

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ТЕМА РОБОТИ:

Автоматизація керування слідкуючим приводом маніпулятора
ABB IRB4600-60

Виконав: студент групи ЕЕМ-20

Ян ПАЛІЄНКО

Керівник випускної роботи _____ к.т.н., доц. Альберт СЪОМОЧКИН

Нормо контролер _____ к.т.н., доц. Альберт СЪОМОЧКИН

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг 2024 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ
ОСВІТИ**

ПАЛІСНКО Ян Валентинович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Автоматизація керування слідкуючим приводом маніпулятора
ABB IRB4600-60

1. Термін подання студентом роботи: 10 червня 2024 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою данного дипломного проекту є створення автоматизованої системи керування слідкувальним приводом маніпулятора.
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Характеристика електромеханічної системи, вибір електрообладнання та розрахунок статичних характеристик привода; II. Обґрунтування і розробка системи керування та автоматизації електроприводу; III. Моделювання динамічних режимів роботи привода механізму на ЕОМ.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Загальний вид механізму та технічна характеристика; II. Розрахунок статичних характеристик системи привода; III. Розробка системи керування ТПЧ-СД; IV. Обґрунтування системи керування та побудування моделі для дослідження динаміки; V. Дослідження динаміки системи електроприводу -1; VI. Дослідження динаміки системи електроприводу -2; VII. Дослідження динаміки системи електроприводу -3; VIII. Розробка системи автоматизації

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Альберт СЬОМОЧКИН		
II	Альберт СЬОМОЧКИН		
III	Альберт СЬОМОЧКИН		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Основні відомості про маніпулятор, загальний вид, кінематика і режими роботи	05.05.24
2	Обґрунтування і вибір системи електропривода	11.05.24
3	Розрахунок потужності і вибір електродвигуна	15.05.24
4	Розрахунок перетворювача, вибір елементів силової частини	21.05.24
5	Розрахунок параметрів схеми заміщення, розрахунок статичних, енергетичних характеристик	23.05.24
6	Обґрунтування і вибір структури системи керування	27.05.24
7	Розрахунок параметрів елементів системи керування	30.05.24
8	Вибір системи автоматизації	02.06.24
9	Моделювання статичних та динамічних режимів	05.06.24
10	Аналіз якісних показників розробленої системи	08.06.24

Дата видання завдання 29.04.2024 р.

Здобувач вищої освіти _____

(підпис)

Ян ПАЛІЄНКО

(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____

(підпис)

Альберт СЬОМОЧКИН

(Ім'я, прізвище)

Реферат

Анотація:

Пояснювальна записка містить 79 сторінок, 9 джерел, 36 рисунків та 7 таблиць.

Короткий опис роботи:

В даній балалавській випускній роботі було проведено автоматизацію слідкуючого приводу маніпулятора ABB IRB4600-60. Розраховані та вибрані електродвигуни для електроприводу, вибрані перетворювач та датчики струму, швидкості та положення. Розраховані механічні та енергетичні характеристики приводу ТПЧ-СД. Обрана система керування та розраховані її параметри. Обрана система автоматизації у вигляді контролера. Проведено моделювання динамічних режимів роботи трьох контурів системи підлеглого керування слідкуючого приводу.

Ключові слова:

Маніпулятор, синхронний двигун з постійними магнітами, слідкуючий привід, контролер.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	6
РОЗДІЛ 1. Характеристика електромеханічної системи, вибір електрообладнання та розрахунок характеристик розімкненої системи привода технологічного механізму	7
1.1 Основні відомості про маніпулятор, загальний вид, кінематика і режими роботи.....	7
1.2 Обґрунтування вибору системи електроприводу маніпулятора.	19
1.3 Розрахунок електроприводів маніпулятора.	22
1.4 Розрахунок перетворювача, вибір елементів силової частини та елементів захисту.....	45
1.5 Розрахунок параметрів схеми заміщення, розрахунок механічних і енергетичних характеристик.....	47
РОЗДІЛ 2. Обґрунтування і розробка системи керування електроприводом..	52
2.1. Обґрунтування і вибір структури системи керування електроприводом..	52
2.2. Розрахунок параметрів елементів системи керування електроприводом..	56
2.3. Вибір контролера для автоматизації керування.....	62
2.4. Вибір контролера для автоматизації керування синхронного серводвигуна.....	68
РОЗДІЛ 3. Моделювання динамічних режимів роботи привода механізму на ЕОМ	75
3.1. Моделювання динамічних режимів замкненої системи.....	75
3.2. Аналіз якісних показників розробленої системи керування.....	77
Висновки	78
Література	79

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Вступ

Метою данного дипломного проекту є створення автоматизованої системи керування слідкувальним приводом маніпулятора.

Промислові маніпулятори є важливими компонентами сучасної виробничої автоматизації, які забезпечують ефективне маніпулювання об'єктами у просторі. Знаходять широке застосування у різних галузях промисловості, де точність, швидкість і безпека маніпуляційних операцій є вирішальними факторами. Вони є невід'ємною частиною виробничих ліній, робочих кліток та монтажних станцій у різних галузях промисловості, включаючи автомобільну, електронну, харчову, фармацевтичну, машинобудівну та інші.

Для підвищення маневреності та виконувальних функцій маніпуляторів, встановлюють слідкувальні електроприводи, що забезпечують відтворення деяких механічних переміщень на керованому об'єкті за допомогою виконавчого електродвигуна.

Автоматизація дозволяє підвищити продуктивність праці, покращити якість продукції, оптимізувати процеси управління, усунути людину від виробництв, небезпечних для здоров'я.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

РОЗДІЛ 1

Характеристика електромеханічної системи, вибір електрообладнання та розрахунок характеристик розімкненої системи привода технологічного механізму

1.1 Основні відомості про маніпулятор, загальний вид, кінематика і режими роботи

Маніпулятор - механізм для управління просторовим положенням знарядь, об'єктів праці та конструкційних вузлів та елементів. Це значення закріпилося за словом з середини ХХ століття завдяки застосуванню складних механізмів для маніпулювання небезпечними об'єктами в атомній промисловості.

Використовується для переміщення різних вантажів, набув широкого розвитку в суспільстві.

Пристрій та застосування.

Основу маніпуляторів становлять просторові механізми з багатьма ступенями свободи. Маніпулятори виконують роботи в середовищах, недоступних або небезпечних для людини (підводні глибини, вакуум, радіоактивне та інші агресивні середовища), допоміжні роботи в промисловому виробництві. Маніпулятори використовуються в медичній техніці (наприклад, протезування). Маніпулятори вивчає теорія маніпуляторів, яка є розділом теорії машин та механізмів. У вузькому значенні маніпулятором називається механічна рука.

Маніпулятори діляться на керовані людиною та автоматичні маніпулятори (роботи-маніпулятори як різновид роботів). Розвиток маніпуляторів спричинило створення промислових роботів. Проектування механізмів-маніпуляторів вимагає вирішення таких завдань, як створення маневреності, стійкості в роботі, вибір правильного співвідношення корисних та неодружених ходів. Іноді потрібне проектування таких систем, у яких оператор відчуває зусилля, створюване робочому органі чи вантажозахопленні.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Розділ 1	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розробив</i>		Палієнко Я.В.						7
<i>Перевірів</i>		Сьомочкин А.Б.						
<i>Реценз.</i>								

Н. Контр.	Сьомочкин А.Б.		
Затвердив	Пересунько І.І.		

Розглядається також використання комплексів маніпуляційних роботів у освітній процес.

Види маніпуляторів.

- Маніпулятор (у гірській справі) - основний механізм бурової каретки, призначений для переміщення в привибійному просторі автоподатчика з перфоратором (бурильною машиною).
- Маніпулятор (у металургії) - машина для виконання допоміжних операцій, пов'язаних зі зміною положення заготівлі при обробці тисків металів. Розрізняються прокатний та кувальний маніпулятор. У ковальських та прокатних цехах використовуються підвісні та підлогові маніпулятори, які є різновидом кантувачів (механізмів для перевертання (кантовки) виробів).
- Маніпулятор (в ядерній техніці) - пристрій для роботи з радіоактивними речовинами, що виключає безпосередній контакт людини з цими речовинами.
- Маніпуляторами оснащуються гідростати для ведення океанографічних та інших робіт на глибинах.
- Платформа Гью - Стюарта - різновид паралельного маніпулятора, в якій використовується октаедральне компонування стійок. Має шість ступенів волі. Застосовується в станкобудуванні, підводних дослідженнях, авіаційних рятувальних операціях на морі, літальних тренажерах, позиціонуванні супутникових антен, телескопах та ортопедичної хірургії.
- Кран-маніпулятор - мобільна вантажопідйомна машина, що включає вантажопідіймальний кран стрілового типу, змонтований на автомобільному шасі і службовець для його завантаження та розвантаження.

Структура і складові елементи ПР

Структура робота, що взаємодіє з навколишнім середовищем (НС) та людиною-

оператором, спрощено наведена на рис.ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19

					Арк.
					8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

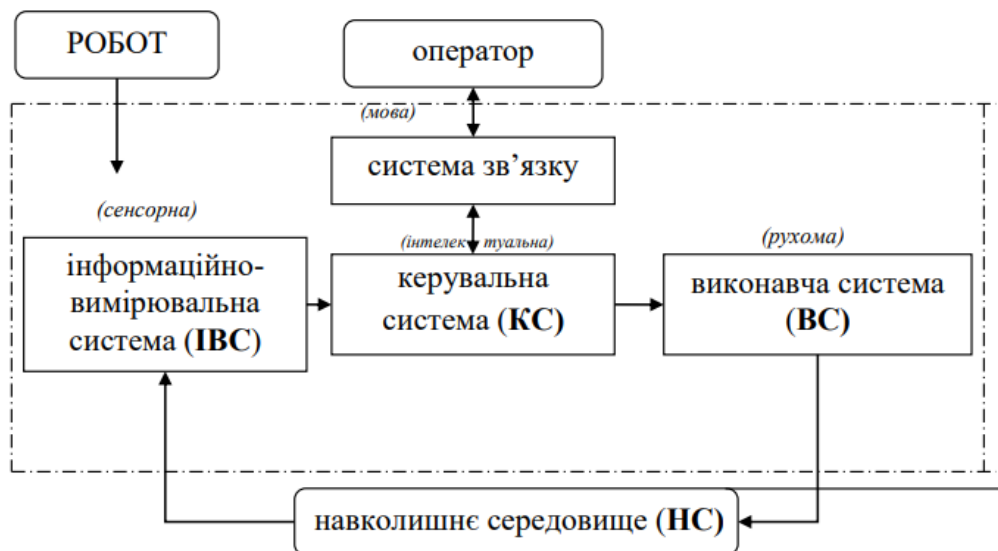


Рис.1.1. Узагальнена структура робота

Згідно зі схемою робот складається з чотирьох систем: виконавча або рухома (ВС); керувальна або інтелектуальна (КС); інформаційновимірювальна або сенсорна (ІВС) та система зв'язку або мова робота (СЗ). До навколишнього середовища (НС) відноситься технологічне обладнання, об'єкти маніпулювання, перешкоди в робочій зоні.

ВС – призначена для відпрацювання керувальних сигналів, що сформовані керувальною системою. Виконавчою системою у роботах є механічні маніпулятори, пристрої переміщення, електромагнітні та пневматичні маніпуляційні пристрої.

ІВС – призначена для сприйняття та перетворення інформації про стан навколишнього середовища, результати його взаємодії з ВС та стану самого робота відповідно до потреб керувальної системи. Елементами ІВС є теле- та оптико-електронні пристрої, лазерні та ультразвукові далекоміри, давачі тощо.

