

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

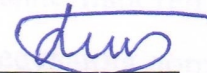
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



(підпис)

I. С. Білюк

« 15 » 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код та назва спеціальності)

освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

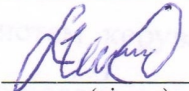
(назва освітньої програми)

на тему: Автоматизована система керування електропривода
механізму пересування порталного крана

Виконав: студент групи 6371м

Устенко Борис Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)



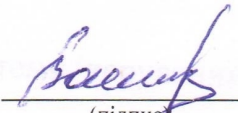
(підпис)

Керівник

доц. каф. автоматики, к.т.н.,

доцент Васильєв О.Г.

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



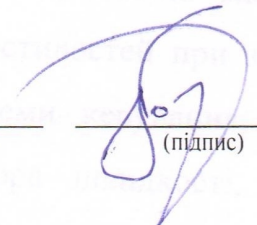
(підпис)

Рецензент

доцент кафедри СЕЕС,

к.т.н., доцент С.М.Новогрецький

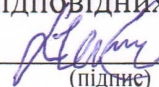
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)



(підпис)

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

Студент



(підпис)

м. Миколаїв – 2025 року

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається з 95 сторінок: з 85 сторінок пояснювальної записки, 5 розділів, 7 таблиць, 21 рисунку, 24 літературних джерел, 1 додатку на 10 сторінках.

Ключові слова: аналіз динаміки, математична модель, механізм пересування, порталний кран, тиристорний електропривод, система керування

Мета роботи – дослідження динамічних властивостей системи керування автоматизованого електропривода механізму пересування порталного крана.

У розділі 1 розглянутий стан та тенденції розвитку сучасного кранового обладнання, зроблений огляд літератури та розробок за темою, розглянуті загальні питання автоматизації вантажно-розвантажувальних робіт і переміщення вантажів, вибраний порталний кран вантажопідйомністю 16 тонн.

У розділі 2 обґрунтований та вибраний метод наукового дослідження для вирішення поставленої задачі, побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження.

У розділі 3 виконаний статичний розрахунок і вибір двигуна механізму пересування порталного крана. Виконаний аналіз існуючих систем керування двигунами перемінного струму, вибрана новітня модель перетворювача частоти Mitsubishi серії FR-F740, наведені його дані та технічний опис.

У розділі 4 зроблений математичний опис елементів системи керування, проведені розрахунки по їх вибору, складені розрахункові динамічні моделі системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей при зміні законів керування, в результаті чого обрана схема системи керування, що забезпечує найкращі параметри налагодження регулятора швидкості, 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 порталного крана.

Додаток містить 10 слайдів мультимедійної презентації.

ABSTRACT

The master's qualification work consists of 95 pages: 85 pages of explanatory notes, 5 sections, 7 tables, 21 figures, 24 literature sources, 1 appendix on 10 pages.

Keywords: dynamics analysis, mathematical model, movement mechanism, gantry crane, thyristor electric drive, control system

The purpose of the work is to study the dynamic properties of the control system of the automated electric drive of the movement mechanism of a gantry crane.

In section 1, the state and trends in the development of modern crane equipment are considered, a review of literature and developments on the topic is made, general issues of automation of loading and unloading operations and movement of goods are considered, a gantry crane with a lifting capacity of 16 tons is selected.

In section 2, the scientific research method is justified and selected to solve the problem, a structural and logical scheme of the master's research is built.

In section 3, a static calculation and selection of the motor for the gantry crane movement mechanism are performed. An analysis of existing AC motor control systems is performed, the latest model of the Mitsubishi FR-F740 series frequency converter is selected, its data and technical description are given.

In section 4, a mathematical description of the control system elements is made, calculations are made for their selection, calculated dynamic models of the control system are compiled and an analysis of its dynamic properties when changing the control laws is carried out, as a result, a control system scheme is selected that provides the best parameters for adjusting the speed controller, which showed that the considered system meets the requirements for electric drives of transporting mechanisms.

In section 5, occupational safety issues are considered when operating the electrical equipment of the gantry crane.

The appendix contains 10 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	9
1.1 Сучасне кранове обладнання та тенденції його розвитку	9
1.2 Огляд літератури та розробок за темою	12
1.3 Опис об'єкту дослідження. Портальний кран типу Ганц	17
1.3.1. Загальна характеристика кранових механізмів	18
1.3.2 Призначення та технічні характеристики портального крана Ганц	20
1.3.3 Існуюча система керування.....	24
1.4 Висновки до розділу 1	26
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	27
2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження.....	27
2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження	33
2.3 Вибір методу вирішення поставленої задачі дослідження	34
2.4 Висновки до розділу 2	35
РОЗДІЛ 3 ВИБІР ТИПУ ДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА	36
3.1 Розрахунок потужності і вибір двигуна механізму пересування портального крана	36
3.2 Особливості електропривода механізмів горизонтального переміщення	40
3.3 Основні вимоги до систем керування електроприводів	44
3.4 Аналіз існуючих систем керування двигунами перемінного струму	46
3.5 Загальна характеристика й основні технічні дані перетворювача частоти Mitsubishi Electric FR-F740	50
3.5.1 Технічний опис перетворювача частоти FR-F740.....	52
3.6 Висновки до розділу 3	54
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК САК	

ЕЛЕКТРОПРИВОДА	55
4.1 Принцип роботи електропривода	
4.2 Математичний опис структурної схеми електропривода	
з частотно-струмовим керуванням.....	57
4.3 Розрахунок параметрів регуляторів електропривода з частотно-	
струмовим керуванням.....	64
4.4 Аналіз динамічних характеристик системи керування	
електропривода.....	69
4.5 Висновки до розділу 4	74
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	
ПОРТАЛЬНОГО КРАНА	75
5.1 Аналіз небезпек і шкідливостей при експлуатації	
електрообладнання портальних кранів.....	75
5.2 Захист від шкідливих та небезпечних факторів при експлуатації	
кранового електроустаткування.....	78
5.3 Висновки до розділу 5	81
ВИСНОВКИ	82
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	83
Додаток А. Мультимедійна презентація.....	86

ВСТУП

Актуальність теми. Кранове обладнання є одним з основних засобів комплексної механізації всіх галузей народного господарства України.

В даний час порталні крани залишаються основним устаткуванням причалів універсального призначення. За допомогою порталних кранів перевантажується майже половина вантажів портів.

Актуальність теми обумовлена інтенсивним розвитком контейнерних перевезень, впровадженням перевантажувальних комплексів із крановою схемою механізації вантажних робіт, переважно порталними кранами, як найбільш ефективним видом механізації при великих вантажопотоках у морських портах.

Аналіз стану портової механізації. Переважна більшість вантажопідйомних машин, виготовлених вітчизняною промисловістю, має електричний привод основних робочих механізмів і тому ефективність дії цих машин у значній мірі залежить від якісних показників використовуваного кранового електрообладнання.

Робота вантажопідйомних механізмів характеризується постійно мінливими умовами при переробці вантажів, і тому механізми кранів, що мають у своєму складі електроприводи, повинні бути максимально пристосовані до постійної зміни виду роботи з вантажами, різноманітними по масі, розмірах і формі, і зміни у виробничих умовах роботи, що вимагає особливого підходу до вибору розрахункових параметрів приводних електродвигунів, апаратури керування і захисту.

У цей час велику частину вантажопідйомної техніки портів складають морально й фізично застарілі крани.

На жаль, архітектура причальних споруджень у наших портах здебільшого не дозволяє застосовувати сучасні технології з мобільними кранами, які інтенсивно впроваджуються останні 15-20 років у закордонних портах.

Покупка нової техніки, враховуючи її високу ціну, найчастіше представляється важким завданням, а наявна техніка вже не відповідає сучасним

вимогам. Тому оптимальним вирішенням даної проблеми є реконструкція існуючих кранів.

Модернізація забезпечує продовження терміну служби крана й поліпшення технічних параметрів шляхом заміни морально застарілих механізмів зубчастих і шарнірних з'єднань, електроустаткування й системи керування, що вичерпали свій ресурс, на сучасні.

Модернізація електроустаткування заснована на останніх досягненнях в області мікропроцесорного керування й пов'язана зі зміною концепції керування краном — переходом керування з релейно-контакторної на систему частотний перетворювач-двигун, як наслідок виникає необхідність використання для кранових механізмів більш сучасних електроприводів із плавним регулюванням швидкості.

Тому досить актуальним є автоматизація й удосконалювання системи керування електропривода механізму пересування порталного крана з метою додання цій машині нових динамічних показників якості керування, що відповідають технологічним вимогам.

В даній кваліфікаційній роботі магістра розглядається удосконалення системи керування електропривода механізму пересування порталного крана типу Ганц вантажопідйомністю 16 тонн, що полягає в заміні асинхронного електропривода зі східчастим регулюванням швидкості на плавнорегулюємий.

Мета і завдання дослідження. Магістерська робота присвячена дослідженню динамічних властивостей системи керування електропривода механізму пересування порталного крана.

Об'єкт дослідження - процеси, що відбуваються у енергозберігаючому електроприводі механізму пересування порталного крана.

Предмет дослідження: динамічні характеристики системи, параметри, що забезпечують підвищення точності електропривода механізму пересування порталного крана.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- провести аналіз будови та технічних характеристик крана, вимог до його електропривода;
- проаналізувати побудову та функціонування системи керування електропривода;
- розглянути роботу структурної та принципової схем системи керування електропривода;
- розрахувати параметри системи керування електропривода для наступного моделювання;
- розробити математичне моделювання портального крана в математичній програмі Simulink пакету Matlab, як об'єкту керування;
- виконати теоретичне і комп'ютерне дослідження значень основних показників якості роботи САК;
- провести аналіз результатів моделювання й обґрунтування правильності вибору системи керування.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених завдань були проведені теоретичні дослідження на основі теорії автоматичного керування, теорії електропривода, теорії лінійних електричних кіл з використанням математичного моделювання на основі диференціальних рівнянь та структурних схем.

За допомогою програмного забезпечення для персональних комп'ютерів Simulink пакету Matlab були змодельовані математичні моделі системи керування, яка досліджувалася.

Практичне значення одержаних результатів мають математичні та імітаційні моделі систем керування, які є зручними інструментами для дослідження характеристик електропривода механізму пересування портального крана та аналізу алгоритмів керування.

Результати роботи впроваджено в навчальний процес кафедри автоматики Національного Університету Кораблебудування і використовуються студентами очного та заочного відділень при вивченні дисципліни "Системи керування електроприводів".

РОЗДІЛ 1

ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Сучасне кранове обладнання та тенденції його розвитку

Технологічний розвиток кранової галузі. Крани існують з давніх часів. Початкове підйомне обладнання було простим і примітивним, наприклад, шківа, використовуючи принцип важелів. Завдяки просуванню науки та техніки, підняття обладнання поступово перетворювалося з ручної роботи до механізації, автоматизації, а потім на інтелект. Тим більше, що з 20 століття крани зазнали революційних змін у системах електроенергії, системах управління та забезпечення безпеки [24]:

- електрична система привода. Ранні крани використовували ручні системи роботи та парові приводні системи. Застосування електродвигунів зробило крани більш ефективними та стабільними. Система електричного привода не тільки збільшила навантажувальну здатність крана, але й значно покращила акуратність та безпеку експлуатації.

- застосування гідравлічної системи. Введення гідравлічної системи дозволяє кранам збільшити навантажувальну здатність, не збільшуючи їх розмір. Гідравлічні крани особливо підходять для ситуацій, коли важкі предмети потрібно ефективно переміщувати, особливо в таких додатках, як будівельні майданчики та порти.

- система управління комп'ютером. При розробці комп'ютерних технологій система управління кранами почала оцифровувати та автоматизувати. Через цифрові пристрої, такі як PLC (програмований логічний контролер), крани можуть не тільки точно контролювати рухи підйому, але й реалізовувати автоматизовані режими роботи, підвищення ефективності та безпеки.

Застосування інноваційних технологій у кранах:

- розумні крани. Розумні крани використовують датчики, технологію IoT та великий аналіз даних для моніторингу стану обладнання в режимі реального часу, прогнозування збоїв та надання служб віддаленого обслуговування. Інтелектуальні

операційні системи можуть автоматично регулювати робочі параметри, щоб забезпечити, щоб крани працювали з оптимальною ефективністю;

- автоматизована система підйому. Автоматизовані крани можуть автоматично виконувати завдання підйому та обробки без роботи людини. Ці системи зазвичай включають автоматизоване управління, навігаційні системи та точну технологію ідентифікації об'єктів.

Майбутні тенденції в крановій галузі:

- зелений розвиток. Зі збільшенням глобальної уваги до охорони навколишнього середовища галузь підйому також почала рухатися до розвитку зеленого. Надалі більше кранів використовуватимуть акумулятор або відновлювану енергію, наприклад, сонячну енергію для зменшення викидів вуглецю та покращення ефективності навколишнього середовища.

- розвідка та Інтернет речей. Застосування технології Internet of Things дозволить кранам підключитися до центральної системи управління в режимі реального часу для моніторингу віддаленого обладнання, діагностики несправностей та аналізу даних.

- посилена безпека.

Стан ринку мостових та козлових кранів характеризується рядом факторів, що підтверджують перспективність розвитку бізнесу із залученням форм міжнародної кооперації в даній галузі:

- попит перевищує пропозицію, що доводить можливість нарощування обсягів виробництва за умови відмови від імпорту кранів, можливого при оновленні виробничих процесів;

- на існуючих промислових підприємствах в Україні стан ПТО характеризується зношеністю для 80-85% кранів, що стимулює компанії оновлювати або модернізувати обладнання;

- дана продукція використовується (або може використовуватися) практично на всіх промислових підприємствах (галузі: металургія, машинобудування, металоторговельні бази, виробництво труб, енергетичні підприємства, виробництво будівельних матеріалів, гірничо-видобувні та гірничо-збагачувальні комбінати,

транспортні підприємства (залізниці, порти, аеропорти, логістичні центри), скляне та целюлозо-паперове виробництво, цементні заводи, виробництво пластикової тари, каменеобробна та меблева промисловість, харчова промисловість;

- нові промислові підприємства з іноземним капіталом у 95% випадках віддають перевагу сучасним імпортним кранам з новими технологіями.

Промислові підприємства з українським капіталом у 90% випадків орієнтуються на низьку вартість в поєднанні із середнім рівнем якості.

Структура наявного парку кранів в Україні за типами та галузями представлена на рисунку 1.1 [7].

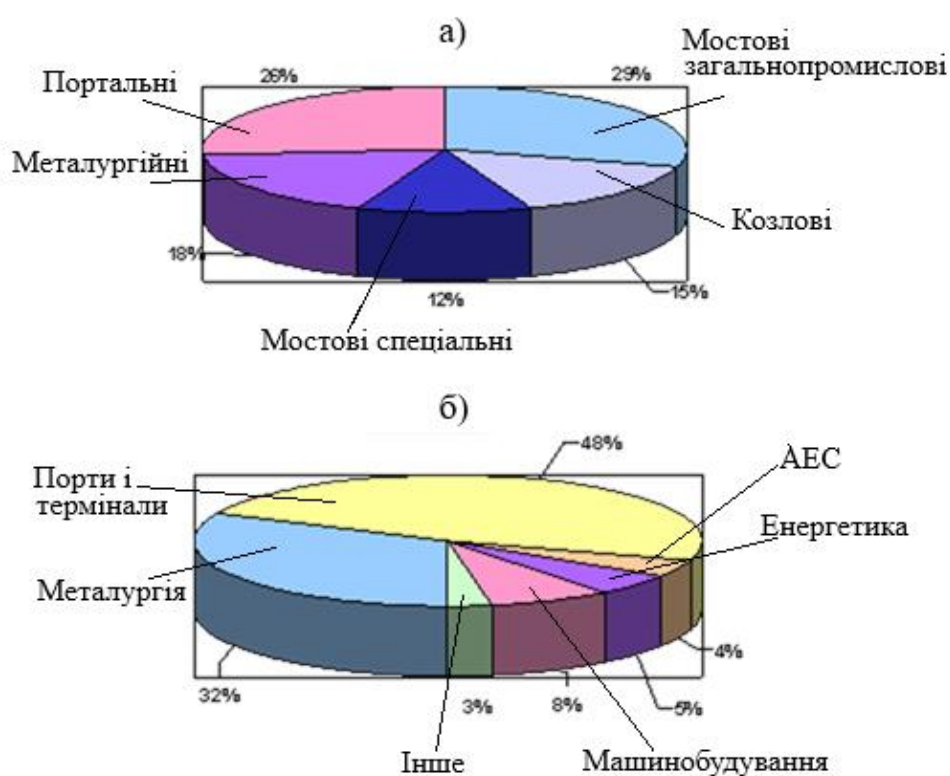


Рисунок 1.1 - Структура парку кранів в Україні за типами кранів (а) та по галузях економіки (б)

Перспективи оновлення кранового господарства в Україні: особливості відновлення вантажопідійомної техніки.

Стан парку кранів мостового типу в Україні свідчить про значний ступінь їх зносу:

- понад 30% парку загальнопромислових мостових електричних і спеціальних кранів вимагає заміни;

- за межами нормативних термінів служби експлуатуються 45%

металургійних кранів;

- більше 65% козлових кранів перевищили нормативні терміни експлуатації.

Значна зношеність кранів в Україні створює сприятливі умови для розвитку додаткового спрямування кранового бізнесу – реконструкції та модернізації старих кранів.

Оновлення вантажопідйомного обладнання в силу високої вартості для багатьох вітчизняних підприємств є складною задачею. Особливо цю проблема загострюється у несприятливі кризові періоди, коли, зокрема, світовий ринок металопрокату характеризується несприятливою кон'юктурою та суттєвим конкурентним тиском з боку китайських виробників (підприємства у сфері металургії використовують третину кранового обладнання в Україні). Ситуація з експлуатацією наявної старої техніки погіршується через неможливість підвищувати продуктивність. Оптимальним вирішенням даної проблеми є реконструкція існуючих кранів, в результаті чого істотно продовжується залишковий ресурс роботи обладнання, а тому відпадає необхідність у купівлі нового крана. Даний вид капіталовкладень може бути більш оптимальним в порівнянні з купівлею нового обладнання.

Подальших досліджень потребує удосконалення організаційного механізму реалізації проектів з реконструкції кранів мостового типу в Україні із застосуванням більш продуктивних комплектуючих та сучасних засобів промислової електроніки й автоматизації [7].

1.2 Огляд літератури та розробок за темою

Тема магістерської роботи пов'язана із сучасною технікою, тому і огляд розробок необхідно робити, спираючись на сучасну приводну техніку та літературу по моделюванню, по теорії частотного керування та перетворювальної техніки.

Інтенсивність оновлення та удосконалення сучасної приводної техніки дуже висока, хоча і поступається інтенсивності оновлення комп'ютерної техніки.

Важливо робити огляд не тільки новішої літератури, але розглядати і видання

минулих років, тому, що обмаль фахових підручників та іншої навчальної літератури з теорії електропривода.

В даний час дуже значно зросла роль автоматизованих систем, заснованих на теоріях частотного регулювання швидкості електроприводів, застосування напівпровідникової техніки, перетворювачів і досягнення суміжних наук: фізики, математики, електроніки, обчислювальної техніки. Широке застосування отримали аналогові і цифрові пристрої для систем електроприводів. Це призвело до розвитку швидкодіючих електроприводів на основі спеціальних електричних машин з високими динамічними характеристиками.

