1)^2 + (\frac{S}{S_{kp}})^2}, \quad (4.14)$$

де $\gamma = \frac{U_{1a}}{U_{1aH}}$ – відносна напруга статора;

$\nu = \frac{\omega_1}{\omega_{1н}}$ – відносна частота напруги статора, $\nu = 0,8$.

Або в спрощеному виді

$$\frac{\Delta\bar{M}(p)}{\Delta\bar{\omega}_1(p) - \Delta\bar{\omega}(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{1}{T_E p + 1}. \quad (4.15)$$

Відповідно на підставі рівняння (4.14) маємо

$$\frac{\overline{\Delta M}(p)}{\overline{\Delta \omega_1}(p) - \overline{\Delta \omega}(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{1}{T_M p}, \quad (4.16)$$

де $T_M = \frac{J \omega_{0n}}{M_{п.ф.н.}}$ – механічна постійна часу двигуна, с.

При розробці математичної моделі електропривода використано декілька допущень :

- частотний перетворювач, який працює у замкнутій системі керування по швидкості, здатен виконувати плавне регулювання частоти струму двигуна таким чином, що двигун працює на практично лінійній частині характеристики (момент опору від 0 до номінального і ковзання від 0 до номінального);
- вважаємо, що датчик швидкості має дуже малу інерційність, яку можна не брати до розрахунків.

Спрощена структурна схема асинхронного двигуна при частотно-струмовому керуванні побудована на підставі виразів (4.15), (4.16), показана на рисунку 4.3.

Складаємо структурну схему для подальшого моделювання, виходячи з припущень, що система керування з частотним перетворювачем у складі замкненої системи керування відповідає по структурі двоконтурній системі підлеглого керування із внутрішнім контуром струму та зовнішнім контуром швидкості.

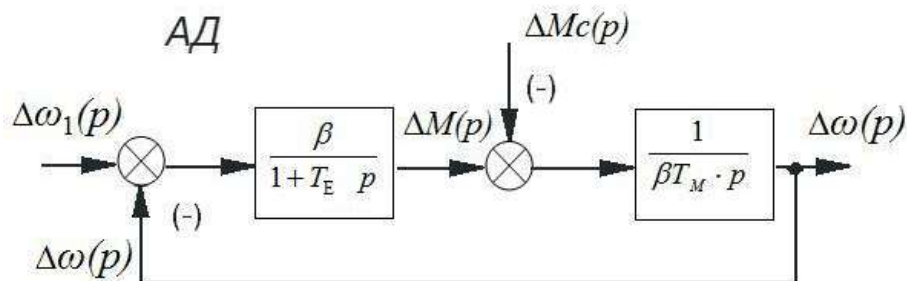


Рисунок 4.3 – Спрощена структурна схема асинхронного двигуна при частотно-струмовому керуванні

На рисунку 4.4 наведена структурна схема такого привода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна.

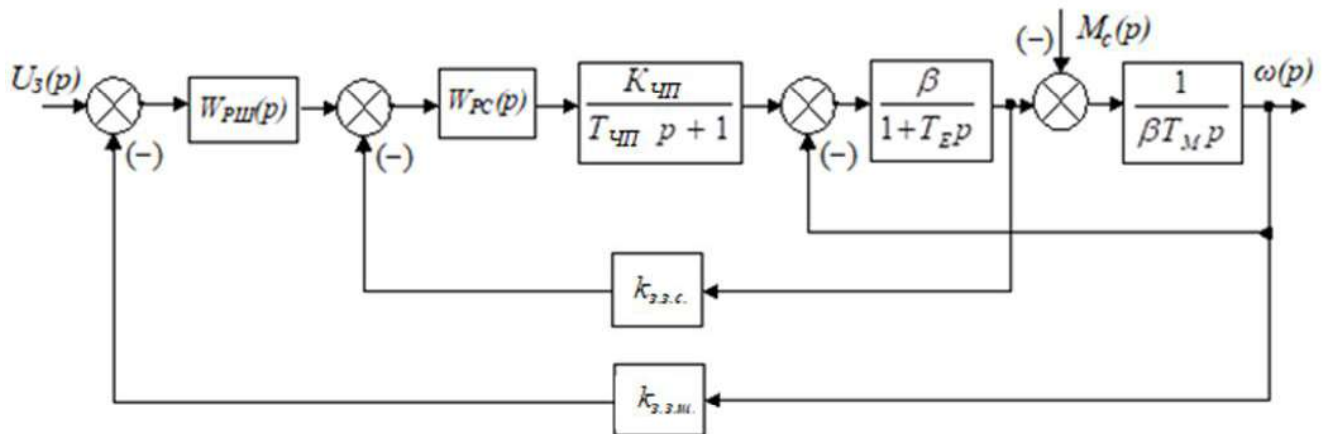


Рисунок 4.4 – Структурна схема електропривода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна

4.2 Синтез регуляторів електропривода з частотно-струмовим керуванням

Розглянемо докладніше структурну схему зображену на рисунку 4.4 [3,15].

На схемі (рисунок 4.4.) прийняті наступні позначення:

$W_{PSH}(p)$ – передатна функція регулятора швидкості;

$W_{PC}(p)$ – передатна функція регулятора струму;

β – модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики;

T_E – еквівалентна електромагнітна постійна часу кіл статора і ротора АД;

$K_{\text{ЧП}}$ – передатний коефіцієнт перетворювача частоти;

$T_{\text{ЧП}}$ – постійна часу кола керування ЧП, яка при високих частотах модуляції вихідної напруги промислових ЧП (2...50 кГц) не перевищує 0,001с.

Зворотні зв'язки за струмом та швидкістю виконаємо за допомогою пропорційних ланок з коефіцієнтами K_{PC} і $K_{ДШ}$ відповідно.

Регулятори швидкості і струму приймаємо як пропорційно-інтегральні ланки з коефіцієнтами передачі K_{PII} і K_{PC} та постійними часу T_{PII} і T_{PC} відповідно:

$$W_{PII}(p) = K_{PII} + \frac{1}{T_{PII} \cdot p}; \quad W_{PC}(p) = K_{PC} + \frac{1}{T_{PC} \cdot p}.$$

Структурна схема системи керування електропривода з наведеними передатними функціями регуляторів зображена на рисунку 4.5.

