Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

(повна найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМ РОБОТОМ-МАНІПУЛЯТОРОМ «РМ-01»

спеціальність 131 Прикладна механіка
(шифр і назва спеціальності)
освітня програма «Прикладна механіка»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМм-21
Панасюк Олександр Євгенович

_____
(підпис)

Керівник:
д.т.н., професор
Повстяной Олександр Юрійович

_____
(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«___» _____ 20__ р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Четвержук Тарас Іванович

_____
(підпис)

Луцьк – 2023 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії
Кафедра прикладної механіки та мехатроніки
Ступінь вищої освіти: магістр
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Освітня програма: Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Р.Редько
“_____” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ
Панасюку Олександру Євгеновичу
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: *Розробка автоматизованої системи управління промисловим роботом-маніпулятором «РМ-01»*
Керівник роботи: *Повстяной Олександр Юрійович, д.т.н., професор,* затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» січня 2023 р. № 42/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи: 1.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: *робот-маніпулятор «РМ-01», технічні характеристики та норми, автоматичне обладнання та автоматизовані лінії (загальні поняття), мікроконтролери U1, 8-розрядні мікроконтролери PICmicro*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):
Анотація. Зміст. Вступ. 1 Технологічна частина. 2 Конструкторська частина. 3 Програмна частина. 4 Надійність системи управління Висновки. Список використаних джерел

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:
Функціональна схема – 1 лист (ф.А.1), блок-схема алгоритму роботи СУ – 1 лист (ф.А1), часові діаграми – 1 лист (ф.А1), принципова схема системи управління – 1 лист (ф.А1), блок-схема алгоритму роботи робота-маніпулятора – 1 лист (ф.А1)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання *02.09.2023 р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	*Обґрунтування теми, огляд літератури із досліджуваної проблеми*	*15.09.23*	
2.	*Загальні відомості. Характеристика об'єкта управління.*	*01.10.23*	
3.	*Побудова мікропроцесорного блоку. Розробка принципової схеми. Виготовлення друкованої плати.*	*15.10.23*	
4.	*Постановка задачі програмування. Побудова загального алгоритму програми.*	*25.10.23*	
5.	*Розрахунок надійності системи управління. Обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи алгоритму*	*01.11.23*	
6.	*Оформлення ілюстративного матеріалу*	*20.11.23*	
7.	*Інструментальна перевірка на академічний плагіат*	*25.11.23*	
8.	*Представлення кваліфікаційної роботи магістра до захисту*	*01.12.23*	

Здобувач вищої освіти _____ *Панасюк О.Є.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ *Повстяной О.Ю.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Панасюк О.Є. Розробка автоматизованої системи управління промисловим роботом-маніпулятором «РМ-01». Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2023.

Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення основних елементів автоматизованої системи управління промисловим роботом-маніпулятором «РМ-01» та розкрити основні етапи проектування головних елементів. Для автоматизації великосерійного та масового виробництва створювалися та створюються зараз автоматичне обладнання та автоматичні лінії, що працюють за жорсткою програмою. На таких лініях застосовується спеціальне обладнання, наприклад, маніпулятори типу механічних рук або автооператори, що виконують різноманітні допоміжні операції (перенесення заготовок зі верстата, встановлення заготовок, знімання готових деталей і т. д.).

У магістерській роботі представлено розроблену систему управління ланками промислового робота-маніпулятора РМ-01. Робот РМ-01 має шестиланковий маніпулятор для переміщення виробу та інструменту по шести ступенях свободи в межах сферичної робочої зони. Управління ПР здійснюється за багаторівневою системою. Нижній рівень управління призначений для вирішення задачі регулювання параметрів руху (стан, швидкість) ланок маніпулятора відповідно до програм руху, що формується верхнім рівнем управління.

Ключові слова: автоматизована система управління, робот, маніпулятор, автоматичні лінії.

ABSTRACT

Panasiuk O.Ye. Development of an automated control system for the "RM-01" industrial manipulator robot. Manuscript.

Master's qualification work of OP "Applied Mechanics" specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2023.

The master's thesis consists of an introduction, 4 chapters, conclusions, and a list of used sources.

The purpose of the qualification work is to develop the main elements of the automated control system of the industrial robot-manipulator "RM-01" and to reveal the main stages of the design of the main elements. To automate large-scale and mass production, automatic equipment and automatic lines operating according to a rigid program were created and are currently being created. On such lines, special equipment is used, for example, manipulators of the type of mechanical hands or auto-operators, which perform various auxiliary operations (transferring blanks from the machine, installing blanks, removing finished parts, etc.).

The master's thesis presents the developed control system of the links of the industrial robot-manipulator RM-01. The RM-01 robot has a six-link manipulator for moving the product and tool in six degrees of freedom within the spherical working area. PR management is carried out according to a multi-level system. The lower control level is designed to solve the problem of regulating the movement parameters (state, speed) of the manipulator links in accordance with the movement programs formed by the upper control level.

Keywords: automated control system, robot, manipulator, automatic lines.

ЗМІСТ

ВСТУП……..5
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА……7
1.1 Загальні відомості..... 9
1.2 Характеристика об'єкта управління.....11
1.3 Формування технічного завдання 20
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....21
2.1 Розробка функціональної схеми……..21
2.2 Побудова мікропроцесорного блоку……...24
2.3 Розробка принципової схеми……...30
2.4 Виготовлення друкованої плати.....32
3 ПРОГРАМНА ЧАСТИНА.....34
3.1 Постановка задачі програмування 34
3.2 Побудова загального алгоритму програми.....36
3.3 Опис роботи програми..... 37
4 НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ……...43
4.1 Об'єкт управління та опис його роботи……..43
4.2 Розрахунок надійності системи управління.....44
4.3 Обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи алгоритму……...46
4.4 Техніко-економічне обґрунтування……52
ВИСНОВКИ……53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..54

ВСТУП

Актуальність теми. У магістерській роботі представлено розроблену систему управління ланками промислового робота-маніпулятора РМ-01. Робот РМ-01 має шестиланковий маніпулятор для переміщення виробу та інструменту по шести ступенях свободи в межах сферичної робочої зони. Управління ПР здійснюється за багаторівневою системою. Нижній рівень управління призначений для вирішення задачі регулювання параметрів руху (стан, швидкість) ланок маніпулятора відповідно до програм руху, що формується верхнім рівнем управління. Система управління, що проектується, побудована на мікроконтролерах PIC16F876. Управління роботом здійснюється ЕОМ верхнього рівня, яка з'єднана з виконавчим пристроєм через COM-порт за допомогою пристрою сполучення.

Мета і задачі дослідження. Розробка основних елементів автоматизованої системи управління промисловим роботом-маніпулятором «РМ-01» та розкрити основні етапи проектування головних елементів.

Задачі дослідження:

1. Розглянути загальні питання, що стосуються об'єкта автоматизації та визначити завдання, які необхідно вирішити під час побудови нової САУ.
2. Узагальнити інформацію про схемотехнічні рішення, які застосовуються в даній конструкції, а також систематизувати інформацію про засоби реалізації цих схемотехнічних рішень.
3. Навести характеристику середовища розробки керуючої програми та загальний алгоритм функціонування САУ.

Об’єкт дослідження. Промисловий робот-маніпулятор «РМ-01».

Предмет дослідження. Багаторівнева система автоматизованого управління на мікроконтролерах PIC16F876.

Методи дослідження. Під час виконання магістерської роботи застосовувалися сучасні методи автоматизованого, комп’ютерного та інформаційного моделювання.

Наукова новизна – поєднання теоретичних розробок з практичними для розробки системи управління ланками промислового робота-маніпулятора РМ-01.

Практична цінність роботи полягає у розробці програмного забезпечення для реалізації процесу управління приводами ланок маніпуляторів. Дані для управління повинні передаватися від комп’ютера.

Особистий внесок магістранта. Магістранту особисто належать основні положення, рекомендації та висновки. Магістрант здійснив постановку задачі з розробки програмного забезпечення для реалізації процесу управління приводами ланок маніпулятора РМ-01.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Можливості використання мікропроцесорної техніки розширюються у міру вдосконалення та розробки нових технологій, нових алгоритмів автоматичної обробки цифрової та аналогової інформації.

Для автоматизації великосерійного та масового виробництва створювалися та створюються зараз автоматичне обладнання та автоматичні лінії, що працюють за жорсткою програмою. На таких лініях застосовується спеціальне обладнання, наприклад, маніпулятори типу механічних рук або автооператори, що виконують різноманітні допоміжні операції (перенесення заготовок зі верстата, встановлення заготовок, знімання готових деталей і т. д.).

Сучасні високі вимоги до продуктивності різних механізмів та якості виробів, що виготовляються, можуть бути забезпечені тільки на основі автоматизації промислових електроприводів.

Промислові роботи (ПР) є ефективним засобом автоматизації основних та допоміжних процесів. Вони створюють передумову переходу до гнучкого автоматизованого виробництва.

Промисловим роботом називають автоматичну машину, стаціонарну або пересувну, що складається з виконавчого пристрою у вигляді маніпулятора, що має кілька ступенів рухливості, і пристрою програмного управління, що перепрограмується, для виконання у виробничому процесі рухових і керуючих функцій.

Переважна більшість роботів, що знаходяться в експлуатації в промисловості, є роботами з жорстким програмним управлінням, в яких програма задається або у формі готових для відпрацювання приводами траєкторій для кожної з координат маніпуляційної системи, або у вигляді траєкторій в координатах робочої зони, які потім перетворюються в реальному режимі часу в координати ступенів рухливості маніпуляційної системи робота.

1.1 Загальні відомості

Маніпулятор промислового робота – це багатоланковий механізм з послідовним з'єднанням ланок і розімкнутим кінематичним ланцюгом.

Під маніпулятором розуміють кінематичний розімкнений ланцюг, що складається з 4-7 ланок, послідовно з'єднаних кінематичними парами 5-го (іноді 4-го) класу поступального або обертального руху. Характер з'єднань кінематичних пар визначає структурну схему та робочу систему координат.

Промислові роботи «РМ-01», призначені для виконання швидких складальних операцій у приладобудівній та електронній промисловості.

Робот "РМ-01" складається з двох основних частин: маніпулятора "руки" "PUMA-01" та системи управління.

«РМ-01» - антропоморфний маніпулятор з шістьма ступенями рухомий.

Ланки маніпулятора з'єднуються один з одним у суглобах і обертаються навколо осей систем координат, що йдуть через центри суглобів. До складу ланок входять приводи та зубчасті передачі. Кожна ланка має свій привід постійного струму з постійним магнітом. Трансмісія здійснюється через зубчасті редуктори. Поточне положення маніпулятора визначається відомим вихідним (абсолютним) положенням. Встановлення абсолютного положення (калібрування) здійснюється за допомогою потенціометрів. Калібрування має бути виконане щоразу після включення живлення робота.