КС – формує закон керування для ВС на підставі сигналів зворотного зв'язку від ІВС, організує спілкування робота з оператором відповідною мовою, планує дію робота та приймає цілеспрямовані рішення. КС створюється на базі ЕОМ чи мікропроцесорів.

СЗ – призначена для обміну інформації між роботом, оператором, іншими роботами, функціональними пристроями. Інформація від оператора надходить через пункт керування, а від робота до оператора – у формі світлових чи звукових сигналів та передається через табло, цифрові індикатори, дисплеї, монітори, синтезатори мови, та ін.

Залежно від призначення та задач, що розв'язуються, роботи розподіляються на два великих класи: виробничі та пошукові.

Виробничі роботи призначені для виконання фізичної роботи, а також окремих видів трудомістких, напружених та стомлюючих розумових робіт (проектування, інформаційне забезпечення, керування).

Виробничі роботи підрозділяються на: промислові, транспортні, будівельні, сільськогосподарські, побутові та ін.

Пошукові роботи призначені для пошуку, збирання, переробки та передачі інформації про досліджувані об'єкти.

Такими об'єктами є – космос, океанічні глибини, надра Землі, зони обслуговування термоядерного енергетичного обладнання та ін.

Найбільше розповсюдження отримали **промислові роботи** (industrial robots) (ІР), особливо в ковальсько-штампованому, зварювальному виробництві, механообробному, складальних операціях, нанесенні покриття та оздоблюванні поверхонь, автоматизації транспортно-складських робіт.

Згідно ГОСТ 25686-85 ІР – це автоматична машина, стаціонарна чи рухома, що складається з виконавчого пристрою у вигляді маніпулятора, який має декілька ступенів рухомості, та перепрограмованого пристрою програмного керування для виконання у виробничому процесі рухомих та керувальних функцій.

Маніпулятор (manipulator) (ГОСТ 25686-85) – це керувальний пристрій чи машина для виконання рухомих функцій, що аналогічні функціям руки людини у просторі, який оснащений робочим органом.

Робочий орган (your body) – це складова частина виконавчого пристрою ІР для безпосереднього виконання технологічних операцій чи допоміжних переходів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Пристрій керування (control unit) ПР – складова частина робота для формування та видачі керувальних дій виконуючому пристрою у згідно з керувальною програмою.

Перепрограмованість (reprogramming) (ГОСТ 25686-85) – це властивість ПР змінювати керуючу програму автоматично чи за допомогою людини-оператора.

Складові елементи промислового робота з конструктивної точки зору наведені на рис. 1.2, з якого видно, що функціонально він складається з двох пристроїв – виконавчого та керування. Конструктивне виконання ПР залежить від багатьох факторів як суб’єктивних так і об’єктивних, наприклад, його призначення, виду технологічного обладнання, характеру технологічного процесу, технічних вимог, наявності та рівня комплектуючих виробів тощо.

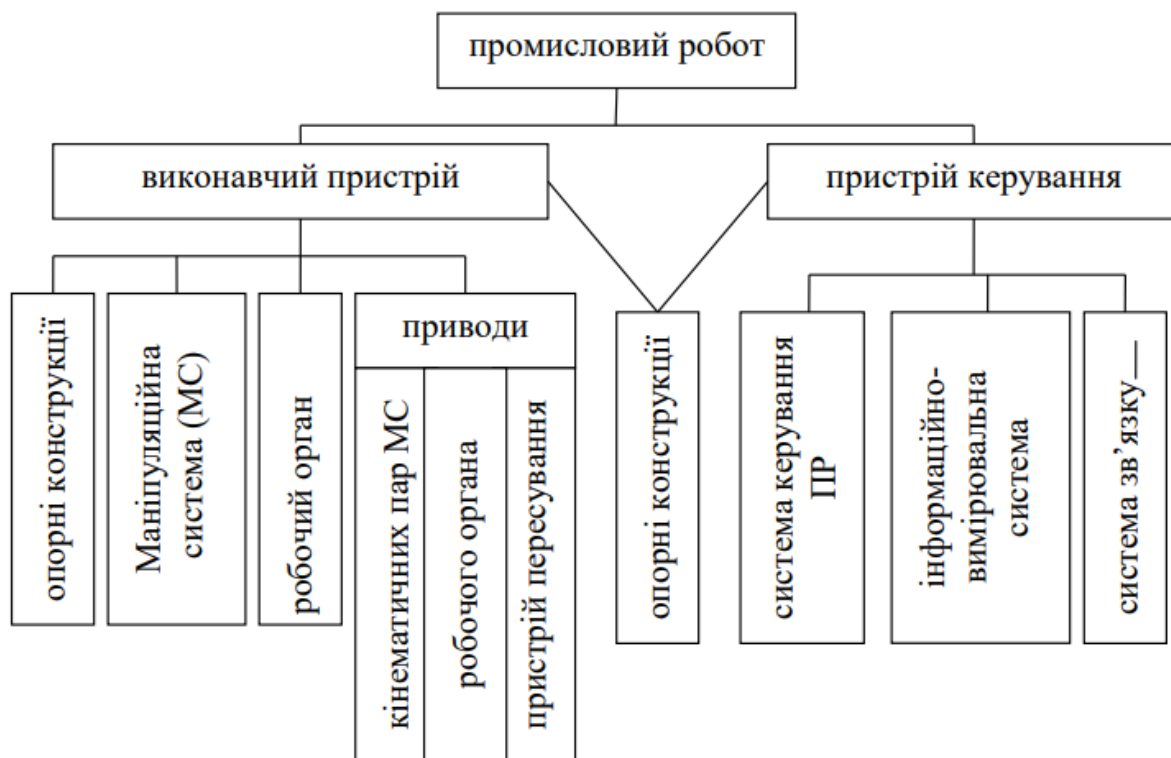


Рис. 1.2 – Складові елементи ПР

Класифікація ПР

Згідно з ГОСТ 25685-83 «Роботи промислові. Класифікація» всі ПР незалежно від конкретного призначення підрозділяються за ознаками спеціалізації на універсальні, спеціалізовані та спеціальні.

Універсальні (universal) ПР призначені для виконання різних технологічних операцій і можуть працювати з різними групами моделей технологічного обладнання.

Спеціалізовані (specialty) ПР мають більш вузьке призначення і можуть виконувати технологічні операції певного виду з окремо визначеною групою моделей технологічного обладнання.

Спеціальні (special) ПР можуть виконувати тільки одну операцію з окремою моделлю технологічного обладнання.

За видом виконуваних технологічних операцій ПР розподіляються на основні, що здійснюють основні технологічні операції і допоміжні, які виконують допоміжні технологічні операції щодо обслуговування технологічного обладнання. Основні роботи відносяться до основного технологічного обладнання, а допоміжні – до засобів автоматизації.

Для більш детальної класифікації використовуються такі ознаки як спеціалізація, вид технологічних операцій, вантажопідйомність, число ступенів рухомості, можливість пересування, спосіб установки на робочому місці, вид системи координат, вид привода, вид керування.

Окрім того ПК ПР часто застосовують для керування технологічним обладнанням, яке працює сумісно з ПР.

Згідно з назвами поколінь роботів розрізняють такі ПК ПР:

- програмні (software) (1-ше покоління ПР) – це пристрої, що здійснюють керування виконавчою ланкою за завчасно введеною програмою, яка залишається незмінною під час процесу реалізації;
- адаптивні (adaptive) (2-ге покоління ПР) – це пристрої, що здійснюють керування виконавчою ланкою в функції від контрольованих параметрів стану навколишнього середовища і ПР з автоматичною зміною керувальної програми;
- інтелектуальні (intellectual) чи інтегральні (integrated) (3-тє покоління ПР) – це такі пристрої, в яких адаптивні властивості розвинені і доповнені здатністю

					планувати поведінку ПР залежно від відповідних задач, критеріїв якості, ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

власного стану зовнішнього середовища.

За способом керування розрізняють ПР:

- циклового керування (cyclic control) – керувальний рух робочого органу ПР визначається тільки положенням початкової і кінцевої точок;
- позиційного керування (positional control) – керувальний рух робочого органу ПР відбувається за заданими точками позиціонування при відсутності контролю траєкторії руху між ними;
- контурного керування (contouring control) – керувальний рух робочого органу ПР відбувається за заданою траєкторією з встановленою за відрізками часу переміщення швидкістю.

ПК можуть мати зворотній зв'язок чи він може бути відсутнім. Залежно від цього розрізняють замкнені чи розімкнені ПК.

За типом використання сигналів – аналогові, цифрові, цифро-аналогові. ПК бувають індивідуальні (для одного ПР) та групові (для декількох ПР).

Для швидкого і точного виконання технологічних операцій ПР має бути оснащеним відповідними **інформаційно-вимірювальними пристроями** (information-measuring devices) (ІВП).

Особливо це стосується ПР з адаптивним керуванням, що містять мікро ПК, які зайняті на операціях механічного складання, електродугового та газового зварювання, фарбування, знімання деталей з конвеєра, сортування виробів.

ІВП ПР діляться на сенсорні пристрої, що виявляють геометричні, хімічні та інші властивості об'єктів:

- пристрої відчуття, що забезпечують робот зовнішньою інформацією;
- пристрої внутрішньої інформації, що дають змогу оцінити стан вузлів і підсистем самого маніпулятора і параметри руху.

За ознакою відстані отримання інформації ІВП розподіляються на:

- пристрої щонайближчої дії для надання відчуття захватам та іншим частинам маніпуляторів, а також корпусу ПР.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

- пристрої близької дії для забезпечення інформацією безконтактним способом в безпосередній близькості від робота.
- пристрої далекої дії для отримання інформації про зовнішнє середовище в об'ємі всієї робочої зони.
- пристрої щонайдальшої дії, якими оснащуються рухомі роботи.

У наведених сенсорних пристроях використовуються тактильні та силометричні давачі, далекоміри, вимірювачі щільності ґрунту, локаційні сенсори, оптичні, радіотехнічні, телевізійні, інерційні системи тощо.

До ІВП ПР висуваються такі основні вимоги:

- малі габаритні розміри і маса конструкції;
- можливість розміщення в механізмах ступенів рухомості на захватних пристроях та інших частинах маніпуляторів;
- висока надійність експлуатації в різних умовах експлуатації;
- стійкість до механічної чи температурної дії;
- простота регулювання, обслуговування чи заміни;
- низька собівартість.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Загальна характеристика маніпулятора АВВ ІRВ 4600-60

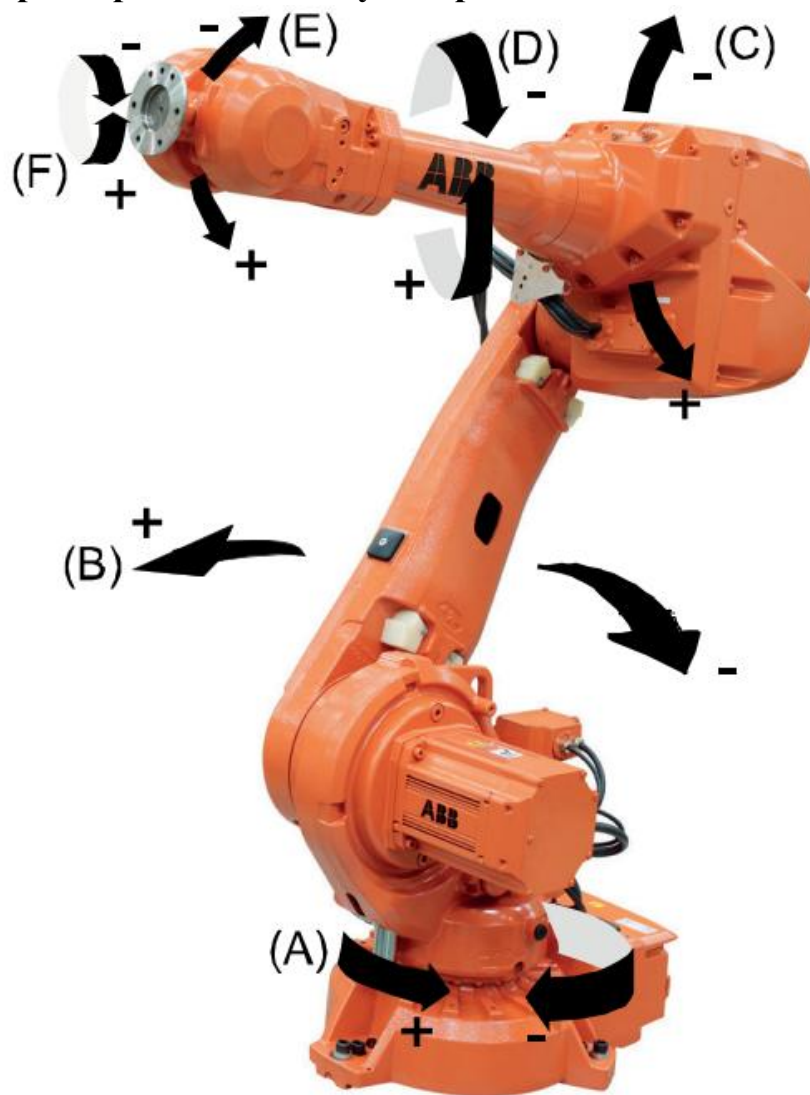


Рис.1.3. Загальний вигляд маніпулятора АВВ ІRВ 4600-60

АВВ ІRВ 4600-60 - це промисловий робот-маніпулятор, що володіє шістьма ступенями вільності і використовується для автоматизації виробничих процесів у різних галузях промисловості.