До останнього часу на кранах ще широко використовується найпростіший і дешевий реостатний електропривод з асинхронним двигуном з фазним ротором, коли пускові й гальмові режими, регулювання швидкості відбуваються за рахунок уведення резисторів у ланцюг ротора. Але в багатьох випадках він не задовольняє вимогам, пропонованим до сучасних кранів, що працюють у напруженому режимі, крім того, його використання супроводжується значними втратами в ланцюгах двигуна з фазним ротором, а тому й підвищеним споживанням електроенергії.

Але в умовах енергетичної кризи й у зв'язку з ростом цін на електроенергію проблема енергозбереження здобуває особливу актуальність і має велике практичне значення [7]

Завдяки розробкам вчених і випуску промисловістю сучасних серійних асинхронних електроприводів у якості альтернативних для діючих кранів можуть використовуватися й уже експлуатуються електроприводи змінного струму з перетворювачем напруги (ПН-АД) [6,9] і з перетворювачем частоти (ПЧ-АД). Останній, як відомо, характеризується значно меншими втратами в самому двигуні. Ці електроприводи більш складні, чим реостатне регулювання, дорожче їх, але задовольняють майже всі вимоги будь-яких кранових механізмів. У літературі до останнього часу немає конкретних рекомендацій з використання альтернативних електроприводів для кранів. Саме тому сьогодні існує проблема визначення доцільності використання того або іншого електропривода для кранів по сукупності показників.

Розглянемо й зіставимо такі чотири типи асинхронного електропривода:

- групу електроприводів з реостатним регулюванням;
- електропривод «Перетворювач напруги — асинхронний двигун» (ПН-АД);
- електропривод «Перетворювач частоти — асинхронний двигун» (ПЧ-АД) з резисторним гальмуванням;
- електропривод ПЧ-АД із блоком рекуперації.

Незважаючи на те, що область застосування напівпровідникових перетворювачів у крановому електроприводі постійно розширюється, більшість масових кранів дотепер оснащені більш простими й дешевими типовими електроприводами, що формують далекі від бажаних механічні характеристики [6].

Так, в [14] розглядається електрообладнання кранів, схеми керування з використанням контакторно-релейної безконтактної апаратури.

Однак для сучасного кранового електропривода існує тенденція використання для них напівпровідникових перетворювачів.

У роботах, присвячених крановому асинхронному електроприводу, розглядаються різні варіанти, їх властивості й характеристики. Докладно досліджуються можливості мікропроцесорного керування сучасними електроприводами, доцільність оптимального керування крановими механізмами. Чимало публікацій останнім часом присвячені впливу сучасних перетворювачів на поліпшення динамічних режимів кранових електромеханічних систем [11].

В сучасній літературі [6,22] в якості основного типу регульованого асинхронного електропривода з двигунами з короткозамкненим ротором розглядається частотно-регульований електропривод, який дозволяє задовольнити вимоги як по діапазону, так і по якості регулювання частоти обертання й відпрацьовувати задані закони руху.

Основними елементами частотно-регульованого електропривода є випрямляч, інвертор, асинхронний чи синхронний двигун та програмований мікроконтролер.

Проблеми автоматизації режимів роботи електроприводів змінного струму, зокрема й електроприводів на основі асинхронних двигунів з короткозамкнутим

ротором (АДКЗ), досліджуються в роботах [13,14]. В літературі наведений математичний опис (АДКЗ) у розімкненій системі керування при частотному регулюванні. Основними засобами частотного керування є: скалярне частотне регулювання; векторне поліорієнтоване керування; пряме керування моментом.

Питання математичного моделювання електромеханічних систем наведені в [8].

Загальний стан розробки обраної теми показує, що вона відображена у великому масиві джерельного матеріалу.

Проведений літературний огляд показав, що рекомендується використовувати різні математичні моделі дослідження систем регулювання швидкості автоматизованого електропривода.

Огляд розробок сучасної приводної техніки.

Класичною структурою ЕП змінного струму в останній час стала структура на базі дволанкового перетворювача частоти (випрямляч-фільтр-інвертор-АДКЗ), розгляданню якої і надається перевага в даній роботі.

Останнє десятиліття ХХ століття в області регульованого електропривода відзначене в промислово розвинених країнах бурхливим зростанням виробництва електронної перетворювальної техніки, спеціалізованої для керування двигунами змінного струму, насамперед асинхронними. Регульований електропривод на цій базі проникає практично в усі технології, засновані на перетворенні електричної енергії в механічну. Цей процес іде повсюдно.

Значна увага вітчизняною наукою приділялася електронному перетворювачу для електропривода.

Вакуум, пов'язаний з відсутністю великого виробництва сучасних вітчизняних перетворювачів для регульованих електроприводів, з успіхом заповнили близько двох десятків закордонних фірм.

Вітчизняне виробництво, яке повинне домінувати на ринку власної країни й створювати експортний потенціал, виконує лише роль провайдера закордонних технологій і розробок.

На світовому ринку перетворювальної техніки відокремилися наступні

фірми-лідери: SIMENS, Shneider Electric, Control Technique, ABB, Lenze, які випускають ЕП змінного струму [11].

Перетворювачі частоти Siemens.

Німецька компанія Siemens - один із провідних світових виробників електроприводів, призначених для керування двигунами постійного і змінного струму. Найбільш відомі ПЧ Micromaster для регулювання трифазних електродвигунів, які мають діапазон потужностей 120 Вт при однофазному живленні і до 75 кВт - при трифазному.

Перетворювач частоти Altivar (Schneider Electric).

Міжнародна компанія Schneider Electric, заснована в 1836 р. Це один зі світових лідерів в області виробництва електротехнічного обладнання низької напруги й засобів автоматизації. Найчастіше ПЧ Altivar застосовуються в підйомно-транспортному й фасовочно-пакувальному обладнанні, спеціальних механізмах, вентиляторах і установках кондиціонування повітря, насосах і компресорах

Перетворювачі частоти Control Techniques.

Control Techniques (Великобританія) - один із провідних світових виробників приводної техніки й систем керування електроприводами. ПЧ Control Techniques серії Unidrive SP характеризуються гнучкою системою налаштування та забезпечують істотну економію енергії й високий ККД системи.

Перетворювачі частоти ABB.

ABB - міжнародний електротехнічний концерн, що спеціалізується на виробництві силового обладнання для виробництва, передачі й розподілу електроенергії. Компанія випускає низьковольтні ПЧ двох серій. АС (компонентні приводи) - приводи для масового застосування у всіх областях промисловості і у комунальній сфері. ПЧ ACS (ACS550, ACS350, ACS 150 і ін.) - промислові й системні приводи для застосування в сферах, що вимагають високих показників якості регулювання

Перетворювачі частоти Lenze.

ПЧ Lenze має декілька серій, які „спеціалізуються” для різних задач автоматизації технологічних процесів: від керування насосами і вентиляторами

(серія Lenze 8200 SMD) до задач з підвищеною динамікою та точністю регулювання (серія Lenze 9300 Vector).

Сучасні, високоефективні комплектні електроприводи нового покоління відомих виробників Delta Electronics сериї VFD-C2000, Danfoss VLT Automation Drive FC, SED2. Micromaster 440 від Siemens, серії Altivar від Shneider Electric, OMRON Varispeed F7, Toshiba AS3, Elettronica Santerno SINUS K та багато інших насамперед виділяються своєю надійністю, зручністю та універсальністю. Вони широко використовуються в різних застосуваннях по усьому світу.

Таким чином, сучасна перетворювальна приводна техніка, робить великі кроки на шляху свого розвитку, постійно вдосконалюючись і цим підвищуючи якість технологічних процесів.

1.3 Опис об'єкту дослідження. Портальний кран типу Ганц

В даний час портальні крани залишаються основним устаткуванням причалів універсального призначення. За допомогою портальних кранів перевантажується майже половина вантажів портів.

Транспортний і перевантажувальний процеси морського порту включають доставку вантажів у порт; вивантаження їх із суден, залізничного й автомобільного транспортування; збереження нагромаджених вантажів у складах; навантаження на судна, залізничний і автомобільний транспорт для відправлення за межі порту.

Основними для перевантажувального процесу є варіанти прямого вантажу і з перевалкою вантажів.

Прямий варіант: вантажі із судна перевантажують портальними кранами чи другими перевантажувальними машинами, установленими на причалі, у залізничний чи автомобільний транспорт і відправляють з порту.

Варіант із перевалкою вантажів: вантажі із судна вивантажуються на причал, потім транспортують на склади навантажувачами, тягачами з причепами, автомобілями чи іншими машинами внутрішньопортового безрейкового транспорту; зі складів їх перевозять на причал для навантаження в судна,

залізничний чи автомобільний транспорт для відправлення з порту. Може бути також зворотний варіант, коли вантажі в порт надходять на залізничному чи автомобільному транспорті і після зберігання (нагромадження) на складах відправляють з порту на судах.

Технологічний перевантажувальний процес являє собою сукупність і послідовність технологічних операцій, виконуваних з вантажами по заданому варіанті навантажувально-розвантажувальних робіт.

Перспективи розвитку кранобудування відповідають зростаючим вимогам піднімальних кранів – галузей, що обслуговують портове господарство. Одна з головних задач - збільшення вантажопідйомності й основних параметрів піднімальних кранів – довжини прольотів, вильоту стріли, висоти підйому вантажу, а також збільшення маневреності пересувних кранів і т.п., що спрямовано на розширення сфери їхнього використання.

Істотним є підвищення продуктивності, для чого передбачається збільшення швидкостей робочих рухів, використання автоматичних вантажозахватних пристроїв і впровадження автоматичних систем керування.

1.3.1 Загальна характеристика кранових механізмів

На промислових підприємствах найпоширенішим і універсальним підйомно-транспортним обладнанням є кран [1].

Кран призначений для підйому й переміщення вантажів при проведенні будівельних, монтажних, ремонтних, вантажно-розвантажувальних і інших робіт.

Електричні крани різних конструкцій зустрічаються майже у всіх галузях транспортного господарства. У цехах металургійних і машинобудівних заводів працюють мостові крани, на рудних дворах заводів і вугільних складів електричних станцій - порталні і козлові перевантажувальні крани, на будівництві - баштові, кабельні і т. д. Крім стаціонарних кранів, що працюють у межах визначеної території, велику питому вагу, особливо в міському і транспортному господарстві, мають пересувні крани: автомобільні, гусеничні, залізничні і плавучі.

Більшість вузлів кранового устаткування, особливо зв'язаних з механізмами підйому і пересування, виконується однотипним для багатьох конструктивних варіантів кранів.

Портальні крани - це повноповоротні стріловидні крани, що встановлюються на жорстких просторових рамах які пересуваються по рейках - П - подібних порталів або Г - подібних напівпорталів. Наявність portalу або напівportalу є характерною особливістю порталних кранів, що додає їм своєрідну подобу і що дозволяє як найповніше використовувати наземні площі шляхом вільного пропуску під краном залізничних складів, перекриваючи залежно від конструкції один (колія 6 м), два (колія 10 м або 10,5 м) або три (колія 15,3 м) залізничних шляхів.

Портальний кран — це універсальна перевантажувальна машина періодичної дії, як правило, що має електричний привод з живленням від берегової електричної мережі.

Основні елементи portalу — ноги, що спираються на ходові візки, з'єднані у верхній частині пролітною будовою. Колеса візків опираються на підкранові колії, по яких переміщається кран. Розміри portalу підбираються з таким розрахунками, щоб між його ногами могли проходити поїзди.

Основними технічними параметрами порталних кранів є: вантажопідйомність, виліт стріли найбільший і найменший, висота підйому над головою рейки, глибина опускання від головки рейки, колія portalу, швидкість робочих рухів - підйому й опускання вантажу, зміни вильоту стріли, пересування крана, частота обертання.

Номінальні швидкості руху робочих органів кранів регламентовані стандартами на різні типи вантажопідйомних машин.

Як правило, вантажопідйомність порталних кранів знаходиться в межах $3\div 32$ т, однак іноді порталні крани бувають сконструйовані на значно більшу вантажопідйомність ($50\div 160$ т). Висока вантажопідйомність обумовлює високе енергоспоживання, у зв'язку з чим питання енергозбереження для порталних кранів здобуває особливе значення.

Портальний кран має наступні рухи: підйом (опускання) вантажу, зміну вильоту стріли, поворот навколо балера, пересування порталу по підкранових коліях.

Відповідно до цього портальний кран має механізм підйому, механізм зміни вильоту стріли, механізм повороту й механізм пересування.

Сучасні портальні крани роблять з індивідуальними приводами всіх механізмів, що забезпечують підйом і опускання вантажу, зміну вильоту стріли, частоту обертання поворотної частини і пересування крана.

Розглянувши загальну характеристику кранового електроустаткування, робимо висновок, що для ведення робіт у морських та річкових портах по вивантаженню і пересуванню вантажів у повторно-короткочасному режимі, а також при добудові малотоннажних суден та стапельних роботах на суднобудівних заводах, може бути застосований портальний перевантажувальний повноповоротний кран типу Ганц 6/5 (КПП).

Портальний кран «Ганц» вироблявся угорським судно-кранобудівним заводом «Hanz» (Budapest). Вважається одним із кращих і надійних кранів, завдяки продуманим конструкторським рішенням для навантаження-розвантаження вантажів у порту й на промислових складах. Кран відповідає всім міжнародним стандартам якості.

1.3.2 Призначення та технічні характеристики портального крана Ганц

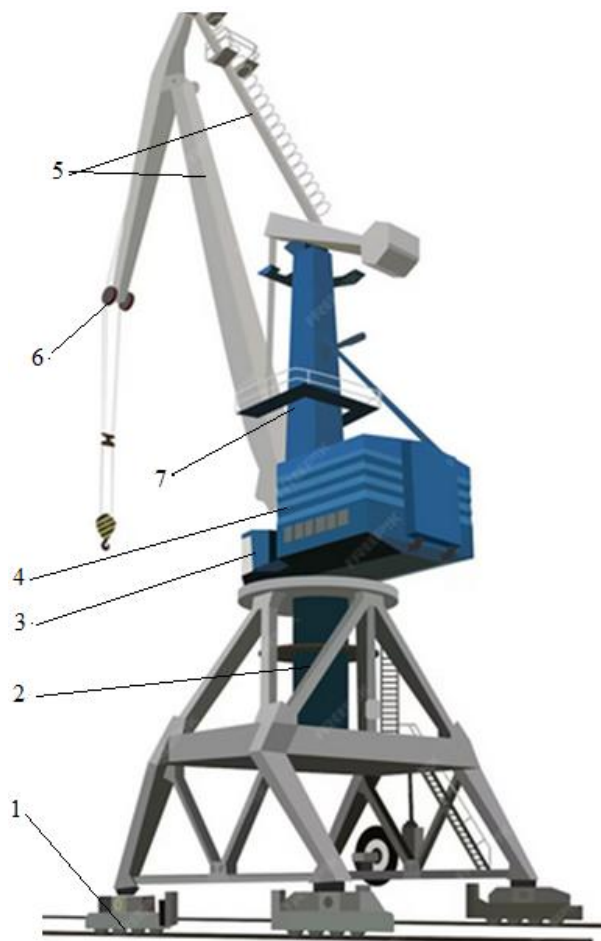
У роботі розглянутий портальний перевантажувальний, повноповоротний кран GANZ (Ганц) вантажопідйомністю 16 тонн, призначений для змішаного режиму роботи з гаком і грейфером. Портальний кран Ганц вироблявся угорським судно-кранобудівним заводом Hanz (Budapest). Вважається одним із кращих і надійних кранів, завдяки продуманим конструкторським рішенням для навантаження-розвантаження вантажів у порту й на промислових складах. Кран відповідає всім міжнародним стандартам якості.

Загальний вид крана представлено на рисунку 1.2.

Портальний кран по своєму конструктивному виконанню й по своїй функції складається із двох частин: з неповоротної й поворотної частин крана.

На поворотній частині крана розміщаються три механізми головних рухів крана: механізму підйому, повороту й зміни вильоту стріли.

Механізми підйому й повороту крана розміщаються у великому машинному відділенні, а механізм зміни вильоту крана розміщається у верхньому невеликому машинному відділенні, закріпленому на стійці вежі. У великому машинному відділенні розміщаються також головні вузли електроустаткування крана, вони розміщаються в спеціальних електричних комутаційних шафах керування. На рівні машинного відділення розміщається й кріпиться також кабіна керування краном, доступ до неї можливий також через машинне відділення крана.



- 1 – механізм переміщення; 2 – колона; 3 – механізм повороту; 4 – механізм підйому;
5 – стрілова система; 6 – вантажопідйомні органи; 7 – механізм вильота стріли

Рисунок 1.2 - Загальний вид крана Ганц

Технічні характеристики крана наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики крана Ганц г/п 16-32 т [20].

Вантажопідйомність крана	16 т при вильотах від 10 до 32 м 32 т при вильотах від 10 до 21 м
Висота підйому	25 м у крюковому режимі роботи
Глибина опускання вантажу	15 м
Робочі швидкості механізмів	механізм підйому 0-60 м/хв; механізм повороту 0-1,2 об/хв; механізм пересування 0-35 м/хв
Конструкційні дані порталного крана	ширина колії порталу: 10,5 м конструкційна маса крана: 235 тонн тиск на ходові колеса: 220 кН
Дані по групах режимів роботи з FEM	несуча конструкція: А4, механізми зміни вильоту, повороту, пересування: М6
Дані по навколишньому середовищу	температура навколишнього середовища: від – 20 до + 40 °С; найбільша відносна вологість повітря: 90 %; робоча швидкість вітру: 72 км/год; найбільша неробоча швидкість вітру: 150 км/год
Вантажопідйомний електромагніт	діаметр 1900 мм, на 20 кН, 220В DC
Крюкова підвіска	на 200 кН
Дані по окремих механізмах крана: - механізм підйому - механізм зміни вильоту - механізм повороту - механізм пересування	(швидкості переміщень механізмів регулюються від 0 до номінального значення) 2х100 кВт, 60/30 м/хв; 28 кВт, 50 м/хв; 2х31 кВт, 1,5/хв; 4х10 кВт, 26 м/хв
Власна маса	186 т

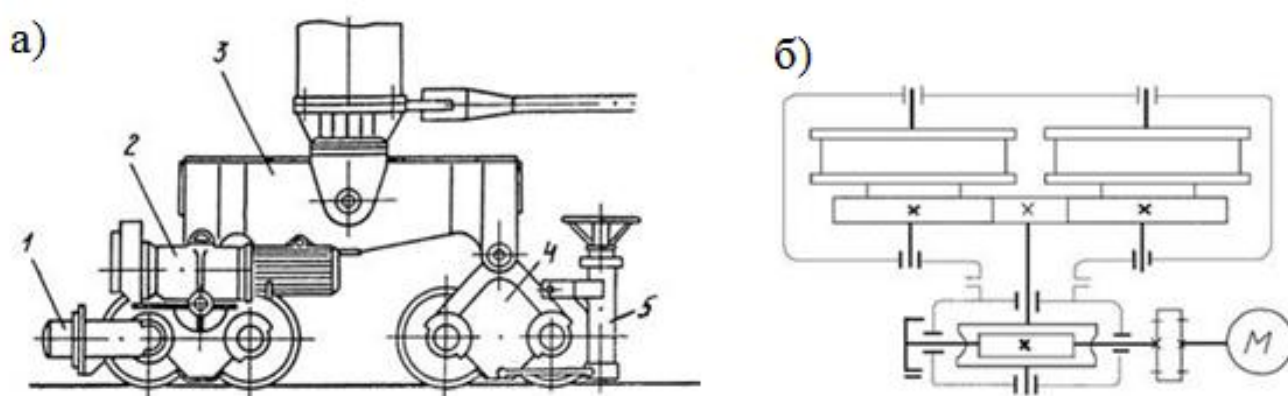
Неповоротна частина крана практично являє собою конструкцію порталу крана в комплекті з механізмами пересування й закріплену на ній неповоротну частину колони.