Для керування рухом маніпулятора необхідно постійно контролювати становище та швидкість руху ланок. Для цього на вал кожного серводвигуна встановлені в одному комплекті потенціометр та імпульсний фотоелектричний датчик. Обертання датчика забезпечується від валу самого двигуна через ковзну муфту. Сигнали від датчиків ідентифікують положення ланок, а швидкість обчислюється з урахуванням цих сигналів.

Серводвигуни оснащені електромагнітними гальмами, що включаються при вимиканні живлення двигунів. При цьому маніпулятор блокується у тому положенні, в якому він стояв у момент вимкнення живлення. Гальма включаються також при випадковому зникненні живлення. Для технічного обслуговування та ремонту гальма можуть бути вимкнені, і тоді маніпулятор можна рухати вручну.

Він має ряд переваг:

— має шість ступенів свободи, в результаті область захоплення має вигляд сфери з радіусом 0,92 метра;
— саме захоплення є пневматичним, що дозволяє з легкістю регулювати силу захвату від 3 до 5 атмосфер;
— незалежне управління шістьма двигунами постійного струму дозволяє роботу рухатися траєкторією складної форми;
— висока точність позиціонування;
— мікропроцесорна система управління дозволяє автоматично керувати електродвигунами залежно від програми та коригувати його залежно від обставин.

Промисловий робот РМ-01 має шестиланковий маніпулятор для переміщення виробу та інструменту по шести ступенях свободи, незалежне управління шістьма двигунами постійного струму дозволяє роботу рухатися траєкторією складної форми. Проектована система керування має мікропроцесорну основу. Управління роботом здійснюється комп’ютером, яке з'єднане з виконавчим пристроєм через COM-порт за допомогою пристрою сполучення.

Мікропроцесорна система керування дозволяє автоматично керувати електродвигунами залежно від програми та коригувати його залежно від обставин. Зовнішній вигляд робота подано на рис.1.1.

Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд робота РМ-01

1.2 Характеристика об'єкта управління

Кінематична схема маніпулятора являє собою з'єднання ланок, що визначають основні рухи охоплення робота в робочій зоні, і описується в системі координат, осі якої доцільно поєднати з напрямками основних переміщень охоплення, так як це спрощує математичне опис рухів маніпулятора.

Найбільш поширені просторові маніпулятори, що працюють у сферичній, циліндричній, декартовій системах координат. Ланки маніпулятора з'єднуються кінематичними парами п'ятого класу, тобто кожна ланка може мати тільки один ступінь рухливості щодо попередньої ланки, так що можливо або обертальний, або поступальний рух наступної ланки щодо попередньої.

Кінематична схема маніпулятора залежить від вимог технологічного процесу і, у свою чергу, впливає на побудову багатовимірної системи взаємозалежних приводів, визначає ступінь взаємного впливу ланок маніпулятора та обсяг інформації, пов'язаний з перетворенням координат при управлінні ПР.

Перевага маніпуляторів із багатоланковою рукою є обслуговування великої робочої зони при малих площах, які займає маніпулятор. У деяких модифікаціях цих маніпуляторів застосовані багатоланкові руки з спрямувальними механізмами, що здійснюють механічний зв'язок між ланками, в них досягається примусовий

поворот однієї ланки щодо іншої і результативний рух першої ланки виявляється прямолінійним.

На рис.1.2 представлена кінематична схема робота-маніпулятора "РМ-01".

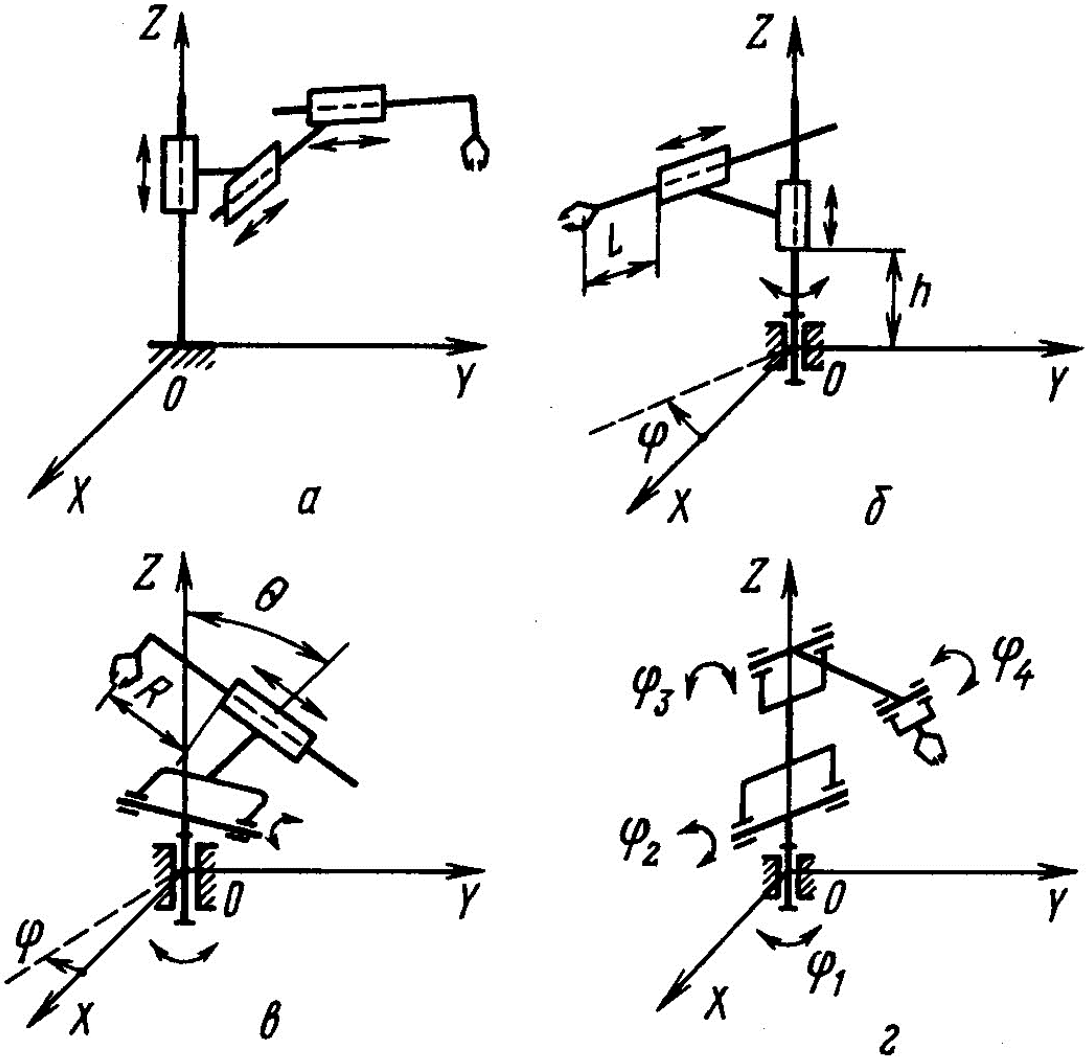

Рисунок 1.2 - Кінематична схема робота-маніпулятора "РМ-01"

Управління ПР здійснюється за багаторівневою системою.

Нижній рівень управління призначений для вирішення задачі регулювання параметрів руху (становище, швидкість) ланок маніпулятора відповідно до програм руху, що формується верхнім рівнем управління, і являє собою електроприводи, що стежать. Керуюча частина стежать електроприводів містить, крім логічного апарату управління нижнього рівня, шість модулів широтно-імпульсних перетворювача

(ШІП) для формування потужних сигналів безпосереднього керування електродвигунами.

Рух маніпулятора забезпечується від індивідуальних двигунів для кожного ланки чи загального приводу. Для забезпечення багатопозиційної роботи з високою точністю застосовують дискретні та крокові приводи.

Вибір типу приводу, двигуна та способу керування визначається технічними вимогами до ПР.

До особливостей контурних систем управління можна віднести таке. Контурні пристрої управління забезпечують одночасне, безперервне та узгоджене управління приводами всіх ланок маніпулятора для здійснення захоплення певної траєкторії із заданою швидкістю і прискоренням. Необхідність контурного управління виникає, наприклад, при переміщенні захоплення в обмеженому робочому просторі, обході перешкод, виконання деяких технологічних операцій (фарбування поверхонь, зварювання, нанесення захисних покриттів, складальні роботи), а також реалізації необхідного за умовами динаміки закону руху.

Особливістю контурних пристроїв управління є складність алгоритмічного та програмного забезпечення, обумовлена зазвичай непрямокутними, що застосовуються в промислових роботах (циліндричними, сферичними) системами координат, великою кількістю ступенів рухливості, конструктивними та функціональними обмеженнями на параметри руху, їх високими швидкостями та точністю.

Приводи промислових роботів значною мірою визначають динамічні характеристики маніпуляторів – прискорення, швидкість руху робочого органу, точність позиціонування тощо. .

Для приводу ланок використовують електричні, гідравлічні та пневматичні двигуни обертального та поступального руху з релейним управлінням. Релейний режим керування застосовується для ПР, що працюють за упорами або не потребують високої точності позиціонування.

Для забезпечення програмного стану та швидкості руху до складу приводу входять датчики зворотного зв'язку. Сигнали з датчиків надходять на систему керування. Таким чином, система має два незалежні контури управління приводу. У контурі управління положення датчик положення передає про положення маніпулятора і цей сигнал порівнюється з програмним значенням положення.

Для забезпечення багатопозиційної роботи з високою точністю застосовують такі приводи:

— на базі електродвигунів постійного струму з тиристорним керуванням;
— крокові обертальні та поступальні гідропідсилювачі крутного моменту для ПР із гідроприводом;
— електрогідропідсилювачі з електромагнітними перетворювачами;
— багатопозиційні цифрові пневмодвигуни для пневмоприводів.

Вимоги до промислових робіт залежать від конкретного технологічного процесу, і можуть суттєво відрізнятися. До найбільш важливих параметрів, якість яких потрібно підвищувати у всіх роботах, можна віднести два: швидкість руху та точність позиціонування. Останній є особливо важливим, так як від нього власне і залежить якість роботи, що виконується роботом.

Негативним фактором, що зменшує точність позиціонування, є інерційність електроприводу. Максимальне компенсування інерції ЕП входить до завдань системи управління. Також незначне її зменшення можливе за рахунок використання менш інерційних електродвигунів.

Електропривод має бути розрахований на повторно короткочасний режим роботи, оскільки його основне завдання відпрацьовувати конкретні кути повороту.

Робот-маніпулятор РМ-01 працює із шістьма сервоприводами постійного струму з постійними магнітами. Кожен електропривод відповідає за власний суглоб-руку.

Всі маніпулятори двигуна є спеціалізованими. Кожен з них оснащений: потенціометричним та імпульсним датчиками, а також електричним гальмом.