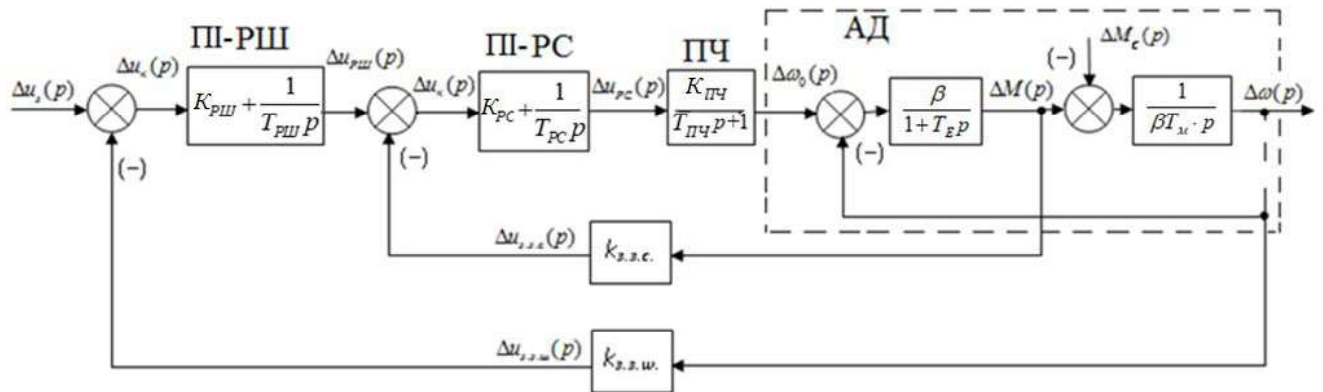


Рисунок 4.5 - Структурна схема системи керування електропривода

Розрахуємо параметри елементів структурної схеми, зображеної на рисунку 4.5.

Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів [1]

Параметр	Значення
Типорозмір	АИР100L4У3
Потужність електродвигуна P_H , кВт	4
Число полюсів, z_p	4
Синхронна частота обертання ротора, n_0 , об/хв.	1500
Номинальна частота мережі f_H , Гц	50
Номинальна напруга U_H , В	380
Ковзання S_H , %	4,6
Критичне ковзання S_{KP} , %	31,5
ККД %	84
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$,	0,84

Струм статора при напрузі 380В, I_H , А	8,8
---	-----

Виконуємо розрахунок чисельних даних для елементів структурної схеми.

Кутова швидкість холстого ходу електродвигуна, $\omega_{ДВ}$, с^{-1} ,

$$\omega_{ДВ} = \frac{\pi \cdot n_{ДВ}}{30}; \quad \omega_{ДВ} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ с}^{-1}.$$

Номинальний момент двигуна, M_H , Н·м,

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_{ДВ}}; \quad M_H = \frac{4000}{157} = 25,5 \text{ Н·м}.$$

Критичний момент електродвигуна, M_K , Н·м,

$$M_K = 3M_H; \quad M_K = 3 \cdot 25,5 = 76,5 \text{ Н·м}.$$

Кутова номінальна частота напруги, підведеної до статора при його номінальній частоті живлення ($f_{1ном} = 50$ Гц), $\omega_{1н}$, с^{-1} ,

$$\omega_{1н} = 2\pi \cdot f_H; \quad \omega_{1н} = 2\pi \cdot 50 = 314,15 \text{ с}^{-1}.$$

Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики, β , $\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}^{-1}}$,

$$\beta = \frac{2M_K}{\omega_{0н} \cdot S_K},$$

де $S_{KP} = 0,315$ - критичне ковзання, (з таблиці 4.1).

$$\beta = \frac{2 \cdot 76,5}{157 \cdot 0,315} = 0,307 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}^{-1}}.$$

Електромагнітна постійна часу, T_e , с,

$$T_e = \frac{1}{\omega_{1н} \cdot S_K}; \quad T_e = \frac{1}{314,15 \cdot 0,315} = 0,01 \text{ с}.$$

Електромеханічна постійна часу, T_M , с,

$$T_M = 4T_e; \quad T_M = 4 \cdot 0,01 = 0,4 \text{ с.}$$

Частотний перетворювач типу ЭКТ2Д є тиристорним, з робочою частотою комутації тиристорів 5кГц для створення потрібної частоти на виході. Тоді його постійна часу, $T_{\text{чп}}$, с,

$$T_{\text{чп}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f},$$

де f – частота живлення двигуна (номінальна), Гц.

$$\text{У нашому випадку: } f = 50 \text{ Гц, тоді } T_{\text{чп}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0033 \text{ с.}$$

Коефіцієнт підсилення частотного перетворювача приймаємо $K_{\text{чп}} = 10$.

Для первинних розрахунків приймаємо, що величина постійної часу регулятора швидкості $T_{\text{рш}}$ дорівнює величині постійної часу двигуна $T_{\text{д}}$, а регулятора струму $T_{\text{рс}}$ – постійній часу частотного перетворювача $T_{\text{чп}}$. Коефіцієнти підсилення регуляторів приймаємо $K_{\text{рш}} = 10$, $K_{\text{рс}} = 10$.

У якості ланок, що відповідають датчикам струму і швидкості застосуємо пропорційні ланки з коефіцієнтами підсилення регуляторів $k_{\text{з.з.с}}$ і $k_{\text{з.з.ш}}$.. Вважаємо коефіцієнти підсилення рівними 10.

Приймаємо вхідну напругу $U_3 = 10\text{В}$. Таким чином, вважаючи у сталому режимі похибку рівною 0, маємо коефіцієнт підсилення зворотного зв'язку за швидкістю $k_{\text{з.з.ш}}$, В·с

$$k_{\text{з.з.ш}} = \frac{U_3}{\omega_{\text{дв}}}; \quad k_{\text{з.з.ш}} = \frac{10}{157} = 0,063 \text{ В} \cdot \text{с.}$$

Аналогічно при розрахунку коефіцієнта підсилення зворотного зв'язку за струмом $k_{\text{з.з.с}}$, $\frac{B \cdot A}{H \cdot M}$,

$$k_{\text{з.з.с}} = \frac{U_{\text{РС}}}{M_{\text{H}} / I_{\text{H}}}; \quad k_{\text{з.з.с}} = \frac{10}{25,5 / 8,8} = 3,45 \frac{B \cdot A}{H \cdot M}.$$

4.3 Аналіз динаміки системи керування електропривода

За результатами розрахунку параметрів дослідженої структурної системи керування була побудована динамічна розрахункова схема.

Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів зведені в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики	$\frac{H \cdot m}{c^{-1}}$	$\beta = 0,307$
Постійна часу регулятора швидкості	с	$T_{PII} = 0,4$
Постійна часу перетворювача	с	$T_{\text{чп}} = 0,0033$
Постійна часу регулятора струму	с	$T_{PC} = 0,0033$
Коефіцієнт передачі перетворювача	-	$K_{\text{чп}} = 10$
Передатний коефіцієнт по швидкості	В·с	$k_{3.3.ш} = 0,063$
Передатний коефіцієнт по струму	$\frac{B \cdot A}{H \cdot m}$	$k_{3.3.c} = 3,45$
Електромагнітна стала часу	с	$T_E = 0,01$
Електромеханічна постійна часу	с	$T_M = 0,4$
Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості	-	$K_{PII} = 10$
Коефіцієнт підсилення регулятора струму	-	$K_{PC} = 10$

Передатні функції ланок:

- асинхронного двигуна

$$W_{AD}(p) = \frac{0,307}{0,01 \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{0,123 \cdot p}; \quad W_{AD}(p) = \frac{0,307}{0,01 \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{0,123 \cdot p};$$

- перетворювача частоти

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{f_c}{T_{ПЧ} \cdot p + 1}; \quad W_{ПЧ}(p) = \frac{50}{0,005 \cdot p + 1};$$

- регулятора струму

$$W_{PC}(p) = K_{PC} + \frac{1}{T_{PC} \cdot p}; \quad W_{PC}(p) = 10 + \frac{1}{0,0033 \cdot p};$$

- регулятора швидкості

$$W_{PII}(p) = K_{PII} + \frac{1}{T_{PII} \cdot p}; \quad W_{PII}(p) = 10 + \frac{1}{0,4 \cdot p};$$

- коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом

$$W_{ззс}(p) = k_{з.з.с} = 3,45;$$

- коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за швидкістю

$$W_{ззш}(p) = k_{з.з.ш} = 0,063$$

Дослідження динамічних характеристик системи керування призводиться за наступних умов:

- статичний момент, що прикладений до валу двигуна, у момент часу $t=1,5$ с складає

$$M_{CT} = 30\% \cdot M_H; \quad M_{CT} = 0,3 \cdot 25,5 = 7,65 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Після розрахунків усіх величин, що входять у структурну схему (рисунок 4.5), вони були внесені у розрахункову модель для дослідження динаміки системи керування електропривода механізму переміщення кран-балки (рисунок 4.6).

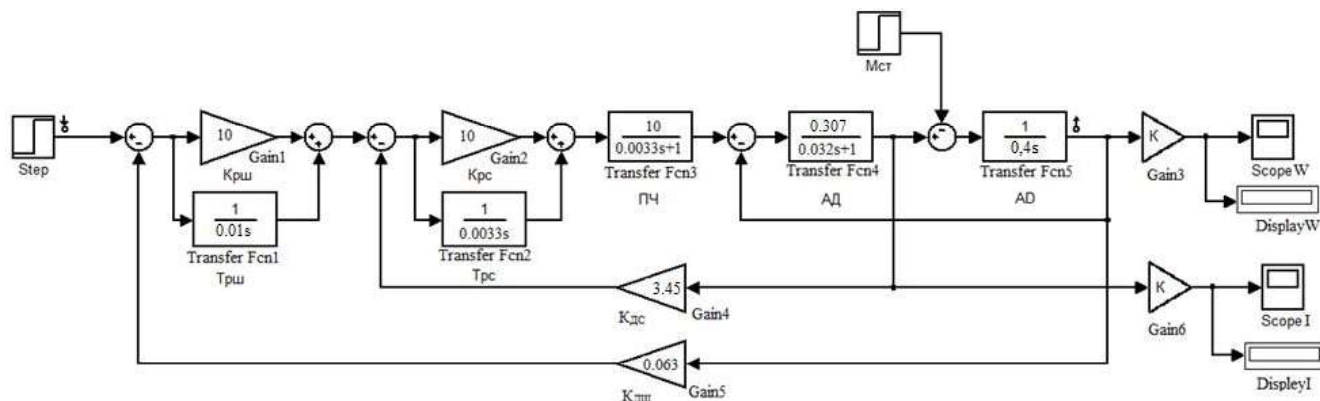


Рис.4.6 - Розрахункова динамічна модель системи керування

Моделювання виконувалося у середовищі програми Simulink пакету MathLab [9].

На схемі зображено:

«Step» - джерело східчастого впливу величиною 10 В;

«Gain1» та «Gain2» - реалізують пропорційну складову ПІ-регуляторів швидкості та струму відповідно;

«Transfer Fcn1» та «Transfer Fcn2» - реалізують інтегральну складову ПІ-регуляторів швидкості та струму відповідно.

«Transfer Fcn3» - реалізує передатну функцію частотного перетворювача;

«Transfer Fcn4» та «Transfer Fcn5» – реалізують лінеаризовану модель двигуна;

«Gain4» та «Gain5» - датчики струму та швидкості відповідно;

«Scope1» та «Scope2» - використовуються для отримання графіку перехідного процесу за швидкістю та струмом відповідно.

На основі структурної схеми електропривода (рисунок 4.4) та її параметрів за допомогою програмного забезпечення "MATLAB" здійснюємо побудову перехідної характеристики системи частотно-струмового керування асинхронним двигуном.

На рисунку 4.7 наведена перехідна характеристика по швидкості в режимі переміщення.

На рисунку 4.8 наведена перехідна характеристика струму статора.

