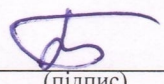


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

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

Кафедра автоматики
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

І. С. Білюк

« 15 » 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня бакалавра

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

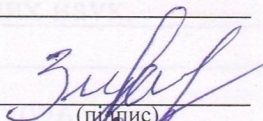
освітня програма Електротехніка та електротехнології
(назва освітньої програми)

на тему: «Модернізація електропривода газорізального робота»

Виконав: студент IV курсу, групи 4317ст3

Зозулін Віктор Вікторович

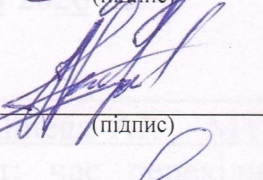
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник доц. каф. автоматики, к.т.н.,

доц. Надточій А.В.

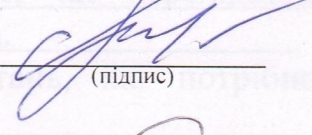
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Нормоконтроль ст. викл. каф. автоматики

Савченко О.В.

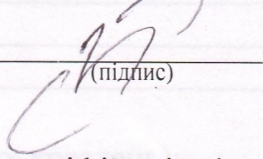
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н.,

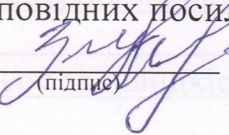
Ставинський Р.А.

(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)

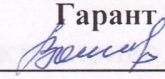
м. Миколаїв – 2026 року

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 О.Г. Васильєв
«15» 06 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

Зозуліну Віктору Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Модернізація електропривода газорізального робота»

керівник роботи Надточій Анатолій Вікторович, кандидат технічних наук,
доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «22» квітня 2026 року
№ 286-УЧ.

2. Строк подання студентом роботи 15 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: газорізальний робот маніпулятор Almega AX - MV6L;
синхронний серводвигун Estun EMJ-04A потужністю 0,4кВт; час перехідного
процесу не більше 0.2с; експоненційна перехідна характеристика.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити): 1. Стан питання та постановка задачі дослідження;

2. Розробка системи керування;

3. Розробка математичної моделі;

4. Охорона праці.

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

1.Зовнішній вигляд газорізального робота маніпулятора;

2.Функціональна схема автоматичної системи керування електроприводом;

3.Структурна схема системи;

4.Математична модель системи та графік перехідного процесу за швидкістю.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 03 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Стан питання та постановка задачі дослідження.	21.02.2026	
2	Розробка системи керування.	13.03.2026	
3	Розробка математичної моделі.	17.04.2026	
4	Охорона праці.	22.05.2026	

Студент

(підпис)

Зозулін В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Надточій А.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 52с., 4 р., 17 рис., 2 табл., 1 дод., 10 джерел.

Ключові слова: газорізальний промисловий робот маніпулятор, синхронний сервоелектропривод, цифрова система керування, бажані ЛАХ, перехідна характеристика, показники якості керування.

Об'єкт дослідження – синхронний сервоелектропривод газорізального робота маніпулятора.

Мета роботи – поліпшити показники якості електропривода газорізального робота за рахунок застосування цифрової системи керування та синхронного сервоелектропривода.

Перший розділ присвячений аналізу системи керування електроприводом газорізального робота і згідно цього зроблена постановка задачі дослідження.

У другому розділі обґрунтовано вибір системи керування та сформовано функціональну схему системи. Проведено розрахунок параметрів регулятора.

У третьому розділі на базі функціональної схеми побудовано та змодульовано структурну схему в середовищі Simulink пакету MATLAB. Побудовані графіки перехідних процесів.

У четвертому розділі розглянути питання з охорони праці.

Додатки містять слайди мультимедійної презентації (додаток А).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ...	6
1.1 Аналіз конструктивних особливостей роботів маніпуляторів...	6
1.2 Шляхи поліпшення динамічних властивостей робота маніпулятора.....	14
1.3 Постановка задачі дослідження.....	16
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	18
2.1 Вибір двигуна.....	18
2.2 Опис обраного двигуна.....	21
2.3 Опис обраної системи керування.....	24
3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ.....	27
3.1 Опис обраного методу синтезу.....	27
3.2 Синтез регулятора методом бажаних ЛАХ.....	29
3.3 Моделювання системи у середовищі Simulink.....	34
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	36
Вступ.....	36
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які впливають на людину при експлуатації промислового робота.....	37
4.2 Розрахунок захисного заземлення.....	39
4.3 Заходи по техніці безпеки щодо створення безпечних та нешкідливих умов праці	41
ВИСНОВКИ.....	47
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	48
ДОДАТОК А Мультимедійна презентація.....	49

ВСТУП

Автоматизація виробництва на основі автоматичних систем для розвитку й удосконалювання існуючих і технологічних виробництв, що створюються, є одним з важливих напрямків виробництва.

Особливістю сучасного етапу розвитку автоматизації виробництва є поява й масове застосування якісно нових технічних засобів, виготовлення мереж на базі автоматичних систем. Впровадження автоматизованих систем керування технологічними процесами здобуває особливого значення в зв'язку з ростом вимог до швидкості обчислення, переробки й видачі інформації, автоматичному контролю за процесами виробництва. Тому розробка й дослідження структур і режимів функціонування автоматизованих систем керування технологічними процесами є актуальним завданням. Використання автоматичних систем дозволяє на порядок знизити витрати, забезпечує підвищення ефективності й розширення функціональних можливостей.

Основною, визначальною метою керування устаткуванням, технологічними й виробничими процесами за допомогою автоматизованих систем керування є підвищення продуктивності праці, поліпшення якості продукції й використання матеріально-сировинних і паливно-енергетичних ресурсів. Подальше вдосконалювання автоматизованих систем керування пов'язане з підвищенням їхньої економічної ефективності шляхом індустріального створення автоматизованих технологічних комплексів з автоматизованих систем керування технологічними процесами.

Рівень автоматизації виробничих процесів, продуктивність праці і якість продукції, визначається силовою частиною, основу якої становлять регульовані електричні машини.

Метою дипломної роботи є модернізація системи керування електроприводом промислового робота маніпулятора для газорізальних та газозварювальних робіт.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз конструктивних особливостей роботів маніпуляторів

Опис промислового робота Almega AX - MV6L

Газокисневий робот актуальний для фігурного вирізування металевих виробів і/або формування фасок в довільному просторовому положенні. 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 промислового робота
Almega AX - MV6L

Базовим елементом робототехнологічного комплексу для кисневого різання плоских і об'ємних заготівель є промисловий робот Almega AX - MV6L. На кінцевому елементі маніпулятора в кріпильному вузлі встановлений різак. По

маніпулятору прокладені шланги для підключення різача газовому устаткуванню. На 3-ій осі маніпулятора встановлений блок клапанів. У безпосередній близькості від настановної платформи маніпулятора в зоні досяжності маніпулятора встановлений блок піджигу полум'я. Шафа електроживлення і управління технологічним устаткуванням встановлена у безпосередній близькості від маніпулятора, але за межами його робочої зони. Виносний пульт системи управління технологічним устаткуванням з кабелем завдовжки 3 м розташований там же. При необхідності маніпулятор робота може бути встановлений на рухливу платформу.

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

Промисловий робот складається з: підстави, вузла механічної руки, уніфікованих поворотних блоків кисті руки, перехідної втулки і змінних схопили, а також пристрої управління. Підстава включає в себе механізм повороту руки у вертикальній площині. Вузол руки 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.