АВВ ІRВ 4600-60 є потужним та надійним роботом, який може значно підвищити ефективність та продуктивність виробничих процесів у багатьох галузях промисловості.

В данному випадку маніпулятор АВВ ІRВ 4600-60 знаходиться на автомобільному заводі, де виконує функції збірки, переміщення важких деталей та обробки деталей.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Технічні характеристики маніпулятора ABB IRB 4600-60:

1. Вантажопідйомність, кг	60
2. Радіус дії, м	2.05
3. Кількість осей, шт	6
4. Точність повторюваності, мм	±0.05
5. Максимальна швидкість обертання кисти, град/с	180
6. Швидкість переміщення, м/с	2 м/с
6. Зона роботи	сферична
7. Вага, кг	445
8. Керування	контролер IRC5
9. Можливості програмування	мова програмування RAPID
10. Електроживлення:	
Напруга, В	400
Частота, Гц	50/60

Структура маніпулятора

Структура маніпулятора складається з шести ланок, які мають 6 серводвигунів, з відповідною рукою, ліктем та зап'ястям. Кожен суглоб може рухатися до певної міри, яка може бути трохи обмежена. Це означає, що робот-маніпулятор з 6 ступенями свободи сильніший і швидший і може виконувати ще більш важливі функції у виробництві.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

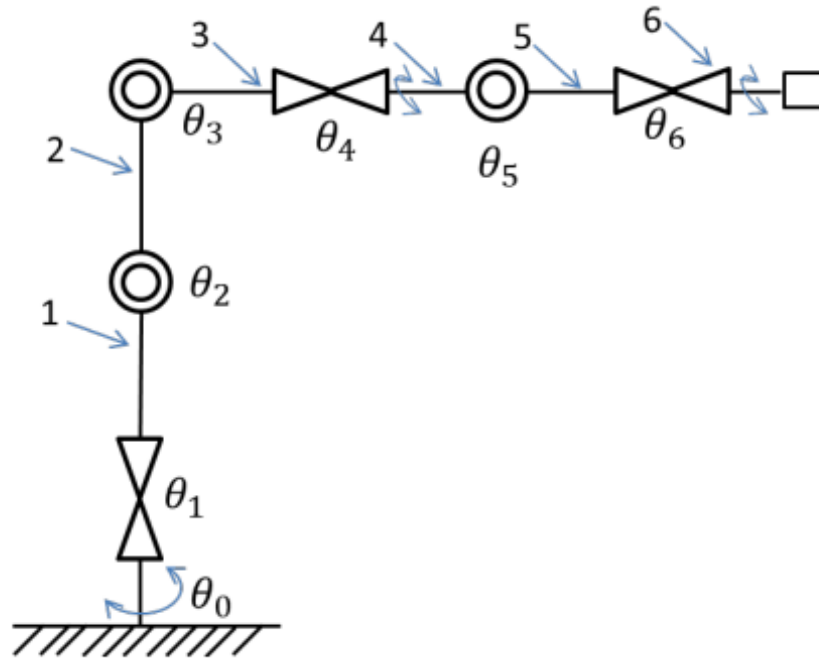


Рис.1.4. Структура маніпулятора АВВ IRB 4600-60

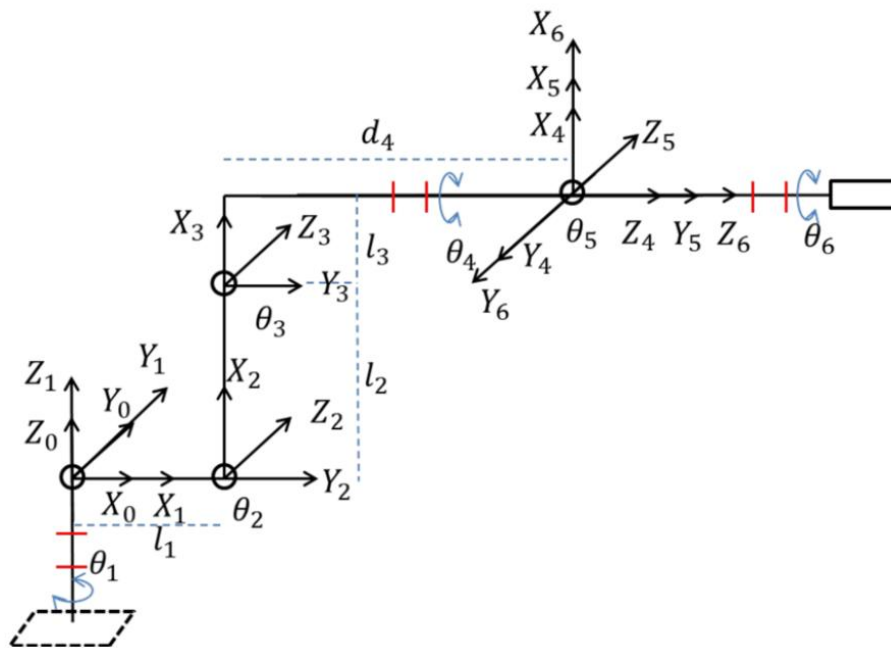


Рис. 1.5. Кінематична схема маніпулятора АВВ IRB4600-60

Кінематична схема маніпулятора АВВ IRB 4600-60 включає шість осей свободи, що дозволяє роботу виконувати руху в тривимірному просторі. Основні складові кінематичної схеми включають:

1. Базову платформу (X_0): Початковий елемент маніпулятора, на якому розташовані решта вузлів.

Перша вісь (X_1): Вісь повороту бази маніпулятора навколо вертикальної осі.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Вісь 1 дозволяє маніпулятору обертатися на 360 градусів навколо своєї вертикальної осі.

Друга вісь (X_2): Підйом та опускання руки маніпулятора щодо бази. Цей рух дозволяє маніпулятору змінювати висоту робочого органу.

Третя вісь (X_3): Згинання в лікті, що дозволяє руці маніпулятора змінювати кут нахилу.

Четверта вісь (X_4): Поворот у зап'ясті, що дозволяє кінцевому ефектору обертатися навколо своєї власної осі.

П'ята вісь (X_5): Згин в зап'ясті, що дозволяє кисті нахилитися щодо площини, паралельної до підлоги.

Шоста вісь (X_6): Обертання кисті, якщо маніпулятор оснащений захопленням або іншим інструментом, ця вісь дозволяє обертати кисть навколо своєї осі.

Габарити

Габаритні розміри маніпулятора ABB IRB 4600-60

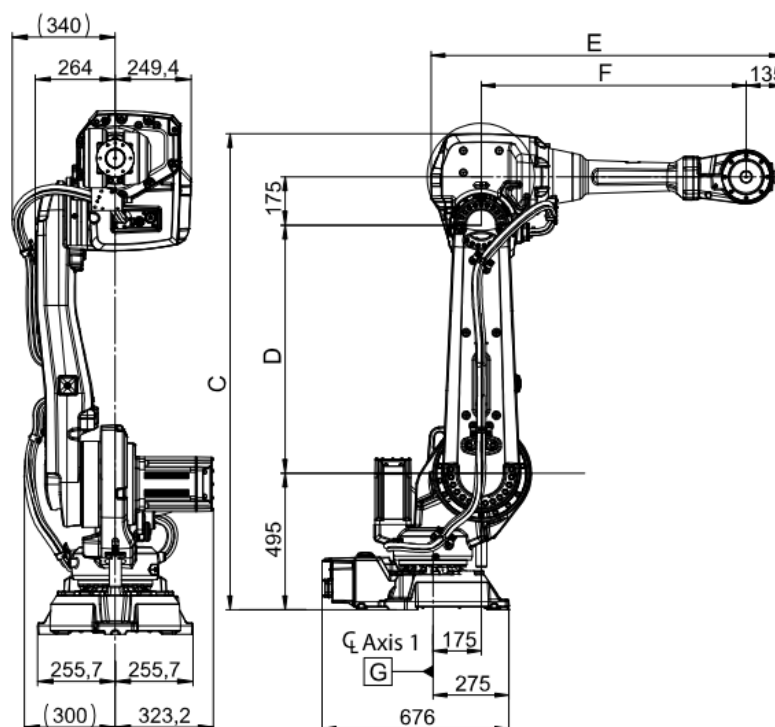


Рис. 1.6. Габаритні розміри маніпулятора ABB IRB 4600-60

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

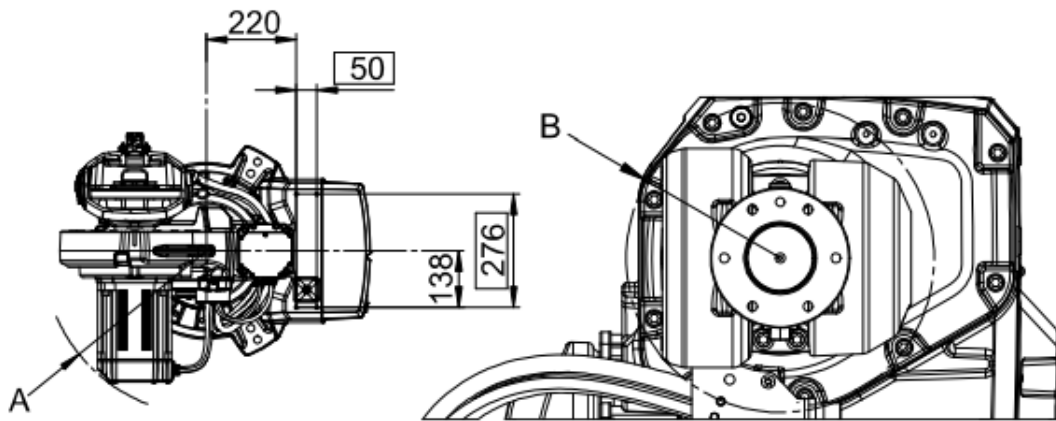


Рис. 1.7. Габаритні розміри та радіуси повороту маніпулятора ABB IRB 4600-60

A	R 400 Minimum turning radius of axis 1
B	R 138 Minimum turning radius of axis 4

Variant	C	D	E	F
IRB 4600-60/2.05	1,727 mm	900 mm	1,276 mm	960 mm

Робоча зона

Робоча зона маніпулятора має свої значення:

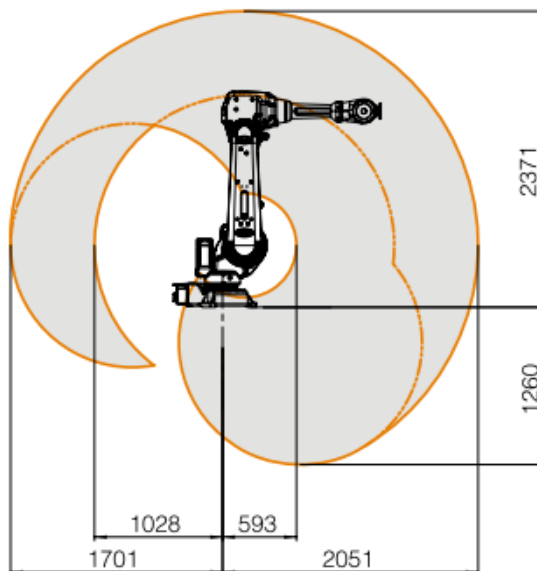


Рис.1.8. Робоча зона маніпулятора ABB IRB 4600-60

1.2. Обґрунтування вибору системи електроприводу маніпулятора.