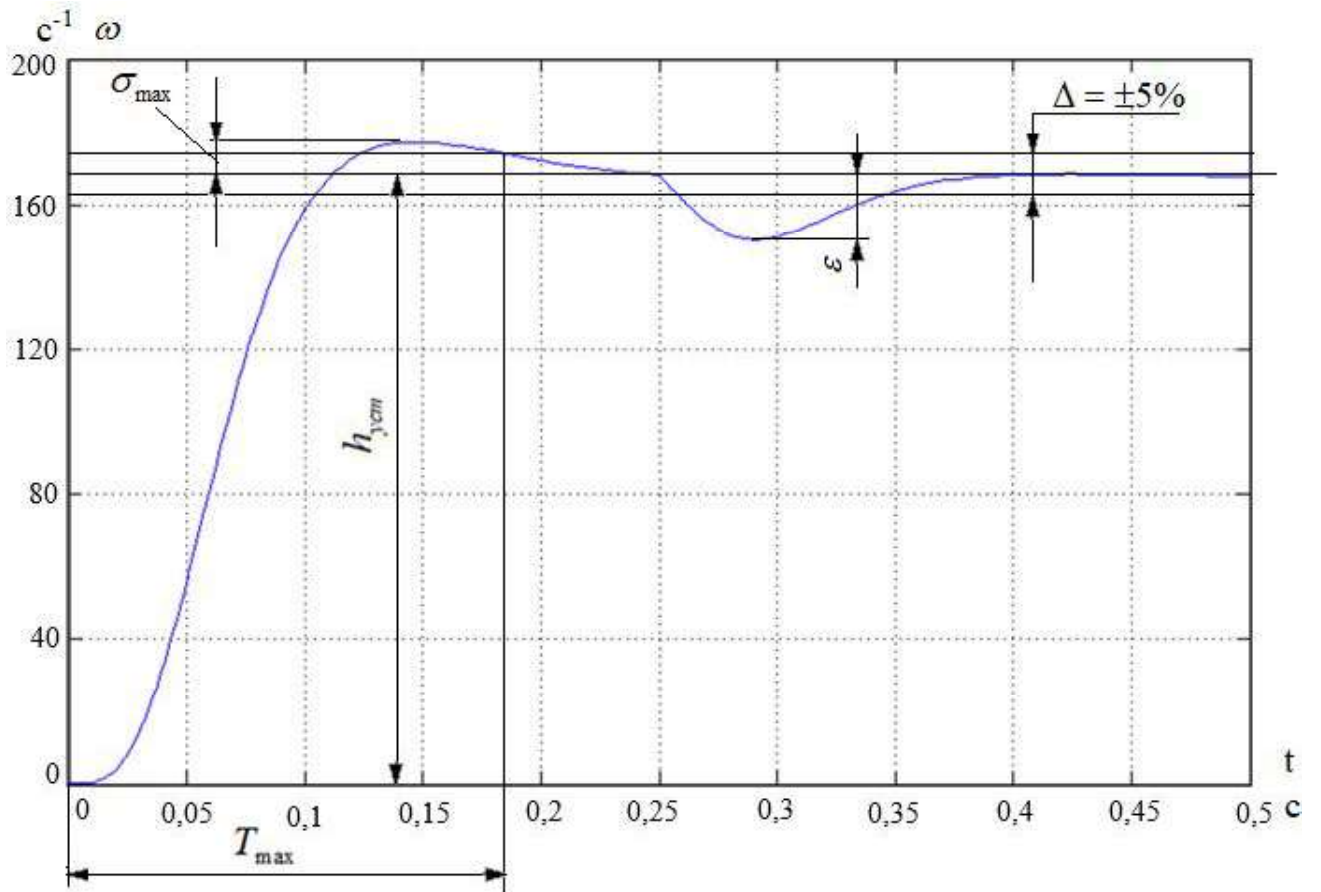


Рисунок 4.7 – Перехідний процес по швидкості в режимі переміщення

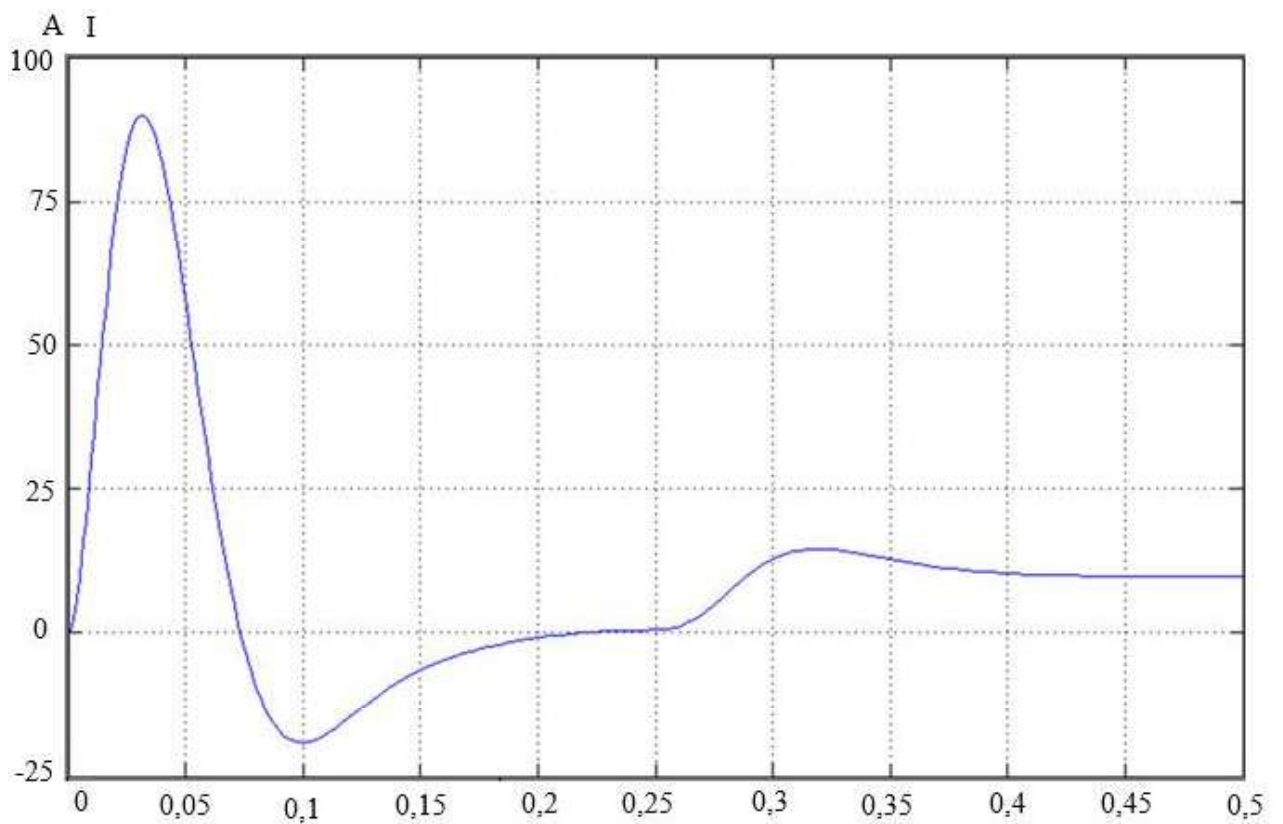


Рисунок 4.8 – Перехідна характеристика струму статора

З графіку перехідного процесу **по швидкості** (Рисунок 4.7) видно, що система має наступні показники якості керування швидкістю:

- час перехідного процесу менше 0,2 с ($T_{\max} = 0,18$ с);
- перерегулювання $\sigma = 5,15$ %;
- похибка $\varepsilon = 0$ %;
- коливальність $N = 1$.

З графіку перехідного процесу **по струму** (Рисунок 4.8) видно, що система працює задовільно, тобто максимальний пусковий струм не перевищує допустимий струм короткого замикання, який в десятки разів перевищує номінальний.

Після подання навантаження на вал двигуна струм виходить на номінальний режим.

Тому що такі показники якості задовольняють вимогам до системи керування, можна зробити висновок, що дана модернізація покращила динамічні характеристики системи керування.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ КРАНОВИХ МЕХАНІЗМІВ

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при експлуатації системи керування кран-балки

Безпека праці, як галузь практичної діяльності, спрямована на створення безпечних і нешкідливих умов праці.

Стандарт України ДСТУ 2293-99 “Охорона праці. Терміни та визначення основних понять” встановлює терміни і визначення основних понять з охорони праці.

Охорона праці – система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Виробнича санітарія – система організаційних, гігієнічних і санітарно-технічних заходів та засобів запобігання впливу шкідливих виробничих чинників на працівників.

Гігієна праці – галузь практичної і наукової діяльності, що вивчає стан здоров'я працівників у його обумовленості умовами праці і на цій основі обґрунтовує заходи і засоби щодо збереження і зміцнення здоров'я працівників, профілактики несприятливого впливу умов праці.

Небезпечний (виробничий) чинник – виробничий чинник, вплив якого на працівника в певних умовах призводить до травм, гострого отруєння або іншого раптового різкого погіршення здоров'я або до смерті.

Шкідливий (виробничий) чинник – виробничий чинник, вплив якого за певних умов може призвести до захворювання, зниження працездатності і негативного впливу на здоров'я нащадків.