Наведемо технічні характеристики сервоприводу постійного струму з постійними магнітами:

— напруга живлення $U_{дв} = 40\,\text{В}$;

— опір якірного ланцюга дорівнює $R = 1{,}862\,\text{Ом}$;

— індуктивність обмотки якоря двигуна $L = 0{,}01231\ \text{Гн}$;

— магнітний потік постійних магнітів $k\Phi = 0{,}982\ \text{Вб}$;

— номінальні дані струму та напруги $I_н = 2{,}624\,\text{А},\ U_н = 40\,\text{В}$;

— номінальна потужність $P_н = 85\,\text{Вт}$;

— інші динамічні параметри двигуна:

$$\omega_н = 36\ \text{рад/с};\ M_н = 2{,}577\,\text{Н·м};\ \eta_н = 0{,}813\ ;\ J = \frac{0{,}0154 + 0{,}0206}{2} = 0{,}018\,\text{рад/с};$$

Статичні характеристики двигуна можна побудувати, використовуючи (1.1) електромеханічної характеристики:

$$\omega = \frac{U - I \cdot R}{k\Phi} \tag{1.1}$$

Задаючи значення напруги від 40 до 100В з кроком в 5В, будуємо характеристики залежності.

Отримані залежності матимуть вигляд (рис. 1.3).

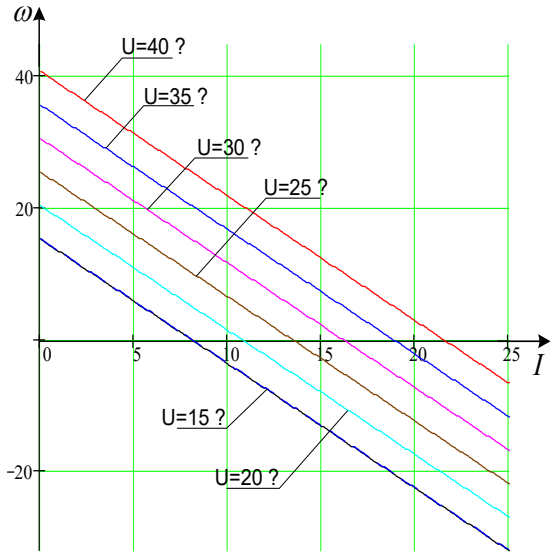

Рисунок 1.3 – Статистичні характеристики двигуна

Як видно, при регулюванні швидкості двигуна постійного струму вниз від номінальної, швидкісні характеристики рухаються паралельно вниз від природної характеристики.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики маніпулятора

Виконання	Напольне та підвісне
Число степеней рухомості	6
Вид привода	Сервопривід постійного струму
Точність позиціонування	0,1 мм
Вантажопідйомність	2,5 кг
Маса	54 кг

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики маніпулятора

Суглоби	Діапазон дії	Швидкості	Крутні моменти
1	320°	80 °/с	67 Н·м
2	266°	52 °/с	113 Н·м
3	284°	120 °/с	57 Н·м
4	280°	230 °/с	14 Н·м
5	200°	240 °/с	12 Н·м
6	532°	230 °/с	14 Н·м

Тип двигуна: ДПТ з постійними магнітами (бо статор має значне магнітне поле і відсутні висновки обмотки збудження), дві пари полюсів (оскільки має чотири щітки). Також внаслідок спеціального виконання конструктивно двигун включає електричне гальмо, а також два датчики: імпульсний і потенціометричний.

На рис. 1.4 наведено структурну схему сервоприводу.

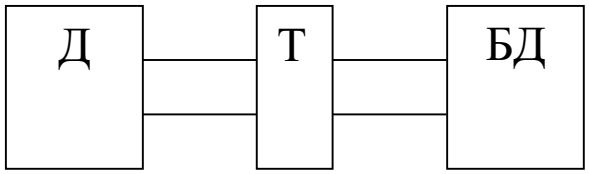

Рисунок 1.4 – Структурна схема сервоприводу

Привідну частину робота складають 6 двигунів постійного струму незалежного збудження, які є об'єктом управління PIC-контролера. У промисловості для плавного керування кутовою швидкістю двигуна дуже часто застосовують широтно-імпульсні перетворювачі з виходом на постійному струмі. Оскільки рука маніпулятора повинна вільно переміщатися в будь-якому напрямку, необхідний реверс двигунів, тому в даному випадку необхідне застосування реверсивного широтно-імпульсного перетворювача, що здійснює безконтактне регулювання та реверсування струму навантаження.

Безпосереднє управління приводів здійснюється модулем широтно-імпульсного перетворювача, який видає напругу живлення електродвигунів приводу маніпулятора.

Модуль широтно-імпульсного перетворювача являє собою силовий міст, в плечі якого включені транзисторні ключі КТ1, КТ2, КТ3, КТ4 (рис.1.5). При русі в один бік струм проходить через ключі КТ3, КТ2. У цьому швидкість обертання валу двигуна залежить від тривалості імпульсу. На момент тривалості імпульсу напруга на якір обмотки подається через відкриті ключі КТ3, КТ2. У момент відсутності імпульсу двигун перемикається у режим динамічного гальмування під час відкриття ключів КТ1, КТ2.

На рис.1.5 приведена мостова схема широтно–імпульсного перетворювача с виходом на постійному струмі.

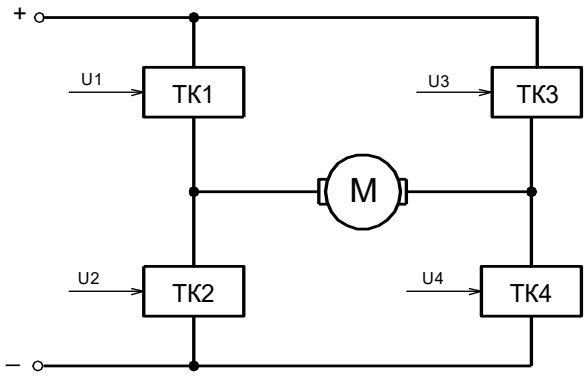

Рисунок 1.5 – Мостова схема широтно–імпульсного перетворювача с виходом при постійному струмі

Під інформаційною системою промислового робота розуміють сукупність датчиків, які інформують систему управління значення того чи іншого параметра.

Виконавча частина електродвигунів – електродвигуни постійного струму, а також фотоімпульсні датчики для вимірювання параметрів руху ланок маніпулятора та потенціометричні датчики для калібрування.

Для забезпечення програмного стану та швидкості руху до складу приводу входять датчики зворотного зв'язку. Сигнали з датчиків надходять на систему керування. Таким чином, система має два незалежні контури управління приводу. У контурі управління положення датчик положення передає про положення маніпулятора і цей сигнал порівнюється з програмним значенням положення.

Цілеспрямована взаємодія робота з реальним навколишнім середовищем може будуватися у ряді випадків на підставі інформації про властивості та стан окремих її об'єктів у робочій зоні. Зіставлення цієї інформації з результатами аналізу стану самого робота, його виконавчих органів щодо об'єктів, що обслуговуються, дозволяє вирішувати завдання формування цілеспрямованих раціональних дій ПР.

Основні параметри стану робота (становище та швидкість руху ланок, зусилля у ланках, точність позиціонування в робочу точку та інші) та середовища (клас, положення та орієнтація об'єктів, їх форма, параметри збурень, що надходять на

робот у процесі його роботи) визначається так званими сенсорними пристроями, що становлять основу інформаційної системи сприйняття.

Контрольованою величиною робота є положення ланок робота у робочому просторі. Контроль здійснюється за допомогою датчика положення. Конструктивно, датчики положення – це циліндричний конденсатор з однією з обкладок, що переміщається вздовж осі. Механічно це один з найбільш відпрацьованих в машинобудуванні вузлів: циліндр з поршнем, що ходить всередині його. Кутові переміщення найчастіше вимірюються потенціометричними датчиками, що перетворюють кут повороту в напругу. Точність прецизійних потенціометрів досягає 0,01 - 0,05%, а роздільна здатність - до 0,01%.

Фотоелектричні датчики положення (рис.1.6) використовують принцип модуляції світлового потоку при взаємному переміщенні шкали датчика щодо знімачів. Імпульсні фотоелектричні датчики мають растрову шкалу, на якій з постійним кроком нанесені ризики таким чином, що прозорі просвіти та непрозорі ділянки-штрихи шкали мають однакову ширину s/2 . Число штрихів шкали дорівнює відношенню довжини шкали до кроку s. Знімач має дві секції, кожна з яких містить пару просвітів. Початок просвіту другої секції зрушено щодо кінця штриха першої секції на ¼ кроку S. З кожною парою просвітів знімання поєднана зустрічновключена пара фотодіодів.

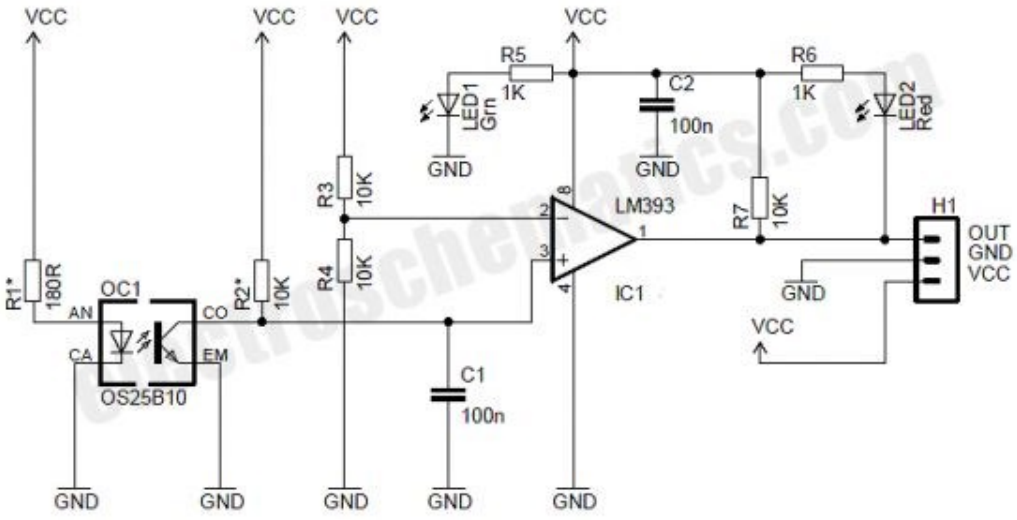

Рисунок 1.6 – Схема розміщення фотоелектричних датчиків положення

1.3 Формування технічного завдання

Система управління робот-маніпулятором «РМ-01» призначена для виконання комплексу інформаційних, керуючих функцій та централізований контроль за ходом технологічного процесу, що забезпечують підтримку заданого режиму роботи.

Метою створення системи управління є підвищення оперативності контролю та якості управління технологічним процесом з одночасним підвищенням надійності та безаварійності ведення технологічного процесу.

Функції автоматичного регулювання параметрів технологічного процесу мають бути реалізовані на мікроконтролерах. Вимоги до системи в цілому за надійністю формуються, виходячи з того, що система управління роботом є багатофункціональною системою, що відновлюється.