Для того, щоб вибрати систему електроприводу, потрібно задатися характеристиками та вимогами до електроприводу маніпулятора.

Електропривід маніпулятора повинен відповідати наступним основним

критеріям:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк. 19
------	------	----------	--------	------	--------------------------	------------

Потужність та крутний момент. Електропривід повинен забезпечувати достатню потужність та крутний момент для ефективного керування маніпулятором.

Точність позиціонування. Електропривід повинен забезпечувати достатню точність позиціонування робочого механізму, для виконання завдань маніпулятора.

Швидкість та прискорення. Електропривід повинен забезпечувати необхідну швидкість та прискорення пересування робочого механізму, для виконання завдань маніпулятора.

Надійність та довговічність. Електропривід повинен бути надійним та довговічним, щоб максимально довго виконувати безперебійну роботу маніпулятора.

Енергоефективність. Електропривід повинен бути малозатратним, для того щоб мінімізувати витрати.

Розглянемо наступні системи електроприводу: ТП-АД, ЧП-АД, ШД та ТП-СД.

1. **ТП-АД.** Система тиристорний перетворювач – асинхронний двигун складається з тиристорного перетворювача, що використовується для зміни частоти та напруги, що подаються на статор асинхронного двигуна для керування швидкістю обертання. Така система ефективна в механізмах, де потрібне точне керування швидкістю обертання. Але її недоліками є обмежений діапазон регулювання швидкості при роботі на великих швидкостях, високі гармоніки в силовій частині мережі, що можуть призвести до електромагнітних завад та вища вартість, у зрівнянні з іншими системами керування. У такому випадку точність позиціонування, надійність та енергоефективність значно знижуються, тому для приводу маніпуляторів така система не є вигідною.

2. **ЧП-АД.** Система частотний перетворювач – асинхронний двигун складається з частотного перетворювача, що може змінювати частоту змінного струму і цим самим керувати швидкістю двигуна. Ця система дає

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

більш плавну зміну швидкості, точність позиціонування та енергоефективність. Але ця система має такі недоліки: висока вартість; електромагнітні завади; достатньо складне встановлення, що потребує достатні знання та додаткові пристрої, які в свій час збільшують вартість системи; вимогу до охолодження тиристорного перетворювача, який виробляє багато тепла та може зменшувати КПД системи та збільшувати її енергетичні втрати. Тому для приводу маніпуляторів така система не є вигідною.

3. **КД.** Крокові двигуни – це вид спеціальних електричних двигунів, які обертаються на фіксований кут при кожному отриманому імпульсі. Кожне переміщення таких двигунів відповідає визначеному кутовому переміщенню. Основними перевагами цих двигунів є простота керування та невелика вартість. Недоліками є: відсутність зворотнього зв'язку, що ускладнює точність керування; менша точність керування, особливо при великих навантаженнях та швидкостях; мала швидкість обертання. Таким чином, для обраного нами маніпулятора крокові двигуни не підходять.
4. **ТП-СД.** Система транзисторний перетворювач – серводвигун складається з транзисторного перетворювача, що перетворює випрямлену постійну напругу в змінну напругу з регулюємою частотою та амплітудою, та синхронного серводвигуна, оберти якого регулюються перетворювачем. Така система має високу точність керування, тому що серводвигун використовується з енкодером для зворотного зв'язку по положенню; високу швидкість реагування, яка забезпечує плавний та швидкий рух; енергоефективність, через використання перетворювача на базі IGBT транзисторів; така система здатна розвивати достатні моменти та потужності серводвигунів. Не зважаючи на деякі недоліки, наприклад електромагнітні завади, тепловиділення та потреба у фільтрації, система ТП-СД має найбільш вигідні дані для обраної нами системи. Тому надалі ми будемо розраховувати систему керування маніпулятором ABB IRB 4600-60 типу Транзисторний перетворювач – серводвигун.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

1.3. Розрахунок електроприводів маніпулятора

Промисловий маніпулятор АВВ IRB 4600-60, кінематичну схему якого зображено на рис. 8.10, містить шість рухомих ланок: три обертальні (база X_1 , зап'ясток X_4 , кисть X_6) і три поступальні (плече X_2 , лікоть X_3 , кисть X_5).

Для першого обертального приводу розрахуємо момент двигуна через знаходження центру мас горизонтально повернутої частини маніпулятора, що йде після першого обертового приводу. Статичне навантаження на перший привод відсутнє.

Для цього з каталогу виробника АВВ знайдемо габаритні дані всіх елементів, що розраховуються. Для спрощення розрахунку представимо всі елементи у вигляді тривимірних геометричних фігур з наступними габаритами:

Габарити першого плеча паралелепіпеда – Довжина a – 107.5 см, висота h – 35 см, товщина b – 22 см;

Габарити першого суглоба куба – Довжина a – 35 см, висота h – 35 см, товщина b – 35 см;

Габарити другого плеча паралелепіпеда – Довжина a – 79 см, висота h – 20 см, товщина b – 175 мм;

Габарити другого суглоба циліндру – радіус 10 см, висота 25 см;

Габарити вантажозахвату з вантажем у формі паралелепіпеду – Довжина a – 50 см, висота h – 13.5 см, товщина b – 13.5 см.

Представимо механізм у системі координат та знайдемо центри мас для кожного елемента.

Центр мас першого плеча паралелепіпеда C_1 (53.75; 17.5; 11);

Центр мас першого суглоба куба C_2 (125; 17.5; 17.5);

Центр мас другого плеча паралелепіпеда C_3 (182; 8.75; 10);

Центр мас другого суглоба циліндру C_4 (231.5; 12.5; 12.5);

Центр мас вантажозахвату з вантажем паралелепіпеда C_5 (266.5; 6.75; 6.75).

За формулою загальної точки центра мас знайдемо координати центра мас для механізму:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$x_c = \frac{\sum V_i \cdot x_i}{\sum V_i};$$

$$y_c = \frac{\sum V_i \cdot y_i}{\sum V_i};$$

$$z_c = \frac{\sum V_i \cdot z_i}{\sum V_i};$$

Де x_i, y_i, z_i відповідні значення координат центра мас кожного елемента;

V_i – об'єм кожного елемента.

Розрахуємо об'єми для кожного елемента:

Для першого плеча:

$$V_1 = a \cdot b \cdot h = 107.5 \cdot 35 \cdot 22 = 82775 \text{ (см}^3\text{)};$$

Для першого суглоба:

$$V_2 = a^3 = 35^3 = 42875 \text{ (см}^3\text{)};$$

Для другого плеча:

$$V_3 = a \cdot b \cdot h = 79 \cdot 17.5 \cdot 20 = 27650 \text{ (см}^3\text{)};$$

Для другого суглоба:

$$V_4 = \pi \cdot R^2 \cdot h = 3.14 \cdot 10^2 \cdot 25 = 7854 \text{ (см}^3\text{)};$$

Для вантажозахвату:

$$V_5 = a \cdot b \cdot h = 50 \cdot 12.5 \cdot 12.5 = 9113 \text{ (см}^3\text{)};$$

Розрахуємо координати центра мас:

$$\begin{aligned} x_c &= \frac{(V_1 \cdot C_{1x}) + (V_2 \cdot C_{2x}) + (V_3 \cdot C_{3x}) + (V_4 \cdot C_{4x}) + (V_5 \cdot C_{5x})}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5} = \\ &= \frac{(82775 \cdot 53.75) + (42875 \cdot 125) + (27650 \cdot 182) + (7854 \cdot 231.5) + (9113 \cdot 266.5)}{82775 + 42875 + 27650 + 7854 + 9113} = \\ &= 112.104 \text{ (см)} = 1.12 \text{ (м)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_c &= \frac{(V_1 \cdot C_{1y}) + (V_2 \cdot C_{2y}) + (V_3 \cdot C_{3y}) + (V_4 \cdot C_{4y}) + (V_5 \cdot C_{5y})}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5} = \\ &= \frac{(82775 \cdot 17.5) + (42875 \cdot 17.5) + (27650 \cdot 8.75) + (7854 \cdot 12.5) + (9113 \cdot 6.75)}{82775 + 42875 + 27650 + 7854 + 9113} = \\ &= 15.273 \text{ (см)} = 0.15 \text{ (м)}; \end{aligned}$$

						ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			23

$$y_z = \frac{(V_1 \cdot C_{1z}) + (V_2 \cdot C_{2z}) + (V_3 \cdot C_{3z}) + (V_4 \cdot C_{4z}) + (V_5 \cdot C_{5z})}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5} =$$

$$= \frac{(82775 \cdot 11) + (42875 \cdot 17.5) + (27650 \cdot 10) + (7854 \cdot 12.5) + (9113 \cdot 6.75)}{82775 + 42875 + 27650 + 7854 + 9113} =$$

$$= 12.316 \text{ (см)} = 0.12 \text{ (м)}.$$

Знаючи координати центра мас механізму знайдемо момент інерції:

$$J_c = \frac{1}{3} \cdot m \cdot l^2;$$

Де m – маса механізму з максимальним навантаженням – 350 кг,

L – довжина до центра мас, 1.121 м;

Тоді момент інерції:

$$J_H = \frac{1}{3} \cdot 350 \cdot 1.121^2 = 146.618 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)};$$

За формулою динамічного моменту для номінального кутового прискорення $\epsilon_{\text{ном}}$, що за довідкою складає максимум 10 рад/с², розрахуємо момент двигуна:

$$M_{\text{дин}} = J_H \cdot \epsilon_{\text{ном}} = 146.618 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)} \cdot 10 = 1466.2 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Знаючи динамічний момент, знайдемо значення потужності привода обертового ступеня рухомості:

$$P = M_{\text{дин}} \cdot \frac{\omega}{\eta};$$

де ω - кутова швидкість обертового ступеня рухомості маніпулятора, що дорівнює 200 град/с або 3.491 рад/с;

η - ККД передач, що пов'язують двигун з виконавчою ланкою, для хвильового редуктора $\eta = 0.85$;

Тоді значення потужності привода першої ланки:

$$P = 1466.2 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \cdot \frac{3.491}{0.85} = 6.022 \text{ (кВт)};$$

Обираємо серводвигун SZGH-18750CC з параметрами:

Тип двигуна - синхронний

Напруга живлення - 380 В;

Номінальна потужність двигуна - 7.5 кВт;

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Номінальна швидкість обертання - 1500 об/хв;
 Максимальна швидкість обертання - 3000 об/хв;
 Номінальний крутний момент - 48 Нм;
 Маскимальний крутний момент - 96 Нм;
 Кратність максимального моменту – 2;
 Момент інерції мас $J_d - 9.5 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;
 Номінальний струм статора - 20 А;
 Активний опір статора – 0.273 Ом;
 Індуктивність статору – 2.14 мГн;
 Ступінь захисту - IP65;
 Вага – 40 кг.