Промисловий робот складається з: підстави, вузла механічної руки, уніфікованих поворотних блоків кисті руки, перехідної втулки і змінних схопили, а також пристрої управління. Підстава включає в себе механізм повороту руки у вертикальній площині. Вузол руки 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 промислового робота Almega AX - MV6L

Найменування параметру	Од. вим.	Значення
Номінальна вантажопідйомність	кг	12
Число ступенів рухомості	-	6
Кількість рук робота	-	1
Тип привода	-	Електромеханічний
Похибка позиціонування	мм	0.5
Найбільший виліт руки	мм	630
Тип системи керування	-	Позиційна
Кількість програмованих точок	-	300
Спосіб програмування	-	Навчання
Лінійні переміщення по координатним вісям (величина/швидкість)	мм/ $\frac{м}{с}$	
X		150/0,008-0,5
Z		150/0,008-1,0

Промисловий робот складається з: підстави, вузла механічної руки, уніфікованих поворотних блоків кисті руки, перехідної втулки і змінних схопили, а також пристрої управління. Підстава включає в себе механізм повороту руки у вертикальній площині. Вузол руки 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.

Принцип роботи промислового робота Almega AX - MV6L

Координати переміщень захоплення робота наведено на рисунку 2. На підставі робота встановлений електродвигун постійного струму з вбудованим датчиком зворотного зв'язку. Через приводний ремінь обертання передається на черв'ячний вал і черв'ячні колесо.

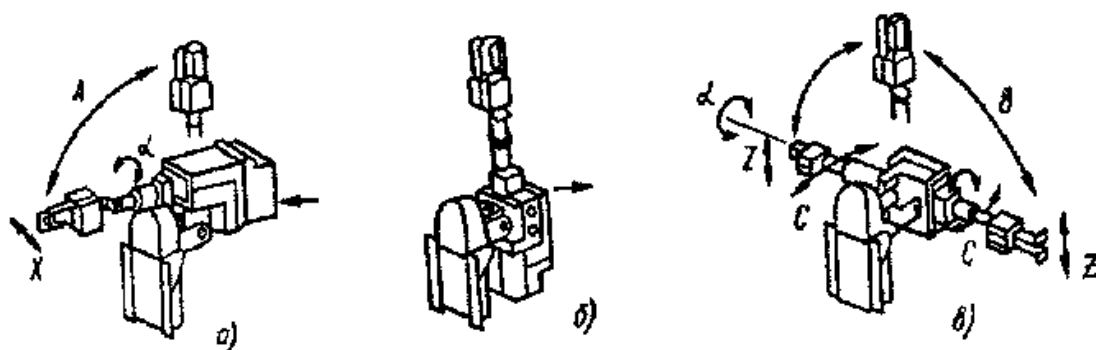


Рисунок 1.2 – Координати переміщення захоплення робота мод Almega AX - MV6L: а - рух руки вперед і вниз; б - центральне положення; в - рух руки вниз і убік

Переміщення x або z здійснюється за допомогою регульованого електродвигуна постійного струму, встановленого всередині руки, через приводний ремінь 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 (рух B) включає в себе регульований електродвигун постійного струму, який через зубчасто - ремінну 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 руки маніпулятора. На протилежному конусі цього валу закріплений диск з упорами, що впливають на шляхові перемикачі в схемі управління рухом повороту B .

Механізм повороту руки 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 промислового робота Almega AX - MV6L

В основі промислового робота лежить комплектний електропривод «КЕМЕК» виробництва НРБ, який призначений для промислових робіт 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. СІФУ виконано за вертикальним принципом з можливістю регулювання початкового струму якоря. Розгалужений ланцюг електронних захистів і сигналізації забезпечує зручність експлуатації і швидкість усунення можливих несправностей.

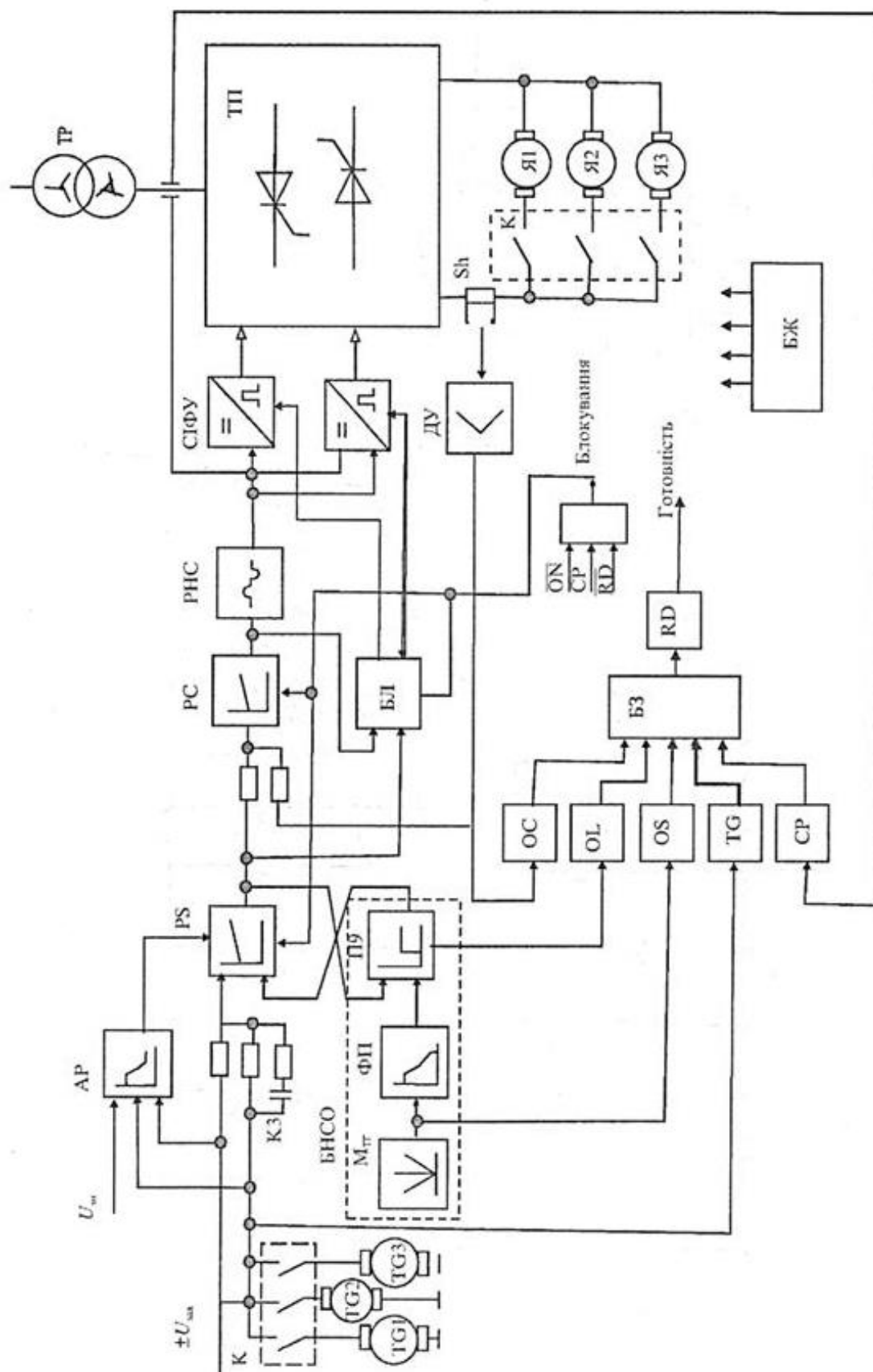


Рисунок 1.3 – Структурна схема електропривода

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.

Силова схема (рисунок 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.