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Розробка функціональної схеми

Як вже було обговорено необхідно розробити систему управління шістьма приводами робота, що виконує комплекс інформаційних та керуючих функцій, що забезпечують підтримку заданого режиму роботи, а саме:

— прийом сигналів з датчиків робота (фотоімпульсні датчики);

— обробка сигналів та передача через COM-порт в ЕОМ для подальшої обробки;

— відпрацювання траєкторії руху, заданою машиною верхнього рівня;

У результаті була розроблена система управління роботом-маніпулятором, яка складається з: ДПТ, для управління яким використовуємо ШІП, датчиків - фотоімпулісних, потенцеометричного і датчика струму, а також електромагніту, який виступає як електрогальма, для управління якого застосовуємо реле.

При запуску системи проводиться запуск двигунів, одночасно з потенціометричним датчиком для визначення початкового положення маніпулятора. Дані датчика передаються на контролер, який передає їх на верхній рівень для подальшої обробки і знаходиться в режимі очікування даних від машини верхнього рівня. При отриманні даних проводиться відпрацювання траєкторії руху ланки.

Розроблена система керування побудована на мікроконтролерах серії PIC16F876. Ці контролери були обрані виходячи з вимог, що висуваються системі.

Архітектура мікроконтролерів PICmicro є однією з трьох найпоширеніших архітектур, доступних на сьогоднішній день на світовому ринку електронних компонентів. Широкому поширенню використання PICmicro сприяло передбачення компанією Microchip вигоди від застосування недорогого рішення OTP.

Можна відзначити кілька основних переваг застосування мікроконтролерів PIC micro:

— малий час проектування пристрою;

— можливість зміни коду програми на етапі випуску виробів;

— низька вартість зміна програми (потрібно змінювати маску);

— проста можливість послідовно присвоювати номери виробам;

— можливість збереження калібрувальної інформації без додаткових апаратних рішень;

— менший ризик розробок, оскільки одна і та ж мікросхема може використовуватися при проектуванні та готовому пристрої.

8-розрядні мікроконтролери PICmicro мають найкраще співвідношення ціна-якість, дозволяючи їх використовувати в традиційних 8-розрядних додатках, в деяких 4-розрядних додатках. Ці особливості, разом із ціновою ефективністю, роблять мікроконтролери PICmicro привабливими більшості додатків (рис.2.1).

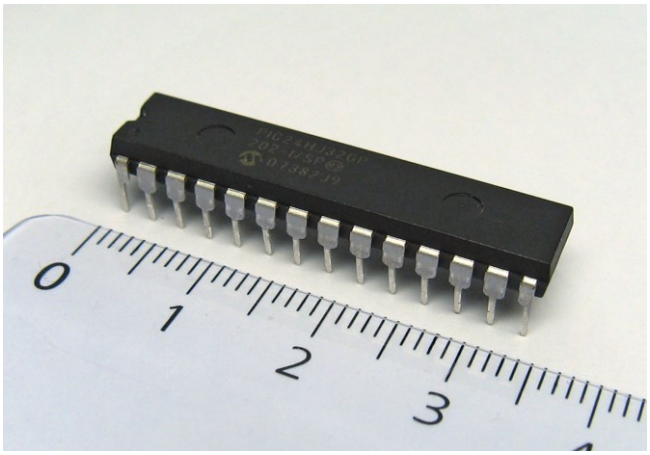

Рисунок 2.1 – 8-розрядні мікроконтролери PICmicro

Спеціальні особливості - унікальні особливості мікроконтролера, що дозволяють надати одну або більше таких властивостей кінцевому виробу:

— зменшити вартість пристрою;

— збільшити надійність системи;

— надати додаткову гнучкість розробникам під час проектування пристрою.

Цю систему можна реалізувати також і на мікроконтролерах U1 типу AT90S2313 фірми Atmel (рис.2.2).

Рисунок 2.2 - Мікроконтролери U1 типу AT90S2313 фірми Atmel

Такий контролер має наступний набір можливостей:

— максимальна частота комутації фаз 3 Кгц;

— розгін із постійним прискоренням;

— програмований напрямок обертання;

— програмоване прискорення;

— програмований середній струм обмоток;

— програмований струм утримання;

— режим переміщення на N кроків;

— напівкроковий режим;

— формувач імпульсу прив'язки з програмованою затримкою;

— зберігання основних параметрів в енергонезалежній пам'яті;

— одне зовнішнє джерело живлення;

— управління за інтерфейсом RS-232C;

— адресація до 7 пристроїв на одному RS-232C.

Враховуючи особливості інформаційної частини «РМ-01», пристрій сполучення повинен виконувати наступні завдання:

— розмежовувати вихідні сигнали з датчиків у напрямку;
— здійснювати опторозв'язку сигналу для подальшої передачі його в порт комп’ютера.

Під час розробки АСУ ТП стоїть проблема взаємодії інформаційному рівні між окремими елементами системи. Необхідно забезпечити обмін, передачу та зберігання інформації про проведену операцію в комп’ютер.

2.2 Побудова мікропроцесорного блоку

Для передачі сигналів із плати датчиків у порт комп'ютера необхідно здійснити гальванічну розв'язку ланцюгів. Вона повинна володіти достатньою здатністю навантаження, високою частотою передачі сигналу і малими габаритами.

Для розв'язання цього завдання необхідно вибрати тип елемента з наявних стандартних гальванічних розв'язок.

Гальванічні розв'язки, у свою чергу, діляться на контактні та безконтактні. Контактні гальванічні розв'язки забезпечують поділ обчислювальної машини і блоку управління, але вони мають такі недоліки: низька частота передачі сигналу; високе споживання електроенергії; створюють шум під час роботи.

У свою чергу, безконтактні гальванічні розв'язки мають такі ж характеристики як і контактні але виключають ті недоліки, які були перераховані вище в контактних гальванічних розв'язках.

Виходячи з перерахованих вище переваг безконтактних гальванічних розв'язок, вибираємо саме цей тип. Безконтактні гальванічні розв'язки поділяються на індукційну та оптичну.

Індукційна гальванічна розв'язка складається з двох котушок індуктивності, пов'язаних за допомогою сердечника, який зібраний з листів електростатичної сталі.

Такі гальванічні розв'язки отримали широке застосування розділення інформаційних сигналів і силової частини керованих об'єктів. Недоліком такої гальванічної розв'язки є великі габарити і велика вартість елементів, що використовуються. У свою чергу, оптична розв'язка набула широкого поширення останнім часом. Оптична розв'язка має високі технічні характеристики, при цьому залишаючись більш надійною і порівняно недорогою в порівнянні з іншими гальванічними розв'язками.

Оптична гальванічна розв'язка поділяється на три основні класи:

— резистивні;

— діодні;

— транзисторні.

Резистивна оптична розв'язка має лінійну залежність струму, що протікає, через резистор від освітленості. Графік залежності струму від потоку світла наведено на рис. 2.2.

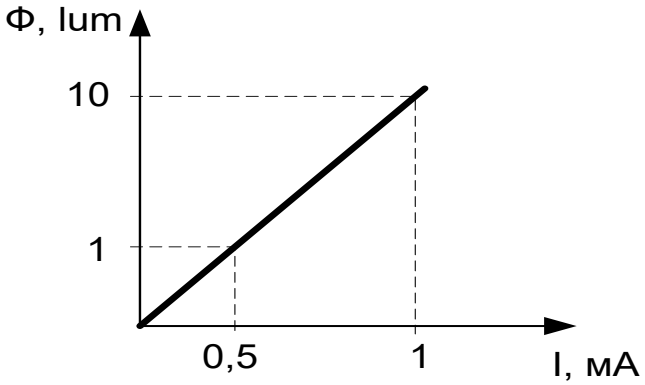

Рисунок 2.2 – Графік залежності струму від потоку світла резистивної оптичної розв'язки

Розглянемо принцип дії опторезистивної гальванічної розв'язки, схема включення наведена рис. 2.3 від джерела живлення E1 при розімкнутому ключі S, струм не протікає через світлодіод, при цьому світлодіод VD не випромінює світловий потік. На резисторі R опір дорівнює нескінченності. Струм від джерела

живлення Е2 не протікає ланцюгом, у свою чергу на навантаженні немає живлення. Після включення ключа S струм від джерела живлення протікає через світлодіод VD, внаслідок чого світлодіод випромінює світловий потік, який зменшує опір резистора R. Струм від джерела Е2 надходить на навантаження.

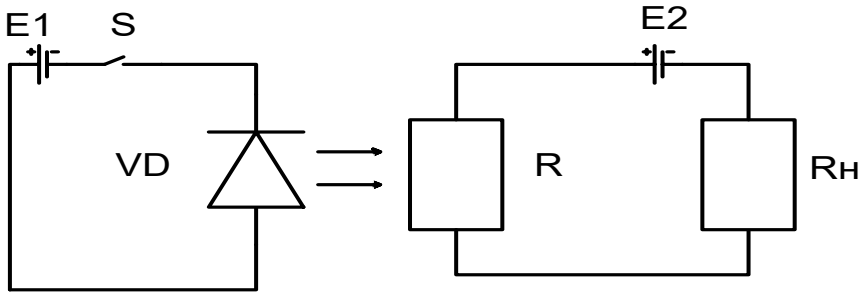

Рисунок 2.3 - Схема включення опторезистивної гальванічної розв'язки

Діодна оптична розв'язка має експонентну залежність струму, що протікає, через резистор від освітленості. На рис. 2.4 наведено графік залежності струму від потоку світла.

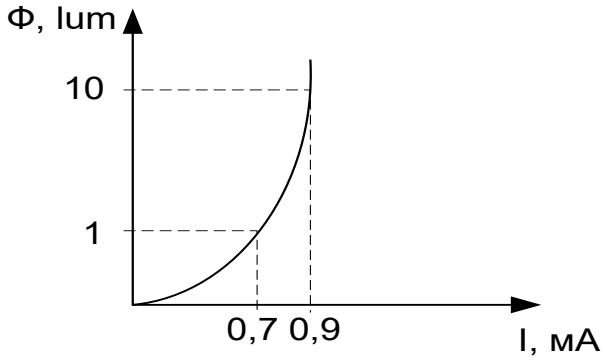

Рисунок 2.4 - Графік залежності струму від потоку світла діодної оптичної розв'язки

Розглянемо принцип дії оптодіодної гальванічної розв'язки, схема включення наведена рис.2.5. Від джерела живлення Е1 при розімкнутому ключі S струм не протікає через світлодіод, при цьому світлодіод VD1 не випромінює світловий потік. На діоді VD2 опір дорівнює нескінченності. Струм від джерела живлення Е2 не протікає ланцюгом у свою чергу на навантаженні немає живлення. Після

включення ключа S струм від джерела живлення протікає через світлодіод VD1, у результаті світлодіод випромінює світловий потік, який зменшує опір діода VD2. Струм від джерела Е2 надходить на навантаження.