Механізм підйому крана являє собою два приводні пристрої великої потужності, виходячи з вимог забезпечення умов змішаного режиму роботи (з гаком і грейфером).

На швидкохіднім валу редуктора, відповідному до частоти обертання приводного електродвигуна, установлені по два гальмові пристрої з гальмовими колодками, які призначені для безпечного загальмовування механізму й для фіксації механізму. Для втримання вантажу в конструкції гальмових пристроїв застосовуються електрогідравлічні гальмові пристрої, завдяки яким забезпечується втримання вантажу у випадку зникнення напруги на крані. Механізм зміни вильоту стріли крана виготовляється у вигляді конструкції із зубчастою рейкою. Механізм зміни вильоту стріли досить великої потужності також постачений гальмовим пристроєм, гальмовим шківом.

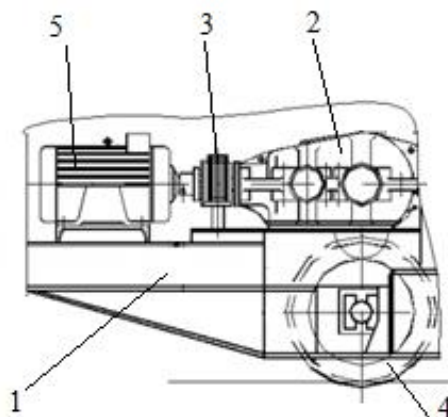
Механізм пересування. Під кожною ногою порталу розташований механізм пересування, що складається з ходових коліс крана діаметром 500 мм. Ходові візки крана через балансирні пристрої приєднуються до ніг порталу.

Приклад розташування приводних і не приводних коліс та механізм пересування крана наведені на рисунках 1.3 та 1.4.



а - ходові візки портального крана: 1 - буфер; 2 - приводний візок; 3 - балансир; 4 - холостий візок; 5 - протиугінний захват; б - кінематична схема приводного візка

Рисунок 1.3 - Розташування приводних і не приводних коліс візка



1 - рама візка, 2 - циліндричний горизонтальний редуктор, 3 - муфта, 4 - ходове колесо, 5 - електродвигун

Рисунок 1.4 - Механізм пересування портального крана

У якості приводних пристроїв застосовуються короткозамкнені асинхронні кранові електродвигуни, які являють собою двигуни, вбудовані разом з гальмовим пристроєм, тобто вони постачені електромагнітним фіксуючим гальмовим пристроєм і вбудовані разом з редуктором механізму пересування.

Рейкові протиугінні захвати призначені для втримання портального крана в неробочому стані й забезпечують можливість надійної фіксації й закріплення крана в даному положенні.

Сучасні портальні крани роблять з індивідуальними приводами всіх механізмів, що забезпечують підйом і опускання вантажу, зміну вильоту стріли, частоту обертання поворотної частини і пересування крана.

Струм електроживлення відповідно до електричної потужності - 630 А.

1.3.3 Існуюча система керування

Принципова електрична схема електропривода механізму пересування крана з імпульсно-ключовим керуванням швидкістю асинхронних електродвигунів представлена на рисунку 1.5 [15].

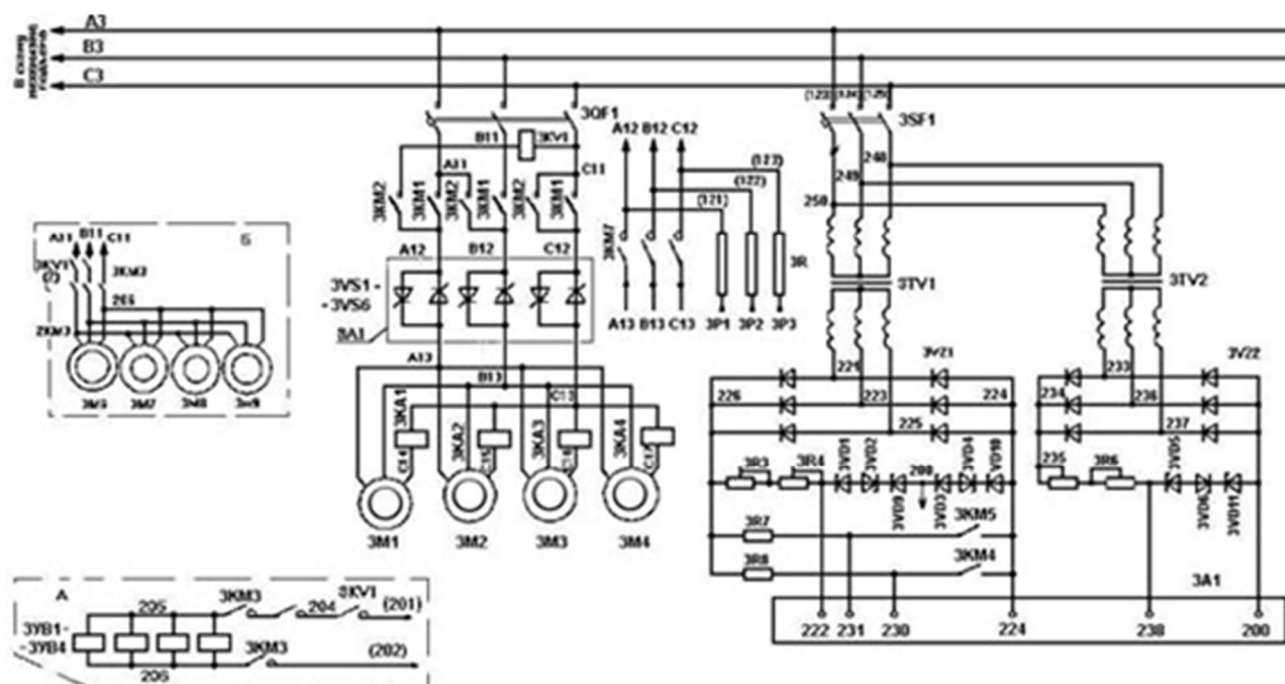


Рисунок 1.5 - Принципова електрична схема електропривода механізму пересування крана

Регулювання швидкості чотирирухового привода пересування здійснюється за допомогою трьох пар, з'єднаних зустрічно-паралельно тиристорів 3VS1.... 3VS6, включених у ланцюг статорів електродвигунів. Керування приводами здійснюється командоконтролером 3SA1, підключення приводу до мережі здійснюється реверсивним пускачем 3KM1 – 3KM2. Керування тиристорами регулятора забезпечується контакторами 3KM4 та 3KM5 через електронний блок керування 3A1 (плата керування та регулювання ПУР-2). Захист тиристорів від перенапруги забезпечується RC-ланцюжками 3R8÷3R10, 3C3÷3C5.

Схема забезпечує такі режими роботи привода:

- плавний розгін;
- малу швидкість при зниженій напрузі статора;
- робочий хід;
- вільний вибіг після переключення рукоятки командоконтролера з другої чи третьої позиції на першу.

Максимальний захист забезпечується максимальними реле 3KA1 - KA4 та автоматичними вимикачами 3QF1 та 3SF1 (для ланцюгів керування). Швидкість наростання моменту двигунів обумовлена швидкістю наростання завдання у блоці

керування ПУР-2, позначеному у схемі 3А1. При встановленні 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 гальмується і залишається на «підхопленні» на контактах 213 – 214. Одночасно контакт 3KM4 (230 – 224) підключає сигнал завдання Uzd1 в ПУР-2.

При перекладі 3SA1 на третю позицію включається пускач 3KM5, його контакт (231 - 224) подає до ПУР-2 сигнал завдання Uzd2 - тиристори повністю відкриваються.

При перекладі рукоятки 3SF1 на першу позицію пускача напрямку (3KM1 або 3KM2) відключається, знімається струм завдання в ПУР-2, залишається включеним (через контакти «підхоплення») контактор гальма – відбувається "вільний вибіг" крана. Для випадку відмови тиристорного регулятора у схемі передбачено пускач 3KM7 і резистори 3R, якими замінюється регулятор у разі відмови.

Як правило, вантажопідйомність порталних кранів знаходиться в межах 3-32т, однак іноді порталні крани бувають сконструйовані на значно більшу вантажопідйомність (50-160т). Висока вантажопідйомність обумовлює високе енергоспоживання, у зв'язку з чим питання енергозбереження для порталних кранів здобуває особливе значення. Вирішувати це питання можливо тільки за допомогою системи керування механізмами крана, тобто економія енергетичних ресурсів є одним з найбільш важливих питань при розробці нових систем керування кранів.

1.4 Висновки до розділу 1:

- виконано огляд літератури та розробок за темою;
- наведене призначення технологічного обладнання та класифікація порталних кранів;
- приведений опис та технічні характеристики порталного крана марки Ганц;
- наведена кінематична схема механізму пересування крана;
- приведена існуюча електрична схема привода механізму пересування та розглянута її робота.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження

Моделювання в наукових дослідженнях, яке почали застосовувати ще в глибоку давнину, охоплює нині все нові й нові сфери наукових знань. Однак методологія моделювання впродовж тривалого часу розвивалась незалежно від інших наук. Була відсутня єдина система понять, єдина термінологія. Лише згодом почали усвідомлювати роль моделювання як універсального методу наукового пізнання.

Термін «модель» широко використовується в різних сферах діяльності людини і має безліч семантичних значень. Розглядатимемо тільки такі моделі, котрі є інструментами для одержання нових знань.

Термін «модель» походить від латинського слова «modulus» — зразок, норма, міра.

Метод – спосіб досягнення мети, розв’язання конкретної задачі; сукупність прийомів (операцій) практичного впливу чи теоретичного освоєння об’єктивної дійсності з метою її пізнання [4].

Методика дослідження – це система правил використання методів, прийомів та способів для проведення будь якого дослідження. Свідоме застосування науково обґрунтованих методів слід розглядати як найсуттєвішу умову отримання нових знань. Дослідник, який добре знає методи дослідження і можливості їх застосування, витрачає менше зусиль і працює успішніше, ніж той, хто у своєму дослідженні спирається лише на інтуїцію або діє за принципом «спроб і помилок».

Методи наукового дослідження як явище - це елементи практичної діяльності дослідника (рухи, дії, операції роботи), які він використовує для виконання конкретних функцій на шляху до виявлення нових знань.

Методологія – це концептуальний виклад мети, змісту, методів дослідження, які забезпечують отримання максимально об'єктивної, точної, систематизованої інформації про процеси та явища .

Моделювання – метод, який ґрунтується на використанні моделі як засобу дослідження явищ і процесів природи. Під моделями розуміють системи, що замінюють об'єкт пізнання і служать джерелом інформації стосовно нього.

Моделі – це такі аналоги, подібність яких до оригіналу суттєва, а розбіжність – несуттєва. Моделі поділяють на два види: матеріальні та ідеальні. Матеріальні моделі втілюються у певному матеріалі – дереві, металі, склі і т. ін. ідеальні моделі фіксуються в таких наочних елементах, як креслення, рисунок, схема, комп'ютерна програма і т. ін.

Абстрагування (від лат. *abstrahere* – відволікати) — метод наукового пізнання, оснований на формуванні образу реального об'єкта шляхом відокремлення певних ознак, властивостей, зв'язків і відношень, що цікавлять дослідника, з одночасним ігноруванням багатьох інших другорядних його властивостей.

Конкретизація (від лат. *concretus* – густий, твердий) – метод дослідження предметів у всій різнобічності їх, у якісній багатосторонності реального існування на відміну від абстрактного вивчення предметів.

Системний аналіз – вивчення об'єкта дослідження як сукупності елементів, що утворюють систему. У наукових дослідженнях він передбачає оцінку поведінки об'єкта як системи з усіма факторами, які впливають на його функціонування.

Методи дослідження – це спосіб дослідження явищ і процесів, інструментарій отримання фактичного матеріалу, необхідна умова досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі.

Методологія магістерського дослідження.

Основні методи дослідження.

Метод – це сукупність прийомів чи операцій практичного або теоретичного освоєння дійсності, підпорядкованих розв'язанню конкретного завдання.

Загальні методи пізнання поділяються на три групи:

- методи емпіричного дослідження;
- методи теоретичного дослідження;
- універсальні методи.

Методи емпіричного дослідження:

- спостереження – цілеспрямоване вивчення об'єкта;
- порівняння – процес встановлення подібності або відмінностей предметів або явищ, а також знаходження загального, притаманного двом, або кільком об'єктам;

- вимірювання – це визначення числового значення певної величини за допомогою одиниці виміру;

- експеримент – це метод, за яким дослідник активно впливає на об'єкт завдяки створенню штучних умов.

Методи теоретичного дослідження:

- ідеалізація – це конструювання подумки об'єктів, які не існують насправді;
- формалізація – метод вивчення різних об'єктів шляхом відображення їхньої структури у знаковій формі (напр. математичні знаки);

- аксіоматичний – метод побудови наукової теорії, за якого деякі твердження приймаються без доведень;

- гіпотеза та припущення – це форма осмислення фактичного матеріалу, форма переходу від фактів до законів;

- історичний метод – дає досліднику формування і розвиток процесів і подій у хронологічній послідовності з метою виявлення зв'язків як закономірностей;

- системний підхід – комплексне дослідження великих і складних об'єктів (систем), як єдиного цілого із узгодженням функціонування усіх елементів.

Універсальні методи:

- абстрагування – відхід у думці від несуттєвих властивостей і виділення кількох рис, які цікавлять дослідника (види абстракцій: ототожнення, ізолювання, конструктивізація і т.п.);

- аналіз – метод, який дає змогу поділяти предмети на складові частини;

- синтез – припускає з'єднання окремих частин, або рис предмета в єдине ціле;
- індукція – перехід від часткового до загального, коли на підставі знання про частину предметів або класів робиться висновок про клас загалом;
- дедукція – висновок щодо якогось елементу множини робиться на підставі знання загальних властивостей всієї множини;
- моделювання – ґрунтується на використанні моделі, як засобу дослідження явищ і процесів природи та суспільства. Під моделями розуміють системи, що замінюють об'єкт пізнання.

Модель (від лат. *modulus* – «міра») – це певний умовний образ об'єкта дослідження, котрий замінює останній і перебуває з ним у такій відповідності, яка дозволяє отримати нове знання. Модель будується для того, щоб відобразити характеристики об'єкта (елементи, взаємозв'язки, структурні та функціональні властивості), суттєві з точки зору мети дослідження. Отже, моделювання пов'язане зі спрощенням узагальненням прототипу, абстрагуванням від низки його властивостей, ознак, сторін. Схема органу державного управління, наприклад, є її графічною моделлю, що відображує її структуру.

Характерною ознакою моделей можна вважати їх спрощеність стосовно оригіналу або реальної життєвої ситуації, яку моделюють. Спрощеність моделей є неминучою, тому що оригінал лише в обмеженій кількості відношень відображується в моделі. Надмірно спрощена модель, проте, може призвести до невідповідності з досліджуваним об'єктом, що унеможливило його вивчення. З іншого боку, врахування в моделі якомога більшої кількості властивостей, ознак, сторін об'єкта призводить до ускладнення процесу дослідження.

Метод моделювання передбачає, що об'єкт вивчається не безпосередньо, а шляхом дослідження іншого об'єкта, який в певному відношенні є аналогом першого. Математичне моделювання як кількісний інструментарій дослідника по суті своїй належить не тільки математиці - воно має самостійне значення і свою історію. Примітно, що один і той же математичний апарат зустрічається в описі різних об'єктів в різних наукових дисциплінах. Тим самим математичне

моделювання є міждисциплінарною категорією. Під математичним моделюванням розуміється, зазвичай, вивчення явища за допомогою його математичної моделі.

Модель є цільовим відображенням об'єкта-оригіналу, що виявляється у множинності моделей одного й того ж об'єкта, тобто для різних цілей або завдань дослідження можна будувати різні моделі, тому ціль або завдання дослідження визначають, які саме ознаки системи мають бути відображені в моделі. Процес дослідження реальних систем, що охоплює побудову моделі, дослідження її властивостей і перенесення одержаних відомостей на реальну систему, називають моделюванням.

Вибір методів дослідження

Кожна наука має певну сукупність методів проведення досліджень при вивченні власного предмета, яку можна класифікувати на такі групи:

- методи накопичування фактів, що мають відношення до об'єкта дослідження (спостереження, реєстрація, вимірювання);

- методи описування фактів або властивостей ідеалізованого об'єкта дослідження та факторів, що відбивають ці властивості, а також явищ (процесів), що досліджуються, розвиток яких визначається цими факторами;

- методи аналізу фактів, властивостей, факторів і явищ за різними показниками і критеріями (оцінка, зіставлення, порівняння, класифікація, впровадження, систематизація);

- методи обґрунтування наукових висновків, серед яких мають бути такі методи: побудови (синтезу), доведення, оцінки достовірності;

- методи вибору і обґрунтування наукових рекомендацій, у т.ч. методи побудови (синтезу), оцінки й оптимізації;

- методи інтерпретації та експериментальної перевірки висновків і рекомендацій;

- методи техніко-економічної оцінки рекомендацій.

Серед відомих методів дослідження складних електромеханічних систем можна виділити фізичне, імітаційне, аналогове та математичне моделювання.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, яка відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні та функціональні характеристики та властивості оригіналу (але не обов'язково всі властивості) та має великі можливості з визначення різноманітних якостей електромеханічних систем ті їх елементів.

Метод математичного моделювання ґрунтується на здатності математично описувати рівняннями різні за природою явища (процеси) та виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

При математичному моделюванні застосовуються аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число факторів, завжди потребують деяких припущень та спрощень. Проте вони більше пристосовані для пошуку оптимальних рішень.

В цій роботі проводиться дослідження системи керування електропривода механізму пересування порталного крана. Тому для моделювання перехідних процесів використовується комп'ютерна модель.

Комп'ютерна модель (або чисельна) [8] – комп'ютерна програма, яка реалізує абстрактну модель деякої системи. Комп'ютерні моделі використовуються для отримання нових знань про об'єкт, що моделюється або для приблизної оцінки поведінки математичних систем, які досить складні для аналітичного дослідження. Комп'ютерні моделі простіші та їх зручніше досліджувати в силу можливості проводити обчислювальні експерименти в тих випадках, коли реальні експерименти немає можливості проводити через фінансові труднощі або фізичні перешкоди. Для підтримки математичного моделювання розроблені системи комп'ютерної математики, наприклад, Maple, Mathematica, Mathcad, MATLAB, VisSim та інші. В даній роботі використовується програма Simulink пакету MATLAB.

2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження

Алгоритм магістерського дослідження представлений структурно-логічною схемою у вигляді табличної інформаційної моделі (таблиця 2.1) [5].

Таблиця 2.1 – Структурно-логічна схема магістерського дослідження

Дослідження системи керування електропривода механізму пересування порталного крана	
Складання індивідуального календарного плану роботи	
Пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини	Тенденції розвитку сучасного кранового обладнання. Аналіз існуючих тенденцій в сучасному автоматизованому електроприводі."
	Огляд літератури та розробок за темою
Опис об'єкту дослідження	Загальна характеристика кранових механізмів
	Аналіз існуючих типів електродвигунів, обґрунтований вибір двигуна
	Аналіз та вибір системи керування обраним двигуном
Опис процесу дослідження	Розгляд методу частотно-струмового керування
	Моделювання перехідних процесів та аналіз результатів
Узагальнення результатів моделювання	Інтерпретація отриманих результатів дослідження
	Формулювання висновків
Узагальнення науково-теоретичних результатів	
Розробка заходів з охорони праці при роботі з електрообладнанням кранів	
Реалізація отриманих результатів у навчальний процес	

Данна схема складена на підставі головних завдань магістерського дослідження і наочно відображає його послідовність: мотивацію; формулювання проблеми дослідження; пошук теоретичної основи розв'язання проблеми; розв'язання проблеми. Вона показує процедуру (алгоритм) дослідження і

установлює логічну послідовність виконання структурних розділів і підрозділів магістерської роботи.