Передаточне число $i_{\text{опт}}$ розраховуємо за формулою:

$$i_{\text{опт}} = \frac{n_{\text{дном}}}{n_{\text{м}}};$$

Де $n_{\text{дном}}$ – номінальна швидкість обертання двигуна, 1500 об/хв;

$n_{\text{дмакс}}$ – необхідна кількість обертів вихідного вала редуктора, об/хв.

Знаючи значення кутової швидкості обертального ступеня рухомості маніпулятора $\omega = 3.491 \text{ рад/с}$ знайдемо необхідне значення кількості обертів:

$$n_{\text{м}} = \frac{\omega}{0.1047} = \frac{3.491}{0.1047} = 33.33 \left(\frac{\text{Об}}{\text{ХВ}} \right);$$

Тоді значення оптимального передатного числа буде дорівнювати:

$$i_{\text{опт}} = \frac{1500 \left(\frac{\text{Об}}{\text{ХВ}} \right)}{33.33 \left(\frac{\text{Об}}{\text{ХВ}} \right)} = 45.005;$$

Обираємо безлюфтовий циклоїдний редуктор Nabtesco RV-E-250-110 з наступними параметрами:

Передатне число – 80;
 Вхідна потужність – 7.5 кВт;
 Вихідний момент – 1550 Н·м;
 Момент інерції $J_p - 4.83 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.
 Вага – 44.3 кг.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Після вибору редуктора та двигуна перевіримо, чи підходить обраний двигун з моментами інерції навантаження, двигуна та редуктора.

Знаходимо сумарний момент інерції:

$$\begin{aligned}
 J_{\text{сум}} &= J_{\text{н}} + J_{\text{д}} + J_{\text{р}} = \\
 &= 146.618 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) + 9.5 \cdot 10^{-3} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) + 4.83 \cdot 10^{-4} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \\
 &= 146.628 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2);
 \end{aligned}$$

Перерахуємо значення моменту системи та потужності двигуна:

$$M_{\text{дин}} = J_{\text{сум}} \cdot \varepsilon_{\text{ном}} = 146.628 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \cdot 10 = 1466.279 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

$$P = 1466.279 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \cdot \frac{3.491}{0.85} = 6.022 \text{ (кВт)}.$$

Отже обраний нами двигун підходить.

Проведемо розрахунок електроприводів 2 та 3 звена, що мають плоскопаралельний рух. Представимо маніпулятор як систему двох плоскопаралельних ланок. Першою «плечовою» ланкою буде ланка від другого електроприводу до третього електроприводу, другою ланкою буде ланка від третього електроприводу до робочого органу, при чому всі інші ланки після третього електроприводу приймаються жорстко нерухомими.

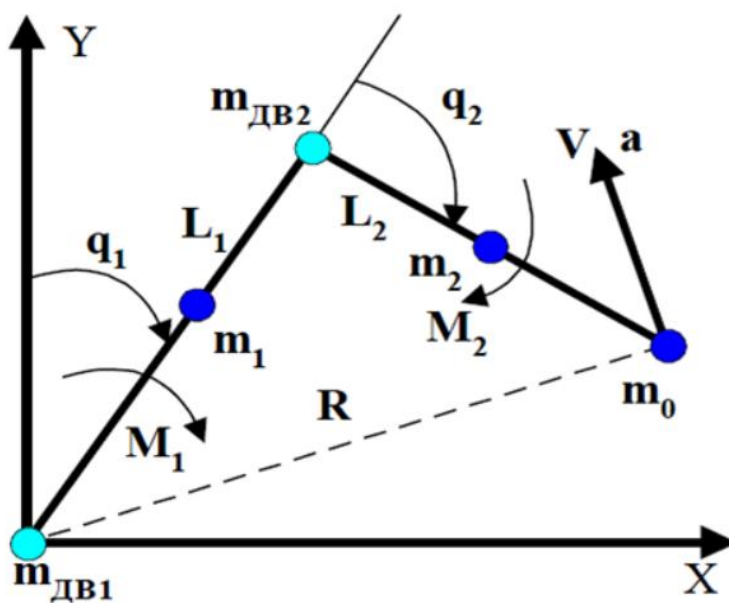


Рис.1.9. Розрахункова кінематична схема маніпуляційного механізму

На малюнку прийнято позначення:

q_1 та q_2 - узагальнені координати маніпуляційного механізму. Вони є кути повороту "плечового" і "ліктьового" ланок маніпулятора, відповідно. Кут q_1 визначається як відхилення "плечової" ланки від вертикалі, а кут q_2 визначається як відхилення "ліктьової" ланки від поздовжньої осі "плечової" ланки. Позитивні значення цих кутів відповідають обертанню ланок за годинниковою стрілкою;

L_1 і L_2 - довжини «плечової» та «ліктьової» ланок, відповідно. L_2 - відстань від осі повороту "ліктьової" ланки до центру мас робочого органу з об'єктом маніпулювання;

m_1 і m_2 - маси «плечової» та «ліктьової» ланок, відповідно.

Вважається, що кожна з цих мас зосереджена у центрі відповідної ланки;

m_0 - сумарна маса робочого органу та об'єкта маніпулювання;

$m_{дв1}$ та $m_{дв2}$ - маси виконавчих двигунів;

V і a - швидкість та прискорення кінцевої точки маніпулятора відповідно;

R – відстань від осі обертання «плечової» ланки до кінцевої точки маніпулятора;

M_1 і M_2 - моменти сил, що розвиваються приводами та діють на ланки маніпулятора.

Параметри маніпуляційного механізму приведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1. Параметри маніпуляційного механізму 2 та 3 ланок

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Параметр	умовне позначення	значення
Довжина «плечової» ланки маніпуляційного механізму, м	L_1	1.07
Відстань від осі повороту «ліктьової» ланки до центру мас робочого органу з об'єктом маніпулювання, м	L_2	0.65
Діапазон зміни переміщень «плечової» ланки маніпулятора, град	q_1	-180° до +85°
Діапазон зміни «ліктьової» ланки маніпулятора, град	q_2	-180° до +70°
Маса «плечової» ланки, кг	m_1	80
Маса «ліктьової» ланки, кг	m_2	70
Маса робочого органу, кг	m_c	80
Маса об'єкта маніпулювання, кг	m_o	60

Основні вимоги до виконавчої системи робота приведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Основні вимоги до виконавчої системи робота

Параметр	Умовне позначення	значення
Допустима статична похибка робочого органу, мм	$\Delta X_{\text{доп.ст}}$	± 0.05
Допустима динамічна похибка робочого органу, мм	$\Delta X_{\text{доп.дин}}$	± 0.05
Максимальна швидкість робочого руху, м/с	$V_{p.\text{max}}$	2
Максимальне прискорення робочого руху, м/с ²	$a_{p.\text{max}}$	10
Максимальна швидкість робочого органу при перекиданні, м/с	$V_{п.\text{max}}$	2
Час розгону до максимальної швидкості, с	$t_{\text{роз}}$	0.3
Перерегулювання при малій ступінчастій дії, %	$\sigma_{\text{доп}}$	0
Відносна тривалість “перекидання” у робочому циклі, %	$t_{\text{пер.відн}}$	0.3

Знайдемо центр мас для «ліктьової» ланки.

						ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			28

Для другого плеча:

$$V_3 = a \cdot b \cdot h = 79 \cdot 17.5 \cdot 20 = 27650 \text{ (см}^3\text{)};$$

Для другого суглоба:

$$V_4 = \pi \cdot R^2 \cdot h = 3.14 \cdot 10^2 \cdot 25 = 7854 \text{ (см}^3\text{)};$$

Для вантажозахвату:

$$V_5 = a \cdot b \cdot h = 50 \cdot 12.5 \cdot 12.5 = 9113 \text{ (см}^3\text{)};$$

Розрахуємо координати центра мас:

$$x_c = \frac{(V_3 \cdot C_{3x}) + (V_4 \cdot C_{4x}) + (V_5 \cdot C_{5x})}{V_3 + V_4 + V_5} = \frac{(27650 \cdot 39.5) + (7854 \cdot 89.5) + (9113 \cdot 124.5)}{27650 + 7854 + 9113} =$$
$$= 65.662 \text{ (см)} = 0.65 \text{ (м)};$$

$$y_c = \frac{(V_3 \cdot C_{3y}) + (V_4 \cdot C_{4y}) + (V_5 \cdot C_{5y})}{V_3 + V_4 + V_5} = \frac{(27650 \cdot 8.75) + (7854 \cdot 12.5) + (9113 \cdot 6.75)}{27650 + 7854 + 9113} =$$
$$= 9.002 \text{ (см)} = 0.09 \text{ (м)};$$

$$y_z = \frac{(V_3 \cdot C_{3z}) + (V_4 \cdot C_{4z}) + (V_5 \cdot C_{5z})}{V_3 + V_4 + V_5} = \frac{(27650 \cdot 10) + (7854 \cdot 12.5) + (9113 \cdot 6.75)}{27650 + 7854 + 9113} =$$
$$= 9.776 \text{ (см)} = 0.098 \text{ (м)}.$$

Вибір двигуна та редуктора приводу другої ланки.

Знайдемо максимальні значення кутової швидкості та кутового прискорення для третьої ланки маніпулятора:

$$\omega_{max} = \frac{V_{p.max}}{x_c} = \frac{2}{0.65} = 3.077 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right);$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{a_{p.max}}{x_c} = \frac{10}{0.65} = 15.385 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}^2} \right);$$

Статичний момент відносно вісі обертання 3-ої ланки визначається за формулою:

$$M_{зст} = 9.807 \cdot \left((m_0 + m_c) \cdot x_c + m_2 \cdot \frac{x_c}{2} \right) =$$
$$= 9.807 \cdot \left((60 + 80) \cdot 0.65 + 70 \cdot \frac{0.65}{2} \right) = 1116 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

Для розрахунку динамічного моменту, що діє на третю ланку, знаходимо

еквівалентний момент інерції цієї ланки за формулою					Арк.
ЕТФ.КМУ.ІВ.141.24.303-19					29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$J_{\text{зекв}} = \left((m_0 + m_c) \cdot x_c^2 + m_2 \cdot \frac{x_c^2}{4} \right) = \left((60 + 80) \cdot 0.65^2 + 70 \cdot \frac{0.65^2}{4} \right) = 682.5 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)};$$

Максимальне значення динамічного моменту (для режиму перекида) отримаємо за формулою:

$$M_{\text{дмакс}} = J_{\text{зекв}} \cdot \varepsilon_{\text{max}} = 682.5 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)} \cdot 15.385 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}^2} \right) = 682.5 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

З метою забезпечення точної роботи приводів маніпулятора можуть бути вибрані хвильові або планетарні редуктори. Попередньо вибираємо хвильовий редуктор HDUR-32 компанії Harmonic drive gearing. За даними виробника ККД такого редуктора $\eta_2 = 0.85$. У цьому випадку максимальний сумарний момент сил $M_{\text{змакс}}$, який повинен розвивати привід другої ланки:

$$M_{\text{змакс}} = \frac{1}{\eta_2} \cdot (M_{\text{змакс}} + M_{\text{зст}}) = \frac{1}{0.85} \cdot (682.5 \text{ (Н} \cdot \text{м)} + 1116 \text{ (Н} \cdot \text{м)}) = \\ = 2115.349 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

Оцінка потужності двигуна другої ланки.