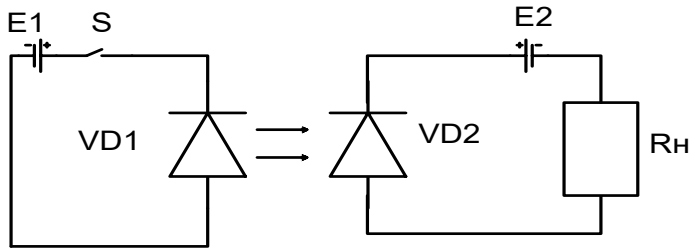

Рисунок 2.5 - Принцип дії та схема оптодіодної гальванічної розв'язки

Транзисторна оптична розв'язка має експонентну залежність, але більш лінійна, ніж діодна, що протікає струму через резистор від освітленості. На рис.2.6 наведено графік залежності струму від потоку світла.

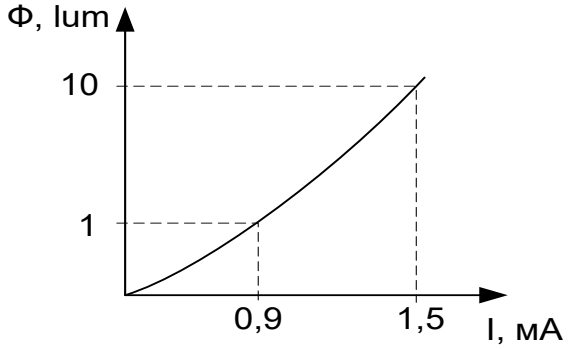

Рисунок 2.6 – Графік залежності струму від потоку світла

Розглянемо принцип дії оптотранзисторної гальванічної розв'язки, схема включення наведена рис.2.7. Оптотранзистор складається з входів колектора та емітера, а база є світлочутливим елементом. За допомогою потоку світла, що подається на світлочутливий елемент бази, відкривається перехід і струм протікає від колектора до емітера. З джерела живлення Е1 при розімкнутому ключі S струм не протікає через світлодіод, при цьому світлодіод VD не випромінює світловий потік. На базу транзистора не потрапляє світловий потік і закритий транзистор. Струм від джерела живлення Е2 не протікає ланцюгом у свою чергу на

навантаженні немає живлення. Після включення ключа S струм від джерела живлення протікає через світлодіод VD, у результаті світлодіод випромінює світловий потік, який відкриває транзистор. Струм від джерела Е2 надходить на навантаження.

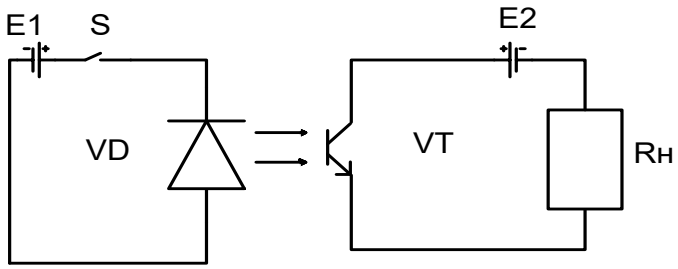

Рисунок 2.7 - Принцип дії оптотранзисторної гальванічної розв'язки

Виходячи з вище розглянутих схем включень та технічних характеристик, було обрано транзисторну оптичну розв'язку.

В якості перетворювача використовується реверсивний широтно-імпульсний перетворювач (ШІП). ШІП знайшов широке застосування під час проектування робототехнічних комплексів, т.к. імпульсне управління має ряд технічних переваг, що якісно відрізняють його від безперервного управління, а саме:

- високий К.П.Д., оскільки втрати потужності на регульованому елементі перетворювача незначні порівняно із втратами потужності при безперервному регулюванні;
- мала чутливість до змін температури навколишнього середовища, оскільки регулюючим фактором є час провідності ключа, а не величина внутрішнього опору регулюючого елемента;
- малі габарити та маса, а також постійна готовність до роботи.

Широтно-імпульсний перетворювач (ШІП), що перетворює постійну напругу постійного струму в регульовану напругу постійного струму, порівняно з ТП характеризується більшою смугою пропускання та більшою лінійністю показників управління. Тому ШІП знаходить застосування електроприводу з високими швидкодією і точністю регулювання. Однак широтно-імпульсна модуляція

вихідної напруги (ШІМ) викликає додаткові втрати електроенергії від пульсацій робочого струму та комутаційних процесів. Для режимів рекуперації енергії потрібно джерело живлення ШІП, що допускає обидва напрями струму. За відсутності такого джерела зазвичай застосовують некерований випрямляч, доповнюваний відповідними ланцюгами, в яких повинна гаситися електроенергія, що рекуперується навантаженням. Зазначені недоліки ШІП обмежують його застосування для електроприводів невеликої потужності - від часток кВт до кількох кіловат.

Модулі широтно-імпульсного перетворювача (ШІП) призначені для перетворення постійної напруги живлення приводу у вихідну напругу ШИП, який складається з чотирьох транзисторних ключів КТ1, КТ2, КТ3, КТ4 наведені на рис.1.6.

Світлодіоди оптронних пар включені між входами мікросхем та шиною живлення +5В. Таким чином, світлодіод запалюється сигналом низького рівня буферів, тому що здатність навантаження вихідних мікросхем ТТЛ технології вище при вихідному сигналі низького рівня.

Використовуються оптронні пари АОТ101А. Як і у разі розв'язки на платі ШИП світлодіоди оптопари включаються між шиною +5В шафи СУ маніпулятора та виходом мікросхеми. Резистори R6 служить обмеження струму в ланцюзі світлодіода і зменшення навантаження вихідних каскадів мікросхеми.

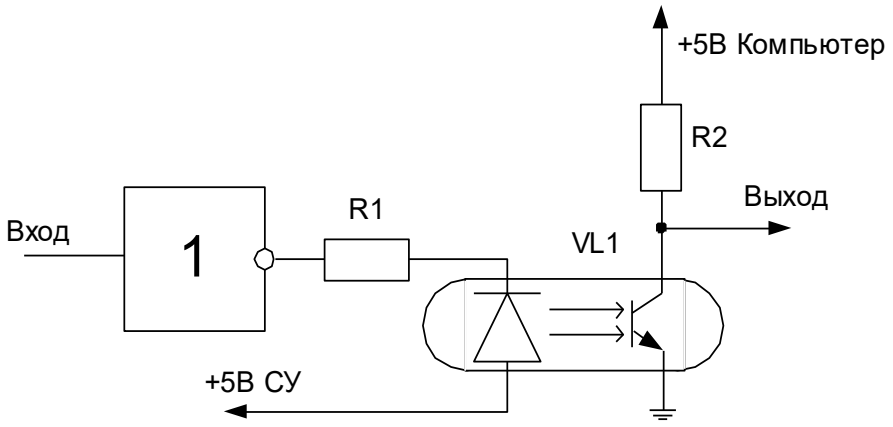

Рисунок 2.8 – Схема включення оптичної розв’язки

2.3 Розробка принципової схеми

Ядром усієї системи є мікроконтролер. Виходячи з вимог, що пред'являються системі управління виберемо мікроконтролер PIC16F876. Цей контролер має ряд властивостей і функцій які підходять нам для проектування системи управління.

Цей мікроконтролер має такі характеристики:

— високошвидкісна RISC архітектура

— 8-рівневий апаратний стек

— система переривань

— сторожовий таймер WDT із власним RC генератором

— широкий діапазон напруг живлення від 2.0В до 5.5В

— підвищена здатність навантаження портів введення/виводу

— мале енергоспоживання < 0.6 мА @ 3.0В,4.0МГц < 20 мкА @ 3.0В, 32кГц

— послідовний синхронно-асинхронний приймач USART з підтримкою детектування адреси.

— послідовний синхронно-асинхронний порт MSSP: провідний/відомий режим SPI.

— багатоканальне 10-розрядне АЦП

— два модулі порівняння/захоплення/ШІМ (CCP).

Модуль провідного послідовного синхронного порту (MSSP) може використовуватися для зв'язку з периферійними мікросхемами або іншими мікроконтролерами. Периферійними мікросхемами можуть бути: EEPROM пам'ять, зсувні регістри, драйвери РКІ, АЦП та ін. Модуль MSSP може працювати в одному з двох режимів:

— послідовний периферійний інтерфейс (SPI);

— Inter-Integrated Circuit (I 2 C):

— провідний режим;

— ведений режим (підтримкою адреси загального виклику).

У режимі SPI можливий одночасний синхронний прийом і передача 8-розрядних даних. Модуль SSP підтримує чотири режими SPI з типовим використанням трьох висновків мікроконтролера:

— вхід послідовних даних (SDI);

— вихід послідовних даних (SDO);

— тактовий сигнал (SCK).

Додатково може бути задіяний четвертий висновок для роботи в ежимі веденого: вибір веденого (-SS).

При ініціалізації SPI необхідно визначити параметри роботи модуля SPI біт SSPCON<5:0>,SSPSTAT<7:6>. Керуючі біти визначають такі параметри роботи:

— провідний режим (SCK вихід);

— ведений режим (SCK вхід);

— полярність тактового сигналу (рівень SCK);

— фаза вибірки вхідних даних;

— активний фронт тактового сигналу;

— частота тактового сигналу (у провідному режимі);

— режим вибору веденого (у режимі веденого).

Мікросхеми DD8-DD10 використовуються як зовнішній генератор з послідовним резонансом, призначені для роботи на основній частоті кварцового резонатора. Інвертор 74ASO4 здійснює необхідний для паралельного резонансу зсув фази на 180 градусів. Для забезпечення стабільності схеми (робочі точки інверторів зміщується в лінійну область), у негативному зворотному зв'язку включений резистор R10=330кОм .

Мікросхема К155ЛИ5 (2 елементи з відкритим колекторним виходом) використовується як буфер, для збільшення здатності навантаження виходів.

2.4 Виготовлення друкованої плати

Виходячи з вимог, що висуваються до системи, було розроблено систему управління. Після цього за допомогою прикладної програми VISIO був реалізований макет друкованої плати проектованого пристрою з подальшим виготовленням робочої моделі. Нижче наведено технологію згідно з якою було виготовлено плату.

Весь процес виготовлення друкованої плати можна умовно поділити на п'ять основних етапів:

— попередня підготовка заготівлі (очищення поверхні, знежирення);

— нанесення захисного покриття;

— видалення зайвої міді з поверхні плати (травлення);

— очищення заготовки від захисного покриття;

— свердління отворів, покриття плати флюсом, лужіння.

Розглядаємо лише найпоширенішу «класичну» технологію, за якої зайві ділянки міді з поверхні плати видаляються шляхом хімічного травлення. Крім цього, можливе, наприклад, видалення міді шляхом фрезерування або з використанням електроіскрової установки. Однак ці способи не набули широкого поширення ні в радіоаматорському середовищі, ні в промисловості (хоча виготовлення плат фрезеруванням іноді застосовується в тих випадках, коли необхідно дуже швидко виготовити нескладні друковані плати в поодиноких кількостях).