2.3 Вибір методу вирішення поставленої задачі дослідження

Дана магістерська робота не передбачає проведення експериментальних досліджень, має теоретичний характер, тому для розв'язання поставлених завдань були використані такі методи: теоретичний аналіз технічної літератури з проблеми дослідження, а також систематизація та узагальнення попередніх досліджень.

Основним методом для відображення отриманих результатів є моделювання.

Залежно від форми подання об'єкта моделювання поділяють на реальне та абстрактне.

При реальному моделюванні використовують можливість дослідження характеристик на реальному об'єкті чи на його частині, а при натурному – проводять дослідження на реальному об'єкті з подальшим обробленням результатів експерименту на основі теорії подібності.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, що відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні і функціональні властивості "оригіналу" і володіє великими можливостями по визначенню різних якостей електромеханічних систем та їх елементів.

Абстрактне моделювання має різні види: наочне, символічне, математичне. Метод математичного моделювання заснований на здатності математично описувати рівняннями різноманітні за природою явища (процеси) і виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи [20].

При математичному моделюванні застосовують аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число чинників, завжди вимагають деяких припущень і спрощень, проте вони більш пристосовані для пошуку оптимальних рішень. Статистичні методи в порівнянні з математичними більш громіздкі.

Дослідження математичної моделі дає змогу отримати характеристики реального об'єкта чи системи. Вигляд математичної моделі залежить як від природи системи, так і від завдань дослідження. Математична модель системи містить, як правило, опис множини можливих станів системи та закон переходу з одного стану в інший. Математичне моделювання охоплює імітаційне, інформаційне, структурне, ситуаційне тощо.

На етапі вибору математичної моделі встановлюються: лінійність і не лінійність об'єкта, процесу або системи, динамічність або статичність, стаціонарність або не стаціонарність, а також ступінь детермінованості досліджуваного об'єкта чи процесу. При математичному моделюванні свідомо відволікаються від конкретної фізичної природи об'єктів, процесів або систем і, в основному, зосереджуються на вивченні кількісних залежностей між величинами, що описують ці процеси.

Розрахунок задач магістерського дослідження проводиться за допомогою електронної обчислювальної техніки за допомогою програми Mathcad. На базі складених диференціальних рівнянь проводиться математичне моделювання системи керування електропривода. За допомогою програми Simulink пакету Matlab досліджуються перехідні характеристики системи при зміні задавальних параметрів.

Метод моделювання – вивчення явищ за допомогою моделей – сьогодні має особливе значення для вирішення складних фізичних завдань, чому значною мірою сприяє зростання продуктивності комп'ютерної техніки. Саме тому в цьому магістерському дослідженні як основа використаний метод моделювання.

2.4 Висновки до розділу 2:

- вибраний та обґрунтований метод наукового дослідження.;
- побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження;
- обґрунтований вибір методу розрахунку задачі і показано, що метод математичного моделювання дозволяє досліджувати перехідні режими в електроприводі механізму пересування порталного крана.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Розрахунок потужності і вибір двигуна механізму пересування портального крана

Портальні крани переміщуються по рейковій колії за допомогою механізмів із приводними колесами. Згідно з вимогами, ходові колеса повинні бути двоохребордними й виготовлятися зі сталі кутими, катаними, штампованими або литими. Допускається застосовувати ходові колеса, виготовлені з високоміцного чавуну з кулястим графітом.

Механізм пересування крана складається з 4-х шестиколісних візків. Якщо число візків під опорою більше однієї, то їх поєднують системою балансирів (рисунок 3.1) [1].

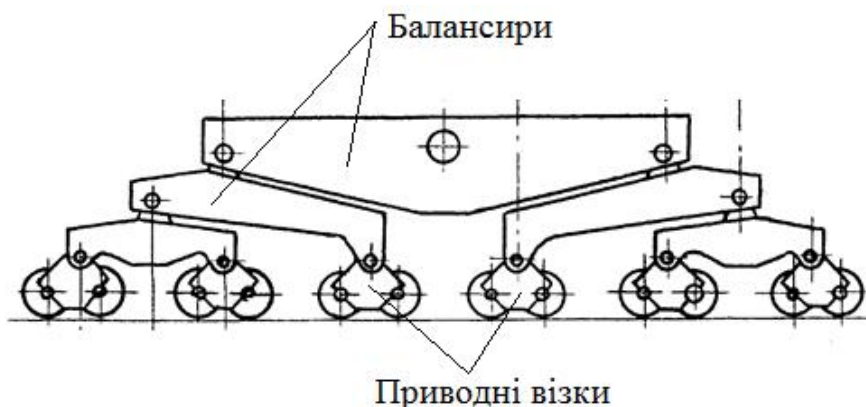
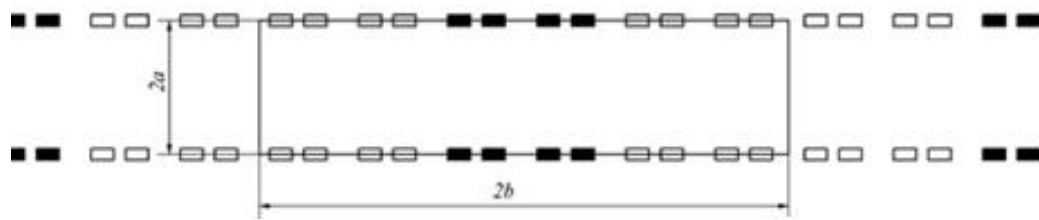


Рисунок 3.1 - Компонувальна схема опорних візків та схема балансирів механізму пересування

Вихідні дані для розрахунку: вага вантажу $= 16 \text{ т (160 кН)}$, вага крана $G_{кр} = 186 \text{ т (1860 кН)}$, швидкість пересування - $0,33 \text{ м/с.}$, діаметр ходового колеса - 50 см , діаметри його цапфи - 10 см .

На рисунку 3.2 показана схема до розрахунку механізму пересування портального крана "Ганц" вантажопідйомністю 16 т .



■ — приводне колесо; □ — холосте колесо; $2a$ — колія;

$2b$ — база опорного контуру

Рисунок 3.2 - Схема розташування ходових коліс портального крана

Розрахунки опорів пересуванню й потужності привода [12].

При пересуванні кранових візків по рейковому шляху опір пересуванню визначається як сума опорів W_O , кН:

- від тертя в ходовій частині W_{TP} ;
- від ухилу шляху $-W_Y$;
- від сили тиску вітру $-\pm W_B$;
- сили інерції при нерівномірності рухів $-W_I$.

$$W_O = W_{TP} \pm W_Y \pm W_B + W_I.$$

Опір тертя залежить від навантаження на ходові колеса, діаметра коліс і їх цапф, коефіцієнтів тертя W_{TP} , кН,

$$W_{TP} = (G_{KP} + G_B) \cdot \frac{\mu \cdot d_{ц} + 2f}{D_K} \cdot K_P,$$

де G_{KP} й G_B - вага крана й вага вантажу, кН;

$\mu=0,01$ - коефіцієнт тертя в підшипниках кочення;

$f=0,05$ - коефіцієнт тертя катання колеса по рейці;

$D_K, d_{ц}$ - діаметри колеса і його цапфи, см;

$K_P=1,1 \div 1,5$ - коефіцієнт, що враховує тертя в ребордах і маточинах коліс.

$$W_{TP} = (1860 + 160) \cdot \frac{0,01 \cdot 10 + 2 \cdot 0,05}{50} \cdot 1,5 = 12 \text{ кН.}$$

Опір від ухилу шляху W_Y , кН,

$$W_y = (G_{KP} + G_B) \sin \beta = (G_{KP} + G_B) \cdot i,$$

де β - кут нахилу шляху, град.;

i - ухил шляху ($i = 0,001 \div 0,003$).

$$W_y = (1860 + 160) \cdot 0,002 = 4 \text{ кН.}$$

У сумарний вітровий опір входить опір від впливу вітру на конструктивні елементи крана - W_{KP} і на вантаж - W_G , тобто $W_B = W_{KP} + W_G$;

$$W_B = \sum P_B \cdot F_{Hi} \cdot K_{СП},$$

де P_B - вітровий тиск на одиницю розрахункової навітряної площі елемента конструкції; $P_B = 3,5 \text{ Н/м}^2$.

$K_{СП}$ - коефіцієнт суцільності (для суцільних поверхонь $K_{СП} = 1$, для механізмів $K_{СП} = 0,8 \div 1$, для ґратчастих ферм $K_{СП} = 0,2 \div 0,6$).

Приймаємо $K_{СП} = 0,8$.

F_{Hi} - розрахункова навітряна площа. Розрахункову навітряну площу вантажу визначають за фактичним даними або орієнтовно, залежно від його маси.

Для маси вантажу 16 т площа вантажу по таблиці з [14] - 14 м^2 .

$$W_B = 3,5 \cdot 14 \cdot 0,8 = 40 \text{ кН}$$

Опір від сил інерції визначається

$$W \frac{(m_{KP} + m_B) \cdot v_{пер}}{t_p},$$

де m_{KP} й m_B - відповідно маса крана й вантажу;

$v_{пер}$ - швидкість пересування крана (візка). $v_{пер} = 0,33 \text{ м/сек}$;

t_p - час розгону механізму до мінімальної швидкості, яке не повинне перевищувати для кранів $8 \div 10 \text{ сек}$.

$$W_u = \frac{(186 + 16) \cdot 0,33}{10} = 6,6 \text{ кН.}$$

Тоді $W_O = 12 + 4 + 40 + 6,6 = 62,6 \text{ кН}$.

Статична потужність двигунів, при усталеному русі проти вітру й подоланні

ухилу шляху для кранів, що працюють на відкритих майданчиках, визначається по формулі N_{CT} , кВт,

$$N_{CT} = \frac{W_O \cdot v_{пер}}{\eta_O},$$

де η_O - загальний ККД механізму пересування (у попередніх розрахунках можна приймати $\eta_O = 0,7 \div 0,85$). Приймаємо $\eta_O = 0,8$.

$$N_{CT} = \frac{62,6 \cdot 0,33}{0,8} = 25,7 \text{ кВт.}$$

Абсолютна більшість порталних кранів мають індивідуальні незалежні приводи, встановлювані на кожній опорі portalу. У цьому випадку при виборі електродвигуна сумарну потужність підвищують на 25% і від неї приймають 1/4, тобто

$$N_{1-4} = \frac{1,25 \cdot N_{CT}}{4}, \quad N_{1-4} = \frac{1,25 \cdot 25,7}{4} = 8 \text{ кВт.}$$

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 [9].

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%.

Тому в якості привода ходових візків вибраний електродвигун перемінного струму з короткозамкнутим ротором.

З каталогу [2] вибираємо електродвигун АИР132М4У3. Основні технічні дані електродвигуна наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 -Технічні характеристики асинхронного електродвигуна

Параметр	Значення
Типорозмір	АИР132М4У3
Потужність електродвигуна P_H , кВт	11
Число пар полюсів	4
Синхронна частота обертання ротора, об/хв.	1500
Номінальна частота мережі f , Гц	50
Номінальна напруга U , В	380
Струм при 380 В, I_H , А	22,5
ККД %	88,4
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$,	0,84
Кратність пускового моменту, $\frac{M_{ПУСК}}{M_H}$	2,2
Кратність максимального моменту, $\frac{M_{MAX}}{M_H}$	2,3
Кратність пускового струму, I_P / I_H	7
Момент інерції ротора J_θ , кг·м ²	0,0349

3.2 Особливості електропривода механізмів горизонтального переміщення

До механізмів горизонтального пересування відносять механізми пересування кранів і вантажних візків, а також механізми повороту. Усі ці механізми мають реактивний (тобто не залежний від напрямку руху) момент навантаження [21].

Ідеальний електропривод механізму горизонтального пересування повинен забезпечувати жорсткі механічні характеристики (рисунок 3.3) у руховому й

гальмовому режимам. На відміну від механізму підйому гальмовий режим механізмів горизонтального пересування займає лише невеликий час циклу й виникає, як правило, при переході з вищих швидкостей на нижчі.

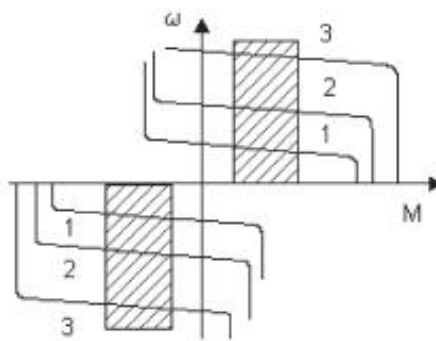


Рисунок 3.3 - Бажані механічні характеристики електропривода механізму горизонтального переміщення

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

Багато механізмів горизонтального пересування 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 пересування, тому що маса металоконструкції крана звичайно більше маси вантажу.

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

Алгоритм керування гальмом в електроприводах механізмів горизонтального пересування простіше, чим в електроприводах механізмів підйому. Через

реактивний момент навантаження зняття гальма в більшості випадків можна робити, не чекаючи, поки момент електродвигуна зросте до значення статичного моменту. Основною вимогою є накладення гальма при швидкості, близької до нульової, для зниження динамічних навантажень і зменшення зношування гальмових накладок.

Особливістю електроприводів горизонтального пересування є те, що більшість із них реалізуються як багатодвигунні приводи, наприклад, приводи механізмів пересування кранів і механізмів повороту. У цьому випадку електродвигуни можуть живитися як від одного перетворювача частоти (рисунок 2.4), 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, кожен двигун повинен бути обладнаний індивідуальним захистом від перевантаження у вигляді теплового реле (рисунок 3.4).

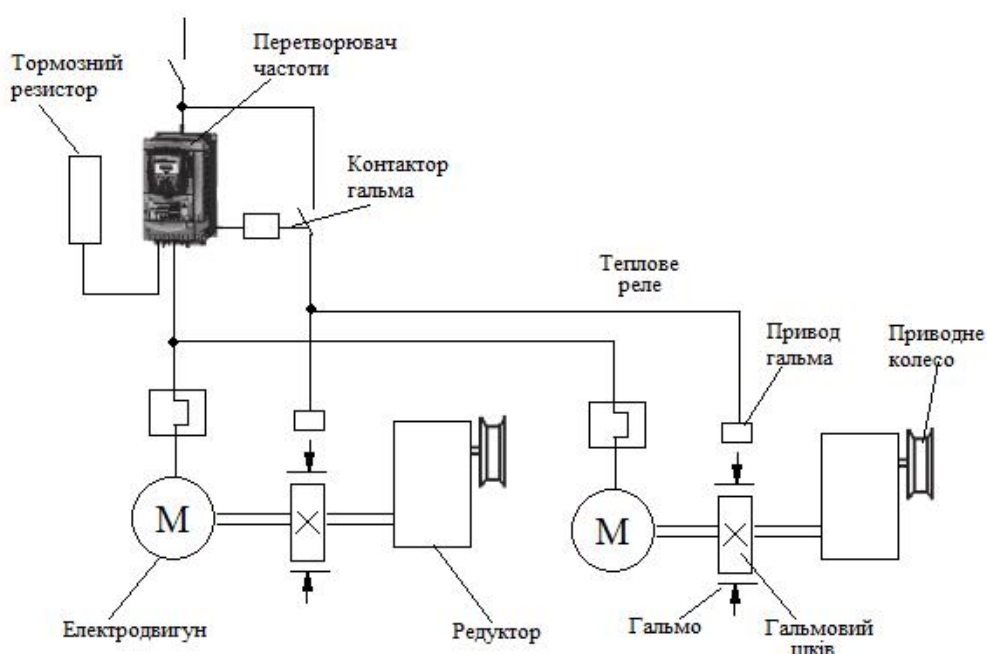


Рисунок 3.4 - Структурна схема електропривода механізму переміщення

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

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

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. Робота з навантаженням вище допустимого скорочує термін служби двигуна.

Економічність регулювання швидкості. Однакові показники - діапазон, стабільність, плавність і т.п. - 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.

3.3 Основні вимоги до систем керування електроприводів

Основні вимоги до кранових електроприводів (ЕП) [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 1960 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 приходить 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.п.);

- 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 %.

Портальні крани можуть працювати в важкому режимі роботи. Для механізму підйому число включень у час $n_{\text{вк}} = 600$, число включень за рік $S_{\text{к}} = 1,0 \div 1,6 \cdot 10^6$, число часів роботи за рік $T = 3000$.

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

3.4 Аналіз існуючих систем керування двигунами перемінного струму

При виборі типу електропривода для механізму пересування порталного крана за основний критерій приймемо вимоги по регулюванню швидкості.

В даний час для керування механізмами порталних кранів широко застосовуються такі системи керування [6,9]:

- 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 пересування і підйому. Застосовується двохзонне регулювання швидкості: вище і нижче основної. Забезпечує гарні регулювальні 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 пересування, має гарні регулювальні 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

повороту застосовуються асинхронні короткозамкнуті двигуни, що живляться від перетворювача частоти.

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 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.

Переваги векторного регулювання:

- точне відпрацьовування 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. 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

Проаналізувавши наявні засоби і системи керування швидкістю обертання асинхронного електродвигуна, приходимо до висновку, що для керування електроприводом механізму переміщення порталного крана доцільно використати тиристорний перетворювач з частотно-струмовою системою керування.

На основі проведеного аналізу існуючих типів керування двигунів перемінного струму для керування електродвигунами переміщення порталного крана доцільно застосувати перетворювач частоти Mitsubishi Electric FR-F740з **частотно-струмовою системою керування.**

3.5 Загальна характеристика й основні технічні дані перетворювача частоти Mitsubishi Electric FR-F740

Перетворювачі частоти Mitsubishi Electric FR- F740 являють собою серію високопродуктивних перетворювачів з функцією рекуперації енергії. FR-F740 – це новітня модель високофункціональної серії FR-A700 [18].

Перетворювачі Mitsubishi є енергозберігаючими пристроями та дозволяють забезпечити максимальне використання потужності приводу за мінімального споживання енергії. Оптимізація магнітного потоку забезпечує мінімальне споживання електроенергії та максимальну ефективність роботи приводу. Значний енергозберігаючий ефект досягається при глибокому регулюванні швидкості обертання, особливо на малих швидкостях, з використанням алгоритму регулювання за задньою характеристикою напруга/частота.

Перетворювач частоти Mitsubishi серії FR-F740 представляє собою багатофункціональний сучасний контролер для керування роботою асинхронних електродвигунів малої і середньої потужності.

Спектр застосування частотного перетворювача Mitsubishi дуже широкий, а саме: конвеєри; машини фармацевтичної промисловості; намотувальні машини; друкарські машини; крани та підйомні механізми; багатоярусні склади; екструдери; центрифуги; верстати та інше обробне обладнання, яке підтримує максимальну кількість обертів при значних змінах навантаження.

Частотний перетворювач Mitsubishi FR-F740-01160 простий у використанні, при цьому має величезний перелік функцій. З'єднання керуючих сигналів виконані у вигляді пружинних клем, що дозволяє легко і швидко вводити перетворювач в експлуатацію. Частотний перетворювач mitsubishi FR-F740 має вбудовану функцію безпечної зупинки. Частотний перетворювач Мітсубісі - малогабаритний, компактний пристрій, тому монтаж може проводитися у вигляді єдиного блоку.