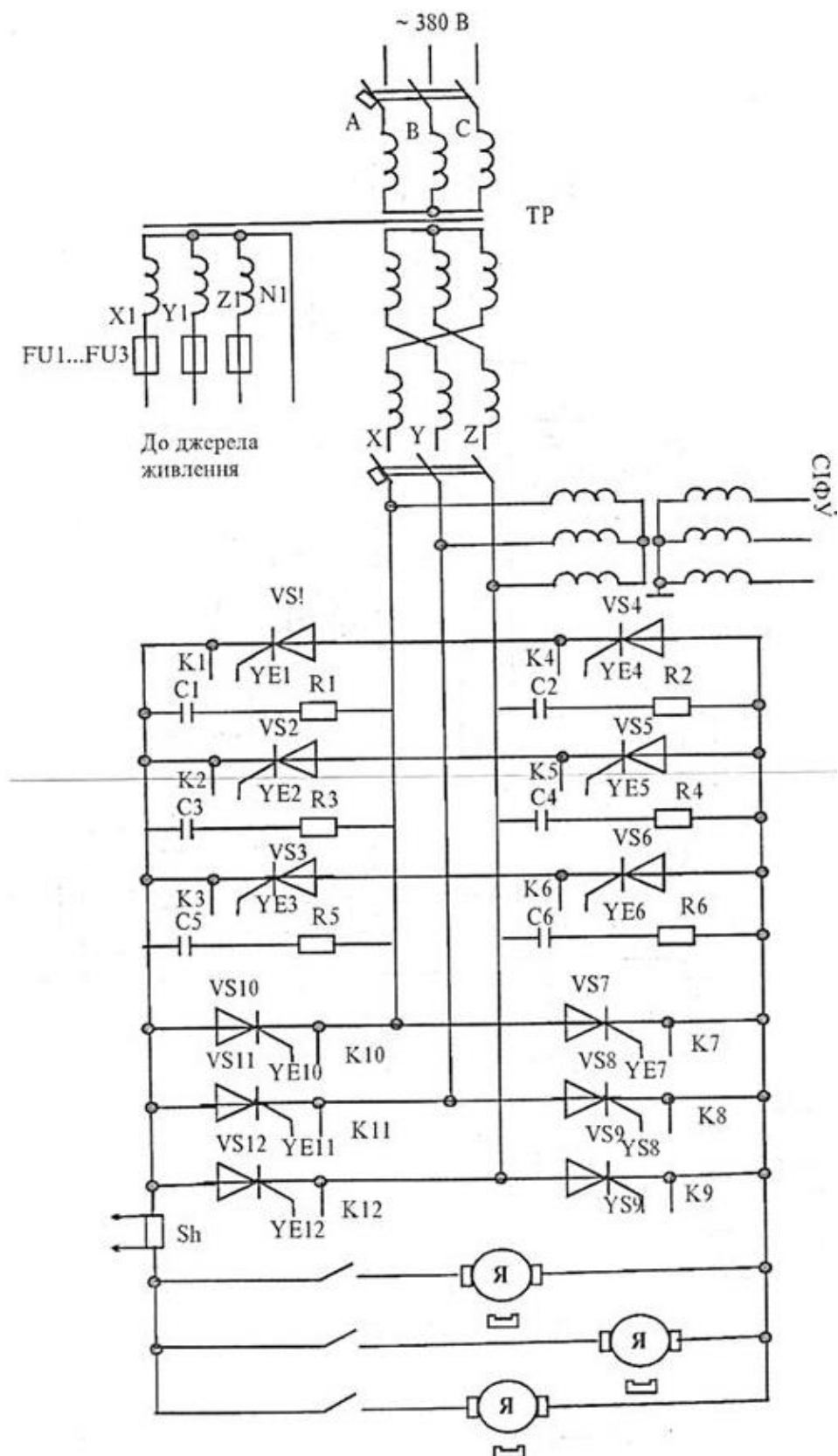


Рисунок 1.4 – Силовая схема электропривода

1.2 Шляхи поліпшення динамічних властивостей робота маніпулятора

В електроприводі промислових роботів 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 (наприклад, в санках з ЧПУ), тому основні вузли схем управління досить добре відпрацьовані, є типові рішення, обслуговуючий персонал на підприємствах 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 робота 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 робота маніпулятора.

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

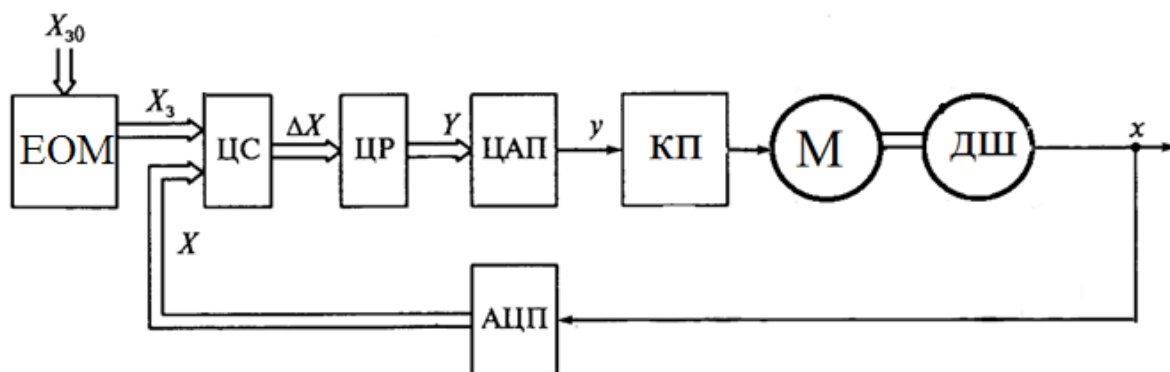


Рисунок 1.5 – Функціональна схема сервопривода ПР

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 промисловому роботі (ПР) 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 ток 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 Постановка задачі дослідження

В результаті аналізу представлених матеріалів можна зробити наступні висновки:

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

Метою дипломної роботи є розробка системи автоматичного керування електропривода промислового робота 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.

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

2.1 Вибір двигуна

Промисловий робот спроектований по найбільш розповсюдженій і універсальній, кінематичній схемі шести рухомого маніпулятора з обертальними кінематичними парами.

Технічні характеристики електропривода:

маса вантажу	$m_{гр} = 12 \text{ кг}$
маса ступеня рухливості	$m_{сп} = 3 \text{ кг}$
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 - $\varepsilon \leq 52.36 \text{ рад/с}^2$;
- час пуску не більше 0.2 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 - $\Delta\varphi \leq 0.5^\circ$.

Статичні моменти в розрахунку на один двигун:

$$M_{c1} = g(m_{гр} + m_{сп})L_{цм}(1 + k_{тр}) = 9.81 \cdot (12 + 3) \cdot 0.1 \cdot (1 + 0.08) = 15.89 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{c2} = |g(m_{гр} + m_{сп})L_{цм}(-1 + k_{тр}) = 9.81 \cdot (12 + 3) \cdot 0.1 \cdot (-1 + 0.08)| = 13.53 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Задаємося параметрами тахограми:

- час пуску: $t_{п} = 0.2 \text{ с}$;
- час циклу: $t_{ц} = 60 \text{ с}$;
- час роботи на сталій швидкості:

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

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

$$J = (m_{гр} + m_{сп})L_{цм} = (12 + 3) \cdot 0.1 = 0.15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

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

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

Динамічний момент $M_{\text{дин}}$, Нм :

$$M_{\text{дин}} = J\varepsilon = 0.15 \cdot 52.36 = 7.86 \text{ Нм}.$$

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

$$M_{\text{еквд}} = \sqrt{\frac{[(M_{c1} + M_{\text{дин}})^2 + (M_{c1} - M_{\text{дин}})^2] \cdot 4t_{п} + M_{c1}^2 t_y}{t_{цПВ}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{[(15.89 + 7.86)^2 + (15.89 - 7.86)^2] \cdot 4 \cdot 0.2 + 15.89^2 \cdot 47.2}{60 \cdot 0.8}} = 16.1 \text{ Нм.}$$

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

$$M_{\text{экв}} = M_{\text{эквд}} \sqrt{\text{ПВ}} = 16.1 \cdot \sqrt{0.8} = 14.38 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

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

$$P_{\text{роз}} = M_{\text{экв}} \omega = 14.38 \cdot 10.47 = 150.64 \text{ Вт.}$$

Умови вибору двигуна:

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

Тахограми і навантажувальна діаграма наведені на рисунку 2.1.