Виробнича травма – травма, що сталася внаслідок дії виробничих чинників.

Виробничий травматизм — явище, що характеризується сукупністю виробничих травм і нещасних випадків на виробництві.

Задачами охорони праці є безпека праці, попередження травматизму і професійних захворювань і отруєнь, пожеж і вибухів на виробництві, правової охорони праці, інженерній психології й організації праці.

Робота людини повинна проходити в умовах, що сприяють розвиткові всіх його можливостей і забезпечують високу продуктивність праці [2].

До небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації електрообладнання кран-балки можна віднести: 1) порушення цілісності, електричного кола; 2) шум та вібрація від роботи системи керування крана.

5.1.1 Дія та наслідки ураження електричним струмом

Порушення цілісності електричного кола може виникнути через коротке замкнення, перевантаження або механічні пошкодження. Це може привести до враження людини електричним струмом.

Електричний струм - це спрямоване переміщення електричних зарядів усередині провідної речовини (усередині металів, рідких провідників і т. д.).

Наслідок враження людини електричним струмом залежить від багатьох факторів: опору тіла, тривалості протікання струму, шляху струму, роду і частоти струму, напруги.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, обумовлює перетворення електричної енергії в інші види і спричиняє термічну, електролітичну та біологічну дії.

Термічна дія полягає в тому, що струм, проходячи через тіло людини, нагріває його, як і будь-який провідник, через який він проходить. Таким чином, проходячи через органи людського тіла, електричний струм може викликати їхні опіки, обвуглювання тканин і всього тіла.

Електролітична дія полягає в тому, що електричний струм має властивість розщеплювати кислотні, лужні й інші провідні рідкі розчини на складові частини.

Проходячи через тіло людини, що, як відомо, складається на 70 % із води (протоплазма клітин, кров і т. д.), він справляє подібну електролітичну дію, розщеплюючи протоплазму і кров. У результаті клітини втрачають спроможність до нормального існування, обміну речовин і т. д.

Біологічна дія електричного струму полягає в тому, що при його входженні відбувається подразнення і збудження живих тканин організму і порушення внутрішніх біологічних процесів. У результаті можуть відбуватися мимовільні рухи кінцівок, голови, інших органів; може змінитися ритм биття серця (настає так звана фібриляція, некерована вібрація серця); порушується робота легень.

Механічна дія електричного струму може призводити до розриву тканин внаслідок електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари з тканинної рідини і крові; до вивихів, переломів. Дія електричного струму може призвести як до травм, так і до летальних наслідків.

Електротравми - опіки, електричні знаки (специфічне ураження тканин); металізація шкіри (частина розплавленого металу); електрофтальмія (запалення зовнішніх оболонок очей під дією ультрафіолетових променів електричної дуги); механічні ушкодження (розірвання шкіри, вивихи, переломи і т. д., викликані мимовільним скороченням м'язів).

Електричний удар. Розрізняють 4 ступені електричного удару:

- 1 ступінь — судорожне скорочення м'язів без утрати свідомості;
- 2 ступінь — судорожне скорочення м'язів з утратою свідомості, але зі збереженням дихання і роботи серця;
- 3 ступінь - втрата свідомості; порушення дихання або роботи серця;
- 4 ступінь - клінічна смерть.

Рід і частота електричного струму впливають на результат ураження людини. Досвід показує, що змінний струм 50 Гц у більшій мірі подразнює організм людини, ніж рівний йому постійний.

Однак це має місце лише при напругах до 300 В. Вважається, що при напругах вище 300 В небезпека постійного струму переважає над змінним струмом 50 Гц.

Якщо частота електричного струму збільшується від 0 до 50 Гц небезпека ураження збільшується, оскільки зростає струм через людину через ємкісну складову опору тіла людини. Однак при подальшому збільшенні частоти електричного струму, що діє на людину, спостерігається зниження небезпечного впливу електричного струму, зокрема електричного удару, небезпека якого цілком відсутня при частоті близькій до 10 кГц.

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

5.1.2 Шум та вібрації при експлуатації системи керування кран-балки

Система керування крана є джерелом шуму та вібрації, що негативно впливає на здоров'я людини.

Шум, вібрації, ультра- та інфразвук відносяться до шкідливих виробничих факторів, які при тривалому впливі на працівників можуть призвести до важких професійних захворювань. Часто ці фактори супроводжують один одного. В основі їхнього походження лежать механічні коливання, що поширюються в пружних середовищах. Існує визначена подібність у впливі шуму, ультра- та інфразвука і вібрації на організм людини, але спостерігаються й деякі значні відмінності.

Шум - це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину. Фізична сутність звуку - це механічні коливання пружного середовища (повітря, рідини). Під час звукових коливань утворюються області зниженого і підвищеного тиску, що діють на слуховий аналізатор (мембрану вуха).

Постійна дія сильного шуму може не лише негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки — дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності.

Шуми викликають функціональні розлади серцево-судинної системи; шкідливо впливають на зоровий і вестибулярний аналізатори; знижують рефлекторну діяльність, що часто стає причиною нещасних випадків і травм.

Вібрація - це коливання твердих тіл, яке виникає при зсуві центру ваги тіла, що рухається, обертається або при періодичній зміні форми тіла порівняно зі статичним станом цього тіла. Загальна вібрація, що має широкий спектр частоти, справляє несприятливий вплив на центральну нервову і систему, вестибулярний апарат, шлунково-кишковий тракт, викликає запаморочення, оніміння кінцівок, захворювання суглобів. Тривалий вплив вібрації викликає - вібраційну хворобу. Вібраційна хвороба - професійне захворювання, що спричинюється тривалою дією вібрації на організм людини.

5.2 Захист від шкідливих та небезпечних факторів при експлуатації системи керування кран-балки

Заходи захисту від ураження електричним струмом.

Установка і монтаж електроустаткування вантажопідйомних машин, а також пристрої освітлення, заземлення і захисту повинні відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01 [10] та НПАОП 0.00-1.01-07 [13].

При експлуатації електроприводів найбільша кількість нещасних випадків відбувається при виявленні несправностей та наладці систем електропривода під струмом. Для запобігання цього роботи слід проводити в гумових калошах або стояти на ізолюючій основі. При ремонті електропривода напруга попередньо знімається з головного розподільного щита шляхом відключення. На вимикачі вивішується плакат "Не вмикати! Працюють люди".

Розглянемо загальні заходи захисту від дії електричного струму.

Застосування ізоляції. Ізоляція струмопровідних частин електроустановок, а в особливих випадках подвійна чи посилена, перешкоджає появі струму на металевих неструмопровідних частинах електроустаткування, протіканню на землю, а також забезпечує захист людини від впливу електричного струму під час випадкового дотику її до струмоведучих частин. Розрізняють наступні види ізоляції.

Робоча ізоляція – електрична ізоляція струмопровідних частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від ураження електричним струмом.