Максимальне значення потужності механічного руху третьої ланки:

$$P_{\text{змакс}} = M_{\text{змакс}} \cdot \omega_{\text{max}} = 2115.349 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \cdot 3.077 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right) = 6508.765 \text{ (Вт)};$$

Обираємо серводвигун SZGH-18750CC з параметрами:

Тип двигуна – синхронний;

Напруга живлення - 380 В;

Номінальна потужність двигуна - 7.5 кВт;

Номінальна швидкість обертання - 1500 об/хв;

Максимальна швидкість обертання - 3000 об/хв;

Номінальний крутний момент - 48 Нм;

Максимальний крутний момент - 96 Нм;

Момент інерції мас $J_{\text{д}}$ – $9.5 \cdot 10^{-3}$ кг·м²;

Номінальний струм статора - 20 А;

Активний опір статора - 0.273 Ом;

Індуктивність статора - $2.14 \cdot 10^{-3}$ Гн;

Ступінь захисту - IP65;				ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19		Арк.
ЗМНГ	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	30	

Визначення необхідного передатного відношення та марки редуктора.

Оцінка значення передавального відношення редуктора приводу третьої ланки:

$$i_{3\text{ропт}} = \sqrt{\frac{P_{3\text{макс}}}{J_{\text{дв}} \cdot \omega_{\text{max}} \cdot \varepsilon_{\text{max}}}};$$

де $J_{\text{дв}}$ – момент інерції обраного двигуна, $9.5 \cdot 10^{-3}$ кг·м²;

$$i_{3\text{ропт}} = \sqrt{\frac{6508.765 \text{ (Вт)}}{9.5 \cdot 10^{-3} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \cdot 3.077 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}}\right) \cdot 15.385 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}\right)}} = 147.344.$$

Обираємо безлюфтовий циклоїдний редуктор RV-320С з наступними параметрами:

Передатне число – 150;

Вхідна потужність – 6.69 кВт;

Вихідний момент – 1597 Н·м;

Момент інерції J_p – $0.405 \cdot 10^{-4}$ кг·м²;

Вага – 79.5 кг.

Для подальших розрахунків та вибору компонентів приводу другої ланки приймаємо масу приводу третьої рівною:

$$m_{\text{прз}} = m_p + m_{\text{дв}} = 79.5 \text{ (кг)} + 40 \text{ (кг)} = 119.5 \text{ (кг)};$$

де m_p – маса редуктора,

$m_{\text{дв}}$ – маса двигуна.

Тепер перевіримо виконання необхідних умов правильності вибору двигуна та редуктора. Перевіряємо обраний двигун на момент:

$$M_3 = J_{\text{дв}} \cdot \varepsilon_{\text{max}} \cdot i_p + \frac{M_{3\text{макс}}}{i_p};$$

де i_p – передатне число обраного редуктора, 150.

$$M_3 = 9.5 \cdot 10^{-3} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \cdot 15.385 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}\right) \cdot 150 + \frac{2115.349 \text{ (Н} \cdot \text{м)}}{150}$$

					= 28.718 (Н·м).	ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	$M_3 < M_{\text{прз}};$		31

$$28.718 \text{ Н}\cdot\text{м} < 48 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Отже, підсистема «двигун-редуктор» здатна створювати момент, не менший за необхідний.

Вибір двигуна та редуктора приводу другої ланки.

Кінематичний аналіз маніпуляційного механізму

Розрахунки проводяться відповідно до кінематичної схеми та схеми дії сил, представленої на рис. 1.10

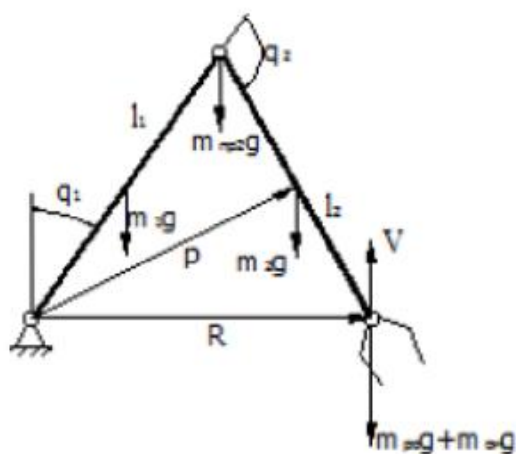


Рис.1.10. Кінематична схема дії сил

У такому положенні момент M_1 першої ланки матиме значення, найбільш близькі до максимально можливих значень. Швидкість обертання другої ланки ω_1 визначається за такою формулою:

$$\omega_2 = \frac{V_{p.max}}{R_1},$$

де R_1 – відстань між другою ланкою та вантажозахватом.

$$R_1 = \sqrt{L_1^2 + L_2^2 + 2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \cos(q_2)},$$

де q_2 – кут повороту третьої ланки, приймаємо його значення рівним 70° .

$$R_1 = \sqrt{1.07^2 + 0.65^2 + 2 \cdot 1.07 \cdot 0.65 \cdot \cos(70)} = 1.565 \text{ (м)};$$

Тоді:

$$\omega_2 = \frac{2}{1.565} = 1.278 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right);$$

Кутове прискорення, з яким рухається перша ланка, визначається за формулою:

					БТФ КНУ РБ 141.24.303.19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$\varepsilon_2 = \frac{V_{p.max}}{R_1 \cdot t_{роз}} = \frac{2}{1.565 \cdot 0.3} = 4.057 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}^2} \right).$$

Визначається момент сил, який має розвивати привід другої ланки. При цьому вважаємо, що сили прикладені в центрах мас другої та третьої ланок, робочого органу та об'єкта маніпулювання:

$$M_{2\text{макс}} = \frac{1}{\eta_1} \cdot (M_{2\text{дмакс}} + M_{2\text{ст}})$$

Статичний момент $M_{\text{ст1}}$, що діє щодо осі повороту другої ланки, залежить від узагальнених координат:

$$M_{\text{ст}} = m_1 \cdot 9.807 \cdot \frac{L_1}{2} \cdot \sin(q_1) + m_{\text{пр2}} \cdot L_1 \cdot \sin(q_1) + m_2 \cdot 9.807 \cdot \\ \cdot \left(L_1 \cdot \sin(q_1) + \frac{L_2}{2} \cdot \sin(q_1 + q_2) \right) \\ + ((m_0 + m_c) \cdot 9.807 \cdot L_1 \cdot \sin(q_1) + L_2 \cdot \sin(q_1 + q_2));$$

де q_1 – кут повороту другої ланки, що визначається за формулою:

$$q_1 = \arccos \left(\frac{L_2 \cdot \sin(180 - q_2)}{\sqrt{L_1^2 + L_2^2 + 2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \cos(q_2)}} \right) = \\ = \arccos \left(\frac{0.65 \cdot \sin(180 - 70)}{\sqrt{1.07^2 + 0.65^2 + 2 \cdot 1.07 \cdot 0.65 \cdot \cos(70)}} \right) = 67.023^\circ;$$

Тоді статичний момент:

$$M_{2\text{ст}} = m_1 \cdot 9.807 \cdot \frac{L_1}{2} \cdot \sin(q_1) + m_{\text{пр2}} \cdot L_1 \cdot \sin(q_1) + m_2 \cdot 9.807 \cdot \\ \cdot \left(L_1 \cdot \sin(q_1) + \frac{L_2}{2} \cdot \sin(q_1 + q_2) \right) \\ + ((m_0 + m_c) \cdot 9.807 \cdot L_1 \cdot \sin(q_1) + L_2 \cdot \sin(q_1 + q_2)) = 3302 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

Динамічний момент $M_{2\text{дин}}$ залежить від кутового прискорення ε_1 і еквівалентного моменту інерції $J_{\text{екв}}$ обчислюється за такою формулою:

$$J_{2\text{екв}} = (m_0 + m_c) \cdot R_1^2 + m_2 \cdot \rho^2 + m_{\text{пр2}} \cdot L_1^2;$$

де ρ - відстань від осі обертання першої ланки до центру мас другої ланки:

$$\rho = \sqrt{L_1^2 + \frac{L_2^2}{4} + 2 \cdot L_1 \cdot \frac{L_2}{2} \cdot \cos(q_2)} = \sqrt{1.07^2 + \frac{0.65^2}{4} + 2 \cdot 1.07 \cdot \frac{0.65}{2} \cdot \cos(70)} = 1.22 \text{ (м)};$$

Тоді:					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33
$J_{2\text{екв}} = (60 + 80) \cdot 1.565^2 + 70 \cdot 1.22^2 + 119.5 \cdot 1.07^2 = 606.67 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)},$						

Тоді динамічний момент першої ланки:

$$M_{2\text{дин}} = J_{2\text{екв}} \cdot \varepsilon_1 = 606.67 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \cdot 4.057 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}\right) = 2585 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

Момент сил, що розвиває привод другої ланки:

$$\begin{aligned} M_{2\text{макс}} &= \frac{1}{\eta_1} \cdot (M_{2\text{лин}} + M_{2\text{ст}}) = \frac{1}{0.85} \cdot (2585 \text{ (Н} \cdot \text{м)} + 3302 \text{ (Н} \cdot \text{м)}) \\ &= 6925 \text{ (Н} \cdot \text{м)}. \end{aligned}$$

Оцінка потужності двигуна другої ланки:

$$P_{2\text{макс}} = M_{2\text{макс}} \cdot \omega_2 = 6925 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \cdot 1.278 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}}\right) = 8851 \text{ (Вт)}.$$

Обираємо серводвигун HG-JR9034В з наступними параметрами:

Тип двигуна - синхронний

Напруга живлення - 400 В

Номінальна потужність двигуна - 9 кВт

Номінальна швидкість обертання - 3000 об/хв.

Номінальний крутний момент – 28.6 Нм;

Момент інерції мас $J_d - 65.4 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

Номінальний струм статора – 24.3 А;

Ступінь захисту - IP65

Вага – 40 кг.

Визначення потрібного передатного числа та марки редуктора для другої ланки:

$$i_{2\text{ропт}} = \sqrt{\frac{P_{2\text{макс}}}{J_{\text{дв}} \cdot \omega_{\text{max}} \cdot \varepsilon_{\text{max}}}};$$

де $J_{\text{дв}}$ – момент інерції обраного двигуна, $65.4 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

$$i_{2\text{ропт}} = \sqrt{\frac{8851 \text{ (Вт)}}{65.4 \cdot 10^{-4} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \cdot 1.278 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}}\right) \cdot 4.057 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}\right)}} = 471.398.$$

Обираємо безлюфтовий циклоїдний редуктор Nabtesco RV-320С з наступними параметрами:

Передатне число – 500;									Арк.
									34
Змк.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19

Вихідний момент – 7000 Н·м;

Момент інерції J_p – 0.1 кг·м².

Вага – 50 кг.

Перевіряємо обраний двигун на момент:

$$M_2 = J_{дв} \cdot \varepsilon_{max} \cdot i_p + \frac{M_{2max}}{i_p};$$

де i_p – передатне число обраного редуктора, 500.

$$M_3 = 65.4 \cdot 10^{-4} (\text{кг} \cdot \text{м}^2) \cdot 4.057 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}^2} \right) \cdot 500 + \frac{6925 (\text{Н} \cdot \text{м})}{500} = 25.06 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

$$M_2 < M_{н2};$$

$$25.06 \text{ Н} \cdot \text{м} < 28.6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Отже, підсистема «двигун-редуктор» здатна створювати момент, не менший за необхідний.

Проведемо розрахунок електроприводу 3 та 5 звена, що мають плоскопаралельний рух за аналогією до попереднього розрахунку. Першою «плечовою» ланкою буде ланка від третього електроприводу до п'ятого електроприводу, другою ланкою буде ланка від п'ятого електроприводу до робочого органу, всі інші ланки після п'ятого електроприводу приймаються жорстко нерухомими. Відстань від 5 ланки до центра вантажозахвату з вантажем приймаємо рівним половині довжини вантажу, тобто 25 см.