При виготовленні друкованих плат у невиробничих умовах слід прагнути при розробці схеми використовувати якнайбільше компонентів для поверхневого монтажу, що в деяких випадках дозволяє розвести практично всю схему на одній стороні плати. Пов'язано це з тим, що досі не винайдено жодної реально здійсненної в невиробничих умовах технології металізації перехідних отворів. Тому у випадку, якщо розведення плати не вдається виконати на одній стороні, слід виконувати

розведення на другій стороні з використанням міжшарових переходів висновків різних компонентів, встановлених на платі, які в цьому випадку доведеться пропаювати з двох сторін плати.

Звичайно, існують різні способи заміни металізації отворів (використання тонкого провідника, вставленого в отвір та припаяного до доріжок з обох боків плати; використання спеціальних пістонів), проте всі вони мають суттєві недоліки та незручні у використанні. В ідеальному випадку плата повинна розлучатись тільки на одній стороні з використанням мінімальної кількості перемичок.

3 ПРОГРАМНА ЧАСТИНА

3.1 Постановка задачі програмування

Цю систему управління промисловим роботом можна розбити на три основні складові: мікроконтролер, сам робот та комп’ютера верхнього рівня. Для забезпечення «порозуміння» між цими блоками, використовуються такі ресурси контролера:

— для запобігання критичних режимів роботи двигуна, а саме наявність критичних струмів використовується датчик струму і відповідно аналого-цифровий перетворювач контролера;
— для функціонування широтно-імпульсного перетворювача необхідне використання лічильника/таймера (для зчитування часу включення та відключення двигуна);
— для «спілкування» з ЕОМ верхнього рівня використовується універсальний синхроасинхронний приймач (USART), налаштований, як і порт комп'ютера на одну швидкість передачі;
— для зчитування кодів від датчиків положення та управління приводами робота, використовуються двонаправлені порти вводу/виводу;
— для зв'язку з контролером управління використовується модуль провідного синхронного послідовного порту, а саме режим SPI (послідовний периферійний інтерфейс).

Процес управління промисловим роботом «РМ-01» відповідає кілька режимів роботи. Перерахуємо їх:

— «Ініціалізація» – відбувається ініціалізація портів та пристроїв контролера, а також переміщення у вихідне положення руки

— маніпулятора;
— «Очікування даних» – доки не прийшли дані від ЕОМ верхнього рівня, контролер перебуває у цьому режимі;
— «Відпрацювання траєкторії руху» – запуск необхідної підпрограми щодо переміщення руки маніпулятора у задану точку;
— «Неготовність до прийому даних» – доки рука маніпулятора перебуває в русі, контролер не готовий до прийому даних на нове переміщення;
— «Зчитування показань з датчиків» – контролер зчитує показання датчиків положення чи датчиків струму;
— «Аварійне відключення» – у разі наявності критичних значень струмів, які контролер отримує під час зчитування показань із датчиків струму, відбувається зупинення системи для виявлення неполадок.

За рівнем керованості електропривод може бути:

— нерегульований - для приведення в рух виконавчого органу робочої машини з однією робочою швидкістю;
— параметри приводу змінюються тільки в результаті впливів, що обурюють;
— регульований – для повідомлення змінної або постійної швидкості руху виконавчому органу машини; параметри приводу можуть змінюватися під впливом пристрою, що управляє;
— програмно-керований - керований відповідно до заданої програми;
— слідкує - автоматично відпрацьовує переміщення виконавчого органу робочої машини з певною точністю відповідно до довільно змінюється задає сигналом;
— адаптивний - автоматично обирає структуру або параметри системи керування при зміні умов роботи машини для досягнення оптимального за вибраними критеріями режиму.

У разі управління приводами у тому, що отримати сигнал неузгодження за становищем, відрегулювати його й у залежність від поточного становища руки маніпулятора управляти швидкістю переміщення, тобто. Практично програмно необхідно реалізувати регулятор і за певним алгоритмом включати і відключати силові ключі двигунів. Причому переміщення має здійснюватися частково (один двигун працює, а решту відключено). Управління двигуном здійснюється за допомогою широтно-імпульсного перетворювача.

3.2 Побудова загального алгоритму програми

Відповідно до вищеописаних режимів роботи системи було розроблено алгоритм програми.

Першим етапом роботи програми є ініціалізація її параметрів. Наступним етапом роботи є отримання даних щодо переміщення від машини верхнього рівня. Для цього потрібно подати сигнал готовності до прийому даних і перевіряти зсувний регістр на наявність у ньому даних. Якщо дані не прийшли, програма буде у режимі очікування даних від комп’ютера. Після того, як дані будуть отримані та лічені, тобто, присвоєні деякою змінною, необхідно через USART передати сигнал про неготовність до прийому наступних даних, оскільки отримані дані повинні обробитися і система повинна здійснити переміщення. Весь цей час, поки відбувається переміщення маніпулятора у задане положення, оператор не може ввести нові дані на переміщення.

Далі необхідно проаналізувати отримані дані, саме: з яким двигуном ми працюватимемо, у якому напрямі відбуватиметься його обертання (основний напрям чи реверс) і яку величину відбуватиметься переміщення. Залежно від результатів аналізу, для подальшої роботи необхідно на наступному етапі вважати показання з відповідного датчика положення та присвоїти їх деякою змінною. Після цього потрібно отримати сигнал неузгодженості за положенням. Для цього

отримуємо різницю координат поточного стану та необхідного. Хотілося б зазначити, що необхідно виключити випадок, коли оператор (чи помилково, чи випадково) задасть нульове переміщення. У цьому випадку ніякої роботи по переміщенню не повинно бути, і система має повернутися до початкового стану (тобто чекати на введення нових даних).

Отримавши сигнал неузгодженості, його необхідно відрегулювати. Для цього в даній системі служить програмно реалізований ПД-регулятор.

Програмна реалізація ШІП полягає в програмному пуску та гальмуванні двигуна та визначенні часу включення та відключення двигуна.

Далі необхідно з урахуванням обчислених значень затримок часу включити і вимкнути двигун, після чого для перевірки поточного положення руки маніпулятора слід вважати показання датчика положення. Щоб контролювати поточне положення та необхідне положення, потрібно їх звірити. У разі збігу, система повинна перейти в режим очікування введення нових даних.

Для випадку стрибка струму в мережі необхідно перевірити струм, що протікає через якір двигуна. Якщо датчик струму видасть сигнал критичного характеру, система повинна зупинити роботу для розгляду можливих неполадок.

3.3 Опис роботи програми

При створенні форми в методі FormCreate задається текст запиту. Для цього використовується властивість SQL. При клацанні на кнопці RunBtn, відповідно до заданих в однорядкових редакторах DatelEdit і Date2Edit датах, змінюється текст запиту. Метод FormCreate приведений тільки для того, щоб позначити первинний текст запиту, цей текст цілком можна задати у властивості SQL.

Для вирішення подібних завдань якраз і використовуються параметри. В цьому випадку текст запиту виглядатиме таким чином:

```
SELECT PartDat, ItemNo, ItemCount, InputPrice
FROM Parts
WHERE PartDat>= :PD1 AND PartDat<= :PD2
```

Двокрапка перед іменами PD1 і PD2 означає, що це параметри. Ім'я параметра вибирається довільно. У списку властивості Params першим йде той параметр, який розташований першим по тексту запиту.

Після введення у властивості SQL тексту запиту для кожного параметра автоматично створюється об'єкт TParam. Ці об'єкти доступні в спеціалізованому редакторові, який викликається при клацанні на кнопці властивості Params в Інспекторові об'єктів (рис.3.1). Для кожного параметра потрібно встановити тип даних, який повинен узгоджуватися з типом даних відповідного поля.

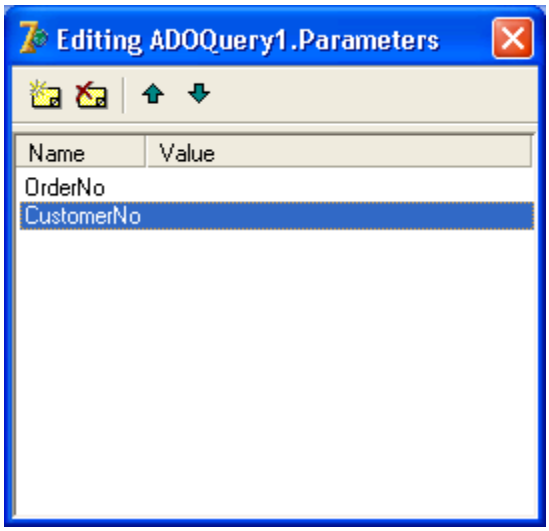

Рисунок 3.1 – Спеціалізований редактор параметрів запиту

Тепер для завдання поточних обмежень по даті надходження можна використовувати властивість Params:

```
procedure TForml.RunBtnClick(Sender; TObject);
begin
with Queryl do
begin
  Close;
```

```
Params[0].AsDateTime := StrToDate(DatelEdit.Text);
  Params[l].AsDateTime := StrToDate(Date2Edit.Text);
Open;
end;
end;
```

При клацанні на кнопці RunBtn за допомогою параметрів в запит передаються поточні значення обмежень дат.

Значення параметрів запиту можна задати і з іншого набору даних. Для цього застосовується властивість DataSource компоненту набору даних. Вказаний у властивості компонент TDataSource повинен бути пов'язаний з набором даних, значення полів якого потрібно передати в параметри. Назви параметрів повинні відповідати назвам полів цього набору даних, тоді властивість DataSource почне працювати. При переміщенні по записах набору даних поточні значення однойменних параметрів полів автоматично передаються в запит.

Для ілюстрації роботи цієї властивості розглянемо простий приклад, головна форма якого представлена на рис.3.2. Цей проект не має жодного рядка написаного уручну програмного коду.