Допоміжна ізоляція – ізоляція, передбачена як допоміжна до робочої ізоляції для захисту від ураження електричним струмом у випадку ушкодження робочої ізоляції.

Подвійна ізоляція – ізоляція, що складається з робочої і допоміжної ізоляції.

Посилена ізоляція – поліпшена робоча ізоляція, що забезпечує такий же ступінь захисту від ураження електричним струмом, як і подвійна ізоляція.

Ізоляцію відкритих струмоведучих частин, установку захисних електричних і механічних блокувань; установок приборів автомагнітного відключення, реагуючих на напругу або струм замикання на корпус (землю), виконувати згідно з НПАОП 1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01 [10]).

Розміщення струмопровідних частин на недоступній для дотику висоті. Електропроводку усередині приміщень з незахищеними ізольованими проводами прокладають на ізоляторах і роликах на висоті не менше 2 м від підлоги при напрузі вище 42 В. у приміщеннях без підвищеної небезпеки На висоті не менше 2,5 м від рівня підлоги в приміщеннях з підвищеною небезпекою й особливо небезпечних при напрузі вище 42 В.

Для персоналу, обслуговуючого електроустановки і такого, що знаходиться в зоні впливу створюваного ними електричного поля, ДСН 3.3.6.096-2002. "Державні санітарні норми та правила при роботі з джерелами електромагнітних полів" установлює гранично припустимий рівень напруженості електричного поля частотою 50Гц 25кВ/м; перебування людини в електричному полі більшої напруженості без застосування засобів захисту заборонено.

Експлуатація електроустановок, повинна проводитись з дотриманням вимог електробезпеки відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004, Правил захисту від статичної електрики НПАОП 0.00-1.29-97, Правил експлуатації електрозахисних засобів ДСН 3.3.6.096-02, експлуатаційної документації та цих Правил.

Протягом робочого дня можна знаходитися в електричному полі напруженості до 5 кВ/м; при напруженості 20–25 кВ/м час перебування персоналу в електричному полі не повинен перевищувати 10 хвилин.

Огороджуючі захисні засоби. До них належать: ширма, бар'єри, щити, сітки і т. п.; ізолюючі накладки і ковпаки (з ізоляційного матеріалу); переносні захисні заземлення; попереджувальні, забороняючі плакати.

Допоміжні захисні засоби застосовуються для захисту від падіння з висоти (захисні пояси, канати, що страхують), підйому на висоту (пазурі, сходи, драбини), захисту від світлових, теплових, механічних, хімічних впливів електричного струму (захисні окуляри, протигази, рукавиці, фартухи, костюми, спецвзуття та ін.). Контактори для реверсування електродвигунів кранів повинні мати механічні й електричні блокування.

Засоби захисту від шуму та вібрації.

Працюючі машини та механізми створюють вібрації та шум. Все це приводить до зниження працездатності і втомленості людей.

Для усунення цих негативних наслідків потрібно використовувати колективні методи і засоби. Найефективнішими є заходи зниження шуму в джерелі його виникнення.

До засобів індивідуального захисту від шуму належать:

- протишумні навушники, які закривають вушну раковину;
- протишумні вкладиші, що перекривають зовнішній слуховий прохід;
- протишумні шоломи - закривають усю голову. Їх застосовують у сполученні з навушниками, протишумні костюми.

Для запобігання дії шуму на людину у проекті, потрібно вжити такі заходи:

- використовувати у проекті систему керування порталного крану з малим рівнем шуму;
- розміщення системи керування порталного крану в окремому районі.

Методи боротьби з вібрацією зводяться в основному до демпфірування установок, машин, механізмів, використання різноманітного роду амортизаторів, вібропоглинання.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра розглядається система керування автоматизованого електропривода механізму переміщення кран-балки.

Результати виконаної роботи можна сформулювати таким чином:

- розглянуті особливості сучасних кран-балок та їх застосування;
- в роботі розглянутий механізм переміщення кран-балки вантажопідйомністю 10 тонн;
- проведені розрахунки необхідної потужності електродвигуна та вибраний асинхронний електродвигун типу АИР100L4У3;
- проведений аналіз існуючих систем керування АД на основі якого для обраного двигуна вибраний комплектний електропривод Siemens MICROMASTER 440;
- на основі функціональної схеми обраного електропривода та проведених розрахунків всіх елементів системи керування була складена структурна схема;
- на основі математичного опису та розрахунків елементів системи складена розрахункова динамічна модель та проведений аналіз її динамічних властивостей системи керування електропривода механізму переміщення кран-балки;
- в результаті проведеного аналізу отримані параметри настройки ПІ-регулятора швидкості, які забезпечили необхідні показники якості перехідного процесу:
 - час перехідного процесу $T_{\max} = 0,18$ с; перерегулювання $\sigma = 5,15$ %; похибка $\varepsilon = 0$ %; коливальність $N = 1$.

З графіку перехідного процесу по струму видно, що система працює задовільно, тобто максимальний пусковий струм не перевищує допустимий струм короткого замикання, який в десятки разів перевищує номінальний.

Такі показники якості задовольняють вимогам до системи керування.

В роботі розглянуті питання охорони праці при експлуатації електрообладнання кранових механізмів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Асинхронные электродвигатели общего назначения серии АИР. [АИР Україна](https://air.com.ua/katalog_elektrodvigatelei_air/) Каталог электродвигателей АИР. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://air.com.ua/katalog_elektrodvigatelei_air/ .
2. **Березуцький В.В.** Основи охорони праці: Навч. посіб. / В. В. Березуцький, Т. С. Бондаренко, Г. Г. Валенко та ін.; За заг. ред. В. В. Березуцького. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Х.: Факт, 2007. – 480 с.
3. **Видмиш А.А.** Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник / А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. - Вінниця: ВНАУ, 2020. - 387 с.
4. **Григоров О. В.** Вантажопідйомні машини : навч. посібник / О. В. Григоров, Н. О. Петренко ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : НТУ "ХПІ", 2006. – 304 с.
5. **Жигулін О. А.** Підйомно-транспортні машини: Навчальний посібник. / О. А. Жигулін., І. І. Махмудов, Н. О. Жигуліна. Ніжин, 2020. 150 с.
6. **Казачковський М. М.** Комплектні електроприводи: Навч.посібник/ М. М. Казачковський. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. 226 с.
7. **Киселёв В. А.** Учебное пособие по курсовому проектированию «Грузоподъемные машины и машины безрельсового транспорта» / В.А.Киселев, В.П. Захарцев. – М.: Альтаир-МГАВТ, 2007г.
8. Кран-балка електрична опорна в/п 10 т. Посібник з експлуатації. ООО "Проммашсервіс", м Дніпро.
9. **Лазарєв Ю. Ф.** Моделювання динамічних систем у Matlab. Електронний навчальний посібник. – Київ: НТУУ "КПІ", 2011. – 421 с.
10. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.

11. **Підвісна кран балка: опис та сфери застосування.** [Электронный ресурс]
Режим доступу: <https://techtronic.com.ua/pidvisna-kran-balka-opis-ta-sferi-zastosuvannya/>

12. **Поляков, А. М.** Схемы электрооборудования грузоподъемных кранов / А.М. Поляков. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 136 с.

13. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів: НПАОП 0.00-1.01-07.- К.: Основа, 2007.- 312 с.

14. Проектирование электроприводов крановых механизмов. Техническая коллекция Schneider Electric. Выпуск № 12. февраль 2009. [Электронный ресурс]
Режим доступа: www.proektant.org/arh/file/882.html.

15. **Регульований електропривод:** Підручник / І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, Д.А. Абдураманов, А.В. Торопов, О.В. Санченко; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.

16. **Спиваковский А. О.** Транспортирующие машины: Учеб. пособие для машиностроительных вузов. / А.О. Спиваковский, В.К. Дьячков. 3-е изд., перераб. — М.: Машиностроение, 1983.—487 с, ил.

17. **Электропривод Siemens MICROMASTER 440.** Каталог преобразователей частоты SIEMENS Micromaster 440 / Siemens AG 2001.-140 с.

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Вакар Максим Геннадійович

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему:

"Модернізація системи керування електропривода переміщення
кран-балки"

Керівник роботи – Васильєв О.Г.

Слайд 1 мультимедійної презентації

АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

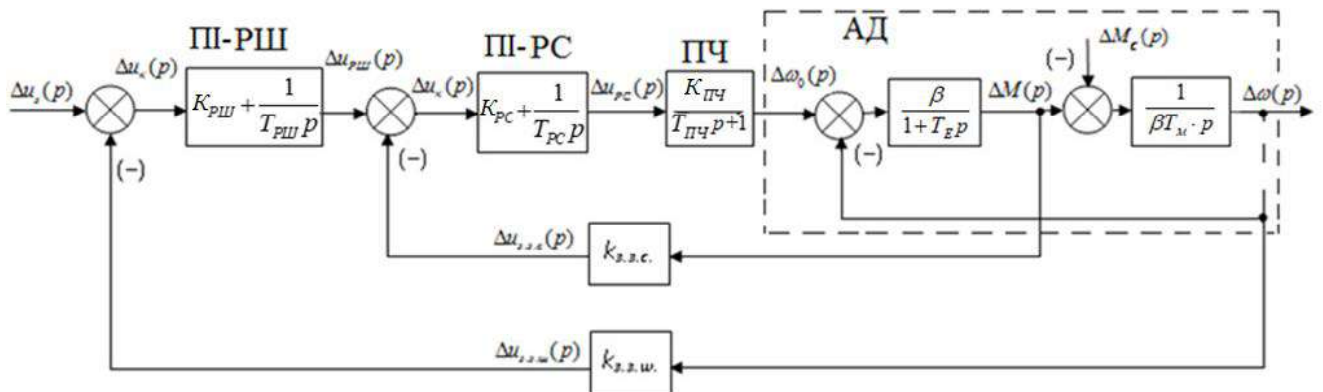
Актуальність теми. Використання тиристорних та транзисторних перетворювачів для регулювання швидкості електроприводів підйомно-транспортного устаткування з метою підвищення ККД, надійності та розширення діапазону регулювання швидкостей переміщення кран-балки є актуальною задачею.

Мета роботи - модернізація системи керування електропривода механізму переміщення кран-балки.вантажопідйомністю 10 тонн.

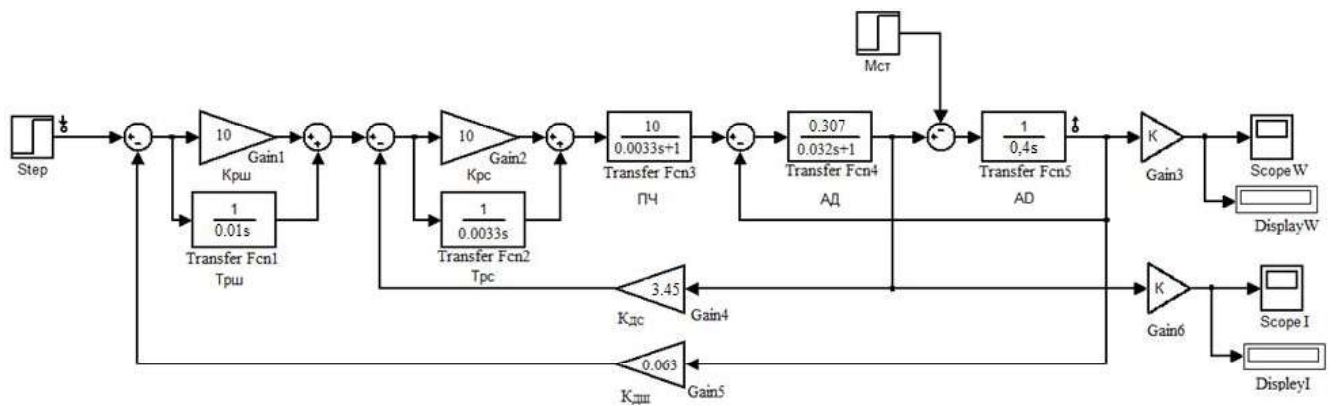
Задачі роботи:

- розглянути автоматизовану систему керування електропривода механізму переміщення кран-балки;
- провести розрахунок необхідної потужності електродвигуна для механізму переміщення кран-балки;
- провести аналіз існуючих, сучасних засобів та систем керування електродвигунами змінного струму і на базі цього аналізу вибрати найбільш підходящий електропривод для керування електродвигуном механізму переміщення кран-балки;
- виконати аналіз динамічних властивостей роботи системи керування кран-балки для отримання найкращих показників якості перехідного процесу системи керування;
- розглянути питання охорони праці при експлуатації електрообладнання кран-балки.

СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

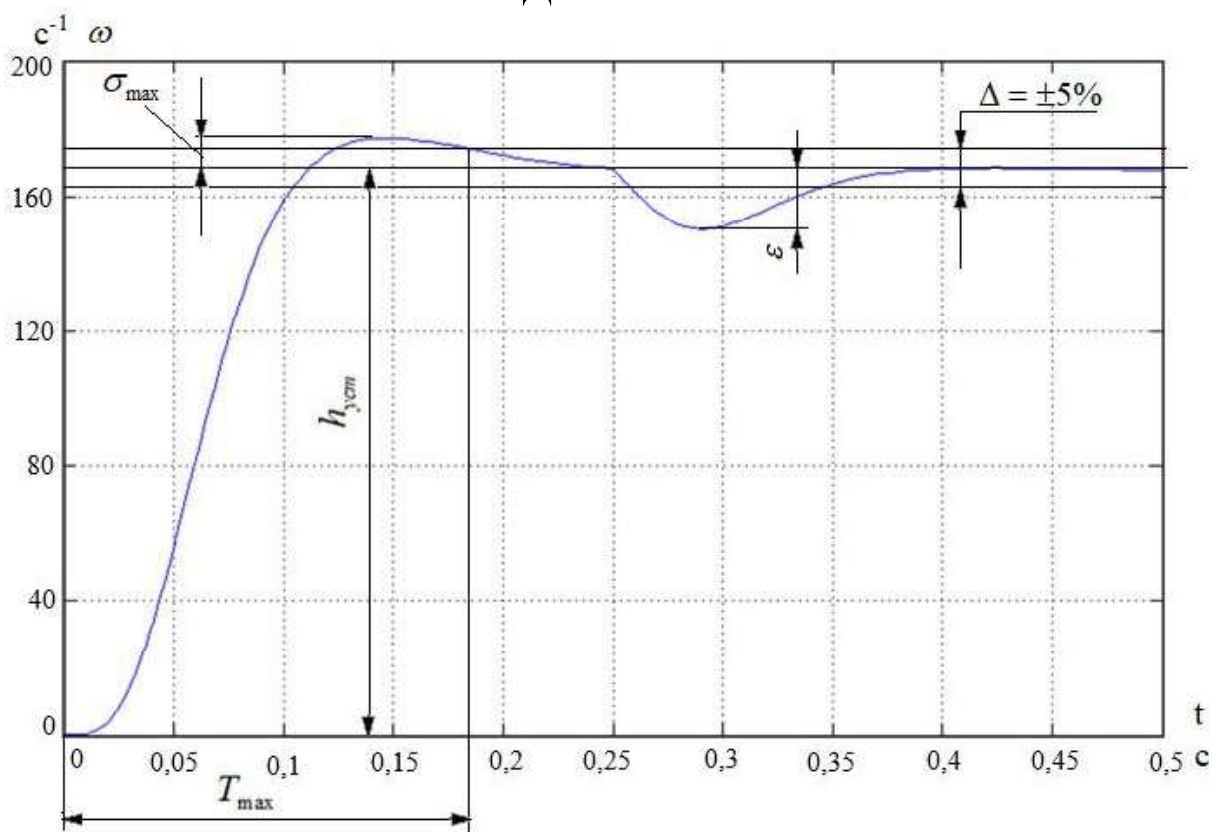


Структурна схема системи керування електропривода

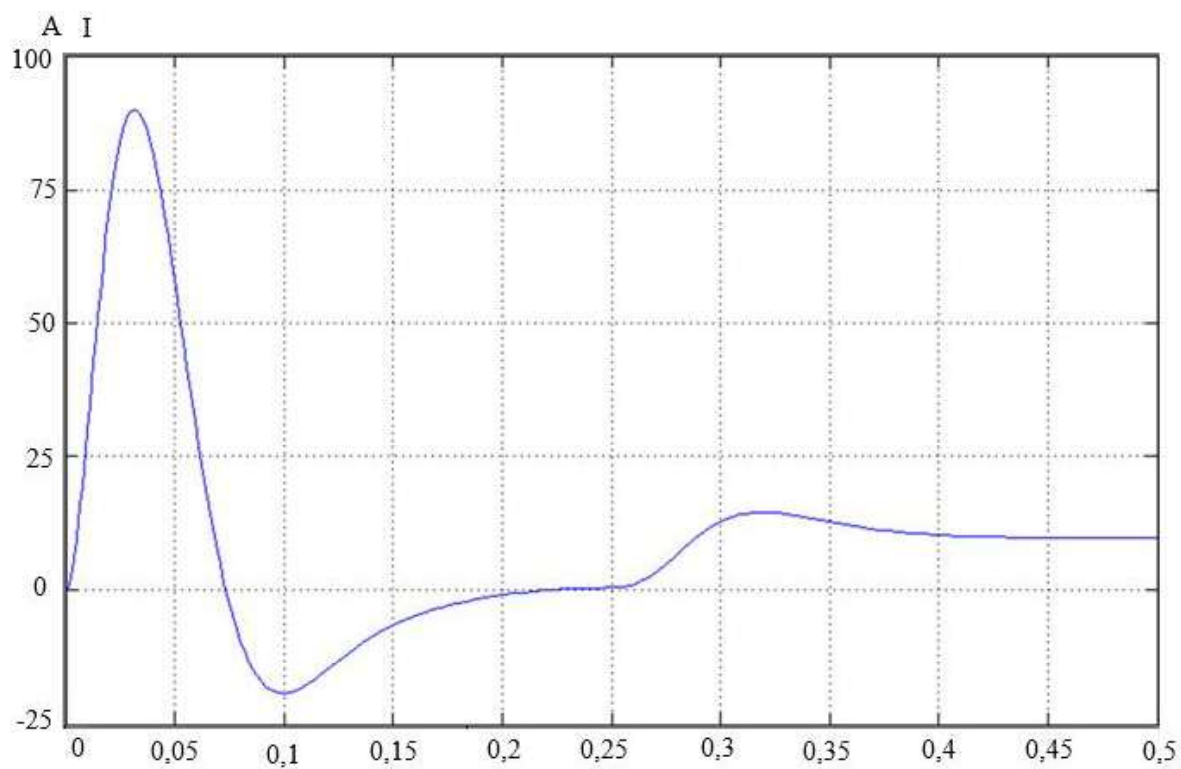


Розрахункова динамічна модель системи керування

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



Перехідний процес по швидкості в режимі переміщення



Перехідна характеристика струму статора

ВИСНОВКИ

Результати виконаної роботи можна сформулювати таким чином:

- розглянуті особливості сучасних кран-балок та їх застосування;
- в роботі розглянутий механізм переміщення кран-балки вантажопідйомністю 10 тонн;
- проведені розрахунки необхідної потужності електродвигуна та вибраний асинхронний електродвигун типу АИР100L4У3;
- проведений аналіз існуючих систем керування АД на основі якого для обраного двигуна вибраний комплектний електропривод Siemens MICROMASTER 440;
- на основі функціональної схеми обраного електропривода та проведених розрахунків всіх елементів системи керування була складена структурна схема;
- на основі математичного опису та розрахунків елементів системи складена розрахункова динамічна модель та проведений аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода механізму переміщення кран-балки;
- в результаті проведеного аналізу отримані параметри настройки регулятора швидкості, які забезпечили необхідні показники якості перехідного процесу:
 - час перехідного процесу $T_{\max} = 0,18$ с; перерегулювання $\sigma = 5,15$ %;
 - похибка $\varepsilon = 0\%$; коливальність $N = 1$.

З графіку перехідного процесу по струму видно, що система працює задовільно, тобто максимальний пусковий струм не перевищує допустимий струм короткого замикання, який в десятки разів перевищує номінальний.

Такі показники якості задовольняють вимогам до системи керування.

В роботі розглянуті питання охорони праці при експлуатації електрообладнання кранових механізмів.