Параметри маніпуляційного механізму приведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3. Параметри маніпуляційного механізму для 3 та 5 вісей

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Параметр	Умовне позначення	Значення
Довжина «плечової» ланки маніпуляційного механізму, м	L_1	0.79
Відстань від осі повороту «ліктьової» ланки до центру мас робочого органу з об'єктом маніпулювання, м	L_2	0.25
Діапазон зміни переміщень «плечової» ланки маніпулятора, град	q_1	-180° до +70°
Діапазон зміни «ліктьової» ланки маніпулятора, град	q_2	-125° до +120°
Маса «плечової» ланки, кг	m_1	100
Маса «ліктьової» ланки, кг	m_2	50
Маса робочого органу, кг	m_c	70
Маса об'єкта маніпулювання, кг	m_o	60

Основні вимоги до виконавчої системи робота приведені в таблиці 1.4:

Таблиця 1.4. Основні вимоги до виконавчої системи

Параметр	Умовне позначення	значення
Допустима статична похибка робочого органу, мм	$\Delta X_{\text{доп.ст}}$	± 0.05
Допустима динамічна похибка робочого органу, мм	$\Delta X_{\text{доп.дин}}$	± 0.05
Максимальна швидкість робочого руху, м/с	$V_{\text{р.мах}}$	0.5
Максимальне прискорення робочого руху, м/с ²	$a_{\text{р.мах}}$	0.2
Максимальна швидкість робочого органу при перекиданні, м/с	$V_{\text{п.мах}}$	0.75
Час розгону до максимальної швидкості, с	$t_{\text{роз}}$	0.3
Перерегулювання при малій ступінчастій дії, %	$\sigma_{\text{доп}}$	0
Відносна тривалість “перекидання” у робочому циклі, %	$t_{\text{пер.відн}}$	0.3

Вибір двигуна та редуктора приводу п'ятої ланки.

Знайдемо максимальні значення кутової швидкості та кутового прискорення				Арк.
ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19				
Змін.	Арк.	№ об'єкту	Місце	Дата

$$\omega_{max} = \frac{V_{p.max}}{L_2} = \frac{0.5}{0.25} = 3 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right);$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{a_{p.max}}{L_2} = \frac{0.2}{0.25} = 0.8 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}^2} \right);$$

Статичний момент відносно вісі обертання 3-ої ланки визначається за формулою:

$$\begin{aligned} M_{5ст} &= 9.807 \cdot \left((m_0 + m_c) \cdot L_2 + m_2 \cdot \frac{L_2}{2} \right) = \\ &= 9.807 \cdot \left((60 + 70) \cdot 0.25 + 50 \cdot \frac{0.25}{2} \right) = 380.021 \text{ (Н} \cdot \text{м)}; \end{aligned}$$

Для розрахунку динамічного моменту, що діє на третю ланку, знаходимо еквівалентний момент інерції цієї ланки за формулою:

$$\begin{aligned} J_{5екв} &= \left((m_0 + m_c) \cdot L_2^2 + m_2 \cdot \frac{L_2^2}{4} \right) = \left((60 + 70) \cdot 0.25^2 + 50 \cdot \frac{0.25^2}{4} \right) = \\ &= 8.906 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2); \end{aligned}$$

Максимальне значення динамічного моменту (для режиму перекида) отримаємо за формулою:

$$M_{5дмакс} = J_{5екв} \cdot \varepsilon_{max} = 380.021 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \cdot 0.8 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}^2} \right) = 7.125 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

З метою забезпечення точної роботи приводів маніпулятора можуть бути вибрані хвильові або планетарні редуктори. Попередньо вибираємо хвильовий редуктор HDUR-32 компанії Harmonic drive gearing. За даними виробника ККД такого редуктора $\eta_2 = 0.85$. У цьому випадку максимальний сумарний момент сил $M_{3макс}$, який повинен розвивати привід другої ланки:

$$\begin{aligned} M_{5макс} &= \frac{1}{\eta_2} \cdot (M_{5дмакс} + M_{5ст}) = \frac{1}{0.85} \cdot (7.125 \text{ (Н} \cdot \text{м)} + 380.021 \text{ (Н} \cdot \text{м)}) = \\ &= 455.466 \text{ (Н} \cdot \text{м)}; \end{aligned}$$

Оцінка потужності двигуна другої ланки.

Максимальне значення потужності механічного руху третьої ланки:					Арк.
ЕТФ.КНУ.РБ.І41.24.305-19					37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
$P_{5макс} = M_{5макс} \cdot \omega_{max} = 455.466 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \cdot 3 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right) = 1366.399 \text{ (Вт)};$					

Обираємо серводвигун ЕСМА-K11320RS з наступними параметрами

Тип двигуна – синхронний

Напруга живлення - 400 В

Номінальна потужність двигуна - 2 кВт

Номінальна швидкість обертання - 2000 об/хв.

Номінальний крутний момент – 9.55 Нм;

Момент інерції мас $J_{д} – 5.86 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

Номінальний струм статора – 6.7 А;

Ступінь захисту - IP65

Вага – 7.8 кг.

Визначення необхідного передатного відношення та марки редуктора.

Оцінка значення передавального відношення редуктора приводу третьої ланки:

$$i_{зропт} = \sqrt{\frac{P_{5\text{макс}}}{J_{дв} \cdot \omega_{\text{max}} \cdot \varepsilon_{\text{max}}}};$$

де $J_{дв}$ – момент інерції обраного двигуна, $5.86 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

$$i_{зропт} = \sqrt{\frac{1366.399 \text{ (Вт)}}{5.86 \cdot 10^{-4} (\text{кг} \cdot \text{м}^2) \cdot 3 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}}\right) \cdot 0.8 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}\right)}} = 301.2.$$

Обираємо безлюфтовий циклоїдний редуктор HDUR-80-320 з наступними параметрами:

Передатне число – 310;

Вхідна потужність – 2 кВт;

Вихідний момент – 2360 Н·м;

Момент інерції $J_p – 0.23 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Вага – 22.2 кг.

Тепер перевіримо виконання необхідних умов правильності вибору двигуна та редуктора. Перевіряємо обраний двигун на момент.

ЕТФ КНУ РБ.141.24.303-19

					Арк.
					38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$M_5 = J_{дв} \cdot \varepsilon_{max} \cdot i_p + \frac{M_{5max}}{i_p};$$

де i_p – передатне число обраного редуктора, 150.

$$M_3 = 5.86 \cdot 10^{-4} (\text{кг} \cdot \text{м}^2) \cdot 0.8 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}^2} \right) \cdot 310 + \frac{455.466 (\text{Н} \cdot \text{м})}{310} = 1.615 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

$$M_5 < M_{н5};$$

$$1.615 \text{ Н} \cdot \text{м} < 9.55 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Отже, підсистема «двигун-редуктор» здатна створювати момент, не менший за необхідний.

Розрахунок електроприводу 4 та 6 ланки проводиться за аналогією до розрахунку приводу першої ланки.

Для четвертого обертового приводу розрахуємо момент двигуна через знаходження центру мас горизонтально повернутої частини маніпулятора, що йде після четвертого обертового приводу.

Для цього з каталогу виробника АВВ знайдемо габаритні дані всіх елементів, що розраховуються. Для спрощення розрахунку представимо всі елементи у вигляді тривимірних геометричних фігур з наступними габаритами:

Габарити другого суглоба циліндру – радіус 10 см, висота 25 см;

Габарити вантажозахвату з вантажем у формі паралелепіпеду - Довжина а – 50 см, висота h – 13.5 см, товщина b – 13.5 см.

Представимо механізм у системі координат та знайдемо центри мас для кожного елемента.

Центр мас другого суглоба циліндру С1 (10; 12.5; 12.5)

Центр мас вантажозахвату з вантажем паралелепіпеду С2 (266.5; 6.75; 6.75)

За формулою загальної точки центра мас знайдемо координати центра мас для механізму:

$$x_c = \frac{\sum V_i \cdot x_i}{\sum V_i};$$

$$y_c = \frac{\sum V_i \cdot y_i}{\sum V_i};$$

$$z_c = \frac{\sum V_i \cdot z_i}{\sum V_i};$$

						Арк.
					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Де x_i, y_i, z_i відповідні значення координат центра мас кожного елемента;

V_i – об'єм кожного елемента.

Розрахуємо об'єми для кожного елемента:

Для другого суглоба:

$$V_4 = \pi \cdot R^2 \cdot h = 3.14 \cdot 10 \cdot 25 = 7854 \text{ (см}^2\text{)};$$

Для вантажозахвату:

$$V_5 = a \cdot b \cdot h = 50 \cdot 13.5 \cdot 13.5 = 9113 \text{ (см}^2\text{)};$$

Розрахуємо координати центра мас:

$$x_c = \frac{(V_4 \cdot C_{4x}) + (V_5 \cdot C_{5x})}{V_4 + V_5} = \frac{(7854 \cdot 10) + (9113 \cdot 45)}{27650 + 7854 + 9113} = 28.798 \text{ (см)} = 0.28 \text{ (м)};$$

$$y_c = \frac{(V_4 \cdot C_{4y}) + (V_5 \cdot C_{5y})}{V_4 + V_5} = \frac{(7854 \cdot 12.5) + (9113 \cdot 6.75)}{7854 + 9113} = 9.412 \text{ (см)} = 0.094 \text{ (м)};$$

$$z_c = \frac{(V_4 \cdot C_{4z}) + (V_5 \cdot C_{5z})}{V_4 + V_5} = \frac{(7854 \cdot 12.5) + (9113 \cdot 6.75)}{7854 + 9113} = 9.412 \text{ (см)} = 0.094 \text{ (м)}.$$

Знаючи координати центра мас механізму знайдемо момент інерції:

$$J_c = \frac{1}{3} \cdot m \cdot l^2;$$

Де m – маса механізму з максимальним навантаженням – 200 кг,

L – довжина до центра мас, 0.28 м;

Тоді момент інерції:

$$J_H = \frac{1}{3} \cdot 200 \cdot 0.28^2 = 5.529 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)};$$

За формулою динамічного моменту для номінального кутового прискорення $\epsilon_{\text{ном}}$, що за довідкою складає максимум 100 рад/с², розрахуємо момент двигуна:

$$M_{\text{двиг}} = J_H \cdot \epsilon_{\text{ном}} = 5.529 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)} \cdot 100 = 552.89 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Знаючи динамічний момент, знайдемо значення дозвільної частоти приводу обертового ступеня рухомості.

					Арк.
					40
ЗМН.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$P = M_{\text{дин}} \cdot \frac{\omega}{\eta};$$

де ω - кутова швидкість обертового ступеня рухомості маніпулятора, що дорівнює 360 град/с або 6.28 рад/с;

η - ККД передач, що пов'язують двигун з виконавчою ланкою, для хвильового редуктора $\eta = 0.85$;

Тоді значення потужності приводу першої ланки:

$$P = 552.89 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \cdot \frac{6.28}{0.85} = 4.085 \text{ (кВт)};$$

Обираємо серводвигун SZGH-18450CC-T з параметрами:

Тип двигуна - синхронний

Напруга живлення - 380 В

Номинальна потужність двигуна – 4.5Вт

Номинальна швидкість обертання - 2000 об/хв.

Максимальна швидкість обертання - 3000 об/хв.

Номинальний крутний момент – 21.5 Нм;

Максимальний крутний момент – 53 Нм;

Момент інерції мас $J_d - 4.7 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

Номинальний струм статора – 9.5 А;

Ступінь захисту - IP65

Вага – 22.2 кг.