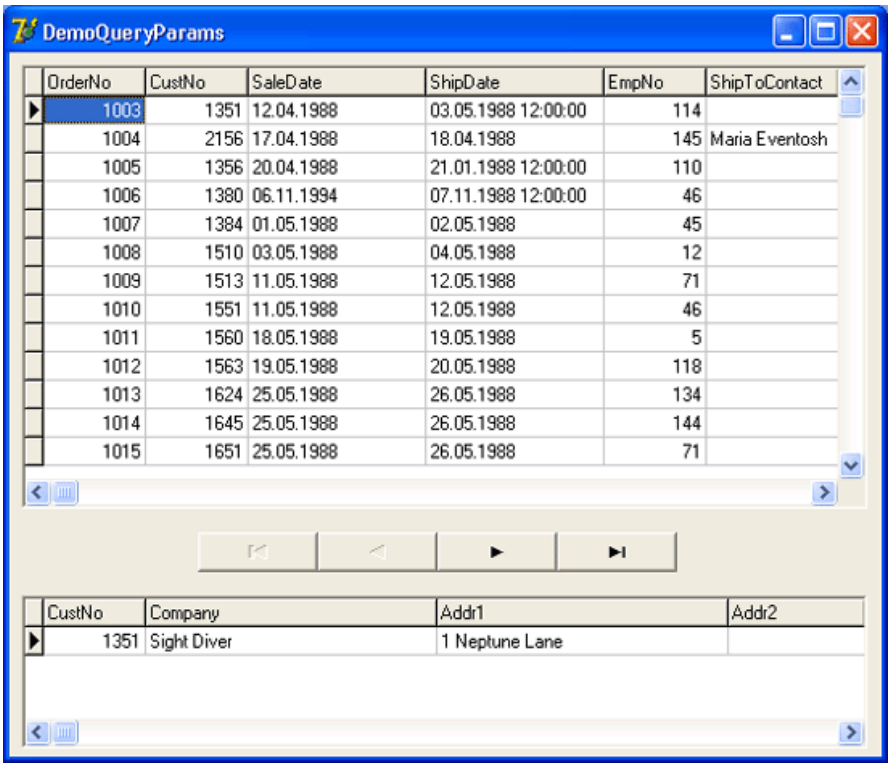

Рисунок 3.2 – Головна форма проекту DemoQueryParams

Верхній компонент TDBGrid відображає дані з таблиці Orders бази даних DBDEMOS і зв'язаний через компонент OrdersSource типа TDataSource з компонентом запиту ordersQuery. Текст запиту виглядає так:

```
SELECT * FROM Orders
```

Нижній компонент TDBGrid відображає дані про покупця і через компонент CustSource типа TDataSource пов'язаний із запитом CustSource, властивість SQL якого має наступний вигляд:

```
SELECT * FROM Customer WHERE CustNo=:CustNo
```

Назва параметра відповідає назві поля номера покупця з таблиці Orders.

Властивість DataSource компоненту custQuery указує на компонент OrdersSource.

Як тільки обидва набори даних відкриваються, поточне значення з поля CustNo набору даних orders автоматично передається в параметр запиту компоненту CustQuery.

Для управління станами набору даних використовуються методи open, Close, Edit, Insert.

Таблиця 3.1 – Автоматичні стани набору даних

Константа стану	Опис
dsNewValue	Включається при зверненні до властивості NewValue поля набору даних
dsOldValue	Включається при зверненні до властивості OldValue поля набору даних
dsCurValue	Включається при зверненні до властивості CurValue поля набору даних
dsInternalCalc	Включається при розрахунку значень полів, для яких FindKind = fklnternalCalc
dsCalcFields	Включається при виконанні методу onCalcFields
dsBlockRead	Включається механізм прискореного переміщення по набору даних
dsOpening	Існує при відкритті набору даних методом Open або властивістю Active
dsFilter	Включається при виконанні методу OnFilterRecord

Таблиця 3.2 – Керовані стани набору даних

Константа стану	Метод	Опис
dslnactive	Close	Набір даних закритий
dsBrowse	Open	Дані доступні для перегляду, але недоступні для редагування
dsEdit	Edit	Дані можна редагувати
dslnsert	Insert	До набору даних можна додавати нові записи
dsSetKey	SetKey	Включається механізм пошуку по ключу. Також можуть використовуватися діапазони

При необхідності редагування даних набір повинен бути переведений в стан редагування dsEdit, для цього використовується метод Edit. Після виконання методу можна змінювати значення полів для поточного запису. При переміщенні на наступний запис набір даних автоматично переходить в стан перегляду.

4 НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

4.1 Об'єкт управління та опис його роботи

Робот «РМ-01» має шестиланковий маніпулятор для переміщення виробу та інструменту по шести ступенях свободи. Проектована система керування має мікропроцесорну основу. Управління роботом здійснюється комп’ютером, який з'єднаний з виконавчим пристроєм через COM-порт за допомогою пристрою сполучення.

Управління ПР здійснюється за багаторівневою системою.

Нижній рівень управління призначений для вирішення задачі регулювання параметрів руху (становище, швидкість) ланок маніпуляції.

Керуюча частина стежать електроприводів розміщена в УУ і містить, крім логічного апарату управління нижнього рівня, шість модулів широтно-імпульсних перетворювача для формування потужних сигналів безпосереднього керування електродвигунами.

Для забезпечення програмного стану та швидкості руху до складу приводу входять датчики зворотного зв'язку. Сигнали з датчиків надходять на систему керування, де порівнюється. Таким чином система має два незалежні контури управління приводу. У контурі управління положення датчик положення передає про положення маніпулятора і цей сигнал порівнюється з програмним значенням положення.

Особливу увагу необхідно приділити питанням щодо забезпечення надійності та удосконалення технологічного процесу з метою підвищення якості продукції. Всі системи повинні бути надійними, що має на увазі: безвідмовність, довговічність, ремонтопридатність, збереження. До широко застосовуваних кількісних характеристик надійності, невідновлюваних об'єктів, відносять ймовірність

безвідмовної роботи, інтенсивність відмови, час середнього напрацювання до першої відмови.

4.2 Розрахунок надійності системи управління

Надійність - це властивості об'єкта (як системи, так і їх елементи) зберігати в часі у встановлених межах значення параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання, транспортування.

Виділяють три найбільш важливі показники надійності:

— ймовірність безвідмовної роботи протягом заданого часу;

— середній час напрацювання до відмови;

— коефіцієнт готовності об'єкта.

Імовірність безвідмовної роботи – це ймовірність того, що за певних умов експлуатації у заданому інтервалі часу не станеться жодної відмови.

Середній час напрацювання – це математичне очікування напрацювання об'єкта до першого відмови. Воно характеризує запас надійності у період нормальної експлуатації.

Коефіцієнт готовності об'єкта – це основна характеристика надійності об'єктів, що відновлюються.

Система управління роботом-манпулятором "РМ-01" призначена для експлуатації в нормальних умовах і є відновлюваною. Відмова системи унеможливить отримання даних з датчиків і управління системою управління. Для таких систем основним показником надійності є безвідмовність.

При розрахунку показника надійності припускаємо, що інтенсивність відмови елементів стала, відмови елементів є незалежними випадковими подіями, і відмова одного елемента призводить до відмови всієї системи.

Проаналізувавши умови експлуатації проектованої системи управління, приймемо таке: систему можна буде назвати надійною, якщо ймовірність безвідмовної роботи не буде нижчою за 0,8.

Для визначення надійності необхідно визначитися з факторами, що впливають на ефективність роботи системи управління.

У нашому випадку система управління здійснює управління лабораторним стендом, який знаходиться в аудиторії 2105. Тому приймаємо: $T_{ср} = 20$ ºС

Інтенсивність відмов комплектуючих елементів, що є їх вихідною характеристикою надійності, залежить від режиму роботи та ступеня тяжкості таких зовнішніх впливів, як температура, тепловий удар, вологість, вібрації, лінійні прискорення, радіація.

Реальні умови експлуатації, які впливають ефективність роботи цієї системи управління, враховується виразом:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot a(K_н, T°C) \cdot I_и \qquad (4.1)$$

де

λ_0 - інтенсивність відмови елемента при нормальних умовах роботи (температура навколишнього середовища 20°С, відносна вологість 65 ± 10%, коефіцієнт електричного навантаження К = 1 год);

K_1 – коригуючий коефіцієнт, що враховує умови експлуатації та зокрема, наявність вібрацій та лінійних, постійних короткочасних прискорень. Значення коефіцієнта максимально для обчислювальної апаратури ракет (К1 = 700) дорівнює одиниці при експлуатації системи в стаціонарних умовах, тому К1 = 1;

K_2 - ударні навантаження;

K_3 – коефіцієнт, що враховує кліматично умови експлуатації, вибирається залежно від температури та вологості;

K_4 – атмосферний тиск;

$I_{сп}$ – коефіцієнт використання елемента щодо використання системи.

Проектована система працюватиме в приміщенні з нормальною температурою.

Для розрахунку основних показників надійності системи управління - часу напрацювання на відмову та ймовірності безвідмовної роботи вихідні приймаються такі дані.

Згідно з технічними характеристиками та за умовами роботи АСУ коефіцієнти К1, К2, К3, К4 приймаються рівними 1.

Коефіцієнт навантаження - цей коефіцієнт враховує електричні умови роботи мікросхем та радіокомпонент. У випадку К2, дорівнює відношенню навантаження в робочому режимі до навантаження в номінальному режимі.

$$K_н = \frac{P_{ном}}{P_{мах}} \tag{4.2}$$

де

$P_{ном}$ - номінальна потужність, що розсіюється елементом;

$P_{мах}$ - максимальна потужність, що розсіюється елементом.

Для подальших розрахунків було прийнято умови роботи у важкому режимі з максимальним коефіцієнтом навантаження для створення запасу міцності.

4.3 Обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи алгоритму

В результаті проведення дослідів з обробкою зображень та наступною їх ідентифікацією в залежності від їх розподільної здатності δ, кольрової насиченості μ ліній відбитку на зображенні і кількості відбитків, що належать одній особі (ймовірнісна характеристика) - τ.

Обробка експериментальних даних, результати яких наведені в додатку 3, проводилася відповідно до методики, що застосовується у лабораторії криміналістики ФБР, а також прийнята як тестова Всесвітньою організацією біометрії:

1) на основі відгуків в п’ятикратному повторі досліду (середніх п’яти різних по якості зображень відбитку однієї людини y_1, y_2, y_3, y_4, y_5) підраховувалося середнє значення відгуків $\bar{y}_{cp}$;

2) визначалася дисперсія, що характеризує розсіювання результатів в кожному досліді за формулою

$$\bar{\bar{S}}_u^2 = \frac{1}{m_0 - 1} \sum_{i_k=1}^{m_0} \left(y_{cpi_k} - \bar{y}_{cp} \right)^2 , \tag{4.3}$$

де m_0 – кількість повторностей;

i_k – номер повторюваності;

y_{cpi_k} – вихідний параметр при i_k-й повторюваності.

3) визначалася дисперсія відтворюваності S_y^2 (помилка досліду) за виразом

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^{n} S_u^2 . \tag{4.4}$$

де n – кількість дослідів;

u – номер досліду.

Як показали розрахунки вона для нашого алгоритму вона рівна 0,0473 (тобто 4,73% помилкових визначень крапок)

4) по критерію Кохрена проводилася перевірка відтворності дослідів, шляхом порівняння розрахункового значення G з табличним $G(0{,}05;27;2)$

$$G \le G(0{,}05;27;2)$$

Розрахункове значення критерію Кохрена визначалося за формулою

$$G = \frac{S^2_{u\,\max}}{\sum_{u=1}^{n} \overline{\overline{S}}^2_u}, \tag{4.5}$$

де $\overline{\overline{S}}^2_u$ – дисперсія, що характеризує розсіювання (невідповідність) результатів в u-му досліді;

$S^2_{u\,\max}$ – найбільша з дисперсій.

В результаті розрахунків виявилося, що значення критерію Кохрена для пшениці складає 0,085.

Табличне значення критерію Кохрена при $n = 3$ і $f_u = m_0 - 1 = 2$ рівне 0,128, що значно більше розрахункового. Отже процес відтворюється.

5) коефіцієнти b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13} і b_{23} рівняння регресії визначалися за виразами

$$\left.\begin{aligned} b_o &= \frac{1}{n}\sum_{u=1}^{n} \overline{y}_u \\ b_i &= \frac{1}{n}\sum_{u=1}^{n} x_{iu}\overline{y}_u \\ b_{ij} &= \frac{1}{n}\sum_{u=1}^{n} x_{iu}x_{ju}\overline{y}_u \end{aligned}\right\}, \tag{4.6}$$

де n – кількість дослідів;

$\overline{y}_u$ – середнє арифметичне значення вихідного параметра в u-му досліді;

x_{iu} – значення i-го кодованого фактора в рядку матриці в u-му досліді;

x_{ju} – значення j-го кодованого фактора в рядку матриці в u-му досліді (тут i – номер кодованого фактора в лінійних членах рівняння, j – номер другого кодованого фактора в членах рівняння).

Значення коефіцієнтів рівняння моделі зведені в таблицю 4.1

Таблиця 4.1 - Розрахункові значення коефіцієнтів рівняння моделі

Культура	Значення коефіцієнтів (фактори)							
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_{10}	b_{25}	b_{100}
Надійність	62,9111	0,4333	0,2222	0,34444	0	$-5\cdot10^{-6}$	-0,0444	0

6) визначалося критичне значення коефіцієнтів рівняння моделі з допомогою критерію Стьюдента за формулою

$$|b_a| \geq \Delta b_a = t(0{,}05; f_y)\frac{s_y}{\sqrt{n}}, \qquad (4.7)$$

де b_a – коефіцієнти b_0, b_i і b_{ij};

Δb_a – довірча границя;

$t(0{,}005; f_y)$ – критерій Стьюдента при 5%-му рівні значимості та кількості ступенів вільності дисперсії відтворюваності f_y.

Рівень значущості дорівнює $1-\alpha$ (де α – довірча ймовірність).

Для α = 0,95 і f_y = 27 · (3 - 1) = 54 значення критерію Стьюдента t=2,0.

Після обчислень отримаємо, що критичне значення коефіцієнтів для насіння пшениці складає 0,0544.

7) проводилася оцінка значущості коефіцієнтів регресії шляхом порівняння

значення коефіцієнтів, які наведені в таблиці 4.1 з їх критичними значеннями.

Якщо $|b_a| < \Delta b_a$, то коефіцієнт (взаємодію коефіцієнтів) рахували незначним, а вплив відповідного фактора (взаємодії факторів) – несуттєвим. Як бачимо для нашого алгоритму взаємодії факторів x_1x_3 та x_2x_3 будуть несуттєвими. Таким чином після виключення незначних коефіцієнтів було отримано наступне рівняння регресії:

$$y = 62{,}9111 + 0{,}4333 \cdot x_1 + 0{,}2222 \cdot x_2 + 0{,}3444 \cdot x_3 . \qquad (4.8)$$

8) на основі лінійної частини отриманих рівнянь підраховувалися розрахункові значення вихідного параметра $y_{ð}$, і визначалися дисперсії неадекватності за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{n-k-1} \sum_{u=1}^{n} \left(y - \bar{y}_u\right)^2, \qquad (4.9)$$

де y – розрахункове значення відгуку в i-му досліді лінійної частини рівняння.

В результаті отримали, що дисперсія неадекватності для алгоритму ідентифікації складає 0,0265.

9) проводилася перевірка адекватності отриманих математичних моделей за критерієм Фішера. Гіпотеза про адекватність приймається, якщо розрахункове значення критерію Фішера менше $F(0{,}05; f_{ad}; f_y)$ табличного, тобто

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F(0{,}05; f_{ad}; f_y) \qquad (4.10)$$

де S_{ad}^2 - дисперсія адекватності;

$F(0{,}05; f_{ad}; f_y)$ - критерій Фішера при 5%-му рівні значущості;

f_{ad} - число ступенів вільності дисперсії адекватності;

$f_{ad} = n - k - 1 = 27 - 3 - 1 = 23$ (k - число факторів);

f_y - число ступенів вільності дисперсії відтворюваності; $f_y = n \cdot (m_0 - 1)$.

Розрахункове значення критерію Фішера для насіння пшениці рівне 1,05.

Порівняння критеріїв показує, що табличне значення, яке рівне 1,7, більше розрахункових. Отже, отримані математичні моделі адекватно описують процес обробки розподілу реєстраційних крапок по площі поверхні пальця.

10) перехід від рівняння (4.6), в якому x_1, x_2 і x_3 є фактори в кодованому вигляді, до рівняння з факторами X_1, X_2 і X_3 в натуральному вигляді здійснювали, з врахуванням рівності [12]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{io}}{\Delta X_i}, \tag{4.11}$$

де x_i, X_i – відповідно кодове та натуральне значення i-го фактора;

X_{io} – натуральне значення i-го фактора при його нульовому рівні;

ΔX_i – інтервал варіювання i-го фактора.

Відповідно до цього після перетворень одержуємо рівняння моделі в остаточному вигляді

$$y = 59{,}6 + 0{,}0433 \cdot \alpha + 0{,}2222 \cdot \omega + 3{,}444 \cdot R. \tag{4.12}$$

Математична модель (4.12) в геометричній інтерпретації є певними поверхнями відгуку, вивчення і аналіз яких зручно проводити в просторовій системі координат.

Аналіз поверхонь відгуку показує, що дані фактори X_1, X_2 і X_3 здійснюють суттєвий вплив на коефіцієнт рівномірності знаходження реєстраційних точок. Тому оптимізацію проводили по максимальному значенню коефіцієнта рівномірності розподілу ($\eta \to \max$) графо-аналітичним методом.

4.4 Техніко-економічне обґрунтування

Для автоматизації великосерійного та масового виробництва створювалися та створюються зараз автоматичне обладнання та автоматичні лінії, що працюють за жорсткою програмою. На таких лініях застосовується спеціальне обладнання, наприклад, маніпулятори типу механічних рук або автооператори, що виконують різноманітні допоміжні операції.

Була спроектована система управління роботом-маніпулятором, яка має наступні основні функції:

1. Автоматичне керування ходом технологічних процесів відповідно до запрограмованих алгоритмів.

2. Прийом інформації про контрольовані технологічні параметри.

3. Збереження прийнятої інформації у архівах.

4. Обробка прийнятої інформації відповідно до алгоритмів.

5. Графічне зображення на моніторі ходу технологічного процесу прийнятої інформації у сприятливій для користувача формі.

6. Прийом команд оператора технологічної установки та передачі їх на рівень контролерів та виконуючих приводів.

7. Реєстрація подій, пов'язаних із перебігом технологічного процесу.

8. Повідомлення про аварійний стан контрольованого процесу.

9. Прийом сигналів з датчиків робота (фотоімпульсні датчики) та їх попередня обробка та видача в порт комп’ютера (здійснення гальванічної розв'язки та фільтрації сигналів з датчиків).

Можливість удосконалення розробленої системи управління передбачена та здійснюється за допомогою додавання нових типів мікроконтролерів та можливістю оновлення версії програми для мікроконтролерів, які керують нижнім рівнем системи та можливістю оновлення інтерфейсу верхнього рівня.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі розроблялася мікропроцесорна система управління з урахуванням ЕОМ управління роботою робота “РМ-01”, викладено відомості щодо розробки системи, розкрито основні етапи проектування пристроїв на базі комп’ютера, надано матеріал, що описує процес рішень.

У першому розділі "Технологічна частина" розглянуто загальні питання, що стосуються об'єкта автоматизації, та визначено основні питання та завдання, які необхідно вирішити під час побудови цієї САУ.

"Конструкторська частина" містить інформацію про схемотехнічні рішення застосовані в даній конструкції, а також інформацію про засоби реалізації цих схемотехнічних рішень.

В "Програмнії частині" наведено характеристику середовища розробки керуючої програми та загальний алгоритм функціонування САУ. Розроблене в програмній частині програмне забезпечення реалізує процес управління приводами ланок маніпуляторів. Дані для процесу управління повинні передаватися від комп’ютера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Hunyadi Murph S. E., Jacobs S., Siegfried M., Hu T., Serkiz S.and J. Hudson Manganese-Doped «Gold Nanoparticles as Positive Contrast Agents for Magnetic Resonance Imaging (MRI)». Journal of Nanoparticle Research. 2022. №14. P. 658–659.

2. Häffelin A., Niedrig C., Wagner S. F., Baumann S., Meulenber W. A., Ivers-Tiffée E. «Three-dimensional performance model for oxygen transport membranes». Journal of the Electrochemical Society. 2014. №161(14). P. 1409-1415.

3. Harley A., Gilkes R. «Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview». Nutrient Cycling in Agroecosystems. 2014. № 56. P. 11–36.

4. Dodig Crnkovic G. Information and Computation Nets. Investigations into Info-computational World. In: Information and Computation, 2009, Verlag, Saarbrucken. P.1–96.

5. Epelfeld A.V., Lyudin V.B., Dun'kin O.N. and Nevskaya O. S. «Discharge in the metal–oxide–electrolyte system during ac microarc oxidation». Izv. Ross. Akad. Nauk. 2016. №64 (4). P. 759–762.

6. Журавльов С.В. Машинобудівні сталі: Довідник / С.В. Журавльов. – Харків, 2016. – 423 с.

7. Штейнбер Б. И. Справочник молодого інженера – конструктора / Б. И. Штейнбер, Б.М. Брайнман. – К.: Техніка, 2013. – 182 с.

8. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок: Підручник / Л.І. Боженко. – Львів: Світ, 2016. – 368 с.

9. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування. / С.Г. Бондаренко – Чернігів: ЧДТУ, 2015. – 567 с.

10. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: навч. посібник. / П.О. Руденко – К.: Вища школа., 2013. – 414 с.

11. Іванов В. О. Аналіз експериментальних даних та їх співставлення з результатами моделювання / В. О. Іванов, І. М. Дегтярьов // Машинобудування очима молодих : прогресивні ідеї – наука – виробництво : матеріали XVI міжнар. молод. науково-техн. конф., 26–29 жовтня 2016 р., Суми. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – С. 22.

12. Пат. 84657 Україна, МПК B23B 25/00, Тензометричний токарний динамометр / Рудь В. Д., Божко Т. Є., Голодюк Р. П., Харчук П. М., Савюк І. В.; заявники і патентовласник Луцький НТУ. – № 201305712; заявлено 30.04.2013; опубліковано 25.10.2013, Бюл. № 20.