

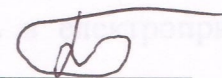
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри


(підпис)

I. С. Білюк

« 20 » 12 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

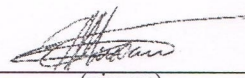
освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
(назва освітньої програми)

на тему: Електропривод підйому суднового крана-маніпулятора

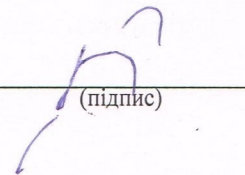
Виконав: студент групи 6371м
Лебідь Єгор Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

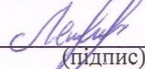
Керівник доц. каф. автоматики, к.т.н.,
доц. Надточій А.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент доцент кафедри СЕЕС,
к.т.н., доцент Ставинський Р.А.
(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 – 2024 року

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 88с., 7 розд., 4 табл., 23 рис., 1 дод., 17 джерел.

Ключові слова: кран-маніпулятор, сервоелектропривод, частотні характеристики, цифрова система керування, імпульсний регулятор, стійкість, перехідна характеристика, показники якості керування.

Об'єкт дослідження – процеси, які протікають в електроприводі з цифровою системою керування.

Мета роботи – на основі існуючих теоретичних досліджень провести синтез електроприводу підйому суднового крана–маніпулятора з широтно-імпульсним регулюванням.

Перший розділ присвячений аналізу конструктивних особливостей суднових кранів-маніпуляторів і згідно цього зроблена постановка задачі дослідження. У другому розділі наведена методологія магістерського дослідження. У третьому розділі здійснено розробка системи керування електроприводом. У четвертому розділі наведено синтез системи керування з цифровим регулятором. П'ятий розділ присвячено дослідженню надійності електропривода крана-маніпулятора.

У шостому та сьомому розділах розглянути питання з охорони праці та довкілля.

Додатки містять слайди мультимедійної презентації.

ABSTRACT

Qualification work: 88 p., 7 chapters, 4 tables, 23 figures, 1 appendix, 17 sources.

Keywords: crane manipulator, servo-electric drive, frequency characteristics, digital control system, pulse regulator, stability, transient response, control quality indicators.

The object of study is the processes occurring in an electric drive with a digital control system.

The aim of the work is to synthesise an electric drive for lifting a ship's crane-manipulator with pulse-width control on the basis of existing theoretical studies.

The first section is devoted to the analysis of the design features of ship cranes and manipulators and, accordingly, the research problem is formulated. The second section describes the methodology of the master's research. Chapter 3 describes the development of the electric drive control system. Chapter 4 describes the synthesis of the control system with a digital controller. Chapter 5 is devoted to the study of the reliability of the electric drive of the crane manipulator.

In the sixth and seventh chapters, you will consider issues related to labour protection and the environment.

The appendices contain slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1	
СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
1.1 Аналіз конструктивних особливостей суднових кранів-маніпуляторів...	8
1.2 Шляхи поліпшення динамічних властивостей крана-маніпулятора.	17
1.3. Обґрунтування необхідності застосування сервопривода.....	19
1.3 Постановка задачі дослідження.....	31
РОЗДІЛ 2	
МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	32
2.1 Побудова структурно-логічної схеми магістерського дослідження.....	32
2.2 Методи проведення дослідження.....	34
2.3 Методи розрахунку поставленої задачі.....	37
2.4 Висновки по розділу 2.....	39
РОЗДІЛ 3	
РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	40
2.1 Вибір двигуна.....	40
2.2 Опис обраного двигуна.....	43
2.3 Опис обраної системи керування.....	46
РОЗДІЛ 4	
РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ.....	48
4.1 Опис обраного методу синтезу.....	48
4.2 Синтез регулятора методом бажаних ЛАХ.....	52
4.3 Моделювання системи у середовищі Simulink.....	56
РОЗДІЛ 5	
ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КРАНА–	
МАНІПУЛЯТОРА.....	59
5.1 Обґрунтування необхідності проведення дослідження стійкості	
об’єкта.....	59

5.2	Оцінка стійкості проектного об'єкта у надзвичайних станах	61
5.3	Розрахунок загальної величини ризику відказу об'єкта	66
РОЗДІЛ 6		
ОХОРОНА ПРАЦІ		69
6.1	Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які впливають на людину при експлуатації крана-маніпулятора	69
6.2	Заходи по техніці безпеки щодо створення безпечних та нешкідливих умов праці	72
РОЗДІЛ 7		
ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....		78
7.1	Аналіз основних складових забруднення навколишнього середовища, що виникає в процесі виробництва.....	79
7.1.1	Вплив штучних електромагнітних полів	79
7.1.2	Шумове і вібраційне забруднення при роботі установки.....	81
7.1.3	Чинники виникнення хімічного забруднення.....	83
7.2	Заходи щодо запобігання виникненню забруднень.....	84
ВИСНОВКИ.....		86
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....		87

ВСТУП

Актуальність проблеми. Наявність крана-маніпулятора на судні може бути як обов'язковим елементом (наприклад, для вантажних або гідрографічних суден), так і просто бажаним, адже кран на борту робить будь-яке судно незалежним від обставин. Встановлений на борту вантажного судна, кран - маніпулятор може повністю забезпечити проведення вантажно-розвантажувальних робіт, а на борту суден інших призначень може служити для спуску-підйому шлюпок, а також забезпечувати навантаження постачання. Кран - маніпулятор - це кран зі складною і телескопічною стрілою не має противаги і працює за допомогою гідравліки. Крани-маніпулятори часто встановлюються на борту різних судів, вантажних і спеціального призначення. Відмінною особливістю кранів-маніпуляторів, призначених для установки на морських судах, є спеціальна конструкція, що дозволяє крану забезпечувати вантажопідйомні роботи в умовах качки. Основною, визначальною метою керування устаткуванням, технологічними й виробничими процесами за допомогою автоматизованих систем керування є підвищення продуктивності праці, поліпшення використання матеріально-сировинних і паливно-енергетичних ресурсів. Подальше вдосконалювання автоматизованих систем керування пов'язане з підвищенням їхньої економічної ефективності шляхом індустриального створення автоматизованих технологічних комплексів з автоматизованих систем керування технологічними процесами.

Мета і завдання дослідження. На основі існуючих теоретичних досліджень провести синтез електроприводу підйому суднового крана-маніпулятора з широтно-імпульсним регулюванням. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Скласти математичну модель синтезу імпульсної системи в системі автоматичного керування.
2. Провести теоретичні дослідження, щодо поведінки електропривода з різними періодами квантування імпульсного регулятора.
3. Довести доцільність використання цифрової системи керування в електроприводі крана-маніпулятора.

Об'єкт дослідження — процеси, які протікають в електроприводі з цифровою системою керування.

Предмет дослідження — показники якості, що забезпечують швидкодію та плавність протікання перехідних процесів.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Отримані залежності, що дозволяють моделювати різні типи імпульсних регуляторів.
2. Виявлені закономірності зміни частотних характеристик електроприводу, які залежать від періоду квантування.
3. Подальший розвиток отримав алгоритм синтезу регуляторів в дискретних системах керування.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Методика синтезу імпульсних регуляторів.
2. Структурна схема суднового кранового електроприводу з імпульсним регулятором.
3. Схеми моделювання перехідних процесів у електроприводі з імпульсним регулятором.

Випробувана методологія і схеми моделювання дозволяють підвищити швидкодію електропривода.

Апробація результатів роботи. Основні результати магістерської роботи доповідалися та обговорювалися на XV Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», у доповіді «Модернізація електропривода промислового робота» (м. Миколаїв, 2024 р.).

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, 7 розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Робота викладена на 88-ти сторінках і містить 23 рисунка та 4 таблиці.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз конструктивних особливостей суднових кранів-маніпуляторів

Опис суднового крана-маніпулятора «Палфінгер» рисунок 1.1.

Крани, призначені для установки на борту корабля, зазвичай оснащені закритою кабіною управління, в якій оператор захищений від вітру і бризок води. Консоль управління комплексу проста для користувача, повна автоматизація процесу дозволяє отримувати складні форми з чудовою повторюваністю, виключаючи негативний вплив людського чинника.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд крана-маніпулятора «Палфінгер»

Наявність крана-маніпулятора на судні може бути як обов'язковим елементом (наприклад, для вантажних або гідрографічних суден), так і просто бажаним, адже кран на борту робить будь-яке судно незалежним від обставин. Встановлений на борту вантажного судна, кран - маніпулятор може повністю забезпечити проведення вантажно-розвантажувальних робіт, а на борту суден інших призначень може служити для спуску-підйому шлюпок, а також забезпечувати навантаження постачання.

Кран - маніпулятор - це кран зі складною і телескопічною стрілою не має противаги і працює за допомогою гідравліки. Крани-маніпулятори часто встановлюються на борту різних судів, вантажних і спеціального призначення. Відмінною особливістю кранів-маніпуляторів, призначених для установки на морських судах, є спеціальна конструкція, що дозволяє крану забезпечувати вантажопідйомні роботи в умовах качки. Зазвичай кран складається з нерухомої частини (підстави), закріпленої на борту корабля, і поворотної конструкції (колони), до якої кріпиться комплекс складних і поворотних секцій стріли, що дозволяють зручно здійснювати підйом і переміщення вантажів. Крани-маніпулятори є електрогідравлічними кранами, тобто така вантажна техніка працює з гідравлічним приводом, який може контролюватися електронікою.

Управління сучасними кранами часто оснащується системою радіоуправління - все для того, щоб працювати з краном було легко і зручно. Система радіоуправління дозволяє крановщику перебувати безпосередньо поруч з вантажем і обходитися без стропальника. Сучасні суднові крани-маніпулятори повинні володіти такими властивостями, як можливість роботи з вантажами, плаваючими на поверхні води; можливість виконання вантажних операцій при хвилюванні моря в умовах бортовий качки; робота при крен корабля на будь-який борт і дифференте на ніс або корму; стійкість до впливу солоної морської води. Також важливо, щоб кран був компактным і не займав багато місця на палубі судна.

Крім цього важлива багатофункціональність, яка досягається за допомогою зміни навісного обладнання. Крани-маніпулятори відомих світових виробників

можуть бути оснащені різними комплектами навісного обладнання, кожен з яких ідеально підходить для роботи з тим чи іншим типом вантажу. Ну і, звичайно ж, важливими якостями, якими повинен володіти судновий кран - маніпулятор, є простота управління і надійність - адже ризик поломки вантажної техніки у відкритому морі необхідно звести до мінімуму. Всі ці якості повною мірою реалізовані в кранах-маніпуляторах виробництва компанії «Палфінгер».

Особливістю крана, даного типу, є забезпечення рухів робочого органу маніпулятора в сферичній системі координат, а також конструктивне вбудовування безпосередньо в обслуговуване обладнання. Пристрій програмного керування забезпечує позиціонування робочого органу маніпулятора по шести координатним осям, дві з яких є загальними для механізмів з чотирма ступенями рухливості.

Кран складається з: підстави, вузла механічної стріли, уніфікованих поворотних блоків стріли, перехідної втулки і змінних схопили, а також пристрої управління. Підстава включає в себе механізм повороту стріли у вертикальній площині. Вузол стріли складається з: механізму горизонтального і вертикального лінійного руху, механізму повороту у вертикальній і горизонтальній площинах. Блок повороту кисті щодо поздовжньої осі може бути виконаний у двох варіантах.

Таблиця 1.1—Технічні характеристики суднового крана-маніпулятора

Найменування параметру	Од. вим.	Значення
Номінальна вантажопідйомність	кг	5000
Число ступенів рухомості	-	6
Тип привода	-	Електромеханічний
Найбільший виліт стріли	м	7
Тип системи керування	-	Позиційна
Кількість програмованих точок	-	300
Спосіб програмування	-	Навчання

Принцип роботи суднового крана-маніпулятора.

Координати переміщень крана наведено на рисунку 1.2. На підставі крана встановлений електродвигун постійного струму з вбудованим датчиком зворотного зв'язку. Обертання передається на черв'ячний вал і черв'ячні колеса. Переміщення x або z здійснюється за допомогою регульованого електродвигуна постійного струму, встановленого всередині стріли, через редуктор з передавальним відношенням $2/3$, пару конічних зубчастих коліс і багатозахідну кульковидну передачу. Разом з гайкою передачі переміщається по кульковій направляючій кронштейн з встановленим на ньому блоком повороту. Для запобігання самовільного опускання кронштейна при вимкненні живлення вал конічної шестірні з'єднаний з електромагнітним гальмом. Контроль переміщення здійснюється перемикачами на які впливають упори, встановлені на кронштейн. Механізм повороту включає в себе регульований електродвигун постійного струму, який через зубчасту передачу приводить в обертання однозахідний черв'як та зчеплене з ним черв'ячне колесо. Черв'ячне колесо встановлено на вихідному валу, який жорстко зв'язаний з механізмом стріли маніпулятора. На протилежному конусі цього валу закріплений диск з упорами, що впливають на шляхові перемикачі в схемі управління рухом повороту.

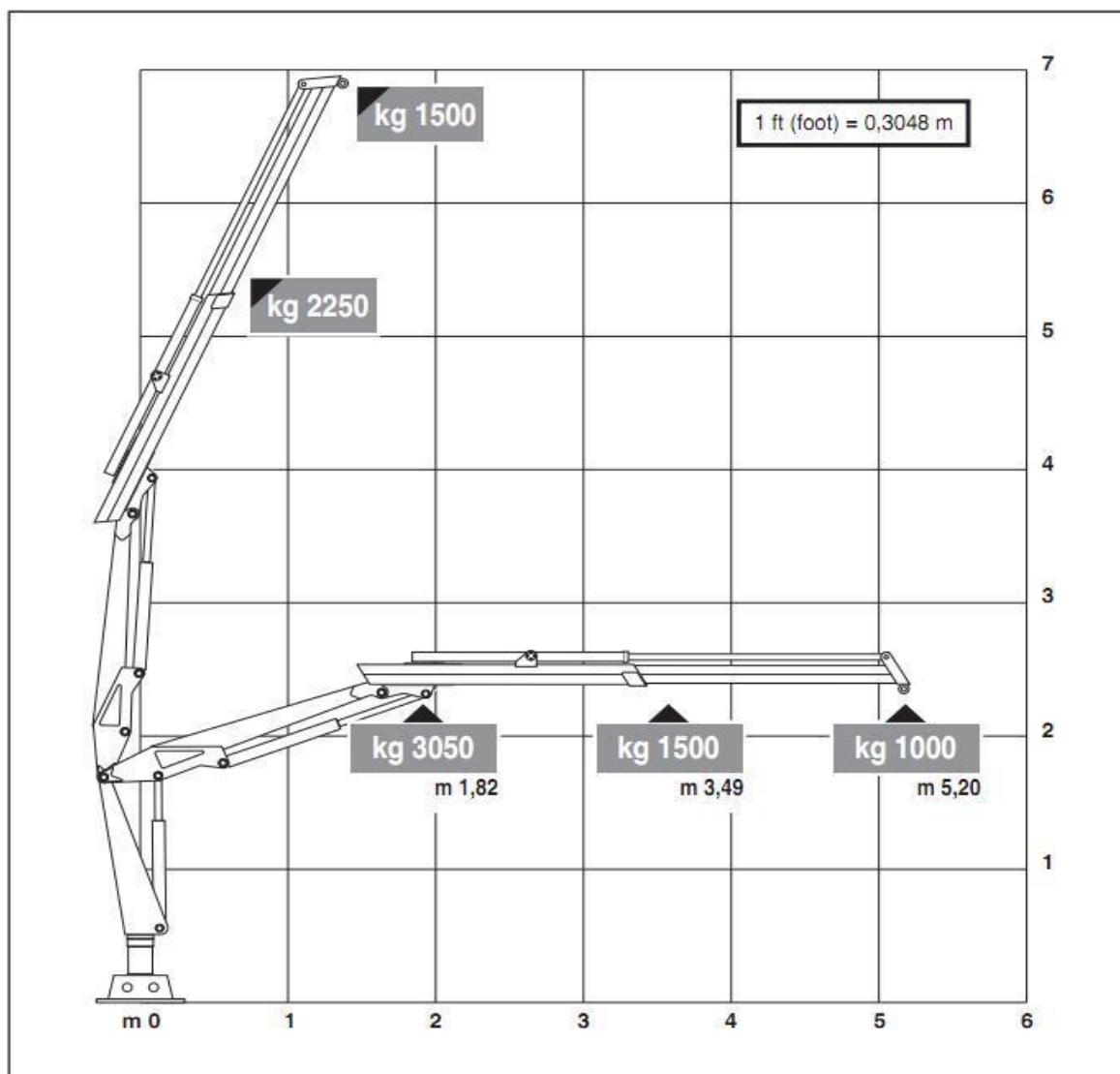


Рисунок 1.2 – Координати переміщення крана-маніпулятора

Механізм повороту стріли маніпулятора у вертикальній або горизонтальній площинах приводиться в рух електродвигунами постійного струму, який через приводний зубчастий ремінь обертає вал черв'яка і зчеплене з ним черв'ячне колесо.

Останнє нерухомо закріплено на осі, яка встановлена в корпусі механізму повороту. У результаті обкатки черв'яка по нерухомому черв'ячному колесу відбувається рух корпусу руки щодо осі цього колеса.

Система керування крана-маніпулятора.

В основі системи керування крана-маніпулятора лежить електропривод постійного струму, аналогом якого є система керування призначена для промислових роботів з послідовною роботою координат.

Перетворювач виконаний за трифазною реверсивною мостовою схемою випрямлення. Застосовано класичне підпорядковане регулювання з ПІ-регуляторами швидкості і струму. Керування роздільне, без зрівняльних струмів. Нелінійне струмообмеження забезпечує обмеження максимально допустимого струму якоря у функції частоти обертання. Передбачене адаптивне регулювання коефіцієнта підсилення і сталої часу інтегрування у функції частоти обертання. СІФК виконано за вертикальним принципом з можливістю регулювання початкового струму якоря. Розгалужений ланцюг електронних захистів і сигналізації забезпечує зручність експлуатації і швидкість усунення можливих несправностей.

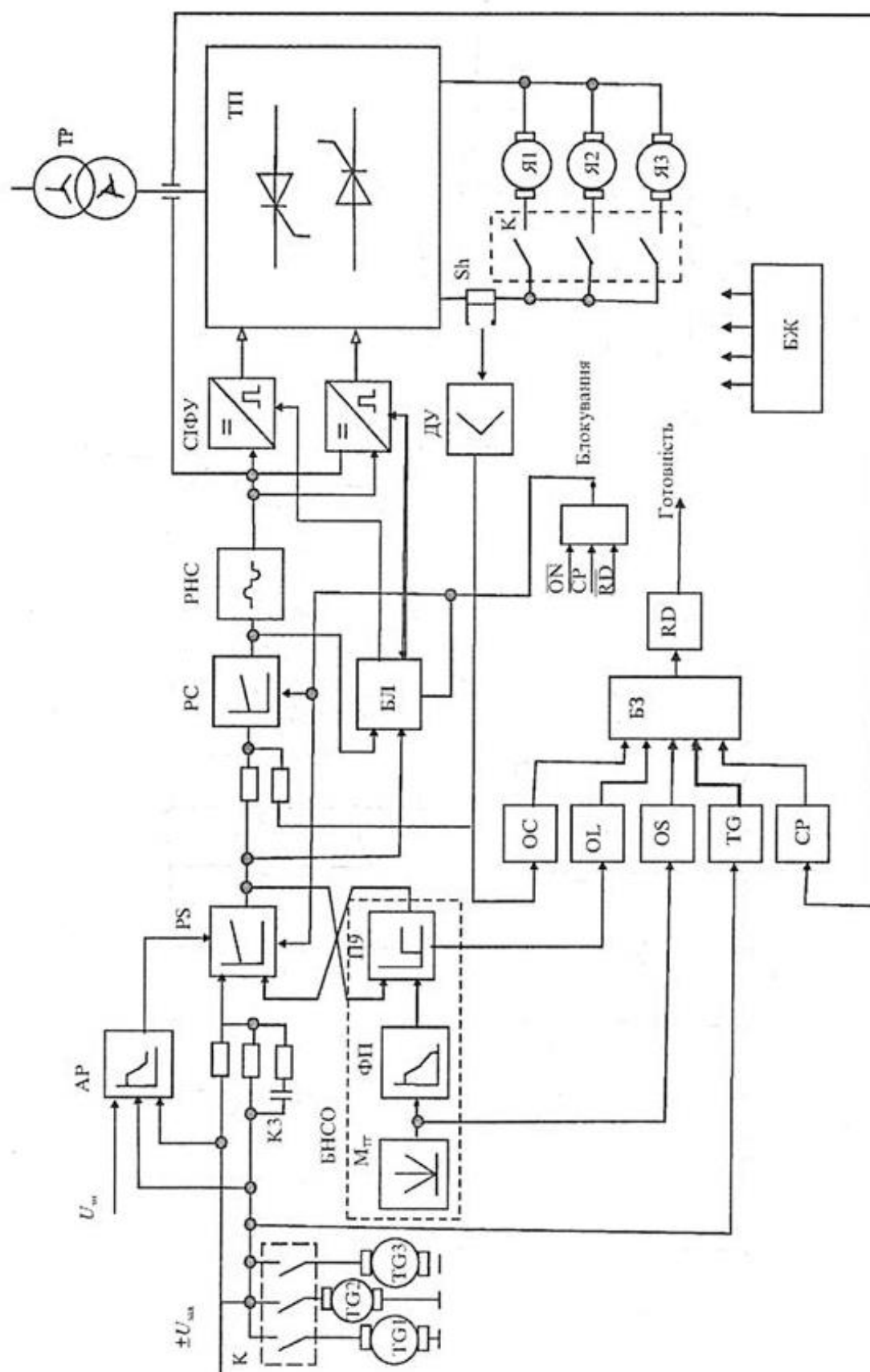


Рисунок 1.3 – Структурна схема електропривода

Блок-схема привода наведена на рисунку 1.3, де РШ - регулятор швидкості, РС - регулятор струму, АР - адаптивний регулятор, КЛ - коригувальна ланка, МТГ - схема виділення модуля напруги тахогенератора, ФП - функціональний перетворювач, ГЕ - граничний елемент, БНСО - блок нелінійного струмообмеження, РПС - регулятор початкового струму якоря, БЛ - блок логіки роздільного керування, СІФУ - система імпульсно-фазового управління, ТР - силовий трансформатор, Я - двигун, ТГ - тахогенератор, Sh шунт, ПС - диференціальний підсилювач струму, ОС - захист від перевантаження по струму, OL - захист від тривалого перевантаження, OS - захист від перевищення максимальної частоти обертання, TG - захист від обриву ланцюга тахогенератора, CP - захист від неправильного підключення, RD - готовність, ON - сигнал "Робота" (деблокування), БЗ - блок захисту, ДО - комутатор, БЖ - блок живлення.

Силовa схема (рисунк 1.4) виконана за трифазною мостовою реверсивною схемою випрямлення без зрівняльних дроселів, що пов'язано з роздільним принципом керування перетворювача.

Особливістю трифазних мостових випрямних схем є необхідність подачі на керуючі електроди тиристорів двох імпульсів, які подані через 60 ел. град. Це пов'язано з тим, що в мостовій схемі одночасно проводять струм два вентиля: вентиль, до анода якого прикладається найбільша позитивна напруга, і вентиль, до катода якого прикладається найбільша негативна напруга. Таким чином, другий імпульс забезпечує нерозривність ланцюга при комутації струму. Зсув між парами імпульсів однієї групи становить 120 ел. град, а між парами імпульсів однієї фази різних груп 180 ел. град.

Пульсації вихідної напруги перетворювача в шість разів перевищують частоту мережі, що забезпечує високий коефіцієнт використання двигуна 98%, і створює сприятливі умови для підтримки безупинного струму без додаткових згладжувальних елементів у силовій схемі.

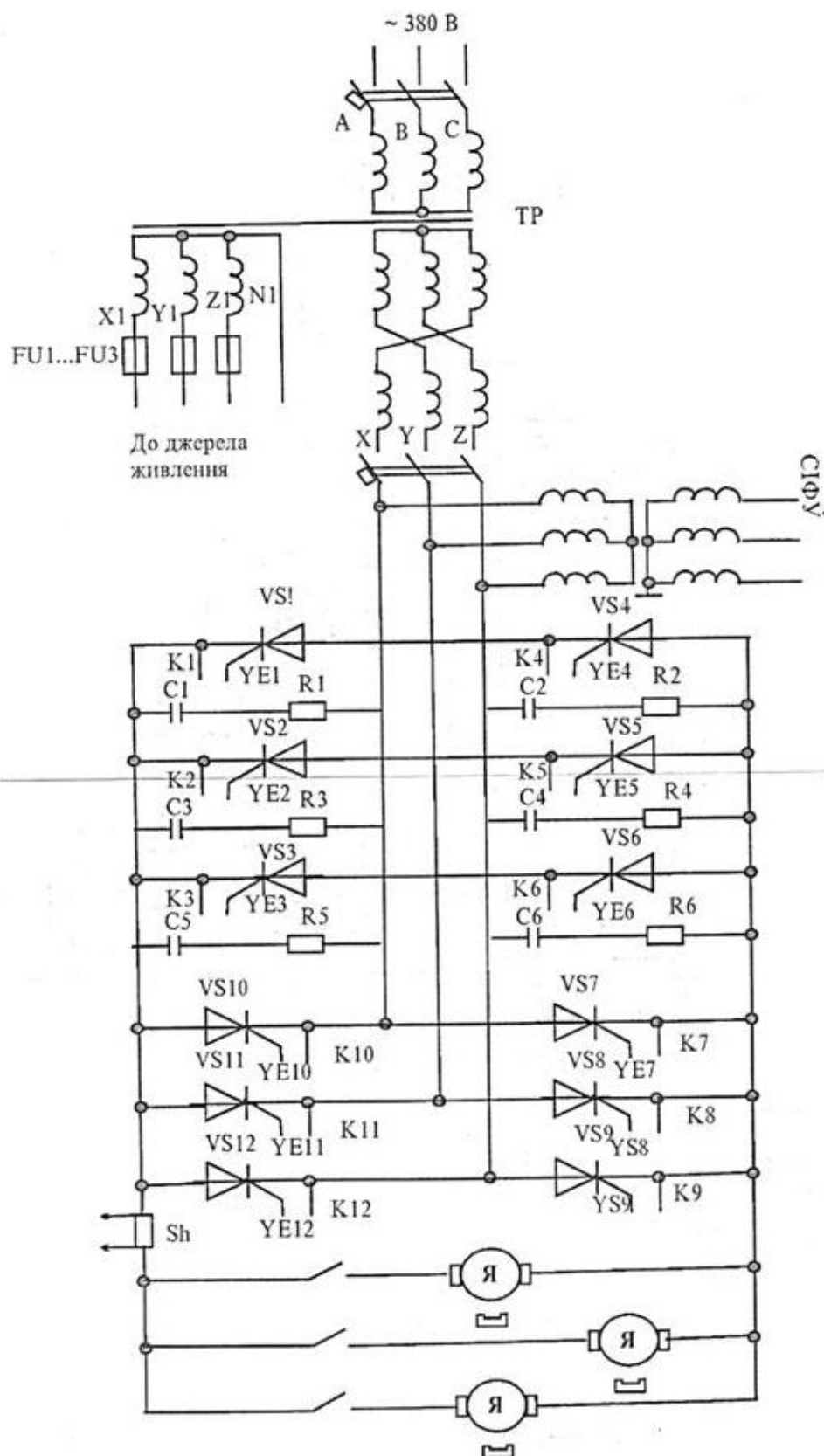


Рисунок 1.4 – Силовая схема электропривода

1.2 Шляхи поліпшення динамічних властивостей крана-маніпулятора

В електроприводі кранів-маніпуляторів з контурним управлінням широко застосовуються двигуни постійного струму (ДПТ) і вентильні двигуни. Застосування ДПТ обумовлено зручністю та простотою регулювання швидкості і моменту. Для подібних цілей вони використовуються вже давно, тому основні вузли схем управління досить добре відпрацьовані, є типові рішення, обслуговуючий персонал на судах підготовлений до експлуатації таких приводів.

Система керування з використанням двигуна постійного струму є морально та технологічно застарілою, крім того двигун постійного струму має ряд недоліків які негативно впливають на технічні характеристики системи в загалом. Цими недоліками являються:

- вартість виготовлення;
- для живлення електродвигуна від мережі змінного струму необхідно використовувати випрямні пристрої;
- необхідність профілактичного обслуговування колекторно-щіткових вузлів;
- обмежений термін служби через зношення колектора.

Однією з сучасних систем керування крана-маніпулятора являється система сервопривода з синхронним двигуном. Така система дозволяє досягти високого моменту в широкому діапазоні регулювання частоти та досягти високої точності керування, що є важливим показником у системі крана-маніпулятора.

Дана схема являє собою аналогово-цифрову систему автоматичного управління, в якій поєднуються переваги комбінованої аналогової системи, що працює за принципом трьох контурної системи підпорядкованого регулювання, з перевагами цифрової системи (висока точність і зручність програмування).

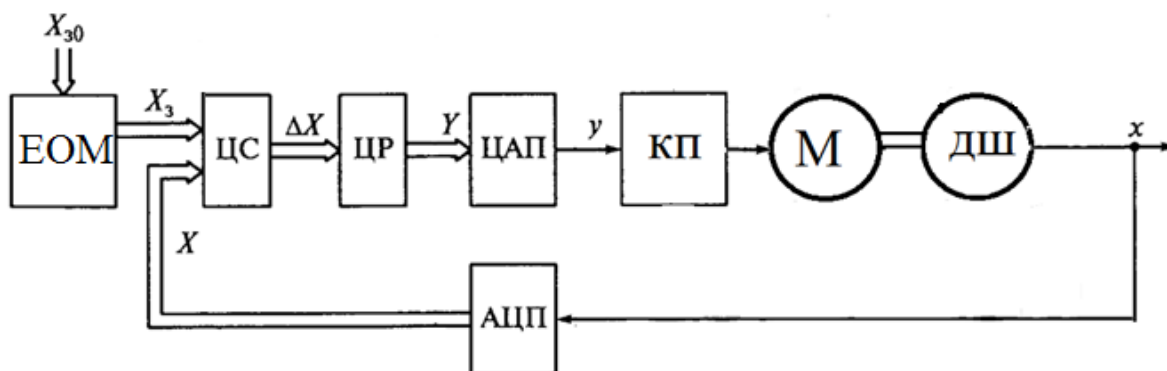


Рисунок 1.5 – Функціональна схема сервопривода

На рисунку 1.5 позначено: ЕОМ – електронна обчислювальна машина, ЦС-цифровий суматор, ЦР- цифровий регулятор, ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач, КП – керований тиристорний перетворювач, М – синхронний серводвигун, ДШ – датчик швидкості, АЦП – аналого-цифровий перетворювач.

В якості регуляторів швидкості та струму в системі керування найчастіше використовуються аналогові, а останнім часом - і цифрові, операційні підсилювачі за допомогою яких легко реалізується практично будь-який потрібний закон управління. Датчик швидкості також може бути як аналоговим, так і цифровим.

У ряді випадків застосування датчика швидкості не потрібно, тому сигнал про зміну швидкості може бути обчислений в цифровому регуляторі положення шляхом диференціювання сигналу з датчика кута.

При заміні двигуна постійного струму на сервопривод з синхронним двигуном ми отримаємо ряд переваг зв'язаних з технічними особливостями синхронного двигуна, а саме:

- Можливість роботи при $\cos \varphi = 1$; це призводить до поліпшення $\cos \varphi$ мережі, а також до скорочення розмірів двигуна, так як його струм менше струму асинхронного двигуна тієї ж потужності. При роботі з випереджаючим струмом синхронні двигуни служать генераторами реактивної потужності, що надходить в асинхронні двигуни, що знижує споживання цієї потужності від генераторів електростанцій;

- меншу чутливість до коливань напруги, так як їх максимальний момент пропорційний напрузі в першого ступеня (а не квадрату напруги);
- сувору сталість частоти обертання незалежно від механічного навантаження на валу.

Крім основного функціоналу, наявність на «борту» сервоприводу сучасного сигнального процесора дозволяє реалізувати в рамках системи управління безліч додаткових функцій, таких як:

- Програмований логічний контролер.
- Інтерполятор.
- Електронний редуктор.
- Обробка кінцевих датчиків.
- Контроль температури.
- Захист від КЗ.
- Захист від зниженої та підвищеної напруги харчування.
- Гальмування з регулюванням вироблюваного противо ЕРС.

Наявність перерахованих функцій дозволяє збільшити надійність системи, знизити зносостійкість обладнання, а в ряді випадків виключити зовнішній контролер управління рухом.

1.3. Обґрунтування необхідності застосування сервопривода

Крани зі змінюваною послідовністю переміщень повинні мати здатність зупиняти окремих вузол робочого органу у будь-якій точці траєкторії. Існують два підходи до рішення цієї задачі. При простому технічному рішенні контролер просто посиляє енергію до вузла, як тільки отриманий сигнал, що робочому органу вимагається зайняти потрібну позицію. При використанні деяких спеціальних електричних моторів. Такий підхід прийнятний, але в цілому керування з відкритим контуром без зворотного зв'язку відносно інформації про дійсне положення того або іншого вузла дуже неточно — робочий орган робота може де-небудь застрягти і зовсім перестати рухатися. Тому в усіх кранах, використовують інше рішення задачі,

яке припускає розміщення на кожному вузлі сервомеханізму, ефективно контролюючого фактичне положення вузла і положення, яке контролер «хоче», щоб вузол зайняв, а потім переміщає робочий орган до тих пір, поки положення не співпадають. Роботи, що використовують керування із замкнутим контуром, називаються роботами зі слідкуючою системою або просто сервоелектроприводами.

Крани з позиційними і контурними системами - що діють від точки до точки і по суцільній траєкторії керування, два типи контролерів, використовуваних в кранах, мають цю особливість. У багатьох кранів перших поколінь комп'ютерної пам'яті вистачало для запам'ятовування лише дискретних точок в просторі, по яких повинен рухатися робочий орган. Траєкторія руху руки між цими точками не задавалася, і її нерідко важко було передбачити. Такі крани з позиційним керуванням вже широко поширені. Зі зменшенням вартості пристроїв, що запам'ятовують, з'явилася можливість збільшити число точок, що запам'ятовуються. Багато виробників використовують термін „багатоточкове керування”, якщо в комп'ютерній пам'яті можна зберігати дуже велике число дискретних точок [6].

Для деяких видів робіт необхідно, щоб робочий орган, слідуючи по траєкторії, управлявся безперервно. Такі роботи з контурним керуванням насправді розбивають суцільну траєкторію на велике число окремих близько розташованих одна від однієї точок. Положення точок записують під час програмування або обчислюють при фактичному русі шляхом інтерполяції, наприклад між двома точками для утворення прямої лінії. Ці роботи можна розглядати як природний розвиток систем з позиційним керуванням. Фактично існує «сіра зона», в якій системи багатоточкового керування можуть апроксимувати суцільну траєкторію системи, якщо стріла крана не зупиняється в кожній дискретній точці, а плавно проходить через них.

Прогрес в областях електроніки і використовуваних в електротехніці матеріалів змінили ситуації в техніці приводу. Досі в сервотехніці застосовувалися в основному двигуни постійного струму з постійними магнітами. Головний недолік двигунів змінного струму в порівнянні з двигунами постійного струму полягав в обмеженій можливості регулювання швидкості. Останні досягнення в області електроніки,

особливо в мікроконтролерах, дозволяють компенсувати цей недолік шляхом використання сучасних засобів керування [1].

Нині відбувається зміщення акцентів в приводних системах від двигунів постійного струму до двигунів змінного струму. Тенденція переходу до синхронних двигунів змінного струму особливо очевидна в сервосистемах, які майже завжди виконувалися з використанням електроприводів постійного струму.

Нові потужні постійні магніти, виготовлені зі сплавів ніодим-залізо-бора і самарій-кобальта завдяки їх високій енергоємності, можуть істотно поліпшити характеристики двигуна одночасним зниженням масо-габаритних показників електричних машин. У результаті покращуються динамічні характеристики приводу і знижуються його габарити.

У сучасній приводній техніці у багатьох випадках пред'являються високі вимоги до:

- похибки позиціонування;
- похибки стабілізації швидкості;
- керування позицією валу;
- широкого діапазону регулювання;
- стабілізації моменту обертання;
- перевантажувальної здатності;
- високої динаміки.

Вимоги до динаміки, тобто поведінки приводу в часі, складаються з процесів обробки, що все прискорюються, збільшенню циклів обробки і пов'язаної з ними продуктивності машини. Висока точність дуже часто визначає можливість використання систем електроприводу в нових технологіях. Цим вимогам повинні відповідати сучасні високодинамічні системи приводу, які мають назву сервоприводи.

Сервопривод - це система приводу, яка в широкому діапазоні регулювання швидкості забезпечує динамічні, високоточні процеси і забезпечує хорошу їх повторюваність.

Серводвигуни можуть бути розділені на декілька груп [6]:

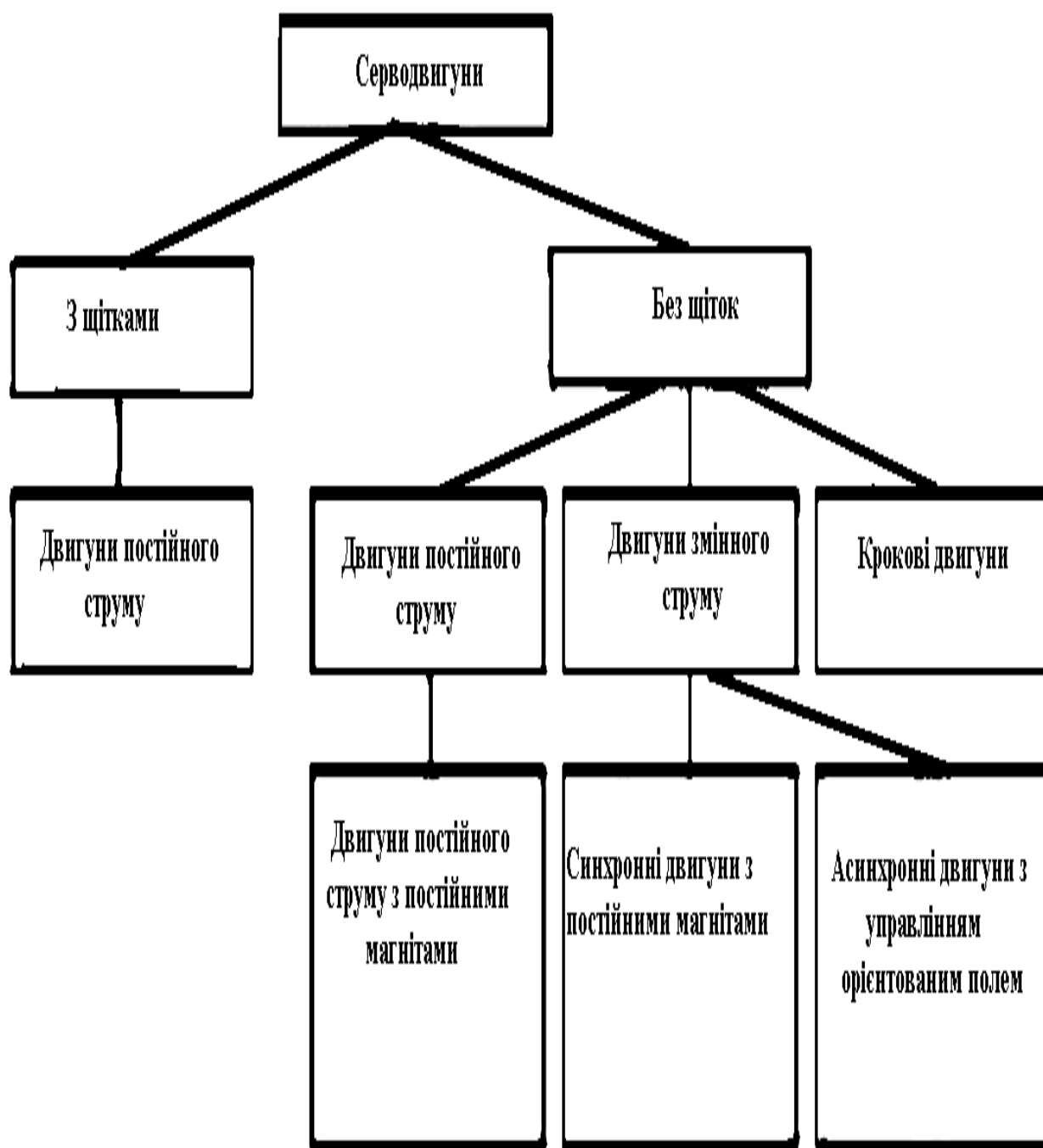


Рисунок 1.6– Класифікація серводвигунів

Слово "серво" пішло від латинського слова "servus", що переводиться як слуга, раб, помічник. У машинобудівних галузях вони були переважно допоміжними приводами (приводи подач у верстатах, приводи роботів і тому подібне). Проте

сьогодні ситуація змінилася, тепер і головні приводи реалізуються з використанням сервотехніки. Принципово перелічені вище якості можна отримати з використанням: двигунів постійного струму незалежного збудження, асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором, синхронних двигунів зі збудженням від постійних магнітів. Нижче наводиться порівняння цих двигунів по ряду параметрів.

З точки зору вимог динаміки розвиток сервоприводів проходив у напрямі створення двигунів постійного струму з малим моментом інерції. В основу отримання малого моменту інерції ротора було покладено два рішення. Перше припускало реалізацію якоря двигуна у вигляді тонкого плоского диска, що не містить заліза, друге - ґрунтувалося на отриманні циліндричного немагнітного якоря. У обох випадках на початку 70-х років стали широко застосовувати постійні магніти з рідкоземельних матеріалів, що забезпечують набуття підвищеного значення індукції в повітряному проміжку і високого моменту, що крутить.

В протилежність звичайного компонування двигуна постійного струму розробники прийшли до перспективного нового рішення: якір на статорі, поле збудження на роторі. Так з'явилися безщіткові двигуни постійного струму, або двигуни з електронною комутацією. Вони найбільшою мірою відповідає вимогам сервосистем. Статор виконаний так само, як в асинхронному двигуні. На роторі наклеєні постійні магніти, що створюють постійне магнітне поле. Двигуни зазвичай виконуються в закритому виконанні (як мінімум IP 54) і з вентилятором.

Ці електричні машини принципово є синхронними двигунами СД з постійними магнітами, в яких положення ротора контролюється простим імпульсним датчиком положення (енкодером) [6].

На додачу до електронної безконтактної комутації і низького зносу, цей тип приводу має наступні переваги:

- знижений момент інерції через відсутність обмотки на роторі;
- простота охолодження, оскільки відведення тепла від статора прийнятніше, ніж від ротора;
- підвищений ККД, оскільки немає втрат, пов'язаних з обмоткою збудження;

- хороші масогабаритні показники;
- тривалий термін служби;
- висока перевантажувальна здатність.

Силові модулі в системах засновані на наступному: перетворювач частоти (інвертор), керований датчиком положення ротора двигуна, прийнятніше, ніж інвертор з незалежним керуванням, використовуваний для стандартних двигунів змінного струму. Функціональні відмінності полягають тільки в наявності замкнутого і розімкненого зворотного зв'язку в системі керування. Розвиток силових транзисторів з початку 90-х років зробив також можливим підключати системи керування сервоприводами (сервоконтролери) безпосередньо до мережі без використання мережевого трансформатора. Порівняння характеристик асинхронного двигуна, двигуна постійного струму та синхронного двигуна з постійними магнітами наводиться в джерелі [6] для конкретних двигунів близької потужності і з близькою номінальною швидкістю (див. таблицю 1.2) .

Таблиця 1.2–Порівняння характеристик двигунів

Параметри	Асинхронний двигун, що живиться від мережі	Двигун постійного струму	Синхронний двигун з постійними магнітами
1	2	3	4
Потужність, кВт	7,5	8,3	7,5
Швидкість, об/хв	2900	3200	3000
Тип	DFV132M2	GFVN160M	DFY112ML

Продовж. табл. 1.2

Тип захисту	IP54	IP44	IP65
Охолоджен ня	Вентилятор	Вентилятор	Самоохолод ження через поверхню
Довжина, мм	400	625	390
Повна маса, кг	66	105	38,6
Маса ротора, кг	17	29	8,2
Момент інерції ротора (J_d), $\times 10^{-5}$ кг·м ²	280	496	87,4
Номінальний момент, Н·м	24,7	24,7	24
Максимальний момент, Н·м	$2,6M_H/1,8M_H^{(1)}$	$1,6 M_H$	$3,0 M_H$
Максимальне прискорення, $1/c^2$	$1588^{(2)}$	797	8238
Максимальна динаміка, % (серводвигун = 100%)	$20^{(4)}$	10	100
Час розгону без навантаження, $t_{розг}$, мс	$191^{(3)}$	420	38

В таблиці позначено:

(1) - момент перекидання і середній момент, що приймається в розрахунках;

(2) - максимальне кутове прискорення:

$$a_{max} = \frac{M_{max}}{J_{\ddot{A}}};$$

(3) - час розгону без навантаження:

$$t_{\text{розг}} = \frac{J_{\ddot{A}} \cdot \omega_{\ddot{A}}}{M_{max}};$$

де $\omega_{\ddot{A}}$ – кутова швидкість двигуна;

(4) - виходячи зі співвідношення $(a/a_{\text{норм}}) \cdot 100\%$.

Більш наочне порівняння можна побачити на рисунках 1.7, 1.8.

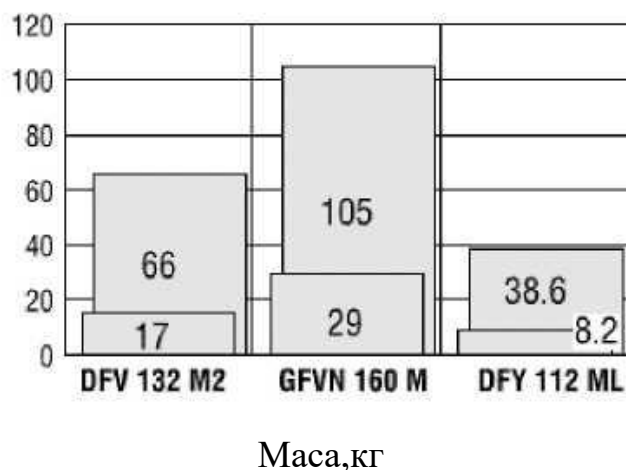


Рисунок 1.7– Маса двигунів і роторів

Рисунок 1.7 показує порівняння маси різних двигунів. Видно, що з трьох двигунів синхронний двигун з постійними магнітами має найменшу масу. Це істотна перевага, особливо в тих випадках, коли електропривод монтується безпосередньо на тому, що переміщує робочий орган.

Тому виходять наступні співвідношення маси і номінальної потужності :

- асинхронний двигун 8,8 кг/кВт;
- двигун постійного струму 12,7 кг/кВт;
- синхронний двигун 5,2 кг/кВт.

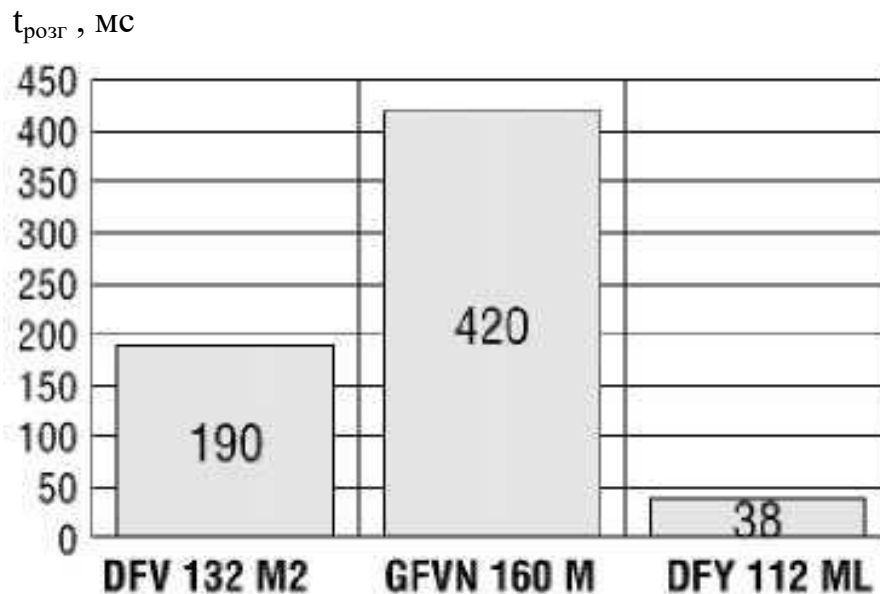


Рисунок 1.8– Час розгону без навантаження

Рисунок 1.8 показує порівняння часу розгону двигунів, на який впливає момент інерції. Моменти інерції особливо сильно розрізняються у двигуна постійного струму і синхронного. Малий момент інерції двигуна вигідний, якщо виконавчий орган має невеликий момент інерції, приведений до двигуна. Проте при великому моменті інерції виконавчого органу ця особливість синхронного двигуна виявляється неважливою.

Отже, завдяки високому максимальному моменту $M_{\max}$ і малому моменту інерції, синхронний двигун має дуже малий час розгону вхолосту, що дозволяє рекомендувати його для динамічних електроприводів. Виокремимо далі переваги і недоліки сервоприводів.

Переваги, які надає використання синхронного серводвигуна:

- відмінна підтримка швидкості (статична точність підтримки швидкості на валу двигуна до 0,01%);
- діапазон регулювання швидкості більше 1:1000;
- відмінні динамічні можливості;
- широкий діапазон регулювання швидкості;
- висока точність позиціонування;
- висока перевантажувальна здатність ($3M_n$);

- керування за швидкістю, по моменту або по позиції
- низька вага та компактні розміри.

Недоліки:

- відносно висока вартість системи.

На рисунку 1.9 показані наступні компоненти сервоприводу, серед яких найважливіші :

- 1 - двигун з редуктором або без нього;
- 2 - система зворотного зв'язку (датчик);
- 3 - гальмо (при необхідності);
- 4 - сервопідсилювач;
- 5 - система керування;
- 6 - панель підключення двигунів;
- 7 - кабель живлення;
- 8 - кабель датчика швидкості;
- 9 - інформаційний кабель;
- 10 - кабель керування встановлювальними входами.

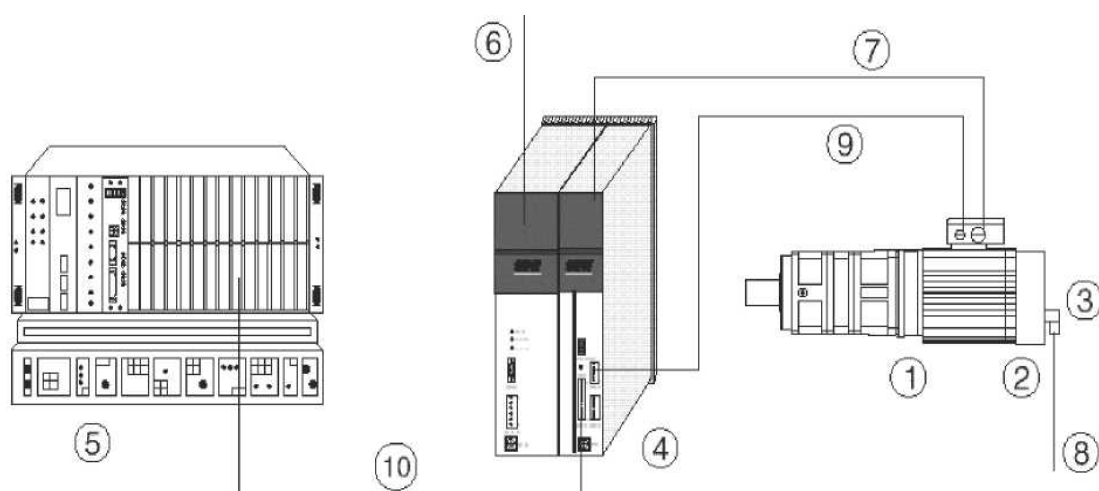


Рисунок 1.9– Компоненти динамічного приводу

За динамічними характеристиками асинхронний привод програє синхронному серводвигуну з постійними магнітами через відносно великий момент інерції ротора. Тому основним критерієм вибору типу сервоприводу є необхідна динаміка проектованого механізму.

Порівняння питомої потужності асинхронних і синхронних двигунів (відношення потужності до об'єму двигуна) показує, що питома потужність синхронних двигунів в 1,5-3 рази більше питомої потужності асинхронних.

З точки зору вартості асинхронний сервопривод має безперечну перевагу при великих потужностях. Вартість синхронних серводвигунів з рідкоземельними магнітами істотно зростає при крутих моментах, більше 20 ... 30 Н·м.

Отже, основні переваги синхронних серводвигунів по відношенню до асинхронних - висока динаміка, точність позиціонування і питома потужність, висока перевантажувальна здатність, основний недолік - відносно висока вартість.

Порівняння характеристик крокового двигуна та синхронного двигуна з постійними магнітами.

Іншим варіантом (за відсутності зворотного зв'язку) точного позиціонування приведених елементів є застосування крокового двигуна. В цьому випадку схема відлічує необхідну кількість імпульсів (кроків) від крайнього положення [6].

Оскільки датчик зазвичай контролює приведений елемент, електричний сервопривод має наступні переваги перед кроковим двигуном:

- не пред'являє особливих вимог до електродвигуна і редуктора – вони можуть бути практично будь-якого потрібного типу і потужності, а крокові двигуни, як правило, малопотужні і тихохідні;
- автоматично компенсує люфти у приводі і його знос;
- гарантує максимальну точність (по датчику) впродовж усього терміну експлуатації (у крокового двигуна відбувається поступовий "відхід" при зносі редуктора і потрібно періодичне юстирування);
- велика можлива швидкість переміщення елемента (у крокового двигуна менша максимальна швидкість в порівнянні з іншими типами електродвигунів);

- витрати енергії пропорційні опору елемента (на кроковий двигун постійно подається номінальна напруга із запасом по можливому перевантаженню);
- миттєва діагностика у разі поломки (заїдання) приводу;

Недоліки синхронного двигуна з постійними магнітами порівняно з кроковим двигуном:

- необхідність в додатковому елементі - датчику;
- складніше блок керування і логіка його роботи (потрібно обробку результатів датчика і вибір дії, що управляє, а в основі контроллера крокового двигуна - просто лічильник);
- проблема фіксації, - зазвичай вирішується постійним пригальмовуванням переміщуваного елемента або валу електродвигуна (що веде до втрат енергії) або застосування черв'ячних/гвинтових передач (у кроковому двигуні кожен крок фіксується самим двигуном);
- сервоприводи, як правило, дорожче за крокові.

З приведенного короткого огляду видно, що сервоприводи змінного струму по глибині регулювання швидкості і динаміці керування не поступаються кращим електроприводам постійного струму, а в сукупності з можливостями керованості по цифрових каналах фазою, швидкістю, моментом і позицією перевершують не лише двигуни постійного струму, але і крокові двигуни. Технічна цінність високої динаміки керування сервоприводу підвищується ще і завдяки його малим габаритам, а також виключенням необхідності обслуговування електродвигунів. Незважаючи на усі перелічені вище недоліки, гілка синхронних електричних машин найбільш перспективна і найближчий час обіцяє істотний технологічний стрибок. Вже сьогодні є розробки синхронних машин, що мають на порядок поліпшені масогабаритні показники. Ці машини мають абсолютно нову нетрадиційну конструкцію і дуже широкі можливості.

1.4 Постановка задачі дослідження

В результаті аналізу представлених матеріалів можна зробити наступні висновки:

- в основі існуючої системи крана-маніпулятора лежить електропривод з двигуном постійного струму, даний електропривод являється недосконалим та застарілим;
- доцільно провести модернізацію системи крана-маніпулятора, яка полягає в заміні електропривода з двигуном постійного струму на сервопривод з синхронним двигуном.

Метою роботи є розробка системи автоматичного керування електропривода крана- маніпулятора. Для того щоб досягти мети потрібно:

- провести вибір двигуна;
- розробити функціональну та структурну схему системи автоматичного керування електропривода;
- визначити параметри та розрахувати регулятори системи керування;
- розробити математичну модель електропривода та провести її аналіз;
- розглянути питання охорони праці.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Побудова структурно-логічної схеми магістерського дослідження

Методологія – це взаємопов'язана сукупність принципів і підходів дослідницької діяльності, на які спирається дослідник в ході здобуття і розробки знань в рамках конкретного розділу науки [3]. Основне завдання методології науки полягає в забезпеченні евристичної форми пізнання системою строго визначених та апробованих принципів, методів, правил та норм. Ця система формується на основі об'єктивних законів і закономірностей дійсності. Методологія включає в себе вивчення законів, теорій, структури наукового знання, критеріїв науковості і системи використовуваних методів дослідження, і пов'язана з аналізом методів дослідження з точки зору логічної структури і формалізованих підходів до побудови теоретичного знання, його істинності і аргументованості [3, 4].

На підставі головних завдань магістерського дослідження, було складено алгоритм магістерської роботи, відтворений у вигляді структурно-логічної схеми дослідження (рисунок 2.1).

В початковій стадії дослідження проводиться аналіз релейно-контакторного електропривода постійного струму з метою виявлення особливостей конструкції та визначення шляхів поліпшення ефективності. В процесі порівняння виявляються переваги та недоліки конструкції електропривода. Дається оцінка доцільності використання синхронного сервоелектропривода.

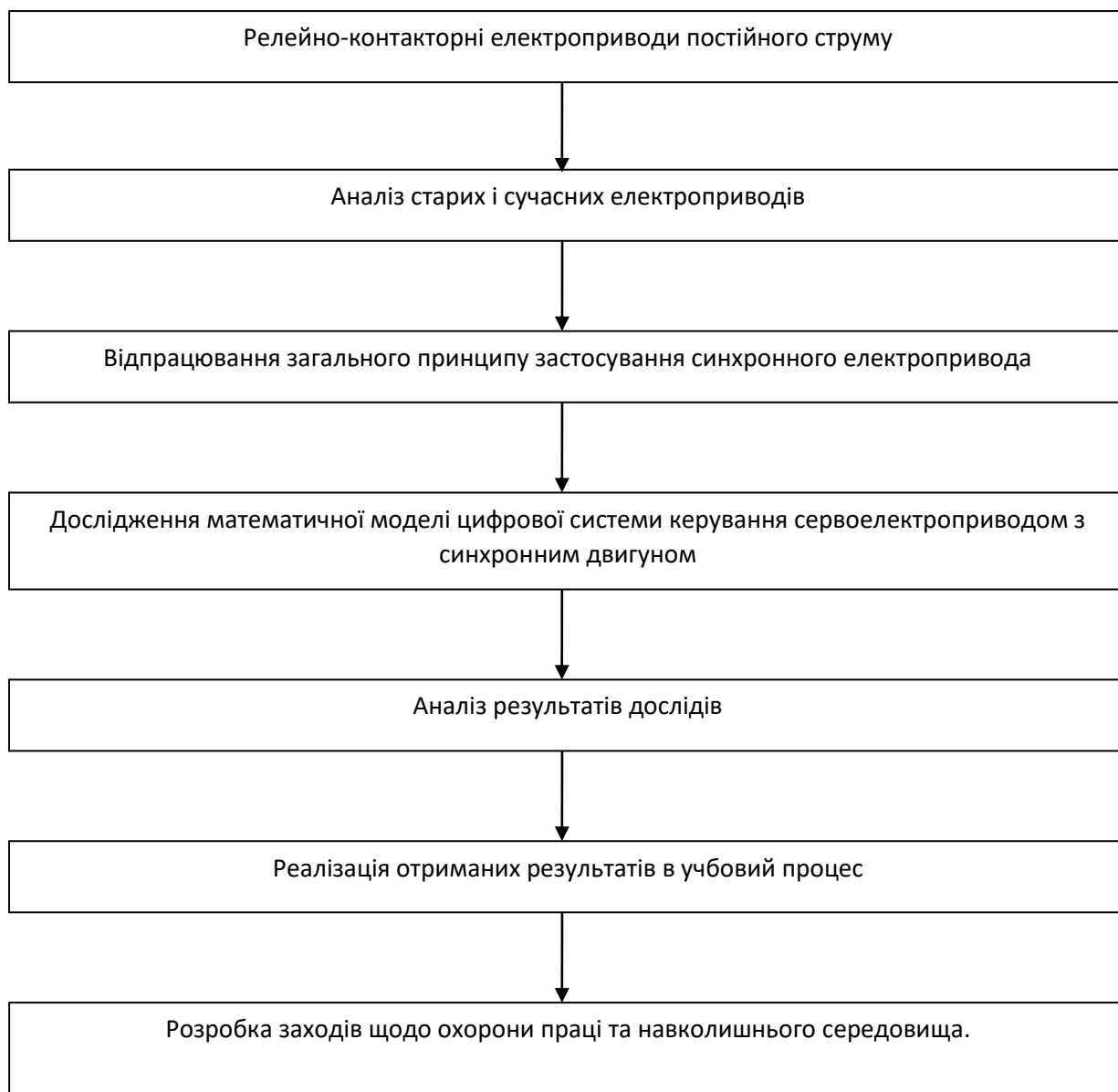


Рисунок 2.1 - Структурно-логічна схема магістерського дослідження

В дослідженні основним методом обрано метод моделювання (вивчення явищ за допомогою побудови математичних моделей складних об'єктів, що приймаються за певною мірою спрощення внутрішніх процесів) завдяки його безпосереднім перевагам при вирішенні складних фізичних завдань, що значною мірою зміцнюються зростанням продуктивності комп'ютерної обчислювальної техніки.

За допомогою моделювання проводиться дослідження математичної моделі системи керування, а потім аналіз отриманих даних.

На заключному етапі роботи проводиться впровадження результатів магістерського дослідження у навчальний процес та розробка заходів охорони праці та навколишнього середовища.

2.2 Методи проведення дослідження

Метод дослідження (грец. *methodos* – шлях до чого-небудь) – це спосіб досягнення мети, спосіб застосування старого знання про раціональні рішення певних завдань для одержання відомостей про новий об'єкт або предмет дослідження [4]. Багато визначень поняття метод дослідження зводиться до того, що це – шлях пізнання, шлях, що веде до об'єктивного знання.

Сукупність методів, прийомів проведення конкретного дослідження становлять методику дослідження. У свою чергу, сукупність методів і методик досліджень, що застосовуються в якій-небудь науці, визначають методологію цієї науки. Як відомо, методологія наукового пізнання в цілому – це навчання про принципи, форми і способи науково-дослідної діяльності.

У самому загальному виді методи, якими користуються дослідники, можна розділити на три групи: загальнологічні методи пізнання (порівняння, аналіз, синтез, абстрагування, моделювання і т.п.), методи емпіричного дослідження (спостереження, опис, вимір, експеримент) і методи теоретичного дослідження (уявний експеримент, ідеалізація, формалізація і т.п.) [3, 4].

Моделювання – це метод дослідження, що полягає в створенні й вивченні моделі, що замінює досліджуваний об'єкт (оригінал), з наступним переносом отриманої інформації на оригінал, це така мислено уявлювана або матеріально реалізована система, що, відображаючи або відтворюючи об'єкт дослідження, здатна заміщати його так, що її вивчення дає нам нову інформацію про цей об'єкт. Моделювання можна розглядати і як особливий вид експерименту, у якому

моделювання одночасно і засіб, і об'єкт дослідження. Його доцільно використовувати в тих випадках, коли важко (або небажано) пряме експериментальне дослідження.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, що відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні і функціональні властивості "оригіналу" (але не обов'язково всі властивості) і володіє великими можливостями по визначенню різних якостей електромеханічних систем та їх елементів. Цей метод базується на трьох теоремах аналізу подібності [3].

Практично не обмеженими можливостями за виявленням ефективно функціональної складної електромеханічної системи має метод математичного моделювання. Цей метод заснований на здатності математично описувати рівняннями різноманітні за природою явища (процеси) і виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи. 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 громоздкіші та погано осяжні.

Імітаційне моделювання використовується найчастіше при дослідженні складних електромеханічних систем і є процесом формування моделі реакції системи і проведення на ній чисельних експериментів з метою виявлення шляхів її створення, вдосконалення і ефективного використання.

Аналогове моделювання базується на однаковому для моделі і натури математичному описі і використовується для імітації на основі аналогової фізичної системи по її елементах, при цьому кожному з фізичних елементів натури в моделі відповідає еквівалент. В якості моделі використовуються елементи ланцюга, складені з активних і пасивних елементів.

Для моделювання електромеханічних процесів в синхронному електроприводі з різними принципами керування використовуються аналітичні і чисельні методи.

Найпоширенішими серед аналітичних методів є: варіаційні методи Релея-Рітца, Гальоркіна, асимптотичний метод та інші. Однак вони дуже громіздкі і в той же час не враховують багатьох чинників і тому є мало придатними при розрахунках.

Чисельні методи дозволяють отримати практично точне рішення задачі. В основу чисельних методів покладені дискретні розрахункові схеми. В результаті дискретизації континуальна система з незліченною кількістю ступенів свободи зводиться до системи з кінцевим числом ступенів свободи. Найбільший розвиток отримали метод кінцевих елементів, метод кінцевих різниць, метод кінцевих об'ємів та інші.

Експеримент (лат. *experimentum* – проба, досвід) – це метод дослідження, в основі якого лежить цілеспрямований вплив на об'єкт у заданих контрольованих умовах, опосередкований раціональним (в ідеалі теоретичним) знанням. Експеримент передбачає врахування всіх параметрів при постановці наукового досліду (умов його проведення), він повинен бути достовірним і покликаний підтвердити (або спростувати) висунуті гіпотези, встановити раніше невідомі властивості (характеристики) досліджуваних об'єктів, виявити закономірності протікання явищ і процесів. Експериментом є науково поставлене дослідження або спостереження явища або процесу в умовах, що точно враховуються, дозволяють стежити за ходом експерименту, управляти або відтворювати його кожного разу при повторенні цих умов. Від звичайного, пасивного спостереження експеримент відрізняється активним впливом дослідника на явище, що вивчається. Метою експерименту є перевірка теоретичних положень, а також ширше і глибше вивчення теми наукового дослідження.

Так само, як і теоретичні методи, експерименти поділяються на декілька видів. Експерименти бувають природні і штучні. Природні експерименти характерні при вивченні соціальних явищ в обстановці, наприклад, виробництва, побуту і тому подібне. Штучні експерименти широко застосовують в природничо-наукових дослідженнях.

Інколи виникає необхідність проведення пошукових експериментальних досліджень. Вони потрібні у тому випадку, коли не можна кваліфікувати всі чинники,

що роблять помітний вплив на явище, що вивчається, або процес. На підставі такого експерименту будується програма досліджень в повному об'ємі.

Експериментальні дослідження бувають лабораторні і виробничі.

Виробничі експериментальні дослідження передбачають вивчення процесу в реальних умовах з врахуванням випадкового впливу зовнішнього середовища.

Лабораторні дослідження проводять із застосуванням типових приладів, спеціальних моделюючих установок, стендів, устаткування і так далі. Для підтвердження результатів роботи буде виконано таке дослідження.

2.3 Методи розрахунку поставленої задачі

Математичне моделювання електромеханічних процесів роботи електроприводу проводилося на ЕОМ з використанням програмного середовища *Matlab* та його графічної надстройки *Simulink*. Завдяки вбудованим програмним функціям і бібліотечним блокам використання даного програмного продукту дозволяє провести математичне моделювання багатьох складних систем. Окрім того *Simulink* реалізує принцип візуального програмування, що суттєво спрощує процес побудови математичної моделі, а саме складних диференціальних рівнянь що відображають процеси перетворення енергії в електроприводі, та впроваджує високий рівень наочності системи, що розробляється в процесі синтезу [5].

Найбільш ефективним методом розрахунку характеристик перехідних процесів електромеханічних систем та машин є метод кінцевих елементів. Суть методу кінцевих елементів полягає в тому, що мінімізація функціонала варіаційної задачі здійснюється на сукупності функцій, кожна з яких визначена на своїй під області [6]. Область, в якій шукається вирішення диференціальних рівнянь, розбивається на кінцеву кількість підобластей (елементів). У кожному з елементів довільно вибирається вигляд апроксимуючої функції. У простому випадку це поліном першого ступеня. Поза своїм елементом апроксимуюча функція дорівнює нулю. Значення

функцій на кордонах елементів (вузлах) є рішенням задачі і заздалегідь невідомо. Коефіцієнти апроксимуючих функцій зазвичай шукаються з умови рівності значення сусідніх функцій на кордонах між елементами (у вузлах). Потім ці коефіцієнти виражаються через значення функцій у вузлах елементів. Складається система лінійних рівнянь алгебри. Кількість рівнянь дорівнює кількості невідомих значень у вузлах, на яких шукається вирішення вихідної системи, прямо пропорційно кількості елементів і обмежується лише можливостями обчислювальної техніки. Оскільки кожен з елементів пов'язаний з обмеженою кількістю сусідніх, система лінійних рівнянь алгебри має розряджений вигляд, що істотно спрощує її рішення. Використання систем кінцево-елементного аналізу робить можливим дослідження об'єктів без створення їх матеріального прототипу, шляхом складання та рішення адекватної математичної моделі.

Для чисельного розрахунку диференціальних рівнянь математичних моделей в *Simulink* було використано метод Дормана-Прінца. Цей метод є членом сімейства підходів на базі метода Рунге-Кутта для вирішення звичайних диференціальних рівнянь. Зокрема, він використовує шість оцінок функції для обчислення четвертого і п'ятого порядку точності рішення [5, 7]. Різниця між цими рішеннями, потім приймається за помилку (четвертого порядку) рішення. Ця оцінка похибки є дуже зручною для адаптивних алгоритмів вибору кроку інтегрування, що широко використовуються в сучасних обчислювальних програмах. Метод Дормана-Прінца має сім ступенів, але він використовує тільки шість оцінок функції за кроком, тому що має властивість FSAL (First Same As Last – перший такий же як останній): останній етап оцінюється в тій же точці, як і перший етап до наступного кроку. Дорман і Прінц вибрали коефіцієнти для методу, щоб мінімізувати помилки п'ятого порядку рішення. Це основна відмінність від методу Фельберга, який було побудовано таким чином, що рішення четвертого порядку має невелику помилку. З цієї причини метод Дормана-Прінца більше підходить, коли вищі рішення використовується для продовження інтеграції, на практиці дані явища відомі як місцеві екстраполяції [8].

2.4 Висновки по розділу 2

В даному розділі розглядається методологія проведення магістерського дослідження цифрового синхронного електропривода. Важливою пізнавальною процедурою при плануванні й організації дослідницького процесу є визначення методологічних основ дослідження, вибір методів його проведення і перетворення їх потім у конкретні дослідницькі кроки та теоретичні висновки. З метою повного вирішення задачі, діючи на підставі поставленого завдання, була розроблена структурно-логічна схема магістерського дослідження (рисунок 2.1), що відображає всі етапи проведення роботи. Основну увагу було приділено теоретичній частині, до якої віднесено математичне моделювання електромеханічних процесів в синхронному електроприводі. Дослідженню підлягають системи автоматичного керування з цифровою системою керування.

В даному розділі аналізуються найбільш ефективні методи проведення досліджень складних електромеханічних систем. На основі проведеного огляду було прийнято рішення використати метод математичного моделювання систем керування, що з розвитком сучасної обчислювальної техніки дозволяє відносно просто проводити дослідження об'єкта, при якому безпосередньо вивчається не сам об'єкт, а деяка допоміжна штучна система, яка є еквівалентом об'єкта. Вона відображає в математичній формі його найважливіші властивості – закони, яким він підкоряється; зв'язки, властиві його складовим частинам, тощо. Таким чином, на основі дослідження синхронного електропривода в математичних моделях можливо отримати характеристики реального об'єкта, що розглядається.

В пункті 2.3 проводиться обґрунтований вибір методів чисельних розрахунків перехідних характеристик математичних моделей. На підставі фактично не обмежених можливостей моделювання було обрано обчислювальне програмне середовище *Matlab*, що за рахунок спеціально розроблених бібліотек впроваджує високий рівень точності, адекватності та наочності при розгляді математичних моделей складних реальних об'єктів.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Вибір двигуна

Кран-маніпулятор спроектований по найбільш розповсюдженій і універсальній, кінематичній схемі шести рухомого маніпулятора з обертальними кінематичними парами.

Технічні характеристики електропривода:

маса вантажу	$m_{гр} = 5000 \text{ кг}$
маса ступеня рухливості	$m_{сп} = 1200 \text{ кг}$
кутова швидкість	$\omega = 10.47 \text{ рад/с}$
кутове переміщення	$S_{max} = 720^\circ$
ексцентриситет відносно вісі привода	$L_{цм} = 0.1 \text{ м}$
передаточне відношення редуктора	
режим роботи	$i_p = 30$
ПВ	80 %.

Основні вимоги до електроприводу:

- відносний статичний перепад швидкості у всьому діапазоні зміни статичного моменту - $\delta \leq 10\%$;
- для зниження кінематичних зусиль при переміщеннях необхідне обмеження прискорення - $\epsilon \leq 52.36 \text{ рад/с}^2$;
- час пуску не більше 1.2 с;
- діапазон регулювання швидкості D повинен становити 50: 1 для забезпечення точної зупинки приводу;
- допускається зниження живлячої напруги не більше ніж на 10%;
- точність зупинки - $\Delta\phi \leq 0.5^\circ$.

Статичні моменти в розрахунку на один двигун:

$$M_{c1} = g(m_{гр} + m_{сп})L_{цм}(1 + k_{тр}) = 9.81 \cdot (5000 + 1200) \cdot 0.1 \cdot (1 + 0.08) = 6568.78 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{c2} = |g(m_{гр} + m_{сп})L_{цм}(-1 + k_{тр})| = 9.81 \cdot (5000 + 1200) \cdot 0.1 \cdot (-1 + 0.08) = 5595.62 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Задаємося параметрами тахограми:

- час пуску: $t_{п} = 1.2 \text{ с};$
- час циклу: $t_{ц} = 60 \text{ с};$
- час роботи на сталій швидкості:

$$t_y = t_{ц}ПВ - 4t_{п} = 60 \cdot 0.8 - 4 \cdot 0.2 = 47.2 \text{ с}.$$

Момент інерції J , $\text{кг} \cdot \text{м}^2$:

$$J = (m_{гр} + m_{сп})L_{цм} = (5000 + 1200) \cdot 0.1 = 62 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Кутове прискорення ε , $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$:

$$\varepsilon = \frac{\omega}{t_p} = \frac{10.47}{0.2} = 52.36 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

Динамичний момент $M_{дин}$, Нм :

$$M_{дин} = J\varepsilon = 62 \cdot 52.36 = 3246.32 \text{ Нм}.$$

Розрахунок еквівалентного моменту. $M_{эквд}$, ведеться за умови рівності статичних моментів найбільшому, тому можливо перевертання ступеня рухливості.

$$\begin{aligned}
 M_{\text{ЭКВД}} &= \sqrt{\frac{[(M_{c1} + M_{\text{дин}})^2 + (M_{c1} - M_{\text{дин}})^2] \cdot 4t_{\text{п}} + M_{c1}^2 t_y}{t_{\text{ц}} \text{ПВ}}} = \\
 &= \sqrt{\frac{[(6568.78 + 3246.32)^2 + (5595.62 - 3246.32)^2] \cdot 4 \cdot 0.2 + 6568.78^2 \cdot 47.2}{60 \cdot 0.8}} \\
 &= 6643 \text{ Нм.}
 \end{aligned}$$

Приведемо еквівалентний момент до ПВ = 80%, тому що номінальний ПВ обраного двигуна складає 100%

$$M_{\text{ЭКВ}} = M_{\text{ЭКВД}} \sqrt{\text{ПВ}} = 6643 \cdot \sqrt{0.8} = 5942 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Розрахункова потужність двигуна $P_{\text{роз}}$, Вт:

$$P_{\text{роз}} = M_{\text{ЭКВ}} \omega = 5942 \cdot 10.47 = 62209 \text{ Вт.}$$

Умови вибору двигуна:

$$P_{\text{роз}} \leq P_{\text{н}}; \omega_{\text{роз}} \approx \omega_{\text{н}}.$$

Тахограми і навантажувальна діаграма наведені на рисунку 3.1.

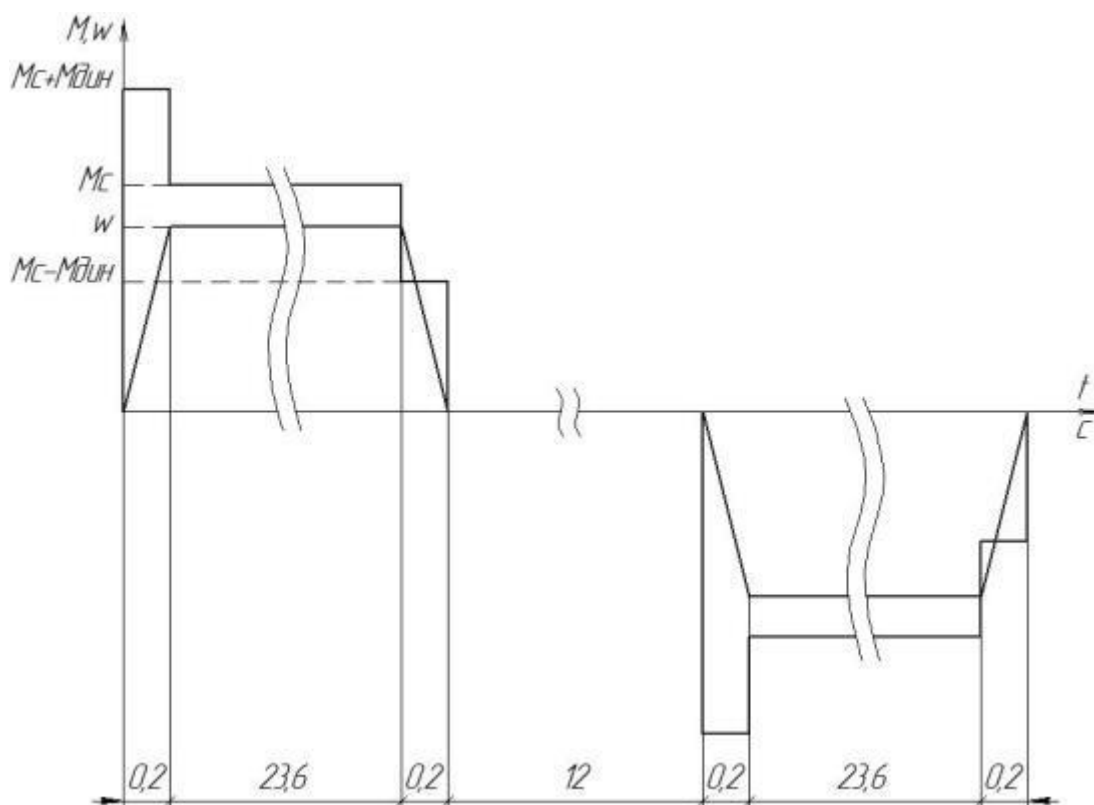


Рисунок 3.1 - Тахограми і навантажувальна діаграма механізму

Виходячи с даного розрахунку обираємо синхронний серводвигун 1FT6136–6WD7 потужністю 62,8кВт.

3.2 Опис обраного двигуна

Серводвигун - це двигун, призначений для роботи в широкому діапазоні швидкостей, що забезпечує поліпшену плавність ходу, знижені вібрацію і акустичні шуми. Як правило, до його складу включений датчик позиції або швидкості. Управління серводвигуном відбувається за допомогою перетворювача частоти (інвертора). Головна відмінність серводвигуна від звичайного двигуна в тому, що він може керуватися за швидкістю, моментом і положенням, відповідно серводвигун можливо використовувати для задач позиціонування, стеження, контурної обробки і т.д.

Синхронні серводвигуни являють собою трифазні синхронні електродвигуни з порушенням від постійних магнітів і датчиком положення ротора. Найвища динаміка

в поєднанні з прецизійною точністю укладені в надкомпактному корпусі - ось відмітні особливості синхронного серводвигуна. Також, основною перевагою є дуже низький момент інерції ротора щодо крутного моменту, що дозволяє реалізувати дуже високу швидкодію, час розгону на номінальну частоту обертання за десятки мілісекунд і реверс з повної швидкості в межах одного обороту вала двигуна.

Синхронні серводвигуни мають високу швидкодію, добре поєднуються з імпульсними системами програмного керування і ідеальні для застосування в різних галузях промисловості, де необхідно:

- позиціонування робочих органів з високою точністю;
- підтримання крутного моменту з високою точністю;
- підтримання швидкості переміщення або подачі з високою точністю.

Основними областями застосування синхронного серводвигуна є приводи подач і швидкодіючі позиційні системи верстатів з програмним управлінням.

Обираємо синхронний серводвигун 1FT6136-6WD7 зображений на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд серводвигуна 1FT6136-6WD7

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики Серводвигуна 1FT6136–6WD7

Параметр	Значення
Модель серводвигуна	1FT6136–6WD7
Напруга, В	200 AC
Номінальна вихідна потужність, кВт	62,8
Номінальний момент, Н·м	6000
Піковий момент, Н·м	14000
Номінальний струм, А	200
Максимальний струм, А	800
Номінальна швидкість, об/хв	3000
Максимальна швидкість, об/хв	4500
Номінальна напруга гальмування, В	24DC $\pm$ 10%
Номінальна потужність гальмування, Вт	70,2
Утримуючий момент гальмування, Н·м	100,3
Енкодер Стандарт, іпм/об	Інкрементальний 2500
Енкодер Опція, іпм/об	Абсолютний, 131072
Робоче середовище	Температура: от 0°C до +40°C, вологість: від 20 до 80% відносної вологості (без конденсації), вібрація: менш ніж 49 м/с ²
Клас ізоляції	F

3.3 Опис обраної системи керування

Цифровою системою автоматичного керування називається система, у замкнутому контурі якої є хоча б один пристрій, що перетворює безперервні сигнали в цифрові коди і виконує математичні операції над цими кодами. У контурі цифрової системи цифровий регулятор виконує властиві йому математичні операції і видає результат у дискретні моменти часу $t = T_0, 2T_0, 3T_0$, і т.д. В інтервалах між цими моментами на виході регулятора зберігається те значення, яке було на початку інтервалу. Тому на виході регулятора існує не безперервна функція $x(t)$, а відповідна ступінчаста $x(nT_0)$, тобто здійснюється квантування за часом (рисунок 3.3). Крім того, відбувається квантування за рівнем, оскільки внаслідок цифрової подачі інформації вихідний сигнал може набувати тільки певних фіксованих рівнів, що відрізняються один від одного на величину q . Ця величина відповідає одиниці молодшого розряду цифрового регулятора, тобто безперервний сигнал $x(t)$ подається у вигляді

$$x(t) = x^*(nT_0) + \sigma,$$

де $|\sigma| < q$, а $x^*(nT_0)$ містить ціле число рівнів.

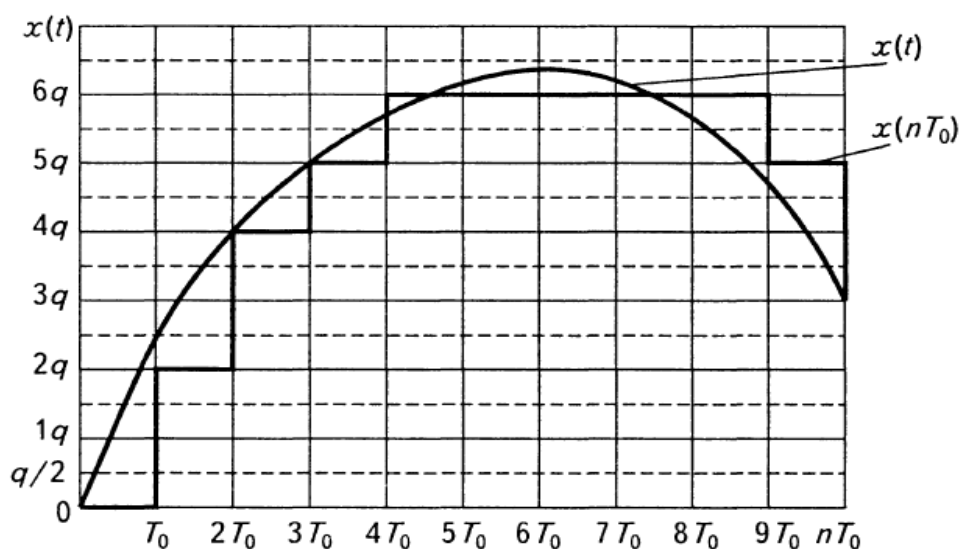


Рисунок 3.3 – Квантування за часом

Отже, в цифрових системах сигнал квантується за часом і рівнем. Квантування за часом робить цифрову систему дискретною, а квантування за рівнем — нелінійною. Однак при малому q впливом квантування за рівнем на динаміку системи можна знехтувати, тобто покласти $q = 0$. У цьому разі для дослідження цифрових систем можна застосувати математичний апарат дослідження лінійних імпульсних систем з амплітудно-імпульсною модуляцією: дискретне перетворення і різницеві рівняння.

Спрощену структурну схему цифрової системи подано на рис. 3.4. Безперервний сигнал похибки $\varepsilon(t)$ імпульсним елементом ІЕ1 перетворюється в решітчасту цифрову функцію $\varepsilon[n]$ і надходить на вхід ЦОМ, яку подано у вигляді передаточної функції $D(z)$. Вихідний сигнал ЦОМ імпульсним елементом ІЕ2 і формувачем імпульсів $W_\Phi(p)$ перетворюється в ступінчастий сигнал. Безперервну частину системи подано ланкою з передаточною функцією $W_{\text{бп}}(p)$.

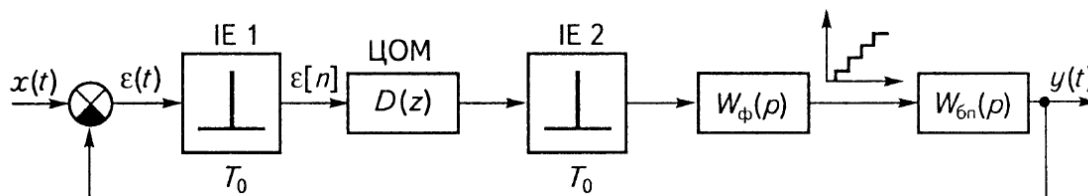


Рисунок 3.4 – Спрощена структурна схема цифрової системи керування

Для керування синхронним двигуном використаємо систему підпорядкованого керування із зворотнім зв'язком за швидкістю. Скориставшись спрощеною структурною зображеною на рисунку 3.4 та принциповою схемою зображеною на рисунку 1.3 побудуємо структурну схему керування синхронним двигуном.

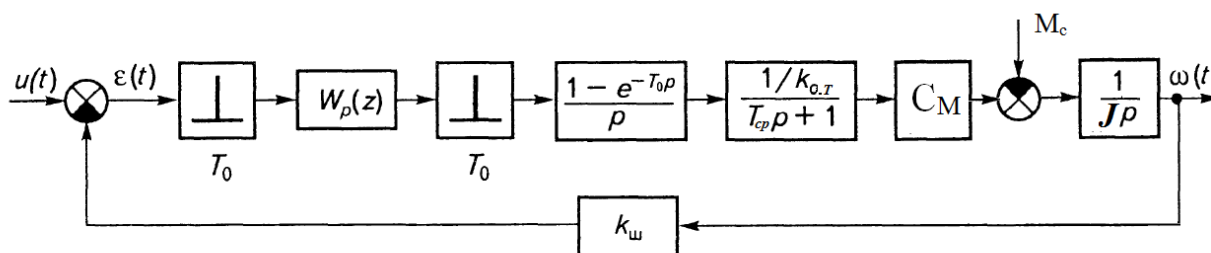


Рисунок 3.5 – Структурна схема цифрової системи керування синхронним двигуном

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

4.1 Опис обраного методу синтезу

У сучасних електроприводах існують три способи регулювання вихідної напруги (рис 4.1):

- широтно-імпульсний;
- частотно-імпульсний;
- комбінований.

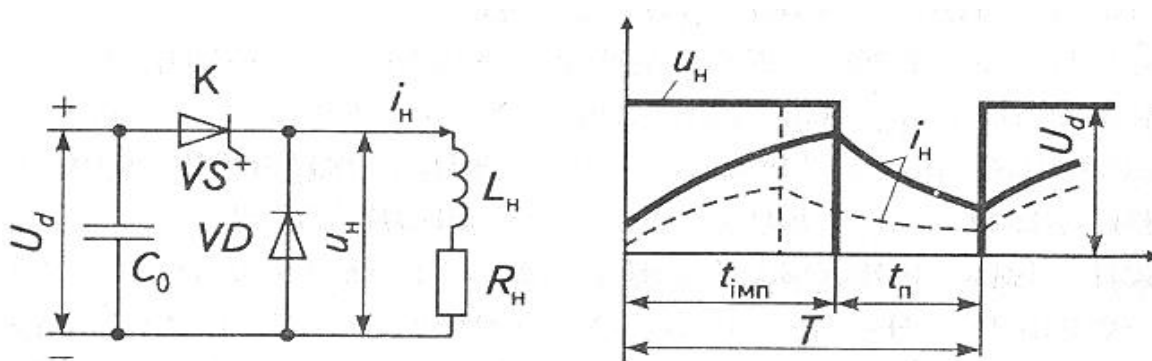


Рисунок 4.1– Параметри імпульса

Широтно-імпульсне регулювання (ШІР) характеризується тим, що середнє значення вихідної напруги змінюється за рахунок співвідношення $t_{\text{имп}}$ та $t_{\text{п}}$ при $T = \text{const}$, тобто при постійній частоті комутації ключа:

$$f_{i_{mn}} = \frac{1}{T} = \text{const}.$$

Середнє значення напруги і діюча напруга на навантаженні визначаються:

$$U_{n.\text{сep}} = \frac{1}{T} \int_0^{t_{i_{mn}}} U_d dt = EU_d ;$$

$$U_{н.д.} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{t_{имн}} U_d^2 dt} = U_d \sqrt{\frac{t_{имн}}{T}} = U_d \sqrt{E} ;$$

E – коефіцієнт регулювання (відносної тривалості імпульса); U_d – напруга живлення; $U_{н.сер}$ та $U_{н.д.}$ не залежать від характеру навантаження; середнє значення струму в навантаженні:

$$I_{н.сер} = \frac{U_{н.сер} \cdot E U_d}{R_n},$$

де R_n – активний опір навантаження.

Частотно-імпульсне регулювання (ЧІР) характеризується тим, що ширина імпульсу чи паузи постійна, тобто $t_{имп} = \text{const}$, а частота імпульсів змінюється:

$$f_{имн} = \frac{1}{T} = \text{var}.$$

Середнє значення напруги:

$$U_{н.сер} = \frac{1}{T} \int_0^{t_{имн}} U_d dt = \frac{t_{имн}}{T} U_d = t_{имн} f_{имн} U_d ;$$

$$U_{н.д.} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{t_{имн}} U_d^2 dt} = U_d \sqrt{t_{имн} f_{имн}}.$$

Для широтно-імпульсного регулювання:

$$0 \leq U_{н.сер} \leq U_d, \quad 0 \leq E \leq 1.$$

Для частотно-імпульсного регулювання:

$$0 \leq U_{н.сер} \leq U_d, \quad 0 \leq f \leq f_{\max} = \frac{1}{t_{имн}}.$$

Метод ЧІР має наступні недоліки:

- частота $f_{имп}$ повинна змінюватися у дуже широкому діапазоні від 0 до $f_{\max}$, тому ускладнюється розрахунок згладжуючого дроселя, який працює на цьому діапазоні частот;

- при низьких вихідних напругах – низьких частотах – виникає небажаний режим перевчати струмів.

Враховуючи все це, перевагу мають імпульсні перетворювачі напруги з широтно-імпульсним регулюванням при $f_{имп} = const$.

Виконаємо синтез цифрового регулятора системи автоматичного регулювання синхронного сервопривода.

Одним з найефективніших інженерних методів синтезу систем автоматичного керування є метод, в основу якого покладено використання ЛАХ розімкнутої системи. Ідея методу ґрунтується на тому, що для стійких мінімально-фазових систем існує однозначний зв'язок між перехідною характеристикою замкнутої системи і виглядом ЛАХ відповідної розімкнутої системи. Виходячи з бажаного вигляду перехідного процесу, будують ЛАХ, яка відповідає такому процесу (бажану ЛАХ). Далі, знаючи вигляд бажаної ЛАХ, до неї наближують ЛАХ вихідної системи, запроваджуючи різні коректувальні пристрої.

Структурна схема модернізованої системи керування суднового крана-маніпулятора зображена на рисунку 2.5.

Будь-яка САР з електроприводом складається з незмінної частини, до якої належить об'єкт регулювання, електродвигун, силовий керований перетворювач, а також елементи головного зворотного зв'язку та порівняння. Об'єкт регулювання вважається відомим при проектуванні САР, двигун і вибирають, виходячи з технологічних характеристик об'єкта. Природно, що ці елементи не підлягають зміні при корекції динамічних властивостей САР. Елементи САР, що не змінюються, визначають ЛАХ вихідної системи.

Принципова схема модернізованої системи керування промислового робота маніпулятора зображена на рисунку 4.2.

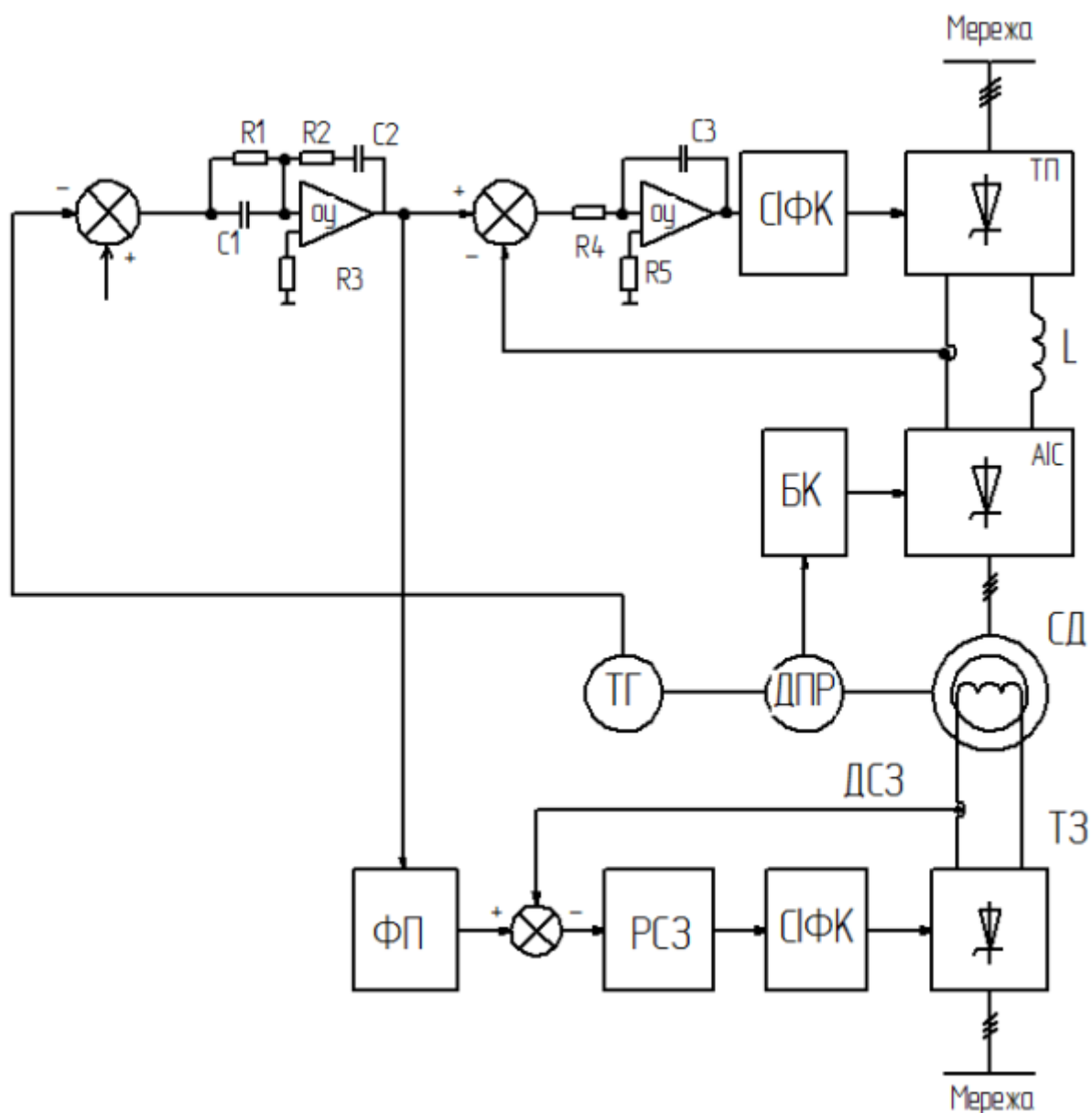


Рисунок 4.2 – Принципова схема цифрової системи керування синхронним двигуном

Силовая часть ТП та АІС зображена на рисунку 4.3.

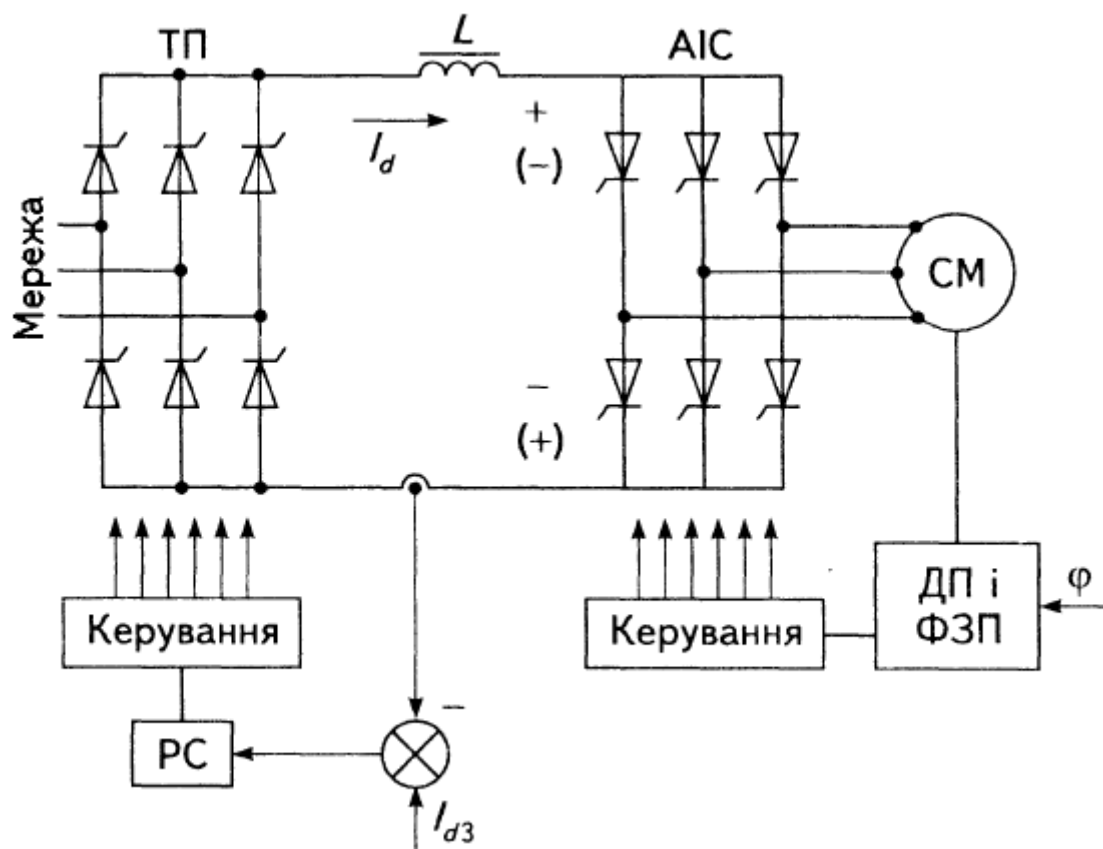


Рисунок 4.3 – Силова частина системи

4.2 Синтез регулятора методом бажаних ЛАХ

Вимоги до показників якості системи: добротність за швидкістю $k_v = 50 \text{ c}^{-1}$, час регулювання, перерегулювання $\sigma < 25 \%$.

Розрахунок коефіцієнтів передаточної функції.

Прийmemo:

$C_M = \frac{M_{дв}}{I_{инв}} = 1,71$ – коефіцієнт пропорційності між моментом двигуна та струмом інвертора.

$$k_{o.t.} = \frac{U_{зт max}}{I_{ст}}.$$

$$k_{o.t.} = 1,8 \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

З урахуванням невеликої постійної часу фільтру T_ϕ у колі датчика струму постійна часу $T_{cp} = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$.

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю - $k_{ш} = 0,01 \text{ Ом}$.

Загальний коефіцієнт підсилення:

$$k = \frac{C_M k_{ш}}{J k_{o.т}} = 0,06.$$

Передаточна функція безперервної частини системи $W_{бп(p)}$:

$$W_{бп(p)} = \frac{C_M k_{ш}}{J k_{o.т} p^2 (T_{cp} p + 1)}.$$

Побудуємо ЛАХ безперервної частини.

Вибираємо період квантування так, щоб злам асимптотичної ЛАХ був ліворуч від частоти $\omega = \frac{2}{T_0}$.

Частота зламу ЛАХ безперервної частини системи становить $\omega_1, \text{ с}^{-1}$:

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,0015} = 666 \text{ с}^{-1}.$$

Приймаємо $T_0 = 0,003 \text{ с}$ (умова $T > 0,5 T_0$ виконується). У низькочастотній зоні $\omega \approx \lambda$. Знаходимо абсолютну псевдочастоту зламу асимптотичної ЛАХ $\lambda, \text{ с}^{-1}$:

$$\lambda = \frac{2}{T_0} \operatorname{tg} \frac{\omega_1 \cdot T_0}{2} = \frac{2}{0,003} \operatorname{tg} \frac{666 \cdot 0,003}{2} = 660 \text{ с}^{-1},$$

тобто похибка становить усього $\sim 2\%$.

Через те, що високочастотна частина ЛАХ практично не впливає на якість перехідних процесів, під час синтезу коректувальної ланки можна обмежитися спрощеною побудовою ЛАХ приведеної безперервної частини системи $W_{\Pi}(j\lambda)$:

$$W_{\Pi}(j\lambda) = \frac{\left(1 - j\lambda \frac{T_0}{2}\right) 0,06}{j\lambda(0,0015j\lambda + 1)}.$$

Побудовану характеристику $L_{\Pi}(\lambda)$ зображено на рисунку 4.4.

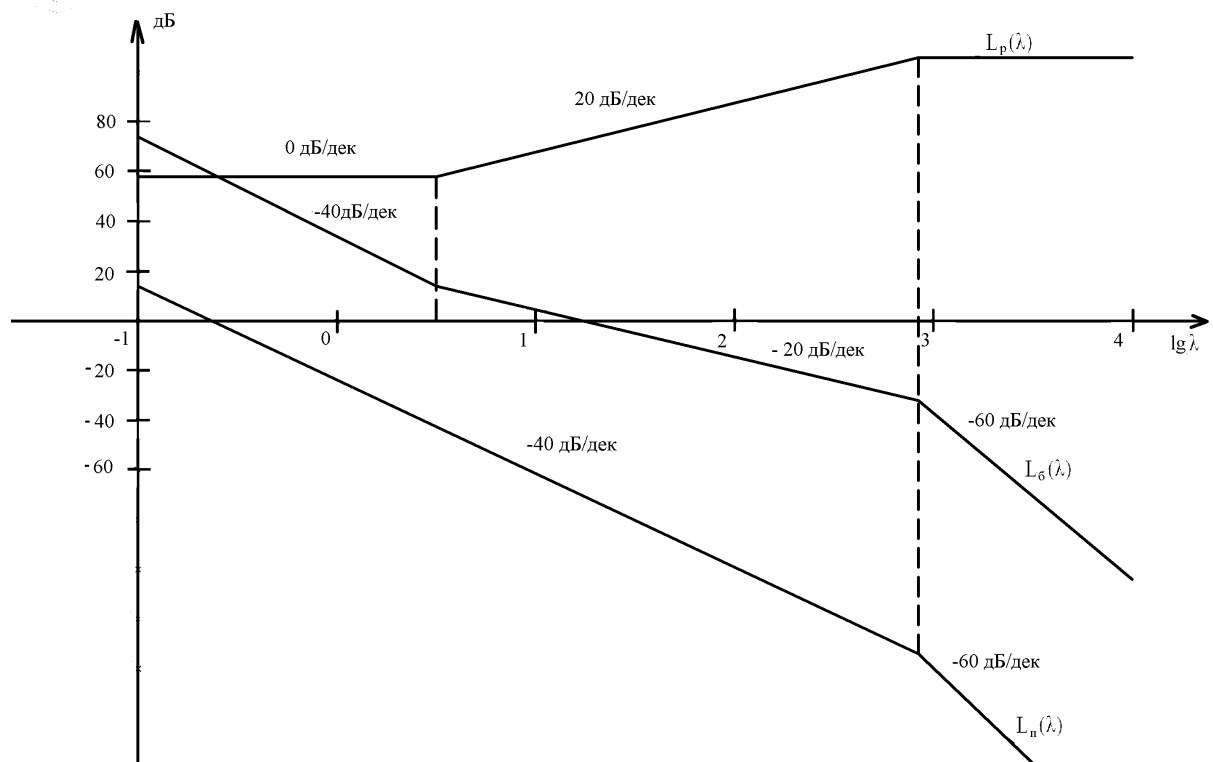


Рисунок 4.4 – Побудова ЛАХ системи

Бажану ЛАХ побудуємо за методикою, що застосовується для безперервних систем. Виходячи із заданої добротності системи за швидкістю, низькочастотну частину ЛАХ $L_6(\lambda)$ проводимо через точку з координатами $\lg \lambda = 0$, $L_6(\lambda) = 20 \lg k_v = 34$ дБ з нахилом -20 дБ/дек. Виходячи із заданого часу регулювання $t_p = 0,5$ с і перерегулювання $\sigma < 25\%$, визначимо частоту зрізу λ_3 , с^{-1} :

$$\lambda_3 = \frac{c}{t_p} = \frac{8}{0,5} = 16 \text{ c}^{-1}.$$

де $c = 8$ — коефіцієнт, що визначається за графіком.

Середньочастотну частину $L_6(\lambda)$ проводимо через точку з координатами $L(\lambda) = 0$, $\lg \lambda_3$ з нахилом -20 дБ/дек і сполучаємо її з низькочастотною частиною на частоті $\lg \lambda_2 = 0,5$, $\lambda_2 = 3,2 \text{ c}^{-1}$.

Виходячи з типу бажаної ЛАХ, частоти сполучення середньочастотної частини з низькочастотною і високочастотною частинами визначаємо з умов:

$$\lambda_3/\lambda_2 = 10; 2 < \lambda_2/\lambda_3 < 4.$$

Високочастотну частину характеристики $L_6(\lambda)$ проводимо паралельно характеристиці $L_\pi(\lambda)$.

ЛАХ цифрового регулятора $L_p(\lambda)$ визначається як різниця $L_6(\lambda) - L_\pi(\lambda)$. За виглядом ЛАХ $L_p(\lambda)$ знаходимо комплексно-частотну функцію

$$W_p(j\lambda) = \frac{794(j\tau_1\lambda + 1)}{j\tau_2\lambda + 1} = \frac{794(j0,31\lambda + 1)}{j0,0015\lambda + 1}.$$

в якій $\lg \lambda_1 = 0,5$, $\lambda_1 = 3,2 \text{ c}^{-1}$, $\tau_1 = 0,31 \text{ c}$; $\lg \lambda_2 = 2,8$, $\lambda_2 = 660 \text{ c}^{-1}$, $\tau_2 = 0,0015 \text{ c}$ визначено за характеристикою $L_p(\lambda)$ (рисунк 3.1).

Виконавши підстановку:

$$j\lambda = \frac{2}{T_0} \frac{z - 1}{z + 1}.$$

Дістанемо $W_p(z)$:

$$W_p(z) = \frac{123864z - 122276}{1985z - 397}.$$

Цей вираз зведемо до вигляду, зручному для складання різницевого рівняння $W_p(z)$:

$$W_p(z) = \frac{U_p(z)}{\varepsilon(z)} = \frac{62,4z - 61,6}{z - 0,2} = \frac{62,4 - 61,6z^{-1}}{1 - 0,2z^{-1}}.$$

Введемо співмножник z^{-1} , що забезпечує виконання програми корекції на мікро-ЕОМ у реальному масштабі часу $\frac{U_p(z)}{\varepsilon(z)}$:

$$\frac{U_p(z)}{\varepsilon(z)} = \frac{62,4z^{-1} - 61,6z^{-2}}{1 - 0,2z^{-1}}.$$

і запишемо різницеве рівняння корекції

$$u_p[nT_0] = 0,2u_p[n(-1)T_0] + 62,4\varepsilon[(n-1)T_0] - 61,6\varepsilon[(n-2)T_0].$$

У цьому рівнянні $u_p[nT_0]$ — число, що подається на ЦАП, увімкнений на виході цифрового регулятора; $\varepsilon[nT_0]$ — число на виході АЦП, що перетворює різницю сигналів завдання і зворотного зв'язку за швидкістю в цифровий код.

Під час обчислення $u_p[nT_0]$ приймається, що $u_p[nT_0] = 0$ при $n < 0$ і функція $\varepsilon[nT_0]$ прикладається в момент $n = 0$. Тоді $u_p[nT_0]$ обчислюємо у такій послідовності: в кінці першого такту $n = 1$ і $u_p[1T_0] = 62,4\varepsilon[0]$, в кінці другого такту $n = 2$ і $u_p[2T_0] = 0,2u_p[1T_0] + 62,4\varepsilon[1T_0] - 61,6\varepsilon[0]$.

4.3 Моделювання систему у середовищі Simulink

Для дослідження стійкості системи скористуємося пакетом програм Matlab, а саме середовищем Simulink.

Опираючись на структурну схему сформуємо математичну модель системи. Для реалізації АЦП використаємо ланку екстраполятора нульового порядку, математична модель якого присутня у середовищі Simulink. Формувач імпульсів

змодельовано за допомогою цифрового диференціатора та інтегруючої ланки. Цифровий регулятор представляє собою підсилювальну ланку та дискретну передаточну функцію. Загальний вигляд математичної моделі системи зображен на рисунку 4.5.

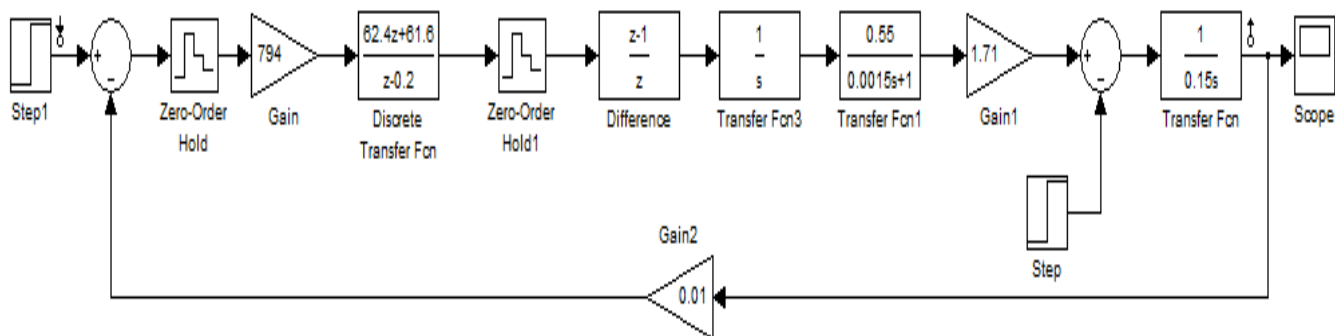


Рисунок 4.5 – Математична модель системи

Результат моделювання перехідних процесів у середовищі Simulink зображений на рисунку 3.6. За вертикальною віссю визначається швидкість обертів валу двигуна за розмірністю $[1/\text{с}]$, за горизонтальною віссю час перехідного процесу за розмірністю $[\text{с} \cdot 10]$.

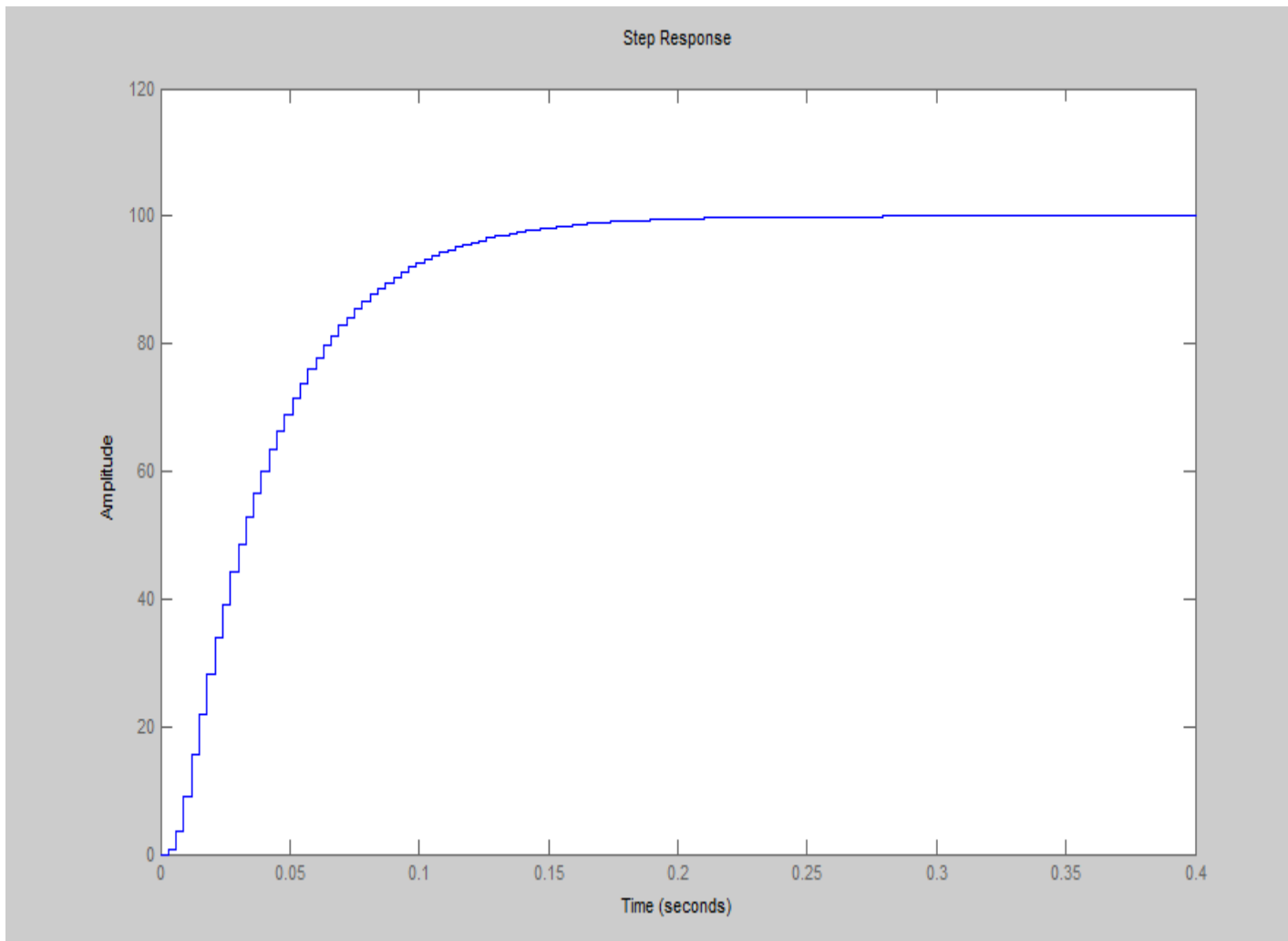


Рисунок 4.6 – Перехідна характеристика системи

За результатами моделювання можна зробити висновок:

- перегулювання складає $\sigma=0\%$;
- час перехідного процесу $t_p=1$ с.

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КРАНА– МАНІПУЛЯТОРА

5.1 Обґрунтування необхідності проведення дослідження стійкості об'єкта

При експлуатації крана–маніпулятора можливе виникнення надзвичайних ситуацій природного, техногенного, та соціального характерів.

Надзвичайна ситуація - це обстановка, що склалася на визначеній території або акваторії в результаті аварії, небезпечного природного явища, катастрофи, стихійного чи іншого лиха, що може спричинити або спричинила за собою людські жертви, шкоду здоров'ю людей або навколишньому природному середовищу, значні матеріальні збитки та порушення умов життєдіяльності людей.

Розглянемо вплив на досліджуваний пристрій надзвичайних ситуацій природного характеру.

Суднові крани–маніпулятори експлуатуються на судах які захищають пристрій від ряду надзвичайних станів природного характеру, таких як:

- Метеорологічні надзвичайні ситуації (гради, зливи, сильні снігопади)
- Геологічні надзвичайні ситуації.
- Пожежі.

З числа природних надзвичайних ситуацій найбільшу небезпеку для суднового крана–маніпулятора представляють надзвичайні ситуації геофізичного характеру – шторми, торнадо. При них може бути зруйнований фундамент крана–маніпулятора що приведе до його виходу із строю. Також можливе руйнування устаткування загалом.

Як бачимо більшість надзвичайних ситуацій природного характеру або взагалі не впливають на роботу крана–маніпулятора або їх вплив незначний. Виняток складають торнадо які являються критичними для всіх суднів взагалі, але Україна

розташована у сейсмічно спокійній зоні і можливість виникнення сильного торнадо незначна.

Розглянемо ймовірність виникнення соціально-політичних надзвичайних ситуацій при експлуатації крана– маніпулятора.

Судновий кран даного типу не використовується на військових та стратегічно важливих суднах, так як призначений для обслуговування шлюпок, вантажів та інших широко розповсюджених суднових операцій.

Виходячи з цього малоімовірно що судно де використовується проектований пристрій стане цілю терористичного акту або диверсії.

До ситуацій які можуть вивести з ладу досліджуваний об'єкт відносяться:

- Потрапляння в систему сторонніх предметів .
- Пробій ізоляції двигуна.
- Коротке замикання двигуна.
- Помилка оператора.

Проаналізувавши надзвичайні ситуації які можуть виникнути при експлуатації крана– маніпулятора можна прийти до висновку, що найбільшу небезпеку становлять надзвичайні стани техногенного характеру, а піковою подією являється вихід з ладу електропривода. Проведемо оцінку стійкості проектованого об'єкту при надзвичайних станах техногенного характеру.

5.2 Оцінка стійкості проектного об'єкта у надзвичайних станах

Встановлений на борту вантажного судна, кран - маніпулятор може повністю забезпечити проведення вантажно-розвантажувальних робіт, а на борту суден інших призначень може служити для спуску-підйому шлюпок, а також забезпечувати навантаження постачання.

Особливістю крана, даного типу, є забезпечення рухів робочого органу стріли маніпулятора в сферичній системі координат, а також конструктивне вбудовування безпосередньо в обслуговуване обладнання. Пристрій програмного керування крана забезпечує позиціонування робочого органу маніпулятора по шести координатним осям, дві з яких є загальними для механізмів з чотирма ступенями рухливості.

Основні технічні характеристики крана наведені в розділі 1. При модернізації було обрано використовувати синхронний серводвигун.

Проаналізувавши досліджувану систему приведемо елементну базу

Таблиця 5.1 – Елементна база

Найменування обладнання, що відмовило	Інтенсивність відмов λ , 1/год	Час експлуатації устаткування, год	Відповідь розрахунків
Електродвигун	$3 \cdot 10^{-6}$	86400	0,227
Котушка пускача	$1,2 \cdot 10^{-6}$	86400	0,135
Реле пускача	$1 \cdot 10^{-7}$	86400	0,009
Коротке замикання	$3 \cdot 10^{-6}$	86400	0,227
Обрив кабелю	$1 \cdot 10^{-6}$	86400	0,0823

При аналізі і оцінці ризику використаємо методи попереднього аналізу небезпек (ПАН), побудову «дерева подій» та побудову «дерева відмов».

Першим етапом проведемо попередній аналіз небезпек які можуть привести до пікової події – виходу з ладу електроприводу.

ПАН – це аналіз загальних груп потенційних небезпек, присутніх у будь-яких видах діяльності, операціях чи процесах, їх розвитку та рекомендацій щодо контролю. Він визначає рівень небезпеки для системи і виявляє елементи для виконання аналізу за допомогою дерева відмов і аналізу наслідків. Частково збігається з методом аналізу видів відмов і наслідків та аналізу критичності.

В першу чергу слід зазначити, що небезпеки до яких призведе вихід з ладу того чи іншого елемента не є однорідними. Всі ці небезпеки розподіляються за класами критичності небезпеки, відповідно до впливу, який вони призводять на об'єкт дослідження.

Розрізняють наступні класи критичності: клас I – безпечний (відмова із знехтувано малими наслідками); клас II – граничний (некритична відмова); клас III – критичні ситуації (критична відмова); клас IV – катастрофічні наслідки (катастрофічна відмова) .

Попередній аналіз небезпек:

1) коротке замикання двигуна - при КЗ у мережі живлення відбувається збій електропостачання системи, струми двигуна у рази перевищують номінальні . Це спричиняє збій керуючої програми та призводить до виходу зі строю двигуна. Причинами КЗ може бути неполадки у системі електропостачання або несправність двигуна. КЗ повністю виводить двигун з ладу і може спричинити пожежу. Наслідки – клас IV,

2) пробій ізоляції двигуна - під час експлуатації електродвигуна відбувається пробій струмопровідних елементів. Наслідком такого пробію є нестабільна робота двигуна. Пробій ізоляції в свою чергу може спричинити КЗ. Наслідок – клас III,

3) потрапляння у систему сторонніх предметів – під час експлуатації промислового робота через помилку оператора або неуважність обслуговуючого персоналу до систему можуть потрапити сторонні предмети (інструмент, заготовки, продукція та інш.) Наслідки – клас II,

4) помилка оператора - керування установкою вимагає від оператора обережності, точності та миттєвої реакції. Оскільки процес роботи промислового робота може проходити протягом досить тривалого часу – оператор витримує

велике напруження, тому через деякий час такої роботи підвищується ризик помилки оператора, що може призвести навіть до аварії. Наслідки – клас І.

Інші надзвичайні стани такі як потрапляння блискавки та глобальна пожежа малоймовірні, так як проти блискавки, по всій території роботи установки, встановлені громовідводи які заземлені та подальше потрапляння енергії блискавки неможливе.

В нашому випадку для визначення частоти і наслідків небажаних подій використаний логічний метод побудови «дерева подій» і «дерева відмов».

Логічним інструментом локалізації найбільш небезпечних ланок будь-якої системи є метод побудови «дерева подій».

Суть методу полягає у відшуванні оптимального рішення, що знижує імовірність можливості виникнення небезпечної події.

Процедура операцій при аналізі методом «дерева подій» полягає в розгляді можливостей розвитку ініціюючої або пікової події. Далі визначають бар'єри безпеки, призначені для обмеження негативних наслідків такої події. Розвиток послідовності подій розглядається по черзі з урахуванням захисних бар'єрів. На кожному рівні дерева подій розглядаються два логічні стани: успіх (так) і невдачу (ні) залежно від того, виконав бар'єр своє завдання чи ні.

На рисунку 5.1 зображене «дерево подій» на основі ПАН.

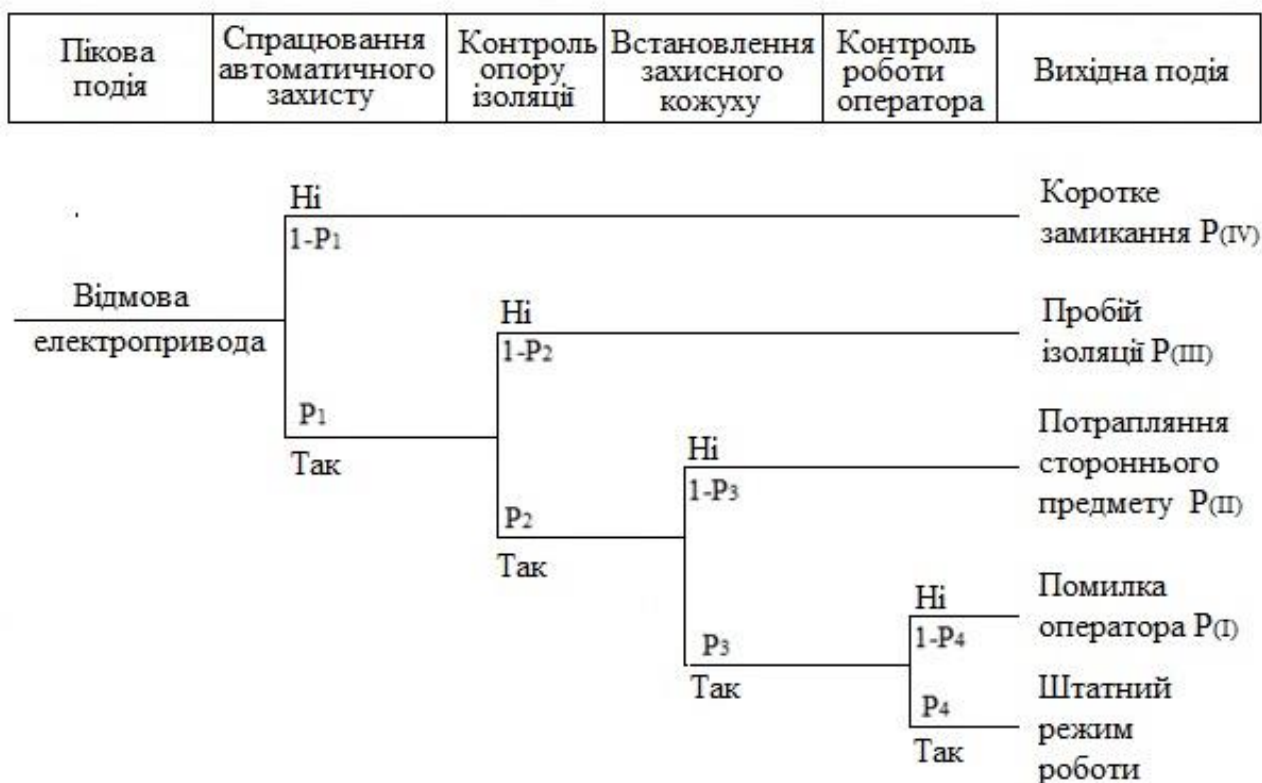


Рисунок 5.1 – «Дерево подій»

Дерево відмов (аварій, пригод, наслідків, небажаних подій, нещасних випадків та ін.) лежить в основі логіко-ймовірнісної моделі причинно-наслідкових зв'язків відмов системи з відмовами її елементів та іншими подіями (впливами); при аналізі виникнення відмови складається з послідовностей і комбінацій порушень і несправностей, і таким чином воно являє собою багаторівневу графологічну структуру причинних взаємозв'язків, отриманих в результаті простеження небезпечних ситуацій у зворотному порядку, для того щоб відшукати можливі причини їх виникнення.

Цінність дерева відмов полягає в наступному:

- аналіз, що орієнтується на знаходження відмов;
- дозволяє показати в явному вигляді ненадійні місця;
- забезпечується графікою і являє наочний матеріал для тієї частини працівників, які беруть участь в обслуговуванні системи;

- дає можливість виконувати якісний або кількісний аналіз надійності системи;
- метод дозволяє фахівцям по черзі зосереджуватися на окремих конкретних відмовах системи;
- забезпечує глибоке уявлення про поведінку системи і проникнення в процес її роботи;
- є засобом спілкування фахівців, оскільки вони представлені в чіткій наочній формі;
- допомагає дедуктивно виявляти відмови;
- дає конструкторам, користувачам та керівникам можливість наочного обґрунтування конструктивних змін або встановлення ступеня відповідності конструкції системи заданим вимогам та аналізу компромісних рішень;
- полегшує аналіз надійності складних систем.

«Дерево відмов» представляють собою графічну модель різних послідовних і паралельних зв'язків відмов, які приводять до реалізації заздалегідь певної небажаної події. Відмовами можуть бути події, пов'язані з виходом з ладу елементів системи, помилками персоналу й т.п., що може привести до небажаної події.

За допомогою «дерева відмов» простежуються небезпечні ситуації в зворотному порядку, тобто від наслідку до причини.

В ході дослідження, методом «дерева відмов» було проаналізовано стійкість електропривода. Результати дослідження представлені на рисунку 5.2.

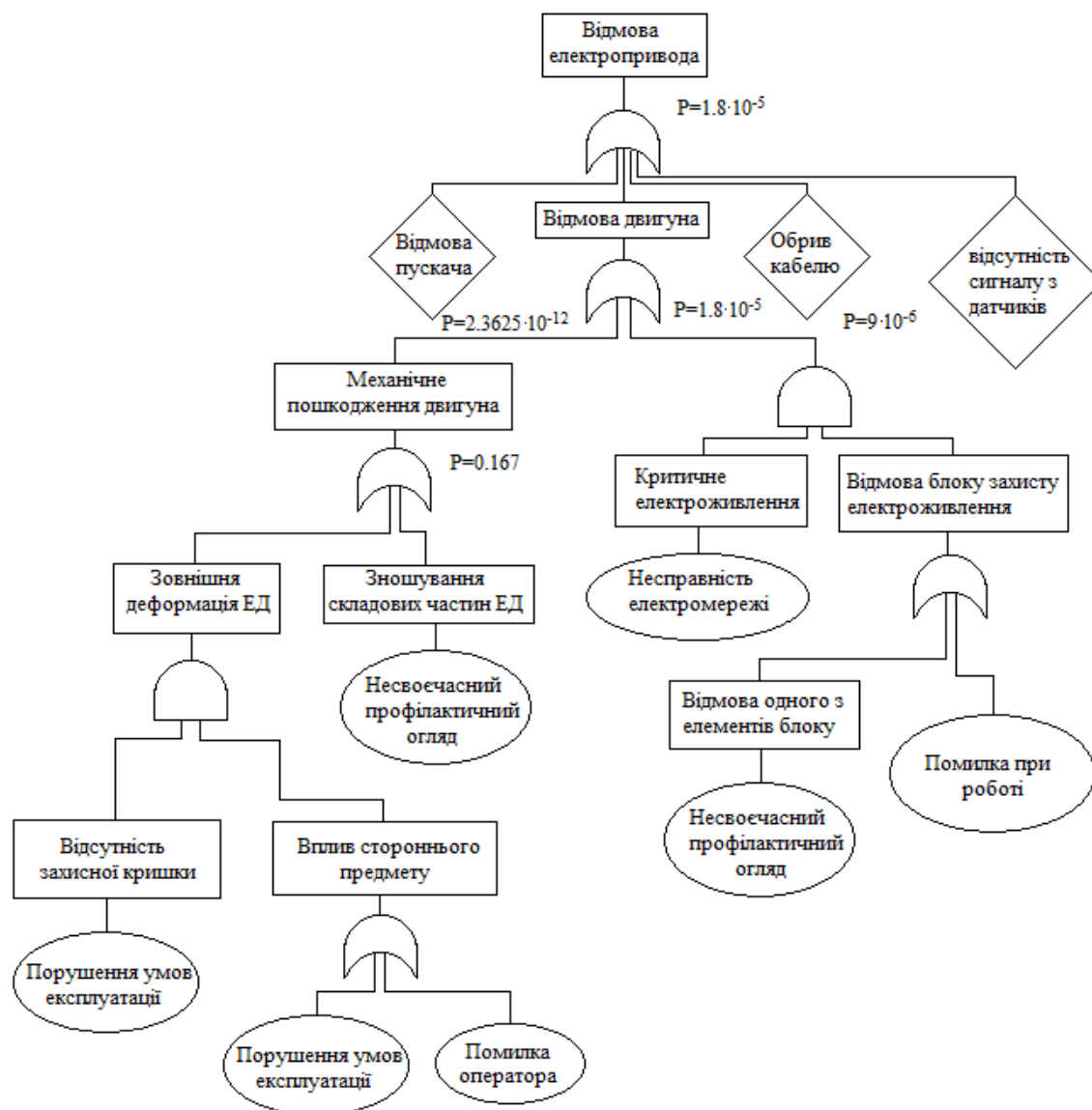


Рисунок 5.2 – «Дерево відмов» електропривода суднового крана–маніпулятора

5.3 Розрахунок загальної величини ризику відказу об'єкта

Імовірність того, що завдяки успішним діям операторів змін та правильному функціонуванню обладнання не буде втрачено в разі короткого замикання тому, що отримана величина імовірності відмов практично дорівнює імовірності відмови вихідної події (бажана подія). А – коротке замикання в ланцюзі живлення; В – помилка оператора; С – незначна поломка системи керування, що приводить до

тимчасової втрати працездатності цього механізму до 1 години; D – вихід зі строю електропривода:

$$S = P_A^* = P_A(1 - P_e)(1 - P_c)(1 - P_D) = 0,006.$$

Імовірність того, що при успішних діях операторів та сталому функціонуванні обладнання, буде втрачено під час короткого замикання (небажана подія):

$$S_1 = P_A P_B = 1,8 \cdot 10^{-5}$$

Імовірність того, що при к. з. у мережі живлення не відбудеться помилки оператора, збою в системі керуванн, незначна помилка якого призведе до тимчасової втрати працездатності механізму до 1 години, але не відбудеться виходу з ладу самої установки (бажана подія):

$$S_2 = P_A P_C = 9 \cdot 10^{-6}$$

Імовірність того, що при к.з. у мережі живлення не відбудеться помилки оператора, незначної помилки, відбудеться пробій струмопровідних частин, і установка вийде з ладу (небажана подія):

$$S_3 = P_A P_C P_D = 1,575 \cdot 10^{-9}.$$

Імовірність того, що при к. з. у мережі живлення не відбудеться помилки оператора, але відбудеться незначна помилка системи, пробій струмопровідних елементів не відбудеться, система не вийде з ладу, (бажана подія):

$$S_4 = P_A P_B = 1,8 \cdot 10^{-5}.$$

Імовірність того, що при к. з. у мережі живлення не відбудеться помилки оператора, але відбудеться незначна помилка системи, пробій струмопровідних елементів не відбудеться, установка вийде з ладу, (небажана подія):

$$S_5 = P_A P_B P_D = 3,15 \cdot 10^{-9}.$$

Імовірність того, що при к. з. у мережі живлення не відбудеться помилки оператора, але станеться незначна помилка, а також відбудеться пробій струмопровідних елементів і установка не вийде з ладу, (бажана подія):

$$S_6 = P_A P_B P_C = 1,35 \cdot 10^{-8}.$$

Імовірність того, що при к. з. у мережі живлення не відбудеться помилки оператора, але станеться незначна помилка, а також відбудеться пробій струмопровідних елементів, але установка вийде з ладу, (не бажана подія):

$$S_7 = P_A P_B P_C P_D = 2,3625 \cdot 10^{-12}.$$

На підставі всіх розглянутих випадків розраховується загальна імовірність виходу зі строю системи управління в ланцюзі подій А-В-С-Д

$$S_{ВТР} = S_1 + S_3 + S_5 + S_7 = 1,8005 \cdot 10^{-5}.$$

Таким чином, знайдено імовірність подій і наслідків короткого замикання у мережі живлення. І оскільки для України величина прийнятного ризику складає 10^{-4} , а отримане значення $S_{ВТР}$ нижче її на два порядки, то будь-яких суттєвих змін до конструкції електропривода для підвищення рівня його безпеки вносити немає необхідності.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ

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

Для створення безпечних і нешкідливих умов праці працівників і для власної безпеки зобов'язана керуватися переліком таких основних нормативно-законодавчих актів і документів з охорони праці:

- Закон України «Про охорону праці»;
- Типове положення про службу охорони праці;
- Положення про порядок розслідування нещасних випадків, що сталися під час навчально-виховного процесу в навчальних закладах (Наказ МОН України № 616 від 31.08.2001 року):
 - Типове положення про навчання з питань охорони праці;
 - Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту (Наказ Держгірпромнагляду від 24.03.2008 року № 53);
- Порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці (Постанова Кабінету Міністрів України N 442 від 01.09.1992 року);
- Типове положення про комісію з питань охорони праці;

6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які впливають на людину при експлуатації крана-маніпулятора

При експлуатації крана-маніпулятора можливе виникнення нижчевикладених небезпечних шкідливих виробничих факторів.

При ремонтах і технічному обслуговуванні програмного обладнання найбільш суттєвими з небезпечних і шкідливих факторів є:

1) рухомі машини і механізми;

При експлуатації крана людина може потрапити під рухомий механізм що в свою чергу може призвести до ударам, травм і переломів кісток. У гіршому випадку потрапляння людини під рухомий механізм може призвести до летального результату.

2) гострі кромки і висока температура поверхні інструменту та обладнання, заготовок і часток, що відлітають оброблюваного матеріалу;

Не дотримавшись правила технічної експлуатації кранів людина може отримати травму при взаємодії з гострим або розпеченим інструментом отримавши рану або опік відповідно. Так само як і у випадку потрапляння в рухомий механізм дані травми можуть призвести до летального результату.

3) висока електрична напруга;

Наслідки, які виникнуть в результаті дії електричного струму на людину залежать від багатьох факторів, а саме:

- Від величини і роду викликаного струму, змінний струм є більш небезпечним, ніж постійний;
- Тривалості його впливу, чим більше час дії струму на людину, тим важче наслідки;
- Шляху протікання, найбільшу небезпеку становить струм, що протікає через головний і спинний мозок, область серця і органів дихання (легені);

Електричний струм проходячи через організм людини може чинити на нього три види впливів:

- Термічна дія струму на увазі появу на тілі опіків різних форм, перегрівання кровоносних судин і порушення функціональності внутрішніх органів, які знаходяться на шляху протікання струму.

- Електролітична дія проявляється в розщеплення крові та іншої органічної рідини в тканинах організму викликаючи істотні зміни її фізико-хімічного складу.

- Біологічна дія викликає порушення нормальної роботи м'язової системи. Виникають мимовільні судорожні скорочення м'язів, небезпечно такий вплив на органи дихання і кровообігу, таких як легені і серце, це може призвести до

порушення їх нормальної роботи, в тому числі і до абсолютного припинення їх функціональності.

4) відсутність зручних майданчиків, розташування робочих місць на значній висоті над рівнем підлоги;

Даний виробничий фактор може призвести до падіння людини з висоти в слідстві чого людина отримає травму. Залежно від висоти буде варіюватися ступінь травм від легких ударів до летального результату.

5) високі рівні шуму і вібрації;

Шум і вібрація - це механічні коливання, що розповсюджуються в газоподібній і твердій середовищах. Шум і вібрація різняться між собою частотою коливань.

При впливі шуму на організм може відбуватися ряд функціональних змін з боку різних внутрішніх органів і систем:

Підвищується тиск крові, частішає або сповільнюється ритм серцевих скорочень, можуть виникати різні захворювання нервової системи (неврастенія, неврози, розладнання чутливості).

Інтенсивний шум негативно діє на весь організм людини. Послаблюється увага, знижується продуктивність праці.

б) запиленість і загазованість повітряного середовища, підвищена рухливість повітря робочої зони;

Найбільшу небезпеку становить частки пилу, до 5 мкм, так як вони порівняно легко проникають в легеневу тканину людини. Пилові частинки розміром більше 10 мкм затримуються у верхніх дихальних шляхах і з мокротою виводяться назовні.

Хімічний склад і фізичні властивості пилу оказують різний вплив на організм людини - токсичний, фіброгенний і подразнюючий.

Токсичний вплив пилу проявляється в тому випадку, коли в його складі містяться речовини, які належать до промислових отрут (свинець, окис цинку, ртуть і т. д.).

Фіброгенний вплив виражається в утворенні патологічних грубоволокнистих сполучних тканин в легенях, що призводить до зменшення поверхні альвеол, в яких відбувається насичення крові киснем і, як наслідок цього, серцево-легеневої

недостатності. Найбільшим фібро генним впливом володіють частинки, що містять вільний двоокис кремнію (SiO_2). Систематичне знаходження працюючих в запиленій атмосфері може служити причиною появи специфічних захворювань легенів - пневмоконіози. Залежно від видів вдихаємого пилу пневмоконіози розрізняють: силікоз - при вдиханні кварцевого пилу, силікатоз – силікатного, антракоз - вугільного та ін.

6.2 Заходи по техніці безпеки щодо створення безпечних та нешкідливих умов праці

Вимоги та заходи безпеки при нормальному режимі роботи

Використання робототехніки накладає максимальні вимоги на аналіз небезпек, оцінку ризиків і концепції безпеки.

Для запобігання потрапляння людини або частини його тіла в небезпечну зону автоматичних рухів пропонуються наступні рішення:

- Запобігати проникнення людини або його рук в небезпечні зони за допомогою механічних загороджень.
- Використовувати пристрої безпеки, що реагують на наближення (світлові бар'єри, килимки безпеки) і вимикати машини і механізми, коли хто-небудь увійшов або перетнув небезпечну зону.
- Дозволяти вхід людей або попадання рук (в небезпечну зону), коли система в цілому знаходиться в безпечному стані.

Наприклад, цього можна досягти за допомогою блокувальних пристроїв із запірними механізмами на дверях.

Для запобігання травм в результаті викиду енергії (дроблення і розліт заготовок або промені енергії) використовуються наступні рішення:

- Сама конструкція повинна запобігати будь-який викид енергії (наприклад, з'єднання відповідних розмірів, блокатори захоплень для механізмів заміни захоплень і т.п.).

- Запобігати викид енергії з небезпечної зони, наприклад, за допомогою кожухів безпеки відповідного розміру.

Вимоги та заходи безпеки при спеціальних режимах роботи

Спеціальні режими роботи (наприклад, налагодження, програмування) промислового робота супроводжуються рухами, які можна оцінити безпосередньо на робочому майданчику. Завдання безпеки при цьому полягає в тому, щоб жоден рух не створював небезпеку для персоналу.

Рухи повинні бути:

- тільки встановленого типу і швидкості
- з тривалістю строго по команді програми
- такими, які можуть виконуватися при гарантії, що жодна частина людського тіла не знаходиться в небезпечній зоні.

Пропоноване рішення задачі пов'язане із застосуванням систем управління спеціальними режимами роботи, які допускають тільки контрольовані і керовані руху, використовуючи кнопки і важелі управління з оповіщенням. Швидкість рухів, таким чином, знижена до безпечного рівня (зниження енергії під'єднуванням ізолюючого трансформатора або використанням обладнання стеження за безпечним станом), і безпечний стан підтверджується до того, як важелю або кнопці керування дозволено включитися.

Вимоги до систем контролю безпеки

Однією з характеристик систем контролю безпеки має бути те, що потрібна функція безпеки гарантується при будь-якому порушенні. Промислові машини - роботи майже миттєво переводяться з небезпечного в безпечний стан. Необхідні заходи контролю безпеки:

- Помилка в системі контролю безпеки не повинна приводити до небезпечного стану.
- Помилка в системі контролю безпеки повинна бути визначена (негайно або якомога швидше).

Пропонуються наступні рішення забезпечення надійних систем контролю безпеки:

- надлишкова і різноманітна схема електромеханічних систем управління, включаючи випробувальні ланцюга

- надлишкова і різноманітна наладка мікропроцесорних систем управління, розроблених різними командами. Цей сучасний підхід вважається високоточним, наприклад, системи зі світловими бар'єрами безпеки.

Завдання безпеки для створення і використання промислових роботів

Промислові роботи повинні оснащуватися високоточними приладами захисту що виготовлювачами, так і користувачами. Крім юридичної відповідальності існує і моральний обов'язок зробити робототехніку безпечною.

Нормальний режим роботи

При нормальному режимі роботи роботів повинні забезпечуватися такі умови безпеки:

- Поле руху робота і ділянки обробки, використовувані периферійним обладнанням, повинні охоронятися, щоб не допустити потрапляння людей або їх рук в зони руху автоматів.

- Повинен бути захист від розлітаючихся деталей, інструментів і заготовок, які можуть нанести ушкодження.

- Людина не повинна постраждати від деталей, інструментів або заготовок, що викидаються роботом або енергії через несправні захоплюючих пристроїв, відмови енергопостачання захватних пристроїв, неприпустимої швидкості, зіткнень або несправних заготовок.

- Людина не повинна постраждати від викиду енергії або деталей, які різко виштовхуються периферійним обладнанням.

- Прорізи для подачі матеріалу і видалення відходів і заготовок повинні бути сконструйовані таким чином, щоб не допускати проникнення людини або його рук в зони руху автоматів. Ця умова також повинно виконуватися при видаленні виробничого матеріалу.

При усуненні неполадки у виробничому процесі необхідно усунути наступне:

- проникнення людини або його рук в зони руху роботів або периферійного обладнання

- небезпеки, що виникають через неправильне поводження системи або введення некоректної команди при потраплянні людини або його рук в зону небезпечних рухів
- небезпечні рухи або стани, викликані подачею або видаленням виробничого матеріалу або виробничих відходів
- травми, завдані периферійним обладнанням
- руху, які повинні виконуватися при знятих для режиму нормальної роботи захисних огорожень, виконуються тільки в робочих межах геометрії переміщення і швидкості і в період часу дії спеціальної команди. Крім того, ні люди, ні частини тіла людини не повинні перебувати в зоні ризику.

Під час наладки повинні бути забезпечені наступні умови безпеки:

- не повинно виникати жодний небезпечний рух в результаті неправильної команди або невірною введення команди.
- заміна роботів або периферійних пристроїв не повинна викликати небезпечних рухів або станів.
- руху, які повинні виконуватися при знятих для режиму нормальної роботи захисних огорожень, виконуються тільки в робочих межах геометрії переміщення і швидкості і в період часу дії спеціальної команди. Крім того, ні люди, ні частини тіла людини не повинні перебувати в зоні ризику.
- під час налагоджувальних робіт периферійне устаткування не повинно здійснювати небезпечних дій або викликати небезпечні умови.

Під час програмування повинні виконуватися наступні умови безпеки:

- Запобігати проникненню людини або її рук в зони автоматичних рухів.
- Якщо рухи виконуються при знятих для нормального режиму роботи захисних огорожень, повинні виконуватися наступні умови:
 - може виконуватися тільки команда руху і тільки у встановлений командою період часу.
 - можна виконувати тільки контрольовані рухи (тобто добре помітні рухи на малій швидкості).
 - рухи можуть розпочатися, якщо не представляють небезпеки для програміста або інших осіб.

- Периферійне устаткування не повинно представляти небезпеки для програміста або інших осіб.

Безпечне проведення випробувань вимагає наступних заходів обережності:

- Не допускати проникнення людини або її рук в зони автоматичних рухів.
- Периферійне устаткування не повинно бути джерелом небезпеки.

При проведенні інспекторських перевірок роботів застосовуються такі процедури безпеки:

- Якщо необхідно увійти в поле руху робота з метою інспекції, система повинна знаходитися в безпечному стані.

- Небезпеки, викликані помилковою поведінкою з боку системи або введенням неприпустимої команди, повинні запобігати.

- Периферійне устаткування не повинно бути джерелом небезпеки для інспекційного персоналу.

Усунення несправностей часто вимагає включення машини, коли вона знаходиться в потенційно небезпечному стані. При цьому повинні застосовуватися спеціальні процедури техніки безпеки:

- Доступ в зони автоматичних рухів машини повинен запобігатися.
- Запуск приводного вузла в результаті невірної команди або введення помилкової команди повинен запобігатися.

- При заміні несправної частини всі рухи робота не допускаються.
- Травми, що наносяться деталями машини, що викидаються або падаючими з неї повинні запобігатися.

- Якщо при усуненні несправностей рухи виконуються зі знятими для режиму нормальної роботи загородженнями, встановлюються певний масштаб, швидкість і тривалість, обумовлені командами. Крім того, ні людина, ні частини його тіла не повинні потрапляти в зону ризику.

- Травми, що наносяться периферійним обладнанням, повинні запобігатися.

Усунення неполадки і технічне обслуговування також можуть вимагати включення машини, коли вона знаходиться в небезпечному стані, і тому вимагають наступних заходів обережності:

- Кран не повинен включатися.
- Дії з різними частинами машини, вручну або з використанням допоміжного обладнання, повинні бути вільні від будь-якого ризику чи небезпеки.
- Не можна доторкатися до частин, що знаходяться під струмом.
- Травми, викликані витоками рідкого або газоподібного середовища, повинні запобігатися.
- Травми, викликані периферійним обладнанням, повинні запобігатися.

Висновки: незважаючи на порівняно низьку напругу джерел промислового робота при роботі, можливе ураження працівників електричним струмом. При цьому ураження може бути смертельним.

Перш ніж розпочинати роботу з промисловим роботом необхідно упевнитись у справності робота, відсутності пошкоджень, оглянути одяг і засоби захисту. Під час роботи бути обережним, дотримуватись правил техніки безпеки з електричним обладнанням.

РОЗДІЛ 7

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Інтенсивний розвиток господарської діяльності людей, деградація природних екосистем, аварії і катастрофи на промислових і оборонних об'єктах згубно відобразилися на стані навколишнього середовища і привели природу до стану кризи, що загрожує екологічною катастрофою. Тому перед людством постала задача раціонального природокористування в поєднанні з ефективним зниженням негативної дії промислового виробництва на навколишнє природне середовище. Поняття навколишнє середовище трактується як сукупність всіх матеріальних тіл, сил і явищ природи, її речовина і простір, будь-яка діяльність людини. Воно включає в себе сукупність об'єктів та умов природи, в яких протікає діяльність якого-небудь суб'єкта.

У зв'язку з цим виникає ряд питань, пов'язаних з якісними характеристиками навколишнього середовища і життя людини. Ця область і є предметом екології. Термін «екологія» (із грецької – “коріння”) запропонував в 1866 р. німецький біолог Э. Геккель.

Екологія – це наука про взаємовідносини між живими організмами і середовищем їх існування. Сучасна екологія вивчає також взаємодію людини і біосфери, суспільного виробництва з навколишнім природним середовищем і інші проблеми. В даний час екологія є науковою базою для розвитку прикладної екології: охорони навколишнього середовища, захисту біосфери, інженерної екології, промислової екології, екологічної безпеки і інших самостійних підрозділів, що становлять багатопланову дисципліну екології. До цього комплексу відносяться законодавчі, організаційні, санітарно-гігієнічні, інженерно-технічні і інші заходи, що зменшують шкідливу дію результатів діяльності людини на біологічні системи.

У нашій країні з метою подолання негативних тенденцій у сфері охорони навколишнього природного середовища, використання і відтворення

природних ресурсів, розвитку мінерально-сировинного комплексу, підвищення ефективності державного управління, вдосконалення системи координації і контролю

за діяльністю органів виконавчої влади, підприємств, установ та організацій у цій сфері та відповідно до пункту 15 частини першої статті 106 Конституції України Указом Президента України від 6 березня 2004 року №317/2004 спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань охорони навколишнього природного середовища, екологічної безпеки, заповідної справи, а також гідрометеорологічної діяльності є Міністерство охорони навколишнього природного середовища України. До складу Міністерства охорони навколишнього природного середовища входять урядові органи державного управління - Державна екологічна інспекція, Державна служба заповідної справи і Державна гідрометеорологічна служба.

Також в Україні створена державна система моніторингу довкілля, що являє собою систему спостереження, збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розроблення науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки. Головними пріоритетами функціонування даної системи є захист життєво важливих екологічних інтересів людини і суспільства; збереження природних екосистем, відвернення кризових змін екологічного стану довкілля та запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям. Тож розуміло, що кожен аспект діяльності людини в галузі промисловості повинен відповідати нормативним вимогам безпеки використання та захисту природного середовища, екологічної безпеки, постійного контролю по збереженню ресурсної бази природних комплексів та сприяння їх відновлення.

7.1 Аналіз основних складових забруднення навколишнього середовища, що виникає в процесі виробництва

7.1.1 Вплив штучних електромагнітних полів

Бурхливий розвиток науки і техніки призвів до того, що рівень електромагнітних полів, створених людиною в окремих районах, у сотні разів вище

чим середній рівень природних полів. Джерелом виникнення таких полів є розгалужена система електроенергопостачання, зокрема лінії електропередач.

У діапазоні звукових електромагнітних полів, струми промислової частоти (50 Гц) – це основне джерело електромагнітних хвиль. Виміри напруги поля в районах проходження високовольтних ліній електропередач показали, що під лінією вона може досягати декількох десятків тисяч В/м. Хвилі цього діапазону дуже поглинаються ґрунтом, тому на невеликому віддаленні від ліній (50 – 100 м) напруга поля падає до декількох десятків В/м.

Вивчення характеру поширення електромагнітного поля, створюваного ЛЕП 330, 500, 750 кВ, дозволяє зробити висновок, що високовольтні ЛЕП служать лінійним джерелом електромагнітного поля промислової частоти, якому присутня біологічна активність. Його несприятливий вплив на живий організм може проявитися при напрузі електромагнітного поля рівній 1000 В/м. Найбільш чуттєвою до такого впливу є нервова система біологічних організмів, функціональна зміна якої спричиняє зміну інших систем, зокрема ендокринного апарату, а також порушень обмінних процесів.

Електричне поле промислової частоти небезпечне для навколишнього середовища, тому що характер зміни його у часі має коливальний характер, що згубно діє на процес обміну речовин у клітках рослин і живих організмів.

Установка, що розглядається в проекті, працює від промислової мережі 220/380В частоти 50 Гц. Електромагнітні поля, що наводяться поблизу функціонування і місця розташування установки, можуть створювати електричні розряди у місцях найбільшого накопичення електромагнітного потенціалу та в місцях виходу струмів розтікання від заземлювачів. Випадкові розряди, що проходять через нейтраль заземлення обмоток двигуна, під час проникнення в шари ґрунту, вбивають найменші живі мікроорганізми та біологічні мікросистеми рослинного світу. Поширення штучних електромагнітних полів у просторі негативно впливає на рослинний світ землі, що може визвати пошкодження кори дерев, висушення трави із-за значного нагрівання атмосферних шарів внаслідок дії напруженості електромагнітних полів.

Таким чином, поширення електромагнітної енергії та її широке застосування в усіх сферах діяльності людини призвело до появи порівняно нового комплексу забруднювачів, що одержали назву "електромагнітного смогу", під яким розуміють сукупність електромагнітних полів і різних випромінювань, що виникають під час роботи електромагнітного устаткування.

Науковцями встановлено, що в даний час на Землі виникли великі електромагнітні "плями", що є наслідками виникнення суперміст, що цілком змінили зовнішній геофізичний вигляд нашої планети.

На значних територіях України напруженість електричних і магнітних полів зросла від двох до п'яти порядків, створюючи тим самим реальну небезпеку для людей, тваринного і рослинного світу.

Взагалі на думку експертів Всесвітньої організації охорони здоров'я сьогодні ступінь електромагнітного забруднення навколишнього середовища виходить на рівень, характерний для нинішнього забруднення її шкідливими хімічними речовинами.

7.1.2 Шумове і вібраційне забруднення при роботі установки

Шум і вібрація - це форми фізичного (хвильового) забруднення природного середовища, адаптація живих організмів до якого практично неможлива. Шумове забруднення – це забруднення, що виникає внаслідок перетворення механічної енергії взаємодіючих між собою організмів в енергію акустичних коливань повітря.

Джерелами шумів є усі види транспорту, промислові об'єкти, телерадіоапаратура, музичні інструменти, юрби людей тощо.

В системі, що є предметом розробки даного проекту, шум виникає від роботи двигунів, від взаємодії зубчастих колес у редукторах, від тертя гальмових колодок об вал двигуна при його зупинці, від тертя в підшипниках виконавчих механізмів, від зіткнення робочого органу з матеріалом, що підлягає обробці, (при входженні різця в метал заготовки або при виході з нього) а також при надмірно великих подачах виконавчого органу.

Вібраційне забруднення – це забруднення, що виникає внаслідок перетворення взаємодіючих між собою механізмів у механічну енергію коливань стін, стель і устаткування, що поруч знаходиться.

Розглянемо вплив шумового і вібраційного забруднення на навколишнє середовище.

Відомо, що елементарною часткою живої матерії є клітка. Усі представники рослинного і живого світу мають клітинну будову. Життєві процеси в клітці здійснюються завдяки складним біохімічним реакціям і супроводжуються нахождением необхідних хімічних речовин у клітці і виведенням продуктів розпаду за межі клітки. Обмін речовин у клітці з зовнішнім середовищем відбувається через цитоплазменну мембрану. Рушійними силами цього процесу є осмотичний тиск – різниця концентрації речовин по різні сторони від мембрани і каліє-натрієвий насос. Принцип роботи каліє-натрієвого насосу базується на різниці електродних потенціалів між іонами Na і K. Тож зміна фізичних параметрів шумового і вібраційного впливу в часі приводить до порушення стабільної роботи каліє-натрієвого насоса, а отже, до зміни обмінних процесів на клітинному рівні, що приводить до зниження життєдіяльності і загибелі клітки.

Виходячи з усього вище описаного можна зрозуміти, що живі організми і рослинність, що знаходяться в безпосередній близькості від промислового устаткування, піддаються великій небезпеці, яка при тривалому впливі загрожує рослинному і тваринному світу поступовим вимиранням.

Забруднення вібраційним впливом згубно позначається також на стані ґрунту. При тривалих коливаннях земної поверхні спостерігається явище, назване ерозією ґрунту. Ерозія ґрунту являє собою руйнування її цілісності.

Якщо вчасно не попередити ерозію, то наслідки її можуть бути просто катастрофічними – аж до глобальної зміни ландшафту місцевості. При руйнуванні цілісності ґрунту виникає загроза виникнення зсувів, розливів рік, зниження родючості землі.

7.1.3 Чинники виникнення хімічного забруднення

Під час промислового виробництва на його проміжних етапах до навколишнього середовища потрапляє чимало найрізноманітніших відходів. Це й оксиди сірки, азоту, вуглецю, і фреони, сульфати, і речовини з поверхнево-активними властивостями.

Усі ці шкідливі речовини, потрапляючи до атмосферного повітря, до водоймищ або до ґрунтів, безперечно забруднюють їх. Тому дуже важливим є здійснення постійного контролю за дотриманням допустимих норм граничних концентрацій шкідливих хімічноактивних речовин в навколишньому середовищі.

Розглянемо граничнодопустимі концентрації шкідливих речовин у майстерні, де експлуатується проектована установка.

Виробничий процес точіння металу пов'язаний з викидом металевої стружки високої температури та наявністю розжареного масла. У зв'язку з цим у робочій зоні механізму будуть присутні наступні шкідливі речовини: мідно-графітний пил, пил оксидів заліза, сірки, вуглецю. Джерелами мідно-графітного пилу є колекторні пластини електричних машин, а пил оксидів сірки, заліза, вуглецю одержується в процесі різання металу у вигляді дрібних частинок. Оксид сірки утворюється в результаті випалювання сірки з металу у процесі різання.

У кабіні оператора присутні такі шкідливі речовини, як оксид вуглецю, оксид сірки, пил оксиду заліза. Вуглекислий газ утворюється в результаті дихання самого оператора, а також в результаті випалювання вуглецю ним металу в процесі різання.

Гранично допустимі концентрації:

- | | |
|--|--------------------------|
| 1) мідно - графітного пилу | 4.0 мг/м ³ ; |
| 2) оксиду заліза (Fe ₂ O ₃) | 6.0 мг/м ³ ; |
| 3) діоксиду вуглецю (CO ₂) | 20.0 мг/м ³ ; |
| 4) оксиду сірки (SO ₃) | 0.5 мг/м ³ . |

Наявність таких речовин в атмосферному повітрі спричиняють його забруднення через присутність як часточок пилу (чи попелу), так і через різноманітні газоподібні речовини. Особливо небезпечним є перевищення допустимої норми концентрації сірчастого газу CO₂.

З погляду впливу хімічного забруднення ґрунтів, наземних та підземних вод слід відзначити, що постійне збільшення обсягів промислового виробництва призводить до скорочення площ ґрунтів, придатних до землеробства. Зрозуміло, що протиріччя між природним середовищем та промисловим виробництвом почалися формуватись ще з самого початку виникнення виробництва, оскільки за своєю суттю воно більш відчужене від природних процесів порівняно з сільським господарством.

Тому постійно спостерігається процес деградації ґрунтів із втратою їхньої основної властивості – родючості. Для ґрунтів є небезпечним накопичення в них металів.

Під час роботи установки можливий викид металевої стружки на землю, а також витік мастильних рідин. Це призводить до забруднення як підземних вод, за рахунок відходів відпрацьованих рідин, та стічних вод, а також - до забруднення ґрунтового шару.

7.2 Заходи щодо запобігання виникненню забруднень

Для захисту від дії електромагнітних випромінювань застосовуються наступні заходи:

- зменшення випромінювання безпосередньо біля джерела (досягається збільшенням відстані між джерелом направленої дії і робочим місцем, зменшенням потужності випромінювання);
- дистанційний контроль і управління передавачами в екранованому приміщенні (для візуального спостереження за передавачами застосовуються оглядові вікна, захищені металевою сіткою);
- екранування джерел випромінювання і робочих місць (застосування заземлених екранів у вигляді листу або сітки з металу, що володіє високою

електропровідністю, що відображають, — алюмінію, мідь, латунь) Екранування — найефективніший спосіб захисту. Електромагнітне поле ослабляється екраном унаслідок створення в товщі його поля протилежного напрямку.;

- організаційні заходи (проведення дозиметричного контролю інтенсивності електромагнітних випромінювань — не рідше одного разу на 6 місяців;

Для зниження шуму при роботі електроприводів існують наступні рекомендації:

- застосування звукопоглинаючих матеріалів;
- винесення особливо гучних виробництв із житлової зони;
- встановлення шумопоглинаючих екранів;
- якісне змащення частин електроустаткування, що рухаються;
- у разі необхідності можлива зміна технології виробництва та динаміки транспортного виробничого процесу;
- насадження зелених смуг.

Для зниження вібраційного забруднення при роботі електроприводів рекомендується проводити наступні заходи:

- застосування віброізолюючих підставок для устаткування;
- застосування пружних опор та основ в місця установки віброактивних частин електрообладнання;
- вібродемпфірування.

Для зменшення впливу хімічного забруднення слід проводити наступні заходи:

- здійснювати постійний контроль за вмістом хімічноактивних речовин у продуктах виробничого процесу;
- обережно поводитися із шкідливими речовинами при обслуговуванні та експлуатації системи;
- застосовувати системи очистки відпрацьованих речовин;
- правильно застосовувати комплекси утилізації відходів.

ВИСНОВКИ

Аналіз існуючої системи керування приводом крана-маніпулятора виявив, що система має ряд недоліків, які не дають змоги отримати найвищі показники якості технологічного процесу. Система керування двигуна постійного струму, який застосовується, призводить до підвищених масогабаритних розмірів, завищені вартісні показники і знижені показники надійності приводної установки. Отже, було запропоновано, замінити існуючу систему електропривода на систему сервопривода і синхронним двигуном. Використання якого як більш простого, надійного і дешевого значно підвищить зазначені показники системи керування.

Отже у магістерській роботі здійснено моделювання цифрової системи керування синхронного сервоелектропривода завдяки програмній оболонці ElectronicsWorkBench. У зв'язку з цим отримані наступні результати :

- доведена можливість модернізації електропривода крана-маніпулятора за допомогою цифрової системи керування та використання синхронного сервоелектропривода;
- сформовано функціональну схему системи керування електроприводу;
- складено алгоритми для чисельного експерименту;

визначено технічні заходи з охорони праці для обслуговування наведеного електропривода.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами под редакцией Круповича В.И. и др. М.: Энергоавтомиздат, 1982 г, 340с.
2. Справочник по автоматизированному электроприводу под редакцией Елесеєва В. А. и др. М.: Энергоатомиздат, 1983 г, 613с.
3. Силовые полупроводниковые приборы. Справочник. Чебовский О.Г. и др. М.: Э. 1975 г, 510с.
4. Управление электроприводами. Башарин А.В. Л.: Э, 1982 г, 391с.
5. Примеры расчетов автоматизированного электропривода. Башарин А.В. Л.: Э, 1972 г, 420с.
6. Автоматизированный электропривод. Москаленко В.В. М.: Э, 1986 г, 415с.
7. Автоматическое управление электроприводами. Зимин Е.Н. М.: ВШ, 1979 г, 316с.
8. Справочник по проектированию электропривода, силовых и осветительных устройств под редакцией Болшмана Я.М. М.: Э, 1974 г, 400с.
9. Проектирование систем автоматического управления электроприводами. Анхимюк В.П. Опейко О.Ф. Минск: ВШ, 1974 г, 143с.
10. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов. Михайлов О.П. М.: Машиностроение, 1990 г, 302с.
11. С О Суботін „Програмування та вирішення оптимізаційних задач у пакеті matlab” Міністерство освіти і науки України Запорізький національний технічний університет 2004г-50
12. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и FuzzyTech. - СПб.: БХВ-Петербург, 2003.- 736 .
13. Grossberg S. 1974. Classical and instrumental learning by neural networks. Progress in theoretical biology, vol. 3, pp. 51–141. New York: Academic Press
14. Потемкин В.Г. Введение в Matlab.- М.: Диалог - МиФи, 2000.- 247с.

15. Потемкин В.Г., Рудаков П.И. Matlab 5 для студентов.- 2-е изд., испр. и доп.- М.: Диалог-МиФи, 1999. - 448с
16. Система керування сервоприводами / Захаренко М.І., Булацевський Д.В., Запорожець А.Г., Мередов Я.С., Попадюк Т.О., Гапчук О.О.// Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених «Автоматика та електротехніка». –Миколаїв: НУК, 2020. – С. 19–20.
17. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 года, измененная Протоколом 1978 года к ней (МАРПОЛ 73/78) (с изменениями на 17 февраля 1978 года)

**Міністерство освіти і науки України
Національний університет
кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Електропривод підйому крана-маніпулятора

Студент магістратури: Лебідь Єгор Олександрович

Науковий керівник: к.т.н., доцент Надточій Анатолій Вікторович

Мета дослідження: На основі існуючих теоретичних досліджень провести синтез електроприводу підйому суднового крана-маніпулятора з широтно-імпульсним регулюванням.

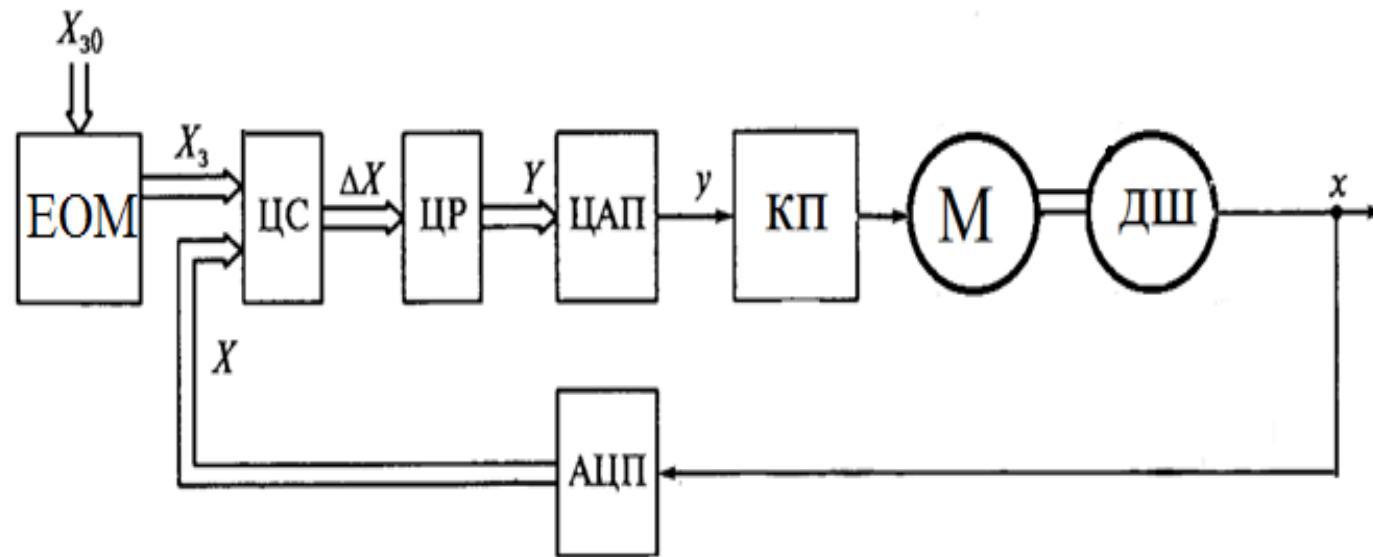
Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Скласти математичну модель синтезу імпульсної системи в системі автоматичного керування.
2. Провести теоретичні дослідження, щодо поведінки електропривода з різними періодами квантування імпульсного регулятора.
3. Довести доцільність використання цифрової системи керування в електроприводі крана-маніпулятора.

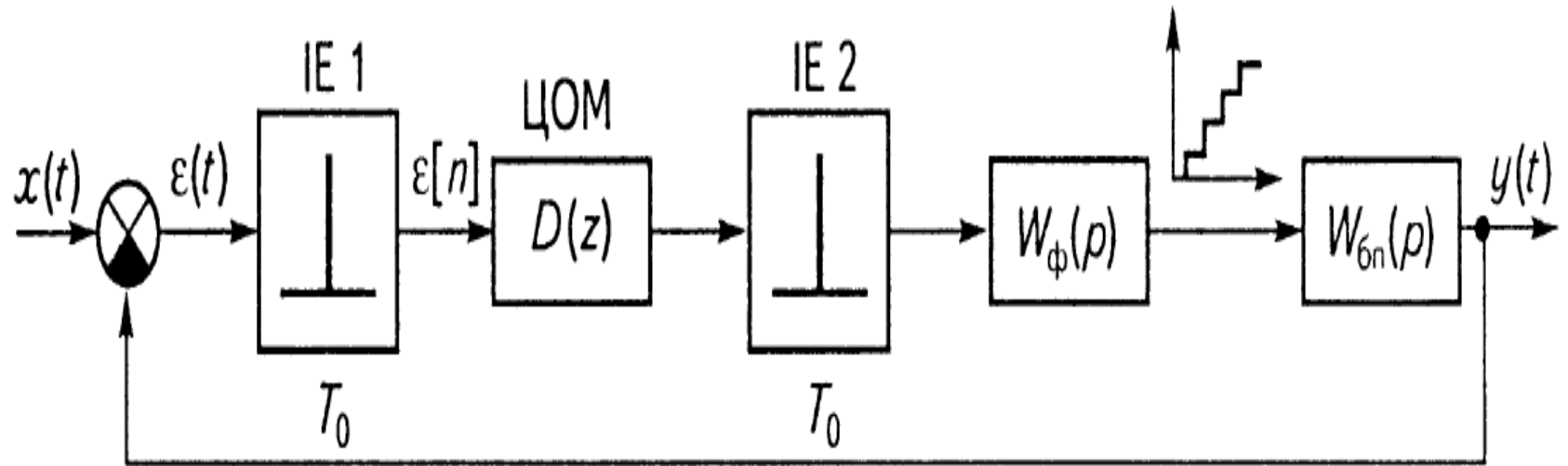
Загальний вигляд крана-маніпулятора «Палфінгер»



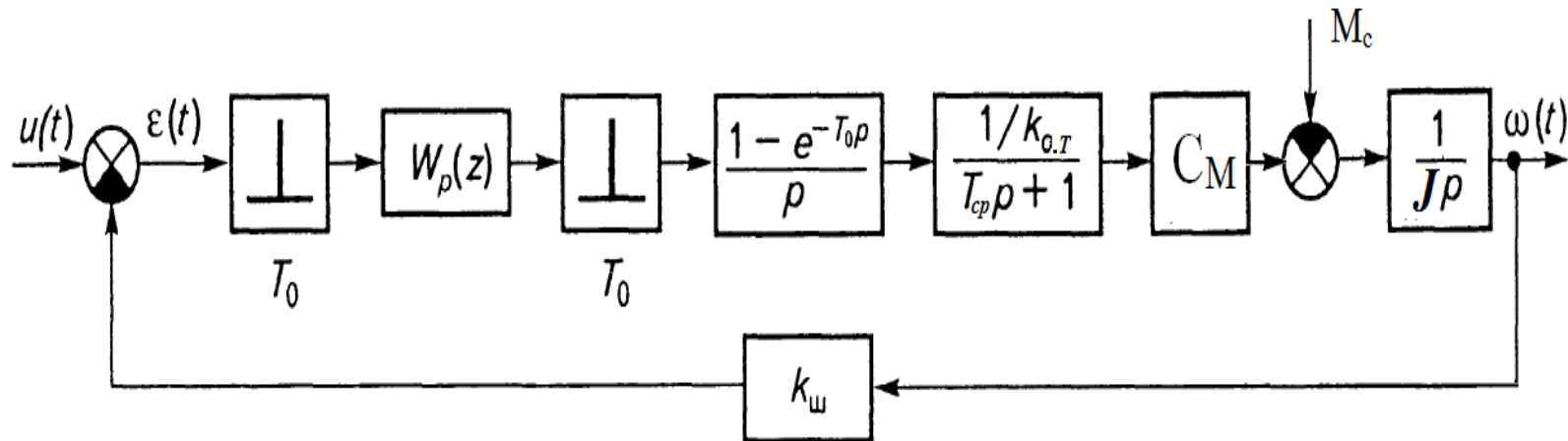
Функціональна схема сервопривода



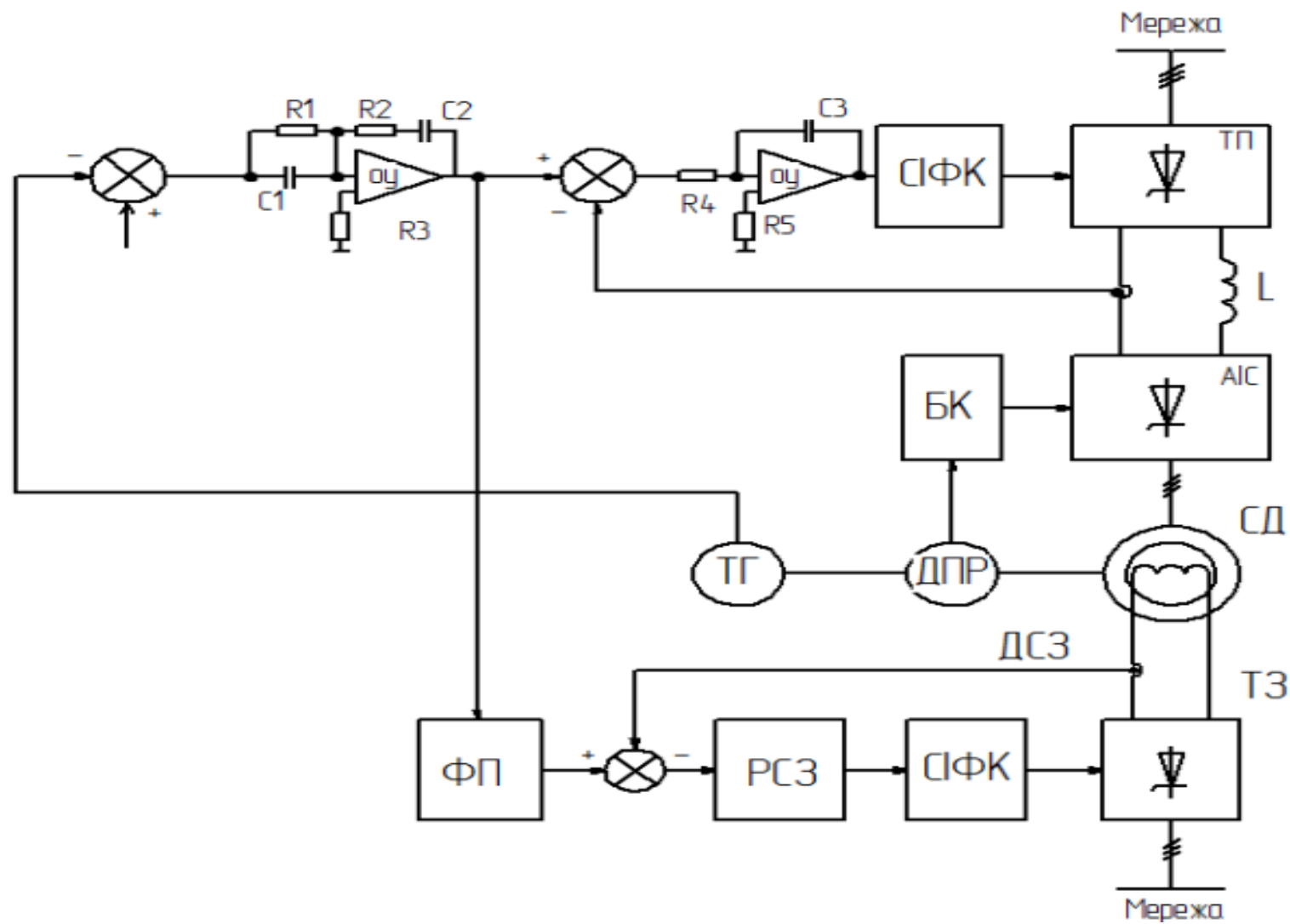
Спрощена структурна схема цифрової системи керування



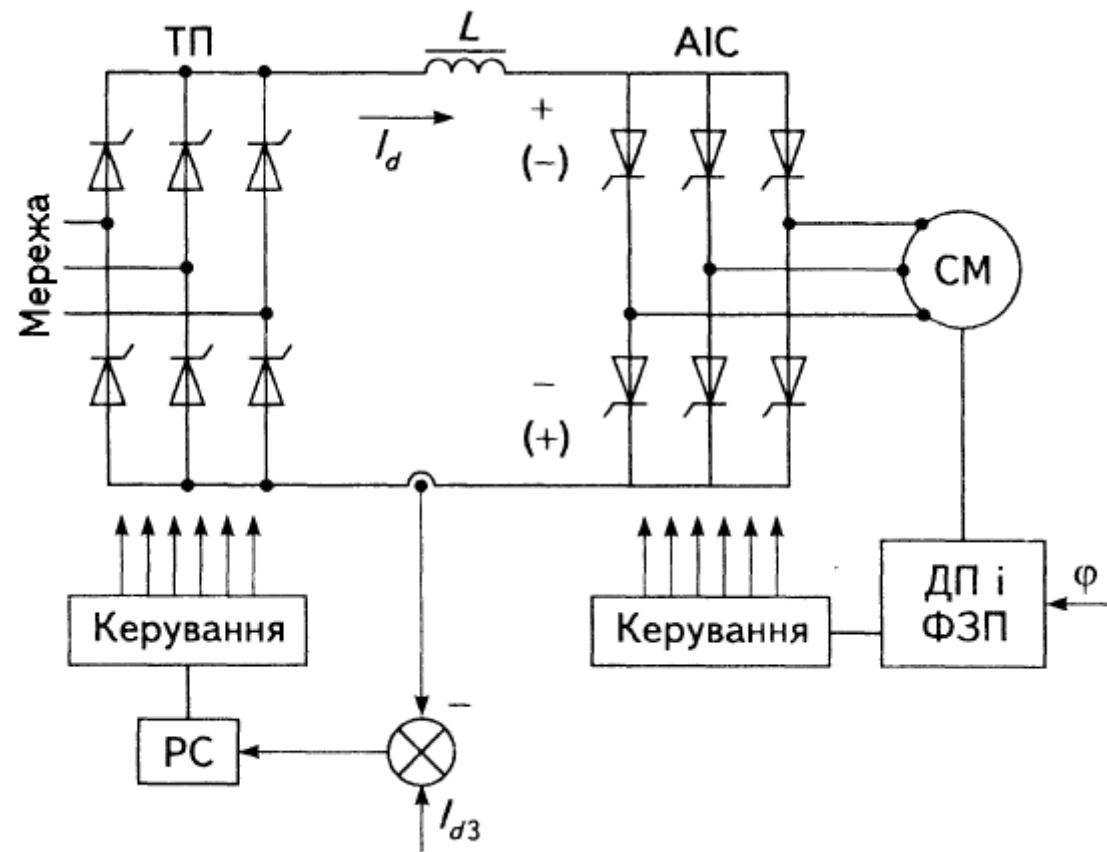
Структурна схема цифрової системи керування



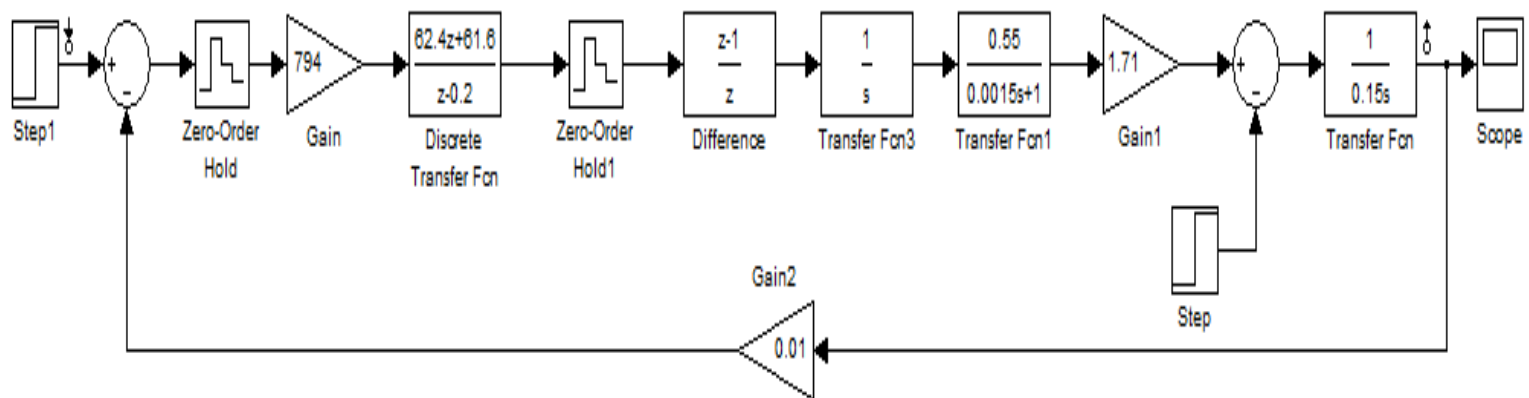
Принципова схема цифрової системи керування синхронним двигуном



Силова частина системи



Математична модель системи



ВИСНОВКИ

У магістерській роботі здійснено моделювання цифрової системи керування синхронного сервоелектропривода завдяки програмній оболонці ElectronicsWorkBench. У зв'язку з цим отримані наступні результати :

- доведена можливість модернізації електропривода крана-маніпулятора за допомогою цифрової системи керування та використання синхронного сервоелектропривода;
 - сформовано функціональну схему системи керування електроприводу;
 - складено алгоритми для чисельного експерименту;
- визначено технічні заходи з охорони праці для обслуговування наведеного електропривода.