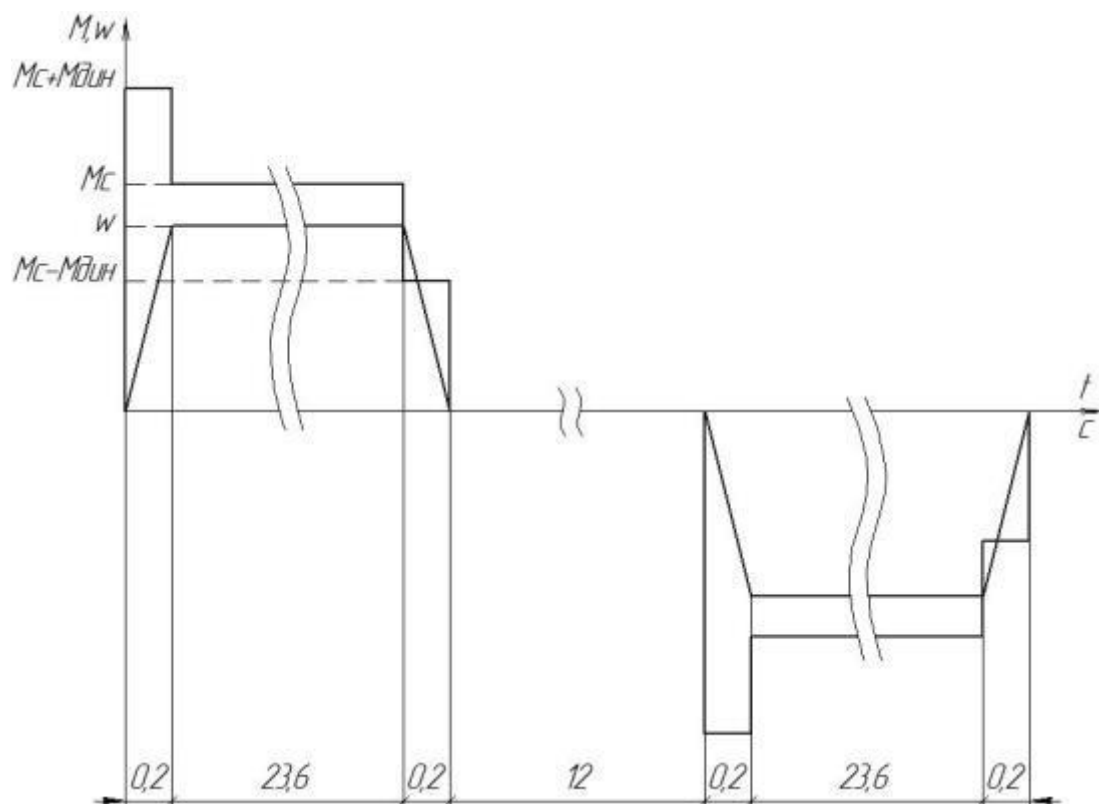


Рисунок 2.1 - Тахограми і навантажувальна діаграма механізму

Виходячи з даного розрахунку обираємо синхронний серводвигун Estun EMJ-04A потужністю 0,4кВт.

2.2 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 Estun EMJ-04A зображений на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд серводвигуна Estun EMJ-04A

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики Серводвигуна Estun EMJ-04A

Параметр	Значення
Модель серводвигуна	EMJ-04A
Напруга, В	200 AC
Номінальна вихідна потужність, кВт	0,4
Номінальний момент, N·m	1,27
Піковий момент, Н·м	3,82
Номінальний струм, А	2,8
Максимальний струм, А	8,4
Номінальна швидкість, об/хв	3000
Максимальна швидкість, об/хв	4500
Номінальна напруга гальмування, В	24DC ±10%

Номінальна потужність гальмування, Вт	7,2
Утримуючий момент гальмування, Н·м	1,3
Енкодер	Інкрементальний
Стандарт, іпм/об	2500
Енкодер	Абсолютний,
Опція, іпм/об	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

Механічні характеристики серводвигуна Estun EMJ-04A зображенні на
рисунок 2.3.

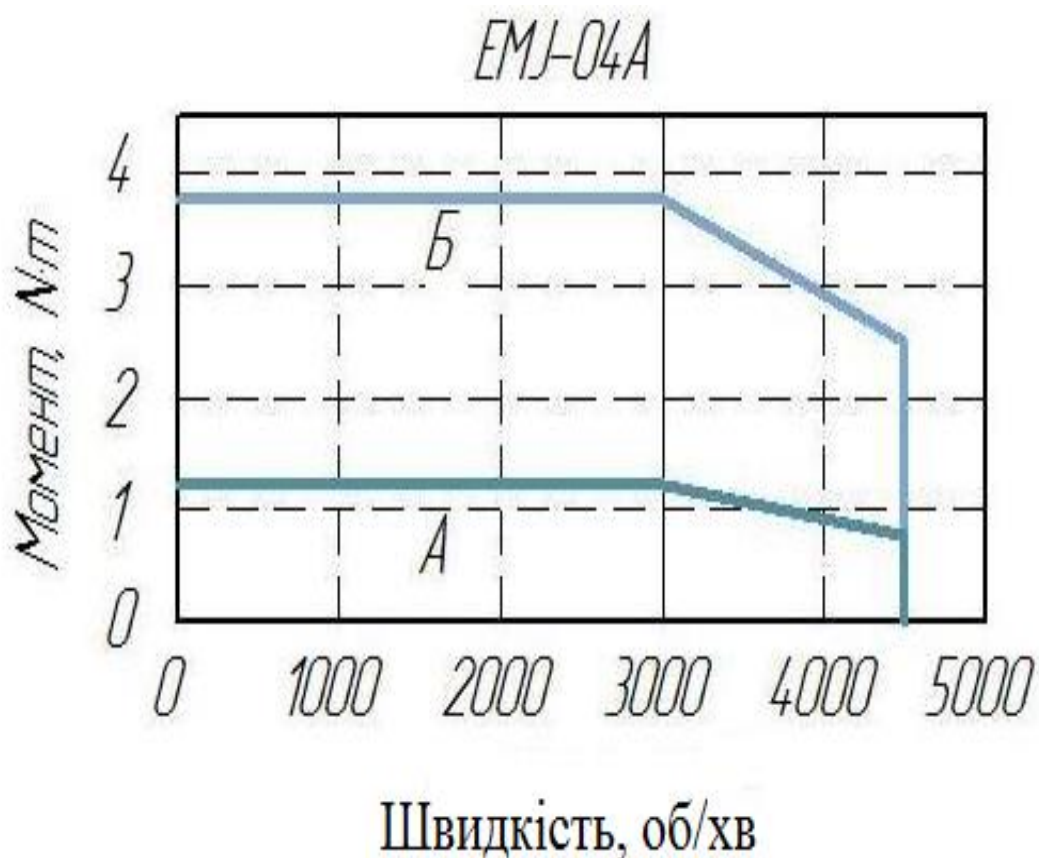


Рисунок 2.3 - Механічні характеристики серводвигуна Estun EMJ-04A

2.3 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 2.4). 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.