Передаточне число $i_{\text{опт}}$ розрахуємо за формулою:

$$i_{\text{опт}} = \frac{n_{\text{дном}}}{n_{\text{м}}};$$

Де $n_{\text{дном}}$ – номінальна швидкість обертання двигуна, 2000 об/хв;

$n_{\text{дмакс}}$ – необхідна кількість обертів вихідного вала редуктора, об/хв.

Знаючи значення кутової швидкості обертового ступеня рухомості маніпулятора $\omega = 3.491 \text{ рад/с}$ знайдемо необхідне значення кількості обертів:

$$n_{\text{м}} = \frac{\omega}{0.1047} = \frac{6.28}{0.1047} = 59.981 \left(\frac{\text{Об}}{\text{хв}} \right);$$

Тоді значення оптимального передатного числа буде дорівнювати					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	41

$$i_{\text{опт}} = \frac{2000 \left(\frac{\text{Об}}{\text{ХВ}}\right)}{59.981 \left(\frac{\text{Об}}{\text{ХВ}}\right)} = 33.344;$$

Обираємо безлюфтовий циклоїдний редуктор Nabtesco RV-80N з наступними параметрами:

Передатне число – 41;

Вхідна потужність – 4.6 кВт;

Вихідний момент – 517 Н·м;

Момент інерції J_p – $1.16 \cdot 10^{-4}$ кг·м².

Вага – 9.3 кг.

Після вибору редуктора та двигуна перевіримо, чи підходить обраний двигун з моментами інерції навантаження, двигуна та редуктора.

Знаходимо сумарний момент інерції:

$$\begin{aligned} J_{\text{сум}} &= J_{\text{н}} + J_{\text{д}} + J_{\text{р}} = \\ &= 5.529 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) + 4.7 \cdot 10^{-3} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) + 1.16 \cdot 10^{-4} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \\ &= 5.534 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2); \end{aligned}$$

Перерахуємо значення моменту системи та потужності двигуна:

$$M_{\text{дин}} = J_{\text{сум}} \cdot \varepsilon_{\text{ном}} = 5.534 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \cdot 100 = 553.368 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

$$P = 553.368 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \cdot \frac{6.28}{0.85} = 4.09 \text{ (кВт)}.$$

Отже обраний нами двигун підходить.

Проведемо розрахунок шостої ланки маніпулятора. Для цього уявимо, що робочий орган тримає об'єкт маніпулювання, довжина і вага якого 50 сантиметрів та 60 кг. Робочий орган тримає об'єкт максимально з одного його кінця, так що об'єкт знаходиться перпендикулярно до осі обертання шостої ланки. Знайдемо центр мас об'єкта. Об'єкт приймемо за паралелепіпедну балку з габаритами: довжина – 500 мм, висота – 135 мм, товщина – 135 мм.

Тоді координати центра мас об'єкта можна знайти як центр мас

паралелепіпеда. Сб (25; 6.75; 6.75).

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19

Арк.

42

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Знаючи координати центра масс механізму знайдемо момент інерції:

$$J_c = \frac{1}{3} \cdot m \cdot l^2;$$

Де m – маса механізму з максимальним навантаженням – 60 кг,

L – довжина до центра масс, 0.25 м;

Тоді момент інерції:

$$J_H = \frac{1}{3} \cdot 60 \cdot 0.25^2 = 1.25 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)};$$

За формулою динамічного моменту для номінального кутового прискорення $\epsilon_{\text{ном}}$, що за довідкою складає максимум 150 рад/с², розрахуємо момент двигуна:

$$M_{\text{дин}} = J_H \cdot \epsilon_{\text{ном}} = 1.25 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)} \cdot 150 = 187.5 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Знаючи динамічний момент, знайдемо значення потужності привода обертового ступеня рухомості:

$$P = M_{\text{дин}} \cdot \frac{\omega}{\eta};$$

де ω - кутова швидкість обертового ступеня рухомості маніпулятора, що дорівнює 500 град/с або 8.73 рад/с;

η - ККД передач, що пов'язують двигун з виконавчою ланкою, для хвильового редуктора $\eta = 0.85$;

Тоді значення потужності приводу першої ланки:

$$P = 187.5 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \cdot \frac{8.73}{0.85} = 1.926 \text{ (кВт)};$$

Обираємо серводвигун SZGH-13230AC з параметрами:

Тип двигуна - синхронний

Напруга живлення - 220 В

Номінальна потужність двигуна – 2.3 кВт

Номінальна швидкість обертання – 1500 об/хв.

Максимальна швидкість обертання - 3000 об/хв.

Номінальний крутний момент – 15 Нм;

Максимальний крутний момент – 30 Нм,

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Момент інерції мас $J_d = 2.77 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

Номинальний струм статора – 6 А;

Ступінь захисту - IP65

Вага – 12.6 кг.

Передаточне число $i_{\text{опт}}$ розрахуємо за формулою:

$$i_{\text{опт}} = \frac{n_{\text{дном}}}{n_{\text{м}}};$$

Де $n_{\text{дном}}$ – номінальна швидкість обертання двигуна, 1500 об/хв;

$n_{\text{дмакс}}$ – необхідна кількість обертів вихідного вала редуктора, об/хв.

Знаючи значення кутової швидкості обертального ступеня рухомості маніпулятора $\omega = 3.491 \text{ рад/с}$ знайдемо необхідне значення кількості обертів:

$$n_{\text{м}} = \frac{\omega}{0.1047} = \frac{8.73}{0.1047} = 83.381 \left(\frac{\text{Об}}{\text{ХВ}} \right);$$

Тоді значення оптимального передатного числа буде дорівнювати:

$$i_{\text{опт}} = \frac{1500 \left(\frac{\text{Об}}{\text{ХВ}} \right)}{83.381 \left(\frac{\text{Об}}{\text{ХВ}} \right)} = 17.99;$$

Обираємо безлюфтовий циклоїдний редуктор Nabtesco RV-40E з наступними параметрами:

Передатне число – 57;

Вхідна потужність – 2.27 кВт;

Вихідний момент – 271 Н·м;

Момент інерції $J_p = 9.66 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Вага – 4.7 кг.

Після вибору редуктора та двигуна перевіримо, чи підходить обраний двигун з моментами інерції навантаження, двигуна та редуктора.

Знаходимо сумарний момент інерції:

$$\begin{aligned} J_{\text{сум}} &= J_n + J_d + J_p = 1.25 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) + 2.74 \cdot 10^{-3} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) + 9.66 \cdot 10^{-6} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) = \\ &= 1.253 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2); \end{aligned}$$

Перерахуємо значення моменту системи та потужності двигуна:

$$M_{\text{диг}} = J_{\text{сум}} \cdot \varepsilon_{\text{дном}} = 1.253 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \cdot 150 = 187.912 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P = 187.912 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \cdot \frac{8.73}{0.85} = 1.929 \text{ (кВт)}.$$

Отже обраний нами двигун підходить.

1.4. Розрахунок перетворювача, вибір елементів силової частини та елементів захисту

Вибір транзисторного перетворювача.

Вибір проводимо для серводвигуна першої ланки SZGH-18750CC.

Для вибору транзисторного перетворювача треба дотримуватися наступних умов:

$$I_{\text{тп}} \geq I_{\text{н.дв}}$$

$$U_{\text{тп}} \geq U_{\text{н.дв}}$$

$$P_{\text{тп}} \geq P_{\text{н.дв}}$$

За цими критеріями обираємо транзисторний ШІМ перетворювач частоти SINAMICS G120 з потужністю 7.5 кВт, вихідною напругою 400 В та вихідним струмом 20 А.

Вибір датчику струму.

Обираємо датчик струму LEM LA 55-P з діапазоном вимірювання струму 50 А.

Таблиця 1.5. Номінальні дані датчику струму LEM LA 55-P

Номінальний первинний струм, А	50
Діапазон первинного струму, А	0...±70
Номінальний вихідний струм, мА	50
Частотний діапазон, кГц	0...200
Діапазон робочих температур, °С	-40...85
Точність вимірювання, %	±0.65

Вибір датчику швидкості.

Так як номінальна швидкість обертання двигуна SZGH-18750CC становить 1500 об/хв то, як датчик швидкості обираємо тахогенератор постійного струму К10А6 АТАS.

Таблиця 1.6. Номінальні дані датчику швидкості К10А6 АТАS

						ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			45

Напруга на 1000 об/хв, В	80
Діапазон швидкості обертання, об/хв	0...6000
Номинальний струм, мА	20
Номинальний опір навантаження, кОм	24
Діапазон робочих температур, °С	-50...50
Відхилення лінійності, %	1
Момент інерції, кг·м ²	1.1·10 ⁻⁴

Вибір датчику положення.

Так як номінальне вимірювання енкодера становить 2500 імп/хв, то як датчик положення обираємо енкодер ARS S 50.

Таблиця 1.7. Номінальні дані датчику положення ARS S 50

Вихідний струм, мА	100
Діапазон первинного струму, А	0...±70
Діапазон дозволу, імп	4...5000
Частота, кГц	300
Діапазон робочих температур, °С	-20...85
Точність вимірювання, %	±0.65

1.5. Розрахунок параметрів схеми заміщення приводу маніпулятора, розрахунок механічних і енергетичних характеристик.

Складемо схему заміщення однієї фази серводвигуна третьої ланки SZGH-18750CC та Транзисторного перетворювача частоти SINAMICS G120. Приймаємо те, що обмотки статора серводвигуна з'єднані в зірку.

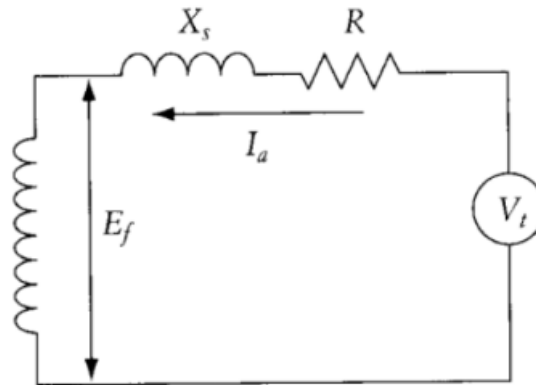


Рис.1.11. Спрощена схема заміщення синхронного двигуна сервоприводу

Розрахуємо коефіцієнт підсилення транзисторного перетворювача:

$$k_{\text{ТП}} = \frac{U_{\text{ВИХ}}}{U_{\text{ВХ}}},$$

де $U_{\text{ВХ}}$ – напруга керування на вході, приймаємо 10 В;

$U_{\text{ВИХ}}$ – напруга на виході перетворювача, 400 В.

$$k_{\text{ТП}} = \frac{400 \cdot \sqrt{2}}{10 \text{ В}} = 56.569;$$

Стала часу перетворювача приймається 0.034 с.

Знайдемо значення індуктивного опору статора

$$X_{Lc} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_c = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 2.14 \cdot 10^{-3} = 0.672 \text{ (Ом)};$$

Знайдемо значення повного опору статора:

$$Z_c = \sqrt{R_c^2 + L_c^2} = \sqrt{0.273^2 + 0.672^2} = 0.726 \text{ (Ом)}.$$

Знайдемо сумарний момент інерції системи:

$$\begin{aligned} J &= J_{\text{дв}} + J_{\text{ред}} = 9.5 \cdot 10^{-3} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) + 0.405 \cdot 10^{-4} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) = \\ &= 9.54 \cdot 10^{-3} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \end{aligned}$$

Розрахуємо номінальний та максимальний моменти двигуна.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$M_H = \frac{P_H \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n_H} = 47.746 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

$$M_{\text{макс}} = M_H \cdot \lambda_M = 47.746 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \cdot 2 = 95.493 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

Розрахунок статичних характеристик системи ТПЧ-СД