Перетворювачі із серії Mitsubishi FR-F740 використовуються для вирішення різних задач:

- регулювання обертання й роботи електродвигуна;

- захист двигуна й устаткування в процесі роботи;
- рекуперація енергії гальмування;
- регулювання різноманітних параметрів виробничих процесів,
- використання як програмувальний контролер;
- автоматизація системи керування робочим устаткуванням;
- обмін інформацією з іншими пристроями й багато інших.

Переваги вибору перетворювачів FR-A741 від Mitsubishi Electric.

Можливості і переваги перетворювачів частоти FR-F740:

- вбудована функція рекуперації енергії;
- підвищені показники енергозбереження;
- удосконалена система монтажу приладу в шафу з економією простору;
- розширений функціонал;
- автоматична зміна частоти залежно від рівня навантаження;
- можливість підключення зовнішнього гальма;
- знімна панель керування;
- незалежне керування крутним моментом по чотирьом окремим квадрантам;
- наявність додаткових портів для обміну даними, включаючи стандартний порт USB і універсальний протокол Modbus;
- вбудований контролер (ПЛК) з можливістю завдання багатокрокових програм керування й ПД-регулювання;
- у порівнянні із традиційними системами електропривода, FR-F740 з інтегрованою функцією рекуперації енергії відрізняється значно більш високою енергозберігаючою здатністю.

Загальний принцип роботи перетворювачів частоти Mitsubishi FR-F740 стандартний і не відрізняється від роботи аналогів. Вхідна напруга мережі живлення, проходячи через пристрій серії FR-A741, перетворюється для подачі на двигун напруги з необхідними параметрами. Рівень напруги прямо впливає на частоту обертання.

3.5.1 Технічний опис перетворювача частоти FR-F740

На рисунку 3.5 показана загальна схема підключення перетворювача частоти лінійки FR-F740.

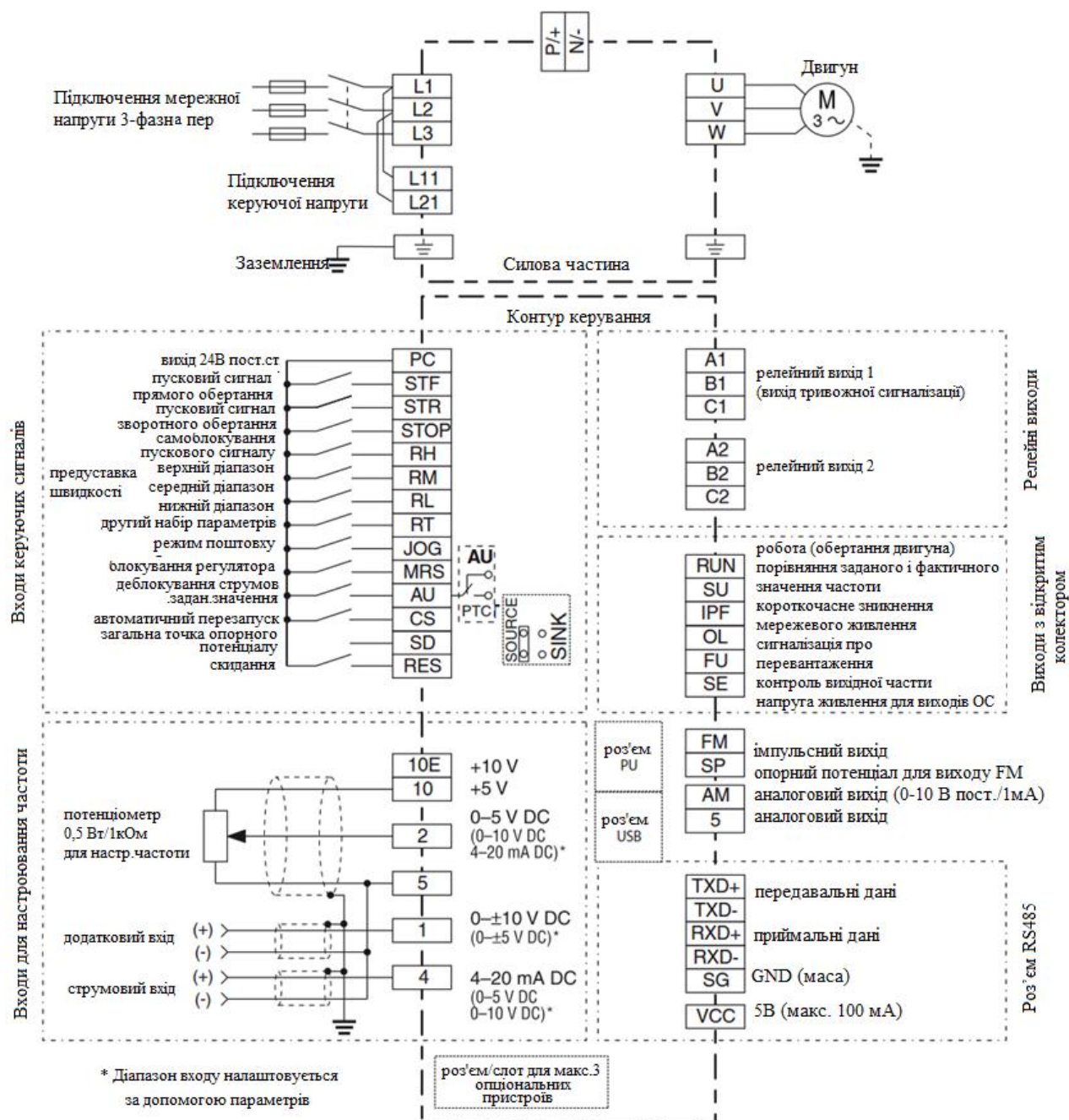


Рисунок 3.5 – Загальна схема підключення перетворювача частоти лінійки FR-A740

Технічні характеристики трифазного перетворювача частоти з рекуперацією FR-A741-11K наведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики перетворювача частоти FR-F740 [18]

Вихід	Номінальна потужність двигуна, кВт	150% перегр. здатн. (ND)	45
	Номінальний струм, А	150% перегр. здатн. (ND)	85
	Вихідна потужність [кВа]		70,9
	Перевантажувальна здатність		150% номінальної потужності двигуна протягом 60 сек.; 200% - протягом 3 сек. (макс. температура навколишнього середовища 50°C)
	Напруга		3-фазна, від 0 В до трифазної змінної напруги, від 0 В до напруги живлення
	Діапазон частот (Гц)		0,5...400
	Рекуперативний гальмовий момент		100% безупинно / 150% для 60 сек.
Вхід	Напруга живлення		Трифазна, 380–480 В, –15%/+10%
	Діапазон напруг		323–528 В при 50/60 Гц
	Частота напруги живлення		50/60 Гц $\pm$ 5%
	Номінальна вхідна потужність [кВа]		80
Технічні дані керування	Спосіб керування		U/f -регулювання, оптимальне керування збудженням або векторне керування (просте векторне регулювання магнітного потоку)
	Спосіб модуляції		Синусоїдальна ШІМ-Модуляція, "м'яка" ШІМ-Модуляція
	Розрізняльна здатність завдання частоти	Аналоговий ввід	Клемма 2, 4: 0...5 В пост., 0...10 В пост., 0/4...20 мА Клемма 1: 0... $\pm$ 5 В пост., 0... $\pm$ 10 В пост.

Продовження таблиці 3.2

Технічні дані керування	Цифровий ввід	Панель керування або опціональна додаткова плата
	Точність частоти	$\pm 0,2\%$ від максимальної вихідної частоти (діапазон температури $25^{\circ} \pm 10^{\circ}\text{C}$) через аналоговий ввід; $\pm 0,01\%$ від заданої вихідної частоти (через цифровий ввід)
	Характеристики "напруга-частота"	Базова частота встановлюється в діапазоні 0...400 Гц; Вибір між характеристикою для постійного моменту обертання й гнучкою характеристикою U/f по 5 точках
	Пусковий крутний момент	120%, 3 Гц Простий вектор магнітного потоку
	Підвищення крутного моменту	Ручне підвищення крутного моменту
	Час розгону/затримки	0; 0,1 до 3600 с (можливе індивідуальне налаштування)
	Характеристики розгону/затримки	Лінійна або S-образна, вибирається користувачем
	Гальмування постійним струмом	Робоча частота (0...120 Гц), час роботи (0...10 сек.) і робоча напруга (0...30%) можуть вільно регулюватися.
	Робочий рівень обмеження струму	Установка рівня робочого струму 0...150 %, встановлюється користувачем
	Захист двигуна	Електронне реле захисту двигуна
	Граничний рівень крутного моменту	Можливе налаштування граничного значення крутного моменту (від 0 до 400%)

3.6 Висновки до розділу 3:

- проведений розрахунок потужності і вибір двигуна механізму пересування портального крана;
- проведений аналіз існуючих систем керування двигунами перемінного струму;
- на основі проведеного аналізу для керування електродвигуном механізму пересування портального крана вибраний перетворювач частоти FR-F740, наведені його технічні дані та характеристики, показана схема підключення перетворювача.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК САК ЕЛЕКТРОПРИВОДА

4.1 Принцип роботи електропривода

При частотно-струмовому керування АД живиться від перетворювача частоти струму (ПЧС), працюючого в режимі джерела струму [13,23].

Подібний перетворювач може бути реалізований на основі автономного інвертора струму (рисунок 4.1), до складу якого входять керований випрямляч, що забезпечує за рахунок негативного зворотного зв'язку по струму навантаження (датчик струму ДС і регулятор струму РС) разом з фільтруючим дроселем Др режим керованого і джерела постійного струму, та інвертор струму ІС, що виконує функцію формування необхідної частоти вихідного струму.

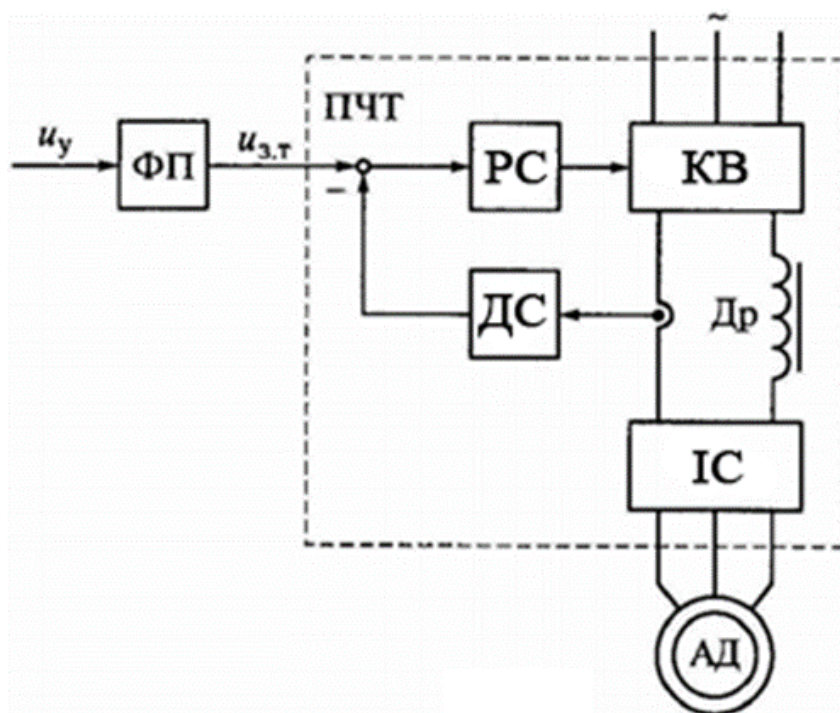


Рисунок 4.1 – Функціональні схеми систем ПЧ-АД при живленні від джерела

На рисунку 4.2 представлена функціональна схема подібної 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 $u_{з.с.}$ на виході

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 [23].

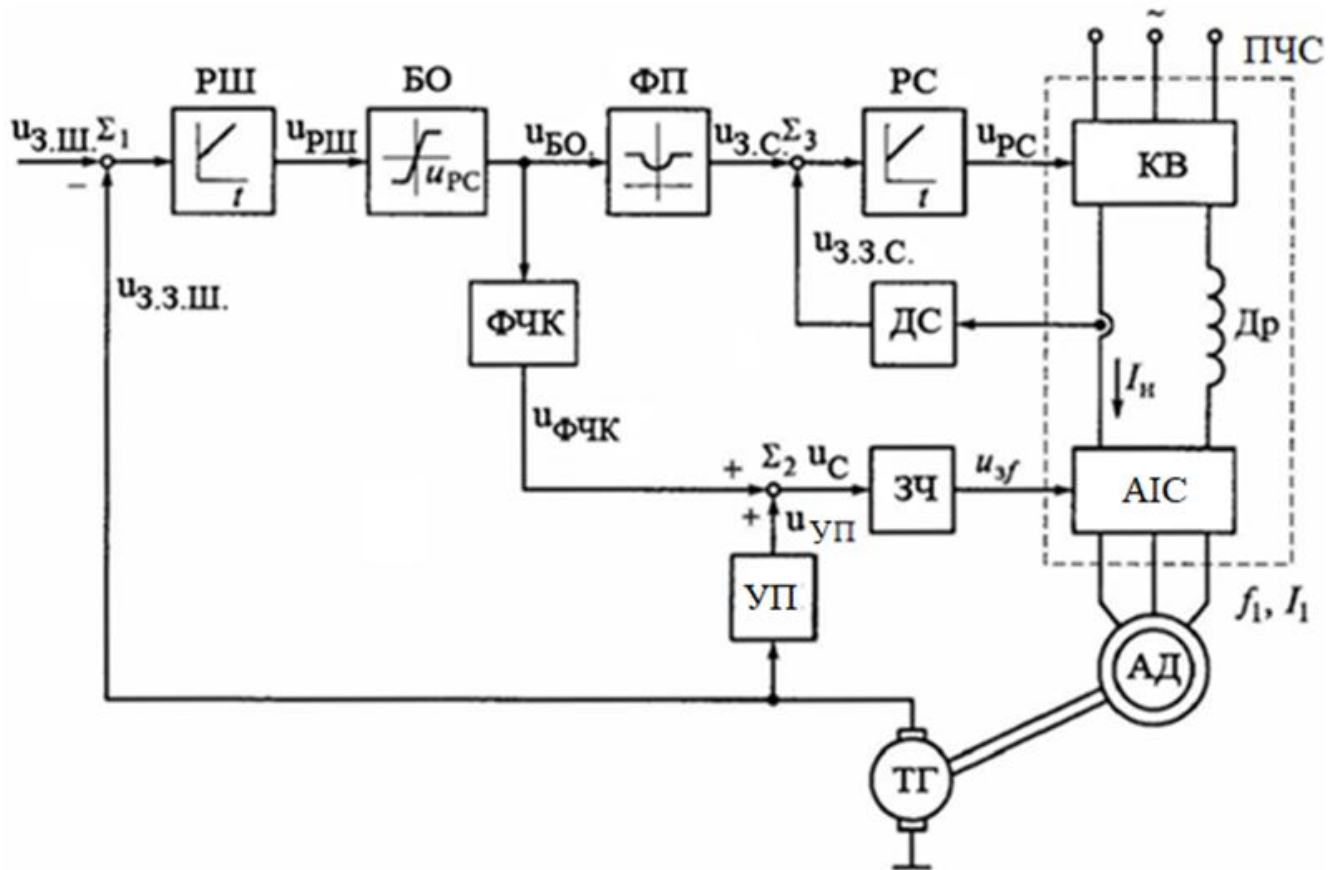


Рисунок 4.2 – Функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотно-струмовим керуванням

Сигнал, пропорційний s_a , формується на виході РШ, оскільки $u_{3.ш.}$ пропорційно завданням швидкості ω_{03} ідеального холостого ходу АД, а $u_{3.3.ш.}$ – поточної швидкості ротора ω , тобто $u_{РШ} = (u_{3.ш.} - u_{3.3.ш.}) = (\omega_{03} - \omega) = s_a \cdot \omega_{0ном}$. 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 сумування цього сигналу з вихідним сигналом $u_{шп}$ погоджувачого пристрою ПП, пропорційний поточному значенню ω , на виході

суматора Σ_2 пристрою завдання частоти (ЗЧ) інвертора струму ІС перетворювача ПЧС буде сформований сигнал $u_c = u_{\phi_{чк}} + u_{\Pi\Pi} \cong (\omega_{03} - \omega) + \omega = \omega_{03}$.

В результаті на вихід ЗЧ буде сигнал завдання частоти вихідного струму ПЧС $u_{3.f} \cong u_{3.\Pi\Pi} \cong \omega_{03}$, 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_{BO} блоку обмеження БО на виході РШ можна впливати і на обмеження максимального моменту АД.

Перед пуском двигуна ($u_{3.\Pi\Pi} = 0$, $u_{P\Pi} = 0$) сигнал завдання частоти перетворювача $u_{3.f} = 0$ і за рахунок характеристики ФП ($u_{3.\Pi\Pi.min} \neq 0$) в АД задається постійний струм, який забезпечує потік намагнічення і режим динамічного гальмування АД. Зі збільшенням $u_{3.\Pi\Pi}$ зростає сигнал завдання частоти, струм статора стає змінним із заданою частотою і двигун починає обертання під дією максимального моменту, встановленого сигналом $u_{3.\Pi\Pi}$. Збільшення швидкості буде відбуватися до тих пір, поки не зрівняються сигнали завдання і зворотного зв'язку по швидкості двигуна.

4.2 Математичний опис структурної схеми електропривода з частотно-струмовим керуванням

Комплектний електропривод FR-F740 [18] 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, що забезпечують необхідні динамічні якості системи. Це потребує проведення аналізу динаміки системи на основі її математичної моделі.

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 [6,22]. Диференційні рівняння ідеалізованого асинхронного двигуна у системі координат $x - y$, що обертається з синхронною швидкістю ω_o .

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

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_o – 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_2 – кутова швидкість обертання ротора;

z_p – число пар полюсів двигуна.

Обертовий момент двигуна M ,

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

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 и y , а також введемо в якості незалежної перемінної I_1 , що спрямована уздовж осі x , при цьому $I_{1x} = I_1$:

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

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

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:

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

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

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 4.3.