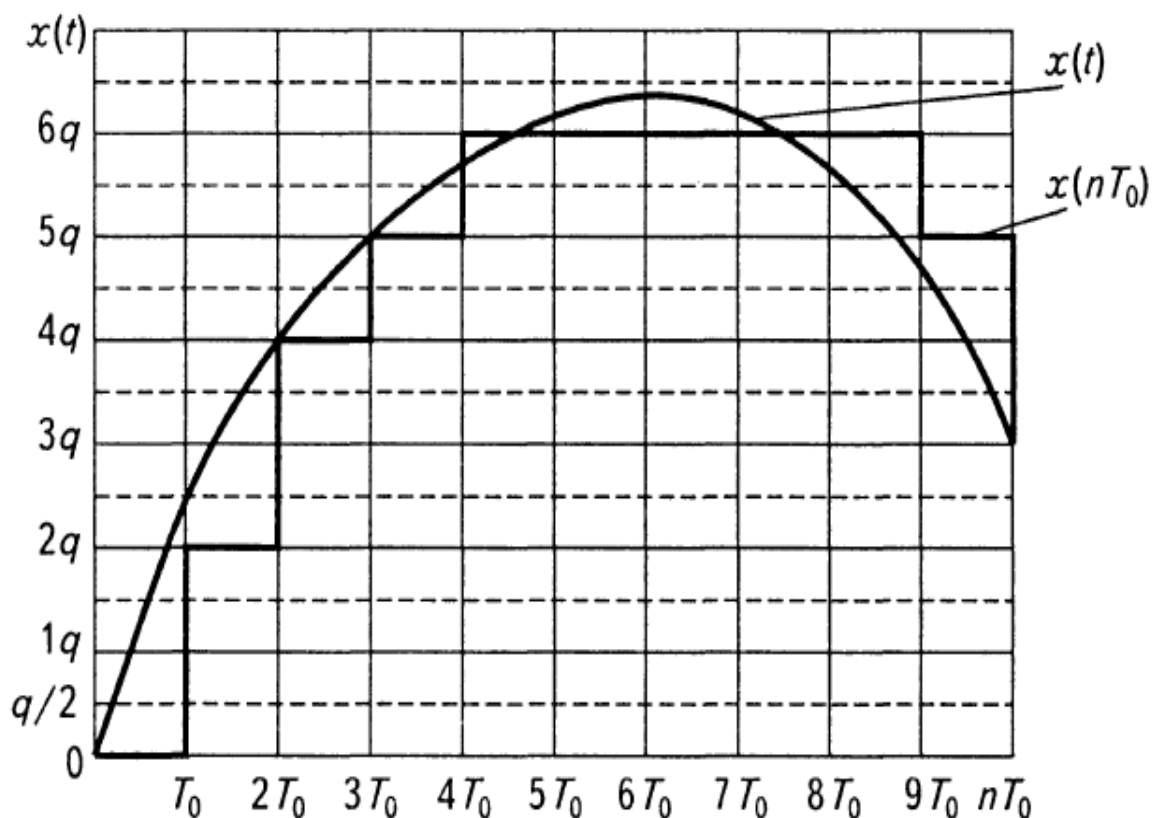


Рисунок 2.4 – Квантування за часом

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. 2.5.

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 $W_{\delta n}(p)$.

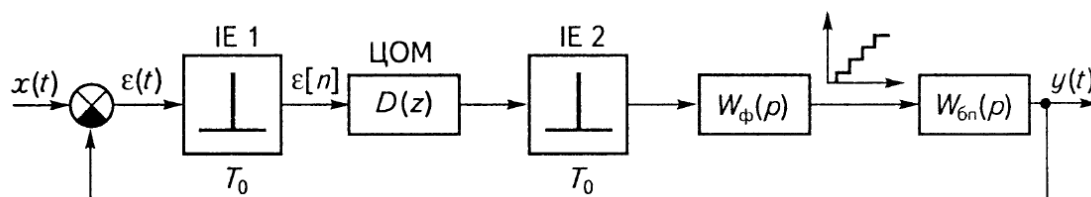


Рисунок 2.5 – Спрощена структурна схема цифрової системи керування

Для керування синхронним двигуном використаємо систему підпорядкованого керування із зворотнім зв'язком за швидкістю. Скориставшись спрощеною структурною зображеною на рисунку 2.5 та принциповою схемою зображеною на рисунку 1.5 побудуємо структурну схему керування синхронним двигуном.

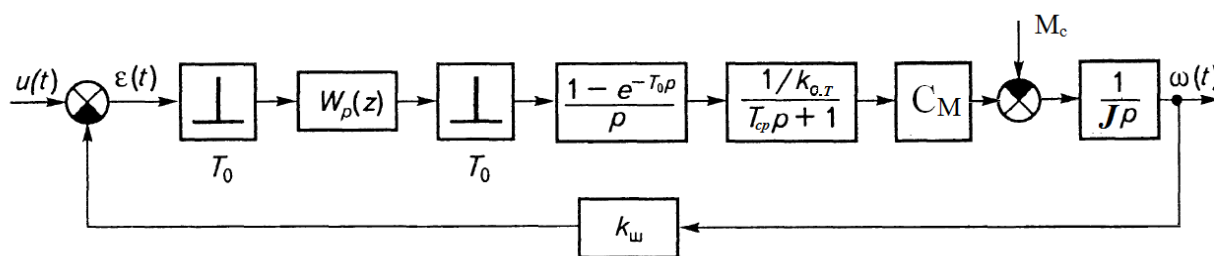


Рисунок 2.6 – Структурна схема цифрової системи керування синхронним двигуном

3. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

3.1 Опис обраного методу синтезу

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 промислового робота 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 3.2.

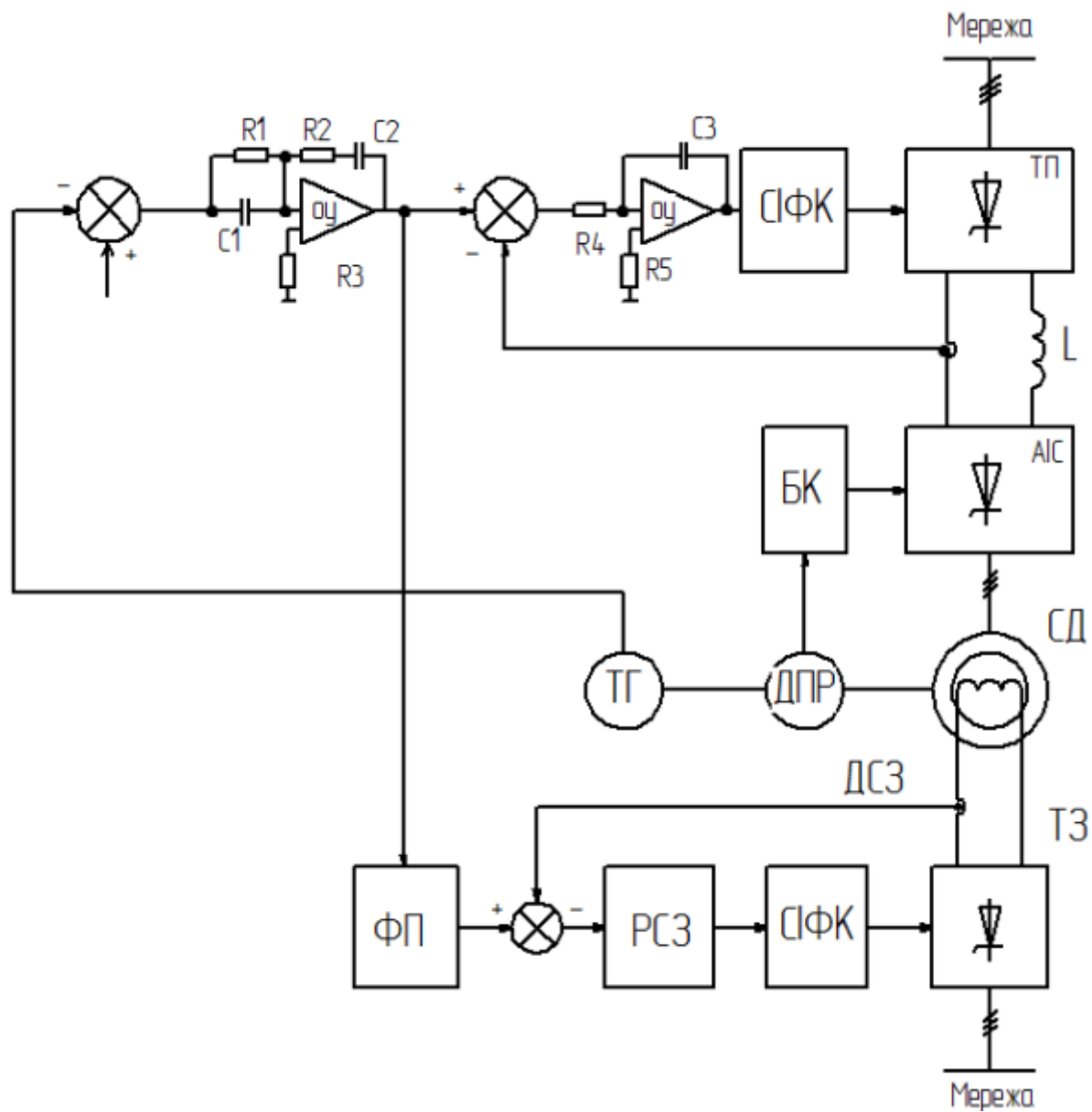


Рисунок 3.2 – Принципова схема цифрової системи керування синхронним двигуном

Силовая часть ТП та АІС зображена на рисунку 3.3.

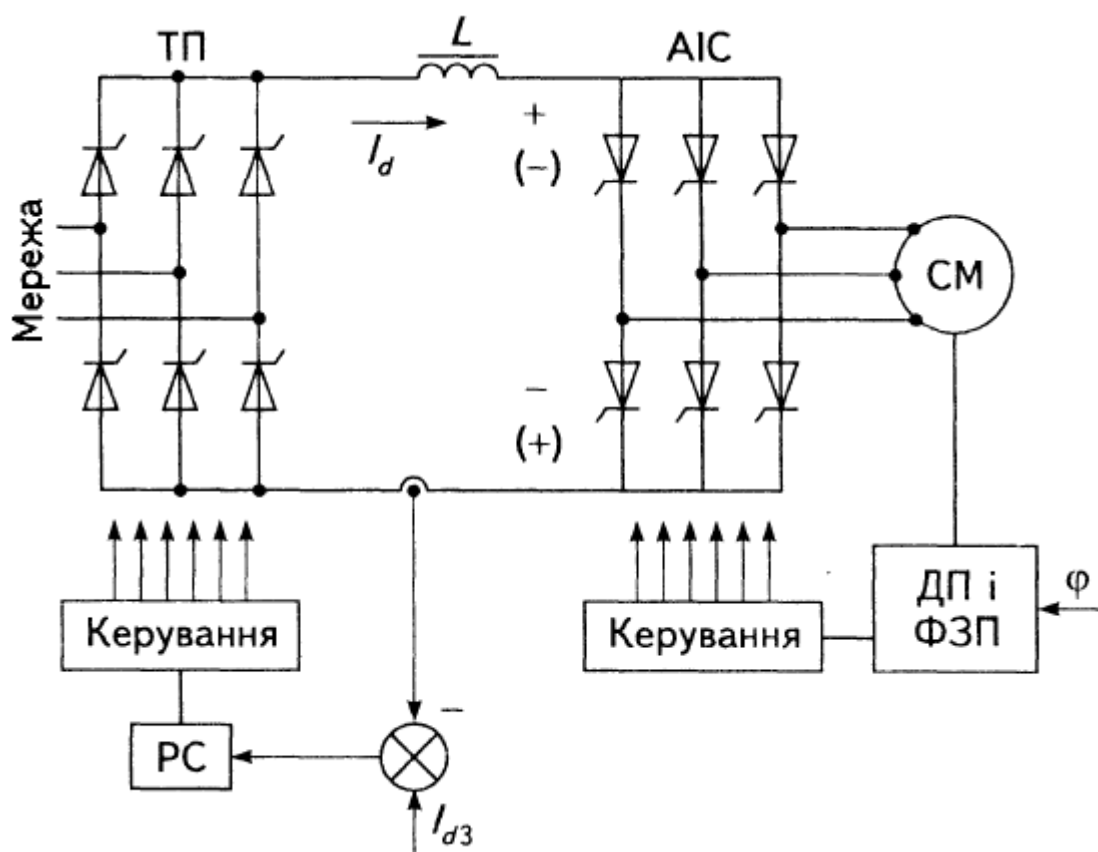


Рисунок 3.3 – Силова частина системи

3.2 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.

Приймемо:

$C_M = \frac{M_{дв}}{I_{инв}} = \frac{14,08}{8,4} = 1,71$ – коефіцієнт пропорційності між моментом двигуна та струмом інвертора.

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

При умовах:

$$U_{зт max} \leq 10 \text{ В};$$

$$I_{\text{ст}} = (2..3)I_{\text{н}} = 2 \cdot I_{\text{н}} = 2 \cdot 2,8 = 5,6 \text{ A};$$

$$k_{\text{о.т.}} = \frac{U_{\text{зт max}}}{I_{\text{ст}}} = \frac{10}{5,6} = 1,8 \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

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

$$J = (m_{\text{гр}} + m_{\text{сп}})L_{\text{цм}} = (12 + 3) \cdot 0,1 = 0,15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

З урахуванням невеликої постійної часу фільтру $T_{\text{ф}}$ у колі датчика струму постійна часу $T_{\text{ср}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$.

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

Загальний коефіцієнт підсилення:

$$k = \frac{C_M k_{\text{ш}}}{J k_{\text{о.т.}}} = \frac{1,71 \cdot 0,01}{0,15 \cdot 1,8} = \frac{0,017}{0,27} = 0,06.$$

Передаюча функція безперервної частини системи $W_{\text{бп}(p)}$:

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

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 $\omega_1, \text{ с}^{-1}$:

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

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

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

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 $W_{\pi}(j\lambda)$:

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

Побудовану характеристику $L_{\pi}(\lambda)$ зображено на рисунку 3.4.

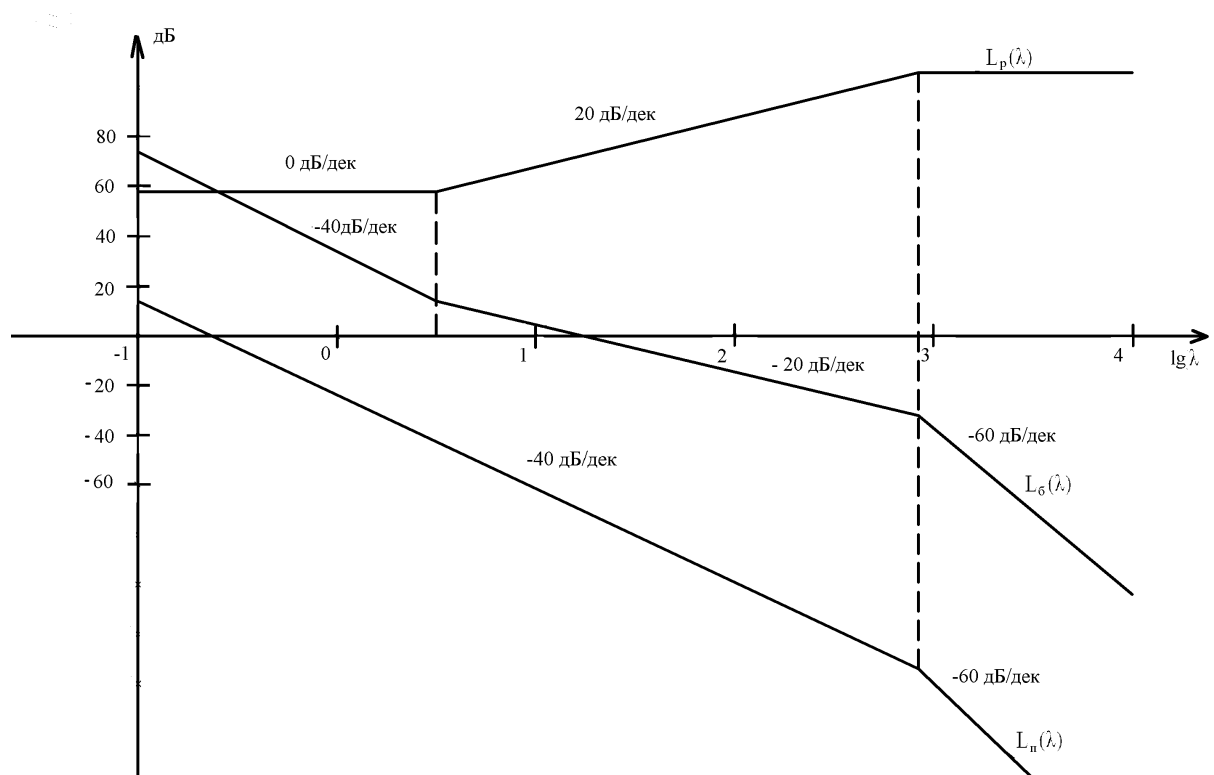


Рисунок 3.4 – Побудова ЛАХ системи

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} :

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

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 $\lg \lambda_2 = 0,5$, $\lambda_2 = 3,2 \text{ с}^{-1}$.

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

Виконавши підстановку:

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

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

3.3 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 змодельуємо за допомогою цифрового диференціатора та інтегруючої ланки. Цифровий регулятор представляю собою підсилювальну ланку та дискретну передаточну функцію. Загальний вигляд математичної моделі системи зображен на рисунку 3.5.

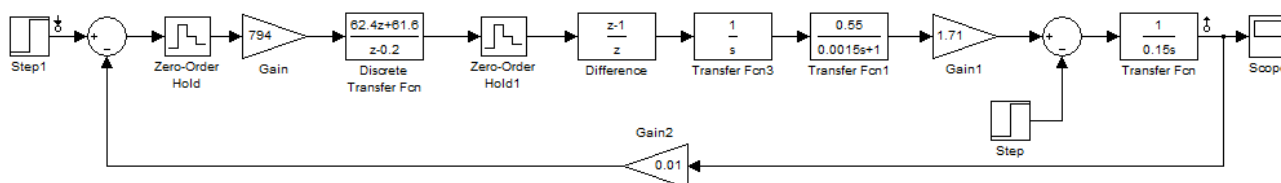


Рисунок 3.5 – Математична модель системи

Результат моделювання перехідних процесів у середовищі Simulink зображений на рисунку 3.6.

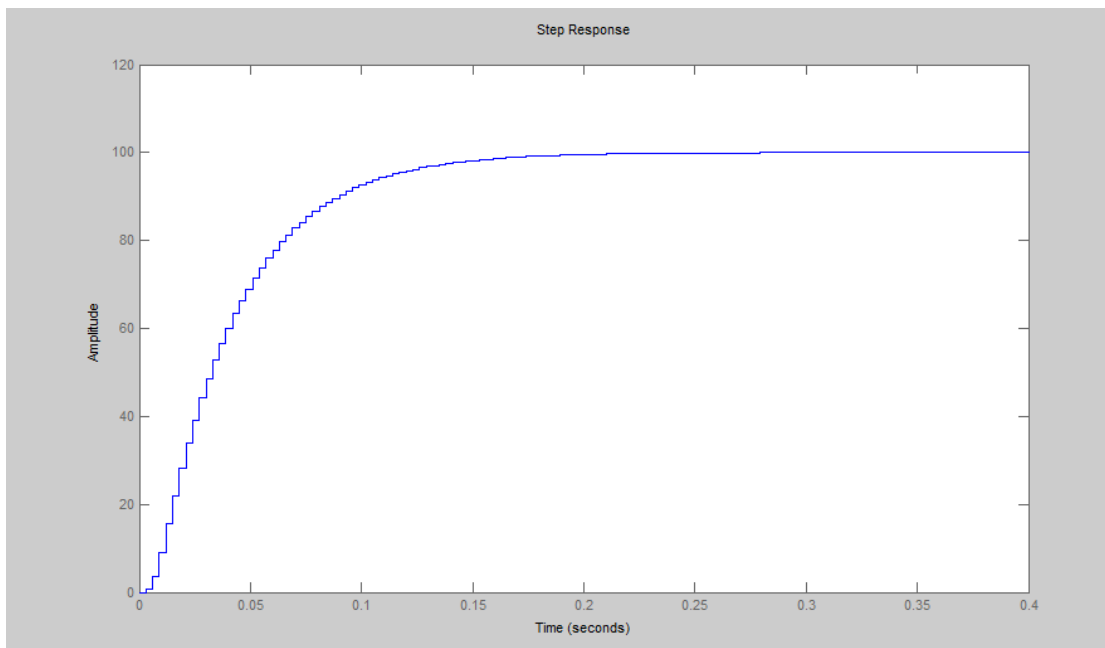


Рисунок 3.6 – Перехідна характеристика системи

За результатами моделювання можна зробити висновок:

- перегулювання складає $\sigma=0\%$;
- час перехідного процесу $t_p=0,15$ с.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Вступ

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;

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які впливають на людину при експлуатації промислового робота

При експлуатації промислового робота в механічному цеху 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 промислового робота 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 промислових роботів 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 фіброгенним 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.

4.2 Розрахунок захисного заземлення

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих не струмоведучих частин, які можуть опинитись під напругою.

Призначення захисного заземлення полягає в тому, щоб у випадку появи напруги на металевих частинах електроустаткування (наприклад, внаслідок замикання на корпус при пошкодженні ізоляції) забезпечити захист людини від ураження електричним струмом при її доторканні до цих частин. Захист від ураження струмом забезпечується шляхом приєднання корпусу до заземлювача, який має малий опір заземлення та малий коефіцієнт напруги доторкання.

Потрібно зробити розрахунок захисного заземлення для електроустановки з напругою до 1000 В, для $R_d = 4 \text{ Ом}$.

Тип заземлювача – стержневий у землі.

Тип ґрунту – садова земля.

Довжина стержня – $l = 5,5 \text{ м}$.

Діаметр стержня – $d = 16 \text{ мм} = 0,016 \text{ м}$.

Глибина закладення труби – $t_0 = 0,7 \text{ м}$.

Сполучна смуга – протяжна полосова в землі.

Ширина смуги – $d = 45 \text{ мм} = 0,045 \text{ м}$.

Використаємо метод коефіцієнтів використання електродів:

Припустимий опір заземлюючого пристрою – $R_d = 4 \text{ Ом}$;

Визначаємо питомий опір ґрунту по даним, що рекомендує для розрахунку – $\rho = 50 \text{ Ом/м}$;

Матеріал і розмір заземлювача:

$l = 5,5 \text{ м}$, $d = 16 \text{ мм} = 0,016 \text{ м}$, $t_0 = 0,7 \text{ м}$, $b = 45 \text{ мм} = 0,045 \text{ м}$;

Для обраного типу й розмірів визначаємо опір розтіканню одного заземлювача:

$$t = t_0 + \frac{1}{2} \cdot l = 0,7 + 0,5 \cdot 5,5 = 3,45 \text{ (м)},$$

$$R_1 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\ln \left(\frac{2l}{d} \right) + \frac{\ln \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right)}{2} \right) =$$

$$= \frac{50\rho}{2 \cdot \pi \cdot 5,5} \left(\ln \left(\frac{2 \cdot 5,5}{0,016} \right) + \frac{\ln \left(\frac{4 \cdot 3,45 + 5,5}{4 \cdot 3,45 - 5,5} \right)}{2} \right) = 10,063 \text{ (Ом)},$$

Так як $R_1 > R_d$, то необхідно використовувати декілька заземлювачів, сполучених паралельно

При $\eta=1$

$$n = \frac{R_1}{R_d} = \frac{10,063}{4} = 2,516 \approx 3$$

При $n = 3$, відношенні відстані між кутовими до їх довжини рівною 1 і розміщенні кутових в ряд фактичний коефіцієнт використання заземлювачів $\eta_\phi = 0,77$;

Фактичний опір вертикальних заземлювачів

$$R_{\text{вф}} = \frac{R_1}{\eta_{\text{ф}} n} = \frac{10,063}{0,77 \cdot 3} = 4,356 \text{ (Ом)},$$

Опір сполучної смуги визначимо по наступній формулі:

$$R_n = \frac{\rho}{2\pi \cdot l_n} \cdot \ln \frac{l_n^2}{b \cdot t},$$

$$l_n = 1,05 \cdot l \cdot (n - 1) = 1,05 \cdot 5,5 \cdot 2 = 11,55 \text{ (м)} \quad t = t_0 = 0,7 \text{ (м)} \quad (7.6)$$

$$R_n = \frac{50}{2\pi \cdot 11,55} \cdot \ln \frac{11,55^2}{0,045 \cdot 0,7} = 5,76 \text{ (Ом)};$$

При $n = 3$, відношенні відстані між кутовими до їх довжини рівною 1 і розміщенні кутових в ряд фактичний коефіцієнт використання сполучної смуги $\eta_{\text{нф}} = 0,78$;

Фактичний опір сполучної смуги

$$R_{\text{нф}} = \frac{R_n}{\eta_{\text{нф}}} = \frac{5,76}{0,8} = 7,2 \text{ (Ом)}$$

Загальні опір заземлюючого пристрою

$$R_{\Sigma} = \frac{R_{\text{вф}} R_{\text{нф}}}{R_{\text{вф}} + R_{\text{нф}}} = \frac{4,356 \cdot 5,76}{4,356 + 5,76} = 2,71 \text{ (Ом)}$$

Отриманий еквівалентний опір менше припустимого ($R_{\Sigma} < R_{\text{д}}$), отже розрахунок захисного заземлення електроустановки виконаний вірно.

4.3 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 огороджень, 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 невірної 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 огороджень, 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 огородженнях, 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 робіт 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 - робота, 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:

- Робот 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.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі було розглянуто систему керування приводом промислового газорізального і газозварювального робота маніпулятора.

Аналіз існуючої системи керування приводом промислового робота маніпулятора виявив, що система має ряд недоліків, які не дають змоги отримати найвищі показники якості технологічного процесу. Система керування не забезпечує необхідні показники якості 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.

При оцінці показників якості керування проектоюваної системи, було проведено моделювання, отримана схема математичної моделі системи. Отримані криві перехідних процесів. Аналіз отриманих даних показав, що застосування проектоюваної системи підвищить надійність показників приводу.

Були розглянуті питання по охороні праці на виробництві.

Автоматична система керування задовольняє вимогам виробничого процесу, надійна в експлуатації, і дозволить поліпшити процес виробництва.

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.

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Зовнішній вигляд газорізального робота маніпулятора



Рисунок А.1 – Слайд 1 мультимедійної презентації

Функціональна схема автоматичної системи керування електроприводом

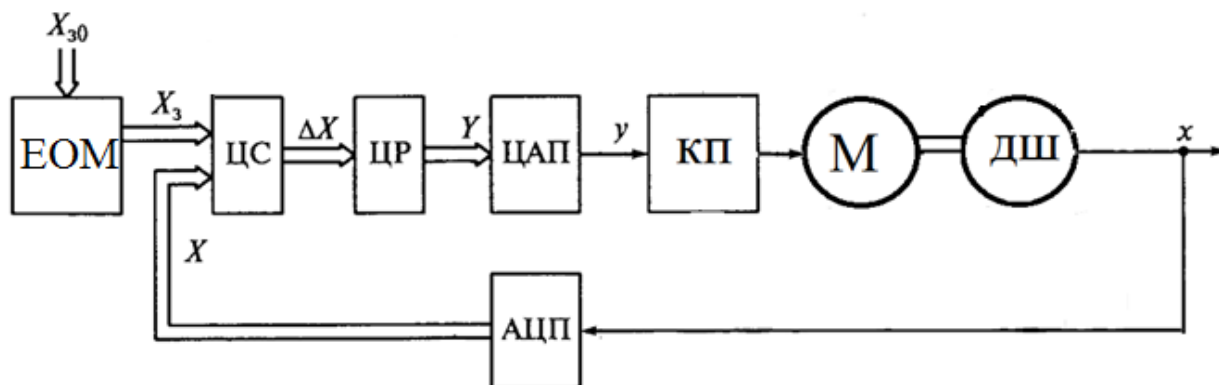


Рисунок А.2 – Слайд 2 мультимедійної презентації

Структурна схема системи

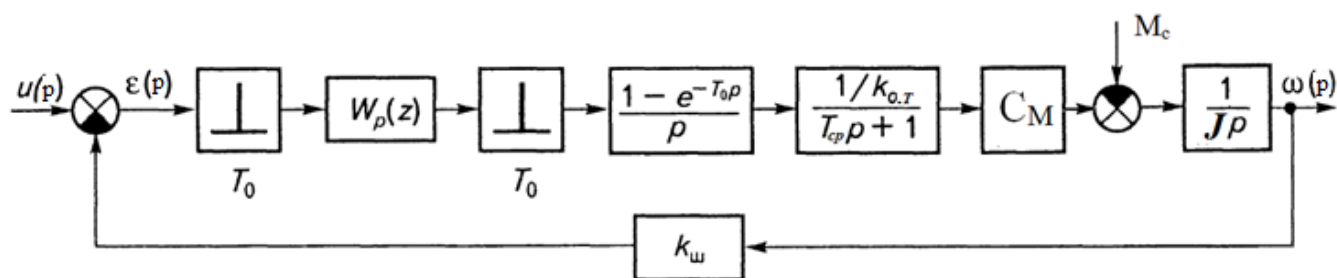


Рисунок А.3 – Слайд 3 мультимедійної презентації

Математична модель системи та графік перехідного процесу за швидкістю

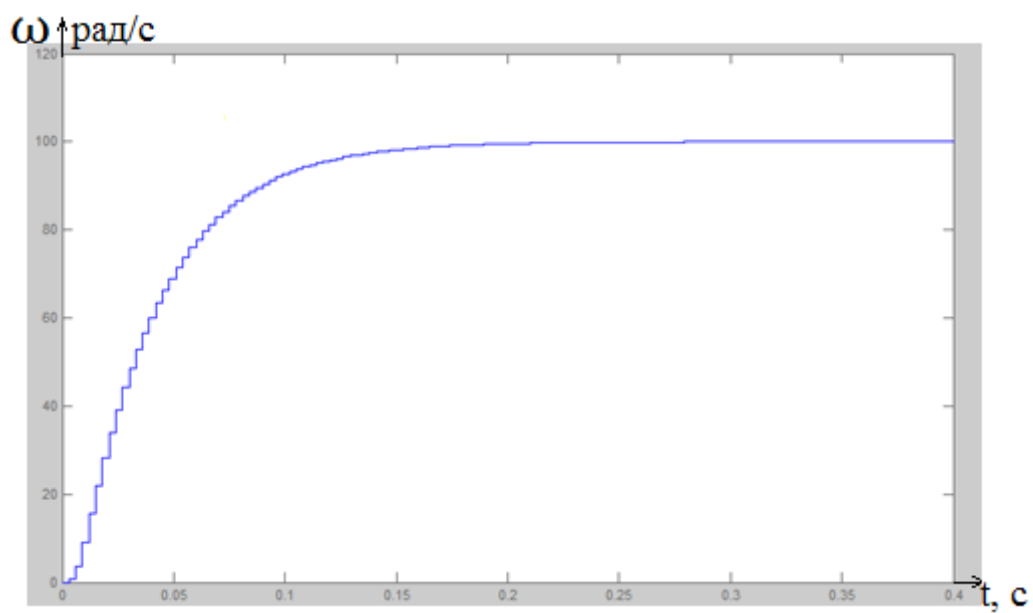
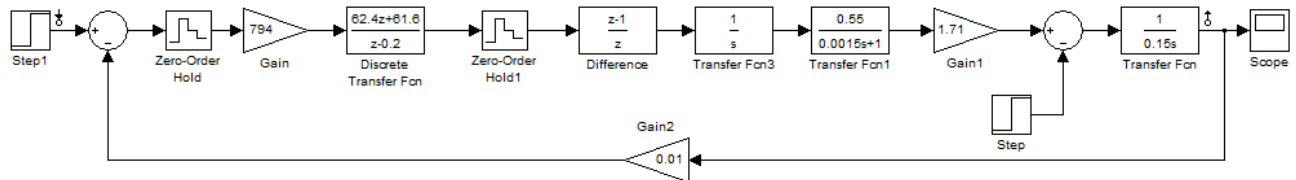


Рисунок А.4 – Слайд 4 мультимедійної презентації