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: $M_{n\phi n}$; ω_{1n} ; $U_{1\alpha n}$; ω_{0n} ,

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

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

Тоді

$$\left[\frac{\Delta \omega}{\omega_{0H}} \right] = \Delta \bar{\omega}; \quad \left[\frac{\Delta \omega_1}{\omega_{1H}} \right] = \Delta \bar{\omega}_1; \quad \left[\frac{\Delta M}{M_{\Pi.\Phi.H}} \right] = \Delta \bar{M};$$

$$\left[\frac{\Delta M_o}{M_{\Pi.\Phi.H}} \right] = \Delta \bar{M}_o; \quad \left[\frac{\Delta u_{1a}}{U_{1aH}} \right] = \Delta u_{1a}.$$

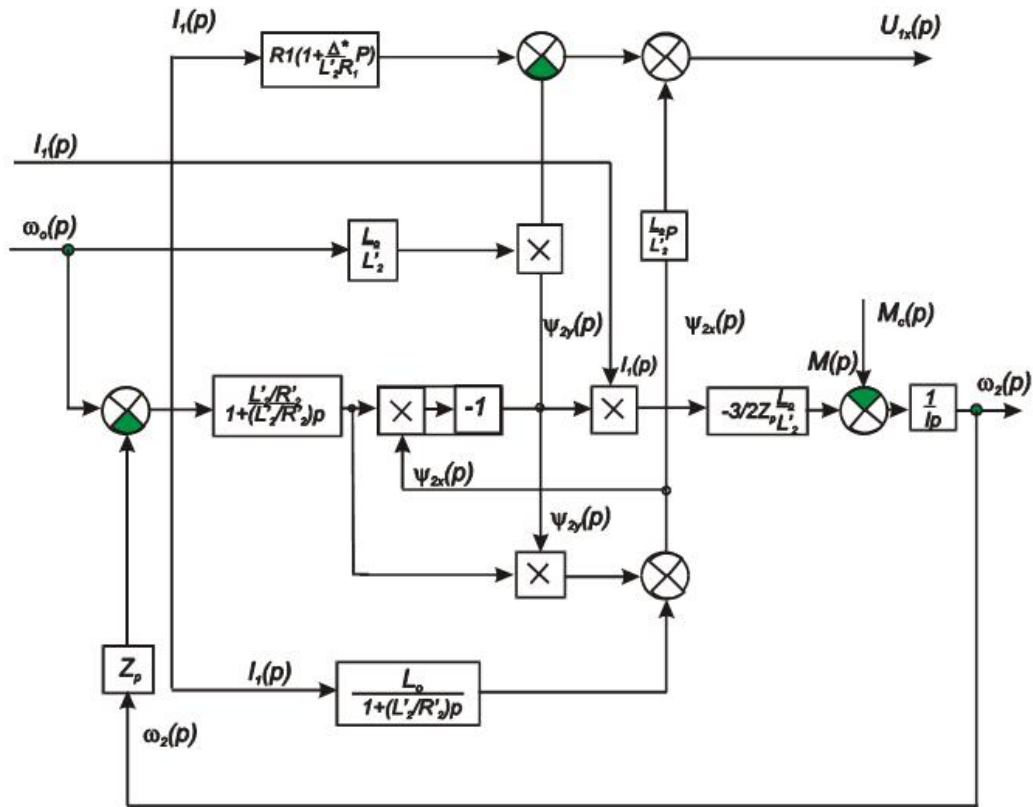


Рисунок 4.3 – Структурна схема асинхронного електродвигуна
Передатна функція двигуна запишеться так

$$\frac{\Delta \bar{M}(p)}{\Delta \omega_1(p) - \Delta \omega(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{(T_E p + 1) - \frac{(\frac{S}{S_{kp}})^2}{1 + (\frac{S}{S_{kp}})^2} (T_E p + 2)}{(T_E p + 1)^2 + (\frac{S}{S_{kp}})^2},$$

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

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

Або в спрощеному виді

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

Відповідно на підставі цього рівняння маємо

$$\frac{\Delta \bar{M}(p)}{\Delta \bar{\omega}_1(p) - \Delta \bar{\omega}(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{1}{T_M p},$$

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

Спрощена структурна схема асинхронного двигуна при частотно-струмовому керуванні побудована на підставі наведених виразів показана на рисунку 4.4.

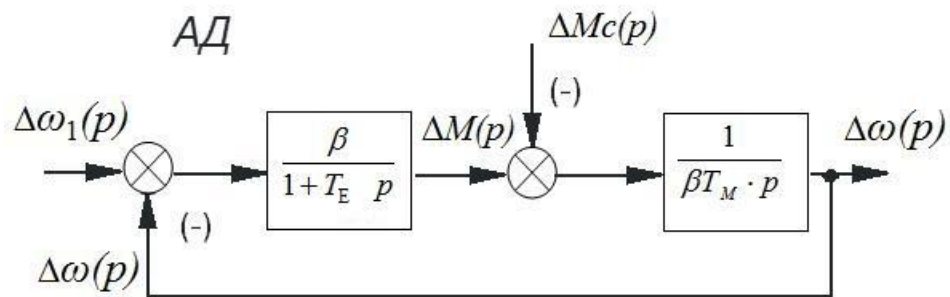


Рисунок 4.4 – Спрощена структурна схема асинхронного двигуна при частотно-струмовому керуванні

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.

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.

На рисунку 4.5 наведена структурна схема такого привода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна.

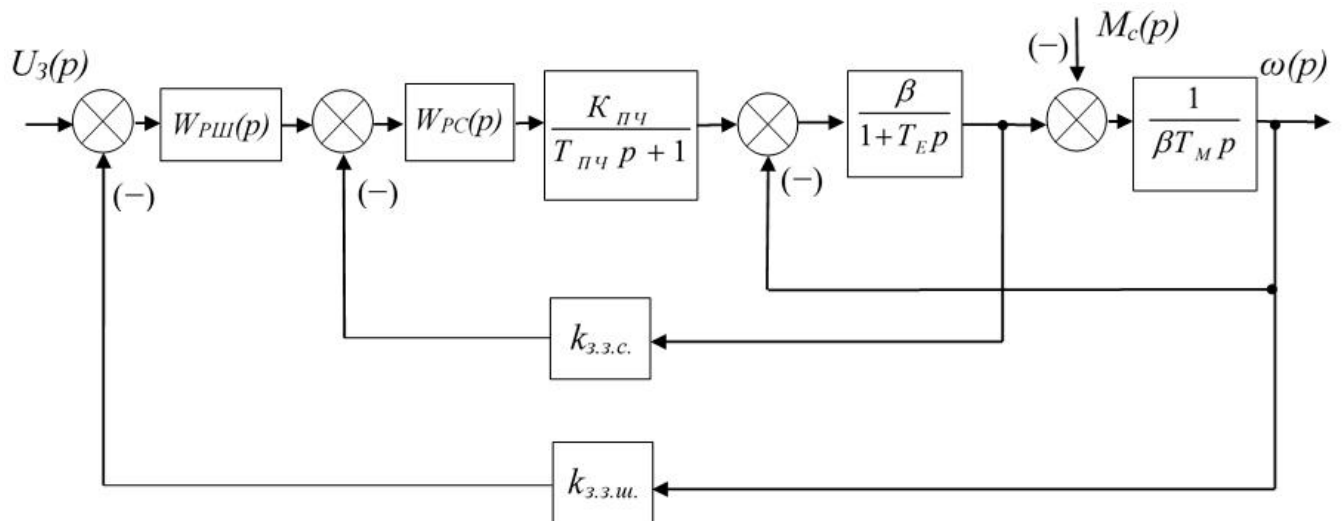


Рисунок 4.5 – Структурна схема електропривода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна

4.3 Розрахунок параметрів регуляторів електропривода з частотно-струмовим керуванням

Розглянемо докладніше структурну схему зображену на рисунку 4.5 [6,22].

На схемі 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 та ротора АД;

$k_{ПЧ}$ – передатний коефіцієнт перетворювача частоти; $k_{ПЧ} = 50$;

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

Для первинних розрахунків приймаємо, що величина постійної часу

регулятора швидкості T_{PI} дорівнює величині постійної часу двигуна T_M , а регулятора струму T_{PI} – постійній часу частотного перетворювача T_{PI} .

Зворотні зв'язки за струмом та швидкістю виконаємо за допомогою пропорційних ланок з коефіцієнтами $k_{z.z.c}$ і $k_{z.z.w}$ відповідно.

Коефіцієнти підсилення регуляторів швидкості та струму приймаємо відповідно $K_{PI} = 10$, $K_{PI} = 10$.

Регулятори швидкості і струму приймаємо як пропорційно-інтегральні ланки з коефіцієнтом передачі k_{PI} і k_{PI} та постійними часу T_{PI} і T_{PI} відповідно:

$$W_{PI}(p) = k_{PI} + \frac{1}{T_{PI} \cdot p};$$

$$W_{PI}(p) = \frac{\Delta u_{PI}}{\Delta u_K} = k_{PI} + \frac{1}{T_{PI} p}.$$

Структурна схема з наведеними передатними функціями регуляторів зображена на рисунку 4.6.

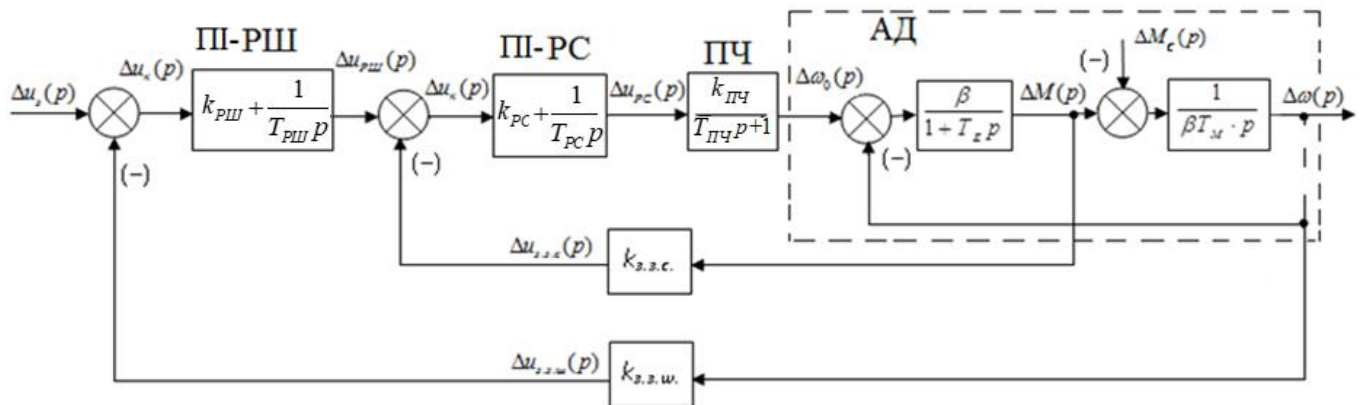


Рисунок 4.6 – Структурна схема електропривода

Визначення параметрів здійснюється за допомогою перехідних характеристик.

Для подальших розрахунків наведені технічні характеристики електродвигуна АИР225М6 [2].

Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів зведені в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 - Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів

Параметр	Значення
Типорозмір	АИР132М4УЗ
Потужність електродвигуна P_H , кВт	11
Число пар полюсів, z_p	4
Синхронна частота обертання ротора, n_0 , об/хв.	1500
Номінальна частота мережі f_H , Гц	50
Номінальна напруга U_H , В	380
Ковзання S_H , %	2,8
Критичне ковзання S_{KP} , %	19,5
ККД %	88,4
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$,	0,84
Струм статора при напрузі 380В, I_H , А	22,5

Сформована структурна схема обраного електропривода з частотно-струмовим керуванням (рисунок 4.6) є основою для побудови динамічної структурної схеми системи керування електропривода згідно з функціональною схемою (рисунок 4.2).

Для розрахунку параметрів структурної схеми необхідно попередньо визначити додатково параметри двигуна, яких немає в таблиці 4.1.

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

$$\omega_{ДВ} = \frac{\pi \cdot n_{ДВ}}{30};$$

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

Номінальний момент двигуна, M_H , Н·м,

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_{ДВ}};$$

$$M_H = \frac{11000}{157} = 70 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критичний момент електродвигуна, M_K , Н·м,

$$M_K = 3M_H;$$

$$M_K = 3 \cdot 70 = 210 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$\omega_{1H} = 2\pi \cdot f_H;$$

$$\omega_{1H} = 2\pi \cdot 50 = 314,15 \text{ с}^{-1}.$$

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

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

де $S_{KP} = 0,195$ - критичне ковзання, (з таблиці 4.1).

$$\beta = \frac{2 \cdot 210}{157 \cdot 0,195} = 13,7 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}^{-1}}.$$

Електромагнітна постійна часу, T_e , с,

$$T_e = \frac{1}{\omega_{1H} \cdot S_K};$$

$$T_e = \frac{1}{314,15 \cdot 0,195} = 0,016 \text{ с}.$$

Електромеханічна постійна часу, T_M , с,

$$T_M = 4T_e;$$

$$T_M = 4 \cdot 0,016 = 0,064 \text{ с}.$$

Частотний перетворювач типу FR-F740 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 передачі зворотного зв'язку за швидкістю $k_{\text{зш}}$, В · с ,

$$k_{\text{зш}} = \frac{u_{\text{з.з.ш.ном}}}{\omega_H}, \quad (4.15)$$

де $u_{\text{з.з.ш.ном}}$ – напруга зворотного зв'язку за швидкістю, $u_{\text{з.з.ш.ном}} = 10$ В.

$$k_{\text{зш}} = \frac{10}{157} = 0,063 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом $k_{\text{зс}}$, $\frac{\text{В} \cdot \text{А}}{\text{Н} \cdot \text{м}}$.,

$$k_{\text{зс}} = \frac{u_{\text{з.з.с.ном}}}{M_H / I_H}, \quad (4.16)$$

де $u_{\text{з.з.с.ном}}$ – напруга зворотного зв'язку за швидкістю, $u_{\text{з.з.с.ном}} = 10$ В.

$$k_{\text{зс}} = \frac{10}{70 / 22,5} = 3,2 \frac{\text{В} \cdot \text{А}}{\text{Н} \cdot \text{м}}.$$

Передатна функція перетворювача частоти разом з випрямлячем $W_{\text{пч}}(p)$,

4.4 Аналіз динамічних характеристик системи керування електропривода

За результатами розрахунку параметрів дослідженої структурної системи керування були побудовані динамічні розрахункові схеми.

Початкові дані для розрахунку перехідних процесів зведено у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Початкові дані для розрахунку перехідних процесів системи

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики	$\frac{H \cdot M}{c^{-1}}$	$\beta = 13,7$
Постійна часу регулятора швидкості	с	$T_{PII} = 0,064$
Постійна часу перетворювача	с	$T_{\Pi\Pi} = 0,0033$
Постійна часу регулятора струму	с	$T_{PC} = 0,0033$
Коефіцієнт підсилення (передачі) перетворювача	-	$K_{\Pi\Pi} = 10$
Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за швидкістю	В·с	$k_{ззш} = 0,063$
Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом	$\frac{B \cdot A}{H \cdot M}$	$k_{ззс} = 3,2$
Електромагнітна стала часу	с	$T_e = 0,016$
Електромеханічна постійна часу	с	$T_M = 0,064$
Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості	-	$K_{PII} = 10$
Коефіцієнт підсилення регулятора струму	-	$K_{PC} = 10$

Передатні функції ланок:

– асинхронного двигуна

$$W_{AD}(p) = \frac{\beta}{T_E \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{\beta \cdot T_M \cdot p}; \quad W_{AD}(p) = \frac{13,7}{0,016 \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{0,88 \cdot p};$$

– перетворювача частоти

$$W_{\Pi\Pi}(p) = \frac{K_{\Pi\Pi}}{T_{\Pi\Pi} \cdot p + 1}; \quad W_{\Pi\Pi}(p) = \frac{50}{0,0033 \cdot p + 1};$$

– регулятора струму

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

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

– регулятора швидкості

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

$$W_{PII}(p) = 10 + \frac{1}{0,064 \cdot p}.$$

– фільтра на вході системи керування

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{3T_{PII} \cdot p + 1};$$

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{3 \cdot 0,064 \cdot p + 1} = \frac{1}{0,19p + 1};$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом

$$W_{33c}(p) = k_{33c} \quad k_{3,3,c} = 3,2$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за швидкістю

$$W_{33ш}(p) = k_{3,3,ш} \quad k_{3,3,ш} = 0,063.$$

Дослідження динамічних характеристик системи керування виконується за наступних умов:

– напруга завдання швидкості є стрибкоподібною зі значенням

$$u_{3,ш.} = k_{3,3,ш} \cdot \omega_H;$$

$$u_{3,ш.} = 0,063 \cdot 157 = 10 \text{ В};$$

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

$$M_{CT} = 30\% \cdot M_H = 0,30 \cdot 70 = 21 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Дослідження і порівняння характеру перехідних процесів системи керування призводиться із застосуванням ПІ-регулятора швидкості, П-регулятора швидкості, та ПІ-регулятора швидкості і фільтром.

Після розрахунків усіх величин, що входять у структурну схему, вони були внесені у розрахункові моделі системи керування.

Моделювання виконувалося у середовищі програми Simulink пакету «MATLAB» [8].

На рисунках 4.7, 4.8 та 4.9 показані схеми замкненої системи керування відповідно: з ПІ-регулятором швидкості; з ПІ-регулятором швидкості; з ПІ-регулятором швидкості і фільтром на вході в систему.

На схемах 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;

За допомогою блоків «Gain3» та «Gain6» виконується перерахування отриманих даних у відносні одиниці (для спрощення подальшого порівняння).

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

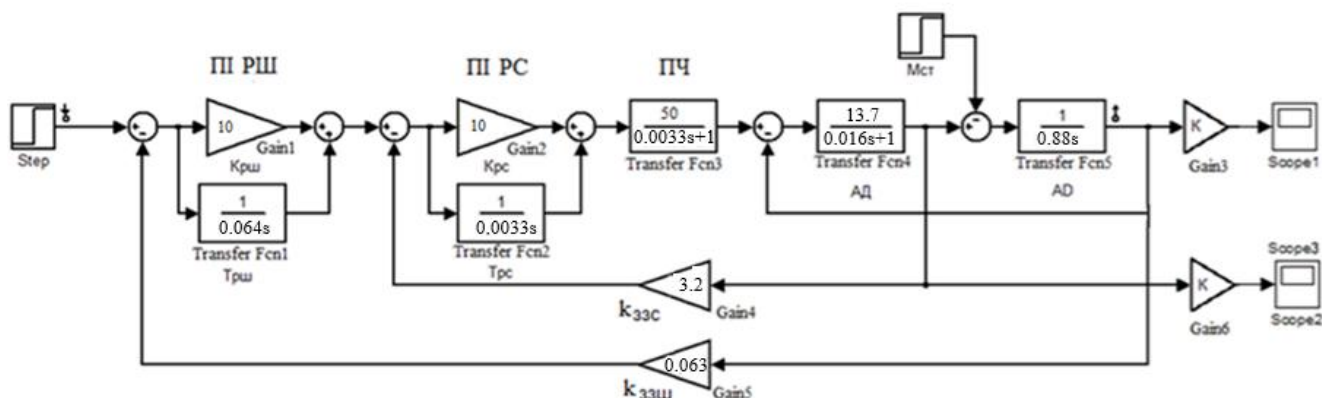


Рисунок 4.7 – Динамічна розрахункова схема системи з ПІ-регулятором швидкості

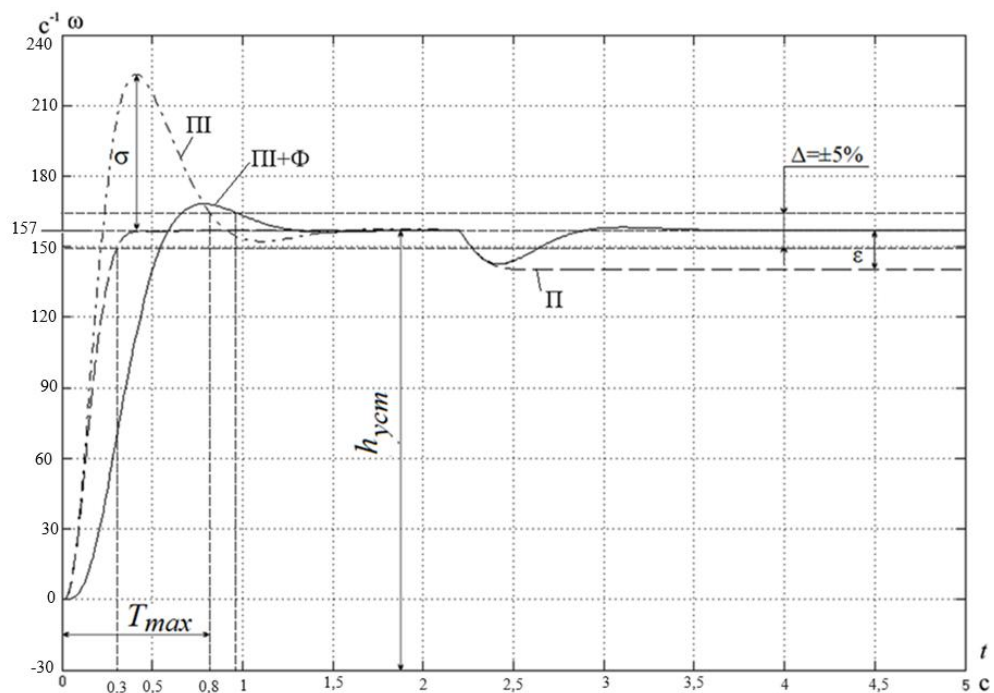


Рисунок 4.10 - Перехідні процеси по швидкості

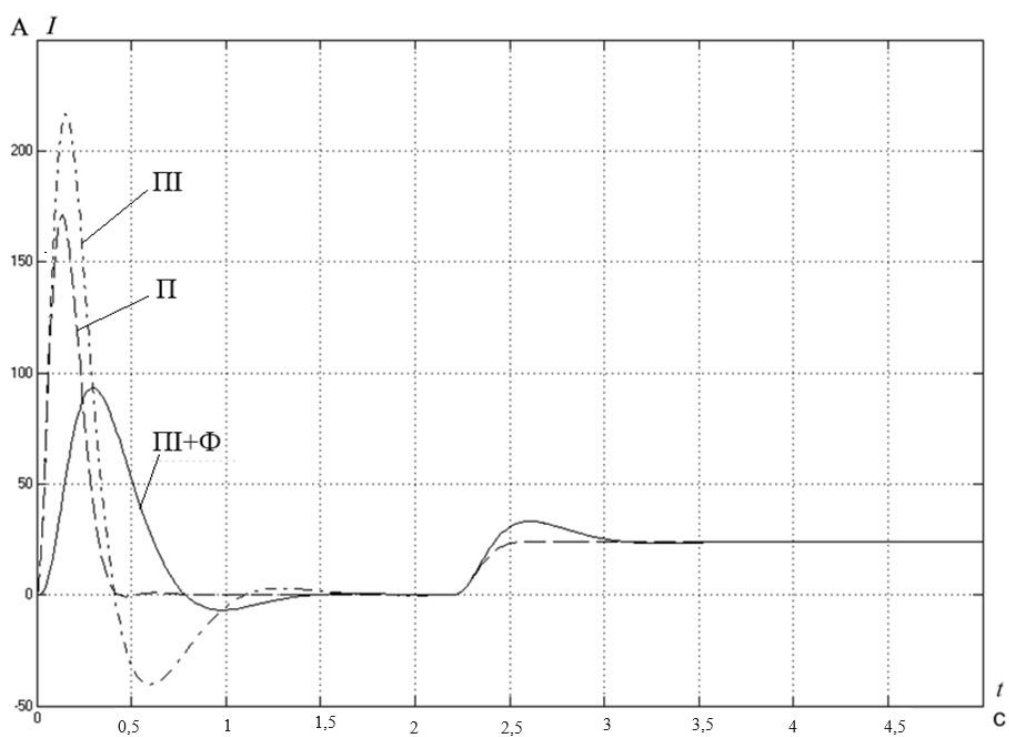


Рисунок 4.11 - Перехідні процеси по струму

Основні показники якості регулювання зведені в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 - Основні показники якості регулювання

Тип регулятора	$h_{уст}, c^{-1}$	h_{max}, c^{-1}	$\sigma, \%$	T_{max}, c	$\epsilon_{ст}, \%$	N
ПІ-регулятор	157	220	30	0,8	0	1
П-регулятор	157	157	0	0,3	11,5	0
ПІ-рег. та фільтр на вході	157	165	5	0,96	0	1

По графікам змодельованих перехідних процесів системи ми бачимо, що найкращі показники перехідних процесів можна отримати, включивши ПІ-регулятор у контур регулювання швидкості. При цьому, високе значення перерегулювання, характерне для цього налагодження, зменшується шляхом включення на вхід системи керування фільтра.

Отримані наступні результати дослідження:

- при застосуванні пропорційно-інтегрального закону регулювання (ПІ-регулятор) перерегулювання склало $\sigma = 30 \%$, час перехідного процесу (по входу кривої в п'ятивідсоткову зону щодо значення, що встановилося,) $T_{\max} = 0,8$ с;

- при застосуванні пропорційного закону регулювання (П-регулятор) перерегулювання відсутнє, час перехідного процесу зменшився до $T_{\max} = 0,3$ с, але при цьому виникла статична похибка $\varepsilon = 11,5 \%$;

- при введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором, перерегулювання склало $\sigma = 5 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,96$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка відсутня $\varepsilon = 0$. При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму не перевищують максимально допустимих значень.

Враховуючи отримані результати дослідження, остаточно для системи керування була обрана схема з ПІ-регулятором та фільтром на вході в систему.

4.5 Висновки до розділу 4:

- розглянутий принцип роботи та функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотно-струмовим керуванням;

- наведений математичний опис структурної схеми електропривода;

- складена структурна схема та розраховані параметри її елементів;

- складені динамічні розрахункові схеми, проведений аналіз динамічних властивостей системи автоматичного керування при зміні законів керування, в результаті чого обрана схема системи керування, що забезпечує найкращі параметри налагодження регулятора швидкості.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОРТАЛЬНОГО КРАНА

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при експлуатації системи керування портального крана

Небезпека - це негативна властивість матерії, яка проявляється у здатності її завдавати шкоди певним елементам Всесвіту, потенційне джерело шкоди. Якщо мова йде про небезпеку для людини, то це явища, процеси, об'єкти, властивості, здатні за певних умов завдавати шкоди здоров'ю чи життю людини або системам, що забезпечують життєдіяльність людей.

Техногенні джерела небезпеки — це небезпеки, пов'язані з використанням транспортних засобів, з експлуатацією підйомно-транспортного обладнання, використанням горючих, легкозаймистих і вибухонебезпечних речовин та матеріалів, з використанням процесів, що відбуваються при підвищених температурах та підвищеному тиску, з використанням електричної енергії, хімічних речовин, різних видів випромінювання (іонізуючого, електромагнітного, акустичного).

Небезпечними факторами називають такі чинники життєвого середовища, які призводять до травм, опіків, обморожень, інших пошкоджень організму або окремих його органів і навіть до смерті [3].

Шкідливими факторами прийнято називати такі чинники життєвого середовища, які призводять до погіршення самопочуття, зниження працездатності, захворювання і навіть до смерті як наслідку захворювання.

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

Дія та наслідки ураження електричним струмом. Порухення 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 ураження 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.

Біологічна дія електричного струму полягає в тому, що при його входженні відбувається подразнення і збудження живих тканин організму і порушення внутрішніх біологічних процесів.

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.

Шум та вібрації при експлуатації системи керування порталного крана.

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

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. Строки розвитку та гострота захворювання залежать від спектральних характеристик вібрацій. Основні прояви вібраційної хвороби: зміна тону судин, обміну в нервово-м'язовій та кістковій системах, зменшення кровозабезпечення тканин, порушення регуляції серцево-судинної та нервової систем.

5.2 Захист від шкідливих та небезпечних факторів при експлуатації кранового електроустаткування

За умовами експлуатації кранового електроустаткування існує ряд вимог і організаційних заходів.

Для запобігання впливу несприятливих факторів зовнішнього середовища кранове електроустаткування повинно бути досить захищеним або розміщатися в кожухах і оболонках з необхідним ступенем захисту. Ступені захисту від впливу зовнішнього середовища встановлені ДСТ14254 - 80.

Заходи та засоби захисту людини від дії електричного струму.

Установка і монтаж електроустаткування вантажопідіймальних машин, а також пристрої освітлення, заземлення і захисту повинні відповідати ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.

Правила електробезпеки визначають два види заходів, що забезпечують безпеку робіт:

організаційні заходи;

технічні заходи і засоби захисту.

До організаційних заходів належать:

а) вимоги до електротехнічного персоналу:

- вік персоналу для самостійної роботи повинен бути не менше 18 років;

- персонал повинен бути здоровий, не мати хвороб і каліцтв;

- персонал повинен бути навчений, мати кваліфікаційну групу, що свідчить про рівень знань у галузі правил експлуатації крана і техніки безпеки;

До технічних заходів належать:

- відключення місця роботи, тобто струмопровідних частин або устаткування, на яких будуть виконуватися ремонтні роботи або робот из налагодження;
- встановлення попереджувальних, забороняючих плакатів і огорожень місця роботи;
- перевірка відсутності напруги;
- накладення переносних захисних заземлень на відключені струмопровідні частини з усіх боків, звідки може надходити напруга.

Вся електрична апаратура повинна розміщатися або в герметичній кабіні крановика, або в спеціальному апаратному приміщенні зі ступенем захисту IP 55. Кінцеві вимикачі повинні мати корпус з латуні чи чавуна. Гальма повинні бути убудовані в двигун і герметизовані. Електродвигун з гальмом повинний мати ступінь захисту IP 55 з повним виключенням алюмінієвих деталей. Уведення кабелів і проводів у двигуни і кінцеві вимикачі - через сальники чи труби з газовою різьбою [16].

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".

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.

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.

Ізолюючі захисні засоби – це засоби, виготовлені з ізоляційного матеріалу (фарфор, гума, пластмаса та ін.). Вони, у свою чергу, поділяються на основні та додаткові.

Основні захисні засоби – це такі, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу електричної установки. За допомогою основних засобів можна торкатись струмопровідних частин, що знаходяться під напругою. До них відносяться: оперативні і вимірювальні штанги; ізолюючі і струмовимірні кліщі; покажчики напруги; спеціальні пристрої для ремонтних робіт (ізолювання майданчика, східці, ланки телескопічних вишок і т. д.). Додаткові захисні засоби — це такі засоби, що не гарантують надійну ізоляцію від робочої напруги і є додатковим заходом.

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 ДНАОП0.00-1.02-92 "Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідйомних кранів".

Огороджуючі захисні засоби. До них належать: ширма, барери, щити, сітки і т. д.; 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, східці, 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.

Необхідно дотримуватись правил ДСН 3.3.6.037-99. "Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку" та ДСН 3.3.6.039-99. "Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації".

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 крана з малим рівнем шуму;
- розміщення системи керування порталного крана в окремому районі.

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

5.3 Висновки до розділу 5:

- проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при роботі електрообладнання порталного крана;
- розроблені заходи щодо усунення або зменшення дії шкідливих факторів відповідно до нормативних вимог.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена удосконаленню системи керування електропривода механізму пересування порталного крана.

Модернізація системи керування автоматизованого електропривода механізму пересування порталного крана Ганц пов'язана з переходом з релейно-контакторної системи на систему частотний перетворювач-двигун.

Основні результати роботи можна сформулювати наступним чином:

- проведені розрахунки необхідної потужності електродвигуна та вибраний електродвигун типу АІР132М4У3;
- для керування обраним електродвигуном вибраний сучасний, універсальний комплектний електропривод серії Mitsubishi Electric FR-F740.
- проведена побудова математичних моделей системи керування асинхронним двигуном та виконаний аналіз їх динамічних властивостей.

Отримані наступні результати дослідження:

- при застосуванні пропорційно-інтегрального закону регулювання (ПІ-регулятор) перерегулювання склало $\sigma = 30 \%$, час перехідного процесу (по входу кривої в п'ятивідсоткову зону щодо значення, що встановилося,) $T_{\max} = 0,8 \text{ с}$;
- при застосуванні пропорційного закону регулювання (П-регулятор) перерегулювання відсутнє, час перехідного процесу зменшився до $T_{\max} = 0,3 \text{ с}$, але при цьому виникла статична похибка $\varepsilon = 11,5 \%$;
- при введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором, перерегулювання склало $\sigma = 5 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,96 \text{ с}$, коливальність $N = 1$, статична похибка відсутня $\varepsilon = 0$. При цьому відхилення струму не перевищують максимально допустимих значень.

Враховуючи отримані результати дослідження, остаточно для системи керування була обрана схема з ПІ-регулятором та фільтром на вході в систему.

В роботі проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації електрообладнання вантажопідіймних механізмів, наведені заходи щодо їх усунення або зниження відповідно до нормативних вимог.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. **Александров М.П.** Грузоподъемные машины: Учебник для вузов. / М. П. Александров - М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана; Высшая школа, 2000 552с.
2. Асинхронные электродвигатели общего назначения серии АИР. Технический каталог. URL: <https://samsnab.com.ua/docs/Katalog-elektrodvigatelei-AIR-TM-ELMO.pdf>.
3. **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.
4. **Бірта Г. О.** Методологія і організація наукових досліджень. навч. посіб. / Г. О. Бірта, Ю. Г. Бургу – К. : «Центр учбової літератури», 2014. – 142 с.
5. **Бутенко Л. Л.** Структурно-логічні схеми. Таблиці. Опорні конспекти. Есе. Навчальні презентації: рекомендації до складання : метод. посіб. для студ. / уклад. : Л. Л. Бутенко, О. Г. Ігнатович, В. М. Швирка. – Старобільськ, 2015.–112 с.
6. **Видмиш А. А.** Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
7. **Галузь кранобудування в Україні:** стимули, тенденції та економічні аспекти оновлення техніки. Електронний журнал «Ефективна економіка». № 12, 2012. Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=1649>. Назва з екрана.
8. **Гераїмчук М. Д.** Моделювання систем у середовищі MATLAB-SIMULINK: Комп'ютерний практикум / М.Д. Гераїмчук, Ю.Ф. Лазарєв, Т.О. Толочко. – К.:, 2006. – 175с.
9. **Григоров О. В.** Раціональні приводи підйомно-транспортних, дорожніх машин та логістичних комплексів : монографія / О.В. Григоров, В.В. Стрижак, Н.О. Петренко та ін.; за ред. Григорова О.В. – Х. : НТУ «ХП», 2016. – 352 с.
10. **Грабко В.В.** Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини. Навчальний посібник. / В.В. Грабко. М.П. Розводюк,

С.М. Левицький, М.О. Казак – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 197 с.

11. **Казачковський М. М.** Комплектні електроприводи: Навч.посібник/ М. М. Казачковський. - Дніпропетровськ:Національний гірничий університет, 2003. 226 с.

12. **Киселёв В. А.** Учебное пособие по курсовому проектированию «Грузоподъемные машины и машины безрельсового транспорта» / В. П. Захарцев. – М.: Альтаир-МГАВТ, 2007г

13. **Основи електропривода:** підручник / Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, О.Ю. Синявський, Д.Г. Войтюк, В.В. Савченко, І.М. Голодний.– К.: Видавництво Ліра-К, 2017. — 524 с.

14. **Павленко Т. П.** Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій. / Т. П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 132 с.

15. **Поляков А. М.** Схемы электрооборудования грузоподъемных кранов / А.М. Поляков. М. : Энергоатомиздат, 1988. 135 с.

16. **Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів.** ДНАОП 0.00-1.03-02.

17. **Правила улаштування електроустановок (ПУЕ)**

18. Преобразователи частоты Mitsubishi Electric серии FR-F700. Технический каталог. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://pe-ko.com.ua/uk/mitsubishi_electric_fr_f740

19. Применения преобразователей частоты. [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://drives.ru/stati/primeneniya-preobrazovateley-chastoty/> .

20. **Портальный кран GANZ** г/п 16/32 тонн с вылетом стрелы 30 м : в 5 томах. Том 4. Механические расчёты / ХУНГ ЭКСПО, Будапешт, 1997. – 274 с.

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

22. **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.: іл.

23. **Терехов В. М.** Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Терехов, О. И. Осипов; под ред. В. М. Терехова. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр "Академия", 2006. – 304 с.

24. Технологічний розвиток та інновації кранів. Режим доступу: <https://ua.catet-crane.com/info/technological-development-and-innovation-17429790955004928.html>.

Jun 27, 2025. Назва з екрана.

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Устенко Борис Сергійович

Кваліфікаційна робота магістра на тему:

"Автоматизована система керування електропривода механізму
пересування порталного крана"

Керівник роботи – Васильєв О.Г.

Слайд 1 мультимедійної презентації

АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

Актуальність теми обумовлена інтенсивним розвитком контейнерних перевезень із застосуванням порталних кранів, як найбільш ефективного виду механізації при великих вантажопотоках у морських портах.

В даний час порталні крани залишаються основним устаткуванням причалів універсального призначення. За допомогою порталних кранів перевантажується майже половина вантажів портів.

Кранова галузь через деякий час може вже в повній мірі не справлятися із завданнями, які вирішувалися з її допомогою. У такому випадку придбання нового обладнання не завжди економічно виправдано.

Іноді, досить провести модернізацію, яка здатна істотно скоротити витрати на електроенергію, підвищити термін служби механізмів або ж збільшити вантажопідйомність крана.

Модернізація електроустаткування крана пов'язана з переходом керування з релейно-контакторної на систему частотний перетворювач-двигун.

Мета роботи – удосконалення системи керування автоматизованого електропривода механізму пересування порталного крана.

Задачі роботи:

- розглянути механізм пересування порталного крана, провести розрахунок необхідної потужності виконавчого електродвигуна;
- вибрати найбільш підходящий електропривод для керування електродвигуном механізму пересування;
- виконати аналіз динамічних властивостей роботи системи керування;
- привести загальні положення по технічній експлуатації електрообладнання порталного крана.

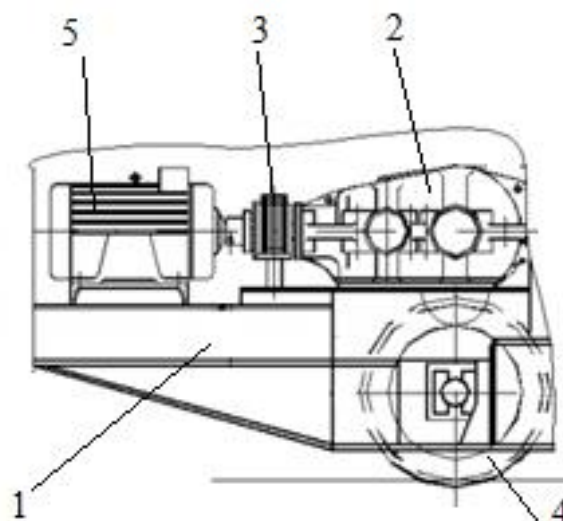
ПОРТАЛЬНИЙ КРАН ГАНЦ



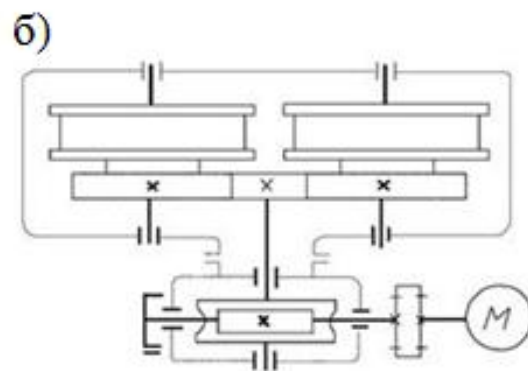
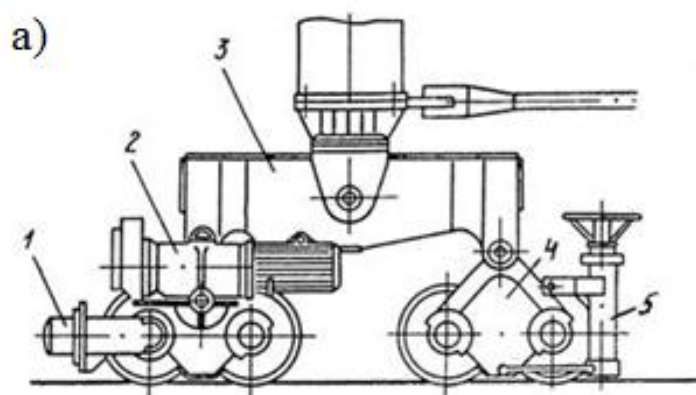
1 – механізм переміщення; 2 – колона; 3 – механізм повороту;
4 – механізм підйому; 5 – стрілова система; 6 – вантажопідйомні
органи; 7 – механізм вильота стріли

Слайд 3 мультимедійної презентації

МЕХАНІЗМ ПЕРЕСУВАННЯ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА



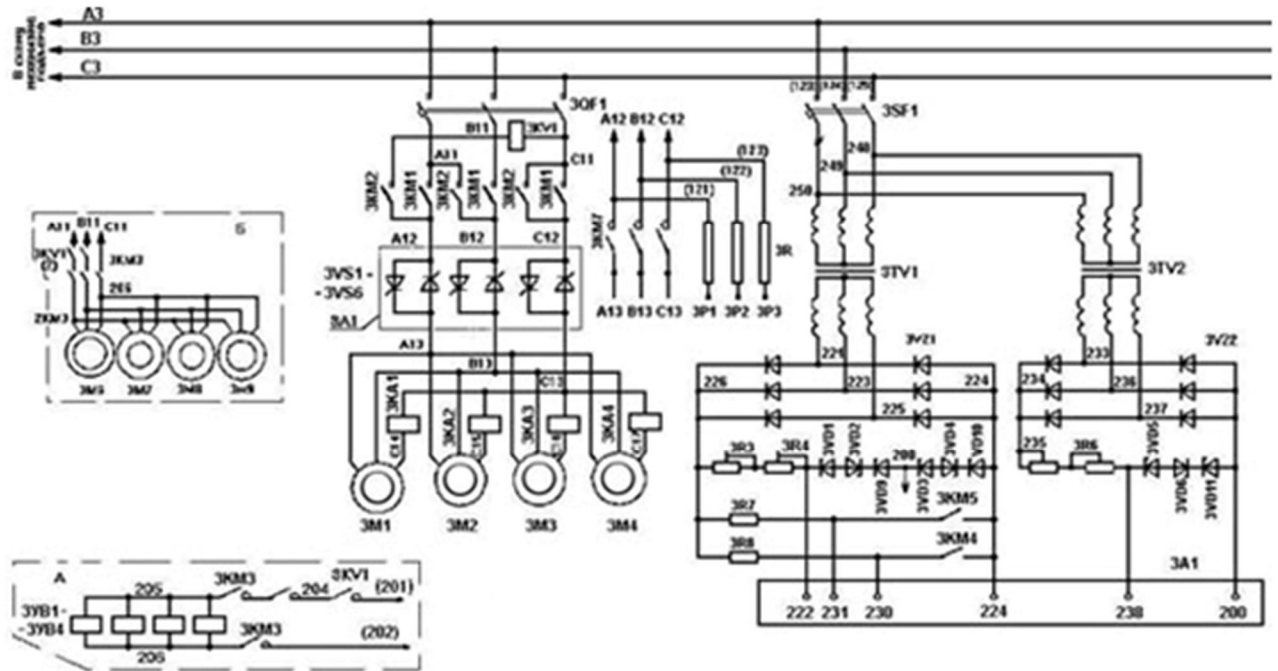
1 - рама візка, 2 - циліндричний горизонтальний редуктор, 3 - муфта,
4 - ходове колесо, 5 - електродвигун



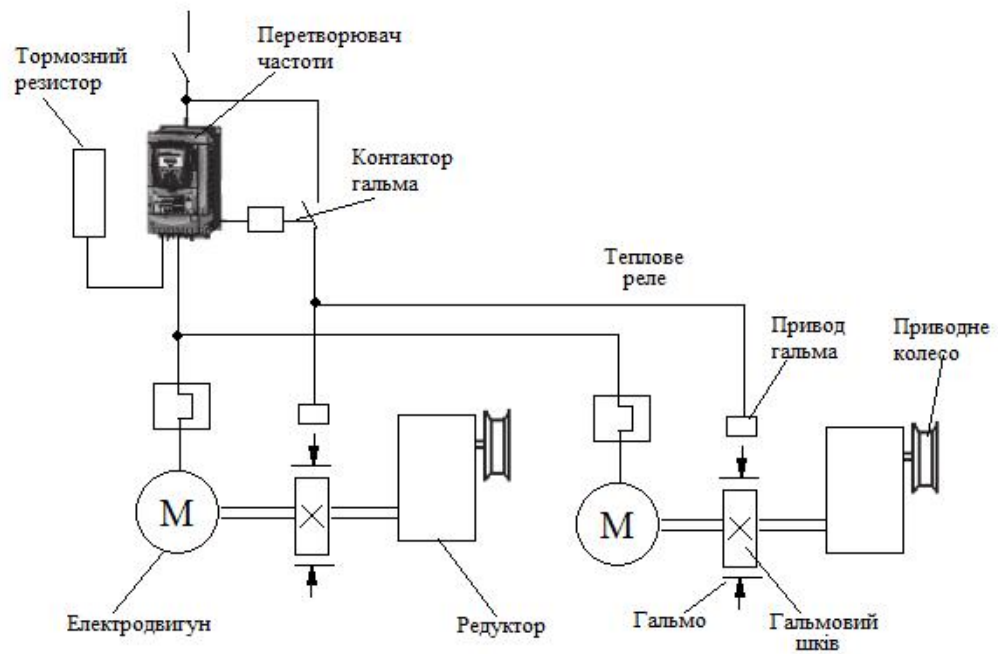
а) - ходові візки портального крана: 1 - буфер; 2 - приводний візок; 3 -
балансир; 4 - холостий візок; 5 - протиугінний захват;

б) - кінематична схема приводного візка

СХЕМИ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕСУВАННЯ КРАНА

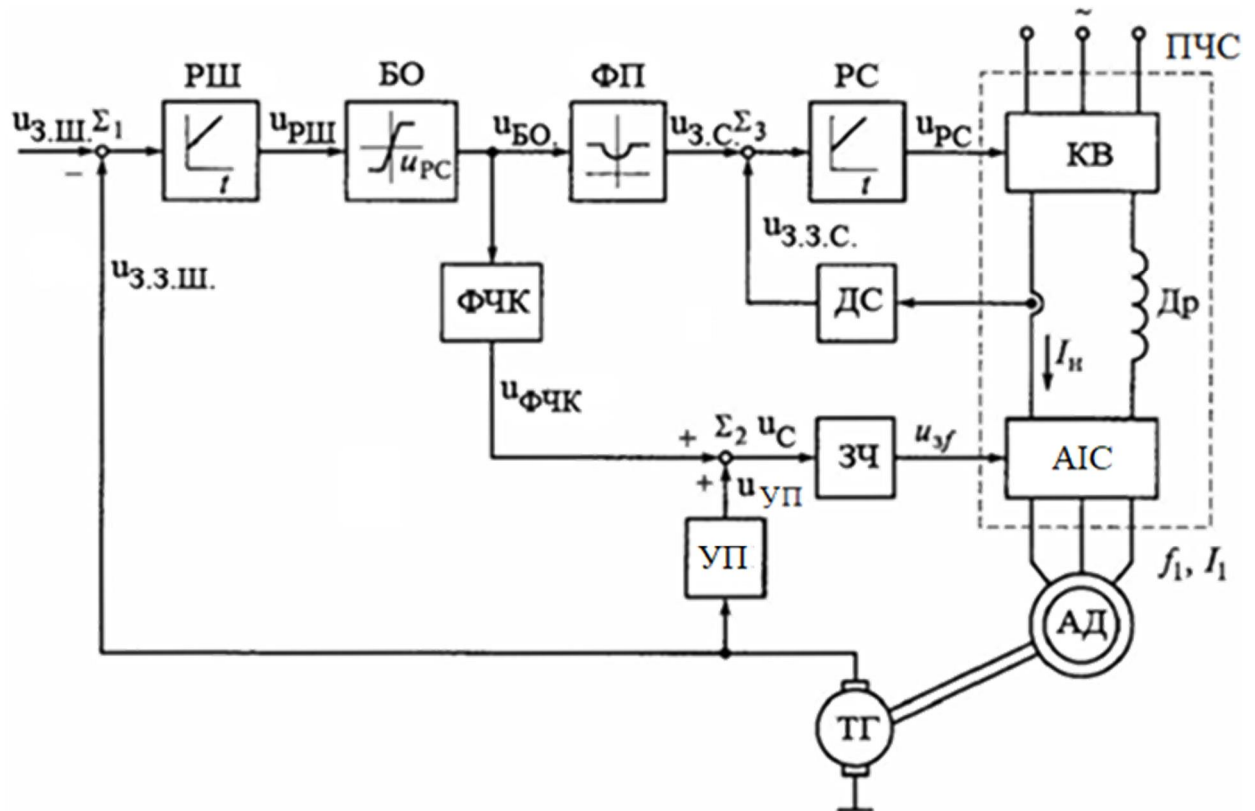


Існуюча принципова електрична схема релейно-контакторної системи керування електропривода



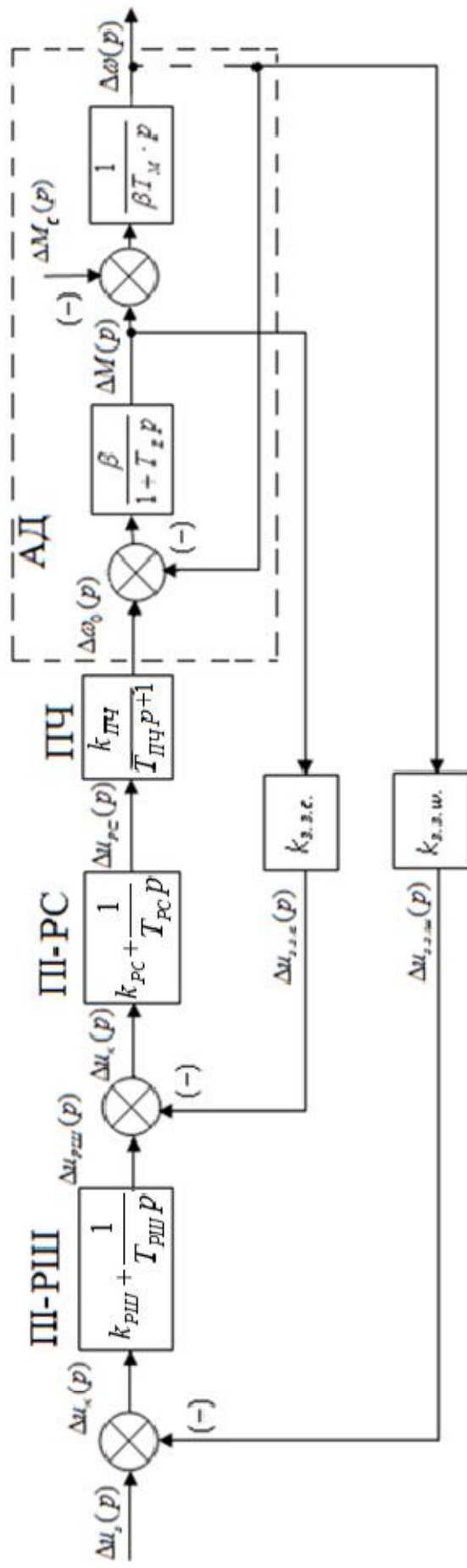
Структурна схема електропривода механізму пересування з комплектним електроприводом серії FR-F740.

ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ЗАМКНУТОЇ СИСТЕМИ ПЧ-АД З ЧАСТОТНО-СТРУМОВИМ КЕРУВАННЯМ

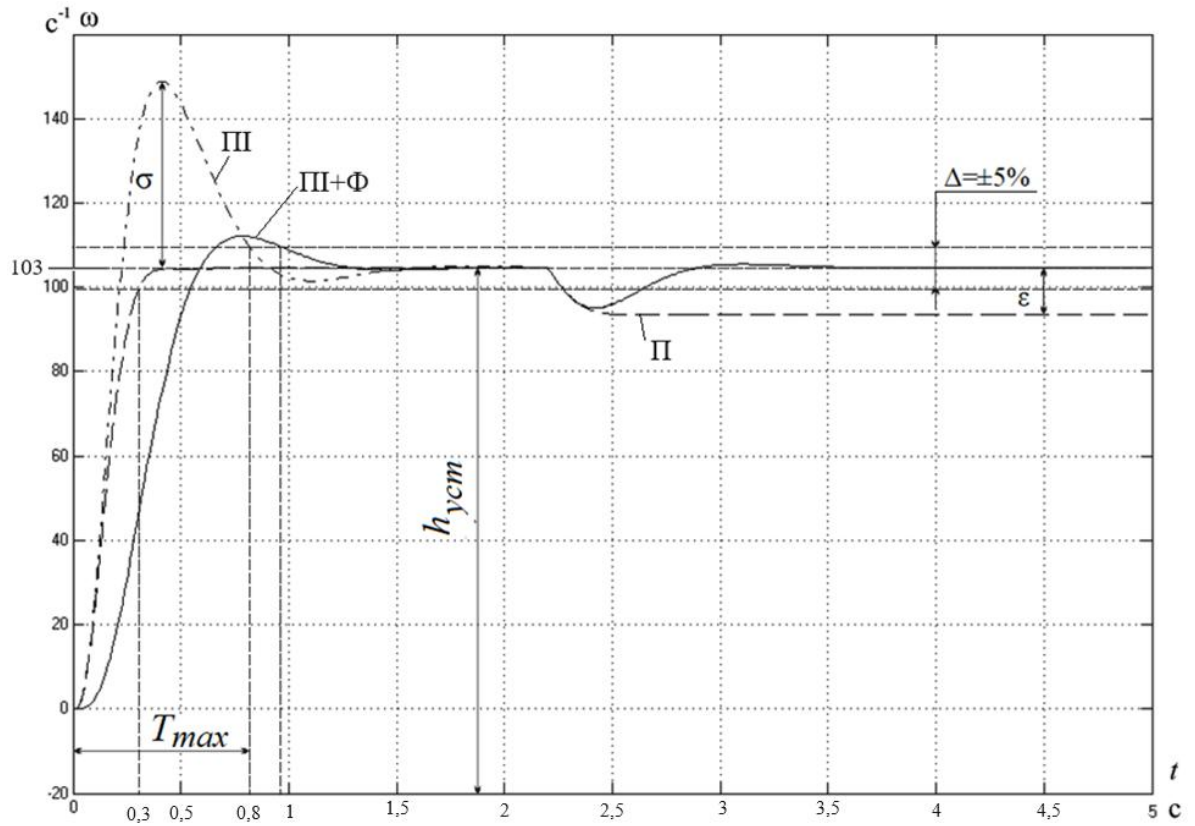


- АД - асинхронний двигун;
- ПЧС - перетворювач частоти струму;
- КВ - керуючий випрямляч;
- ІС - інвертор струму;
- ТГ - тахогенератор;
- РШ - регулятор швидкості;
- РС - регулятор струму;
- ФП - функціональний перетворювач;
- БО - блоку обмеження;
- ФЧК - формувач частоти ковзання;
- ПП - погоджувальний пристрій;
- ДС - датчик струму;
- ЗЧ - пристрій завдання частоти

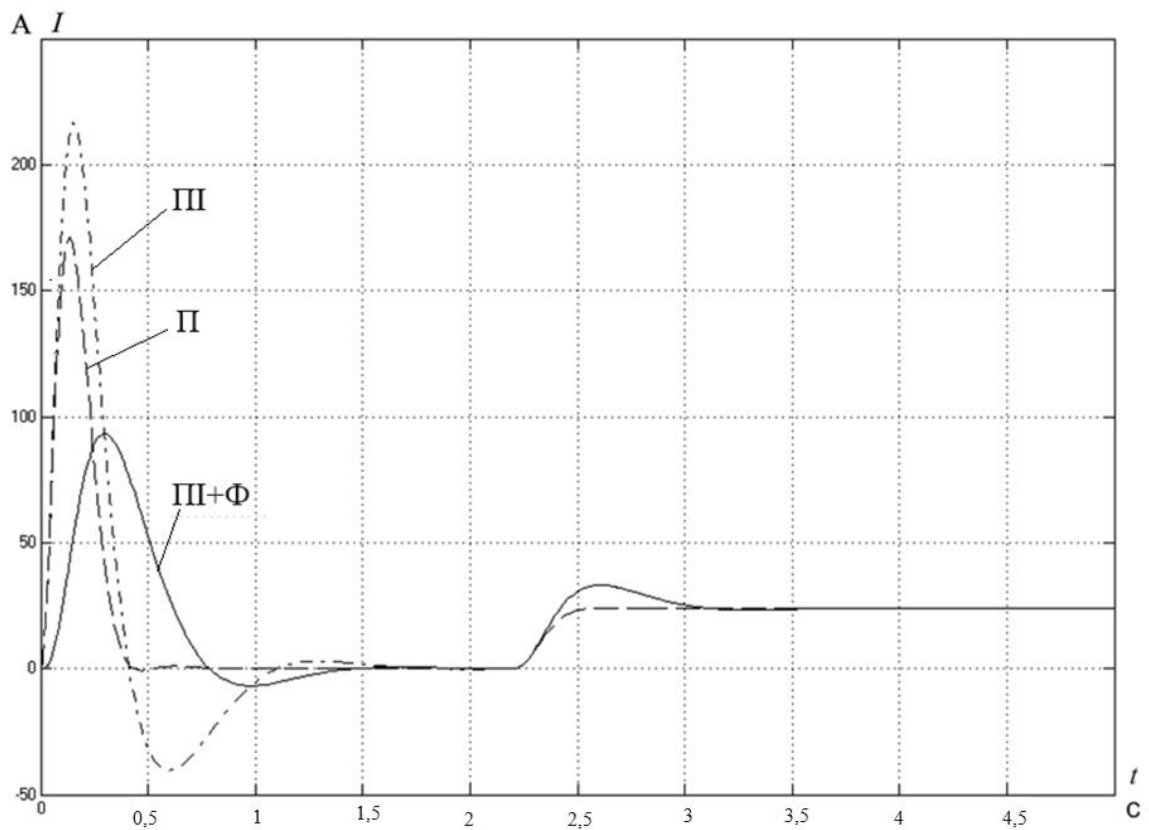
СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА



АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



Перехідні процеси по швидкості



Перехідні процеси по струму

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Проведене дослідження системи керування автоматизованого електропривода механізму пересування порталного крана:

- в даній роботі був проведений аналіз розробок в області кранового електропривода; розглянуті особливості частотно регульованого кранового електропривода механізму пересування;
- виконаний розрахунок необхідної потужності та обраний електродвигун серії АИР132М4У3 для привода механізму пересування крана;
- проведений вибір комплектного електропривода типу FR-F740 для керування обраним двигуном;
- 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 складені розрахункові динамічні моделі, які дозволили визначити динамічні властивості модернізованої системи.

Отримані результати при зміні законів керування:

- при застосуванні пропорційно-інтегрального закону регулювання (ПІ-регулятор) перерегулювання склало $\sigma = 30 \%$, час перехідного процесу (по входу кривої в п'ятивідсоткову зону щодо значення, що встановилося,) $T_{\max} = 0,8$ с;
- при застосуванні пропорційного закону регулювання (П-регулятор) перерегулювання відсутнє, час перехідного процесу зменшився до $T_{\max} = 0,3$ с, але при цьому виникла статична похибка $\epsilon = 11,5 \%$;
- при введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором, перерегулювання склало $\sigma = 5 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,96$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка відсутня $\epsilon = 0$. При цьому відхилення струму не перевищують максимально допустимих значень.

Враховуючі отримані результати дослідження, остаточно для системи керування була обрана схема системи керування з ПІ-регулятором швидкості і фільтром у вигляді аперіодичної ланки на вході;

В роботі розглянуті питання охорони праці при експлуатації електрообладнання порталного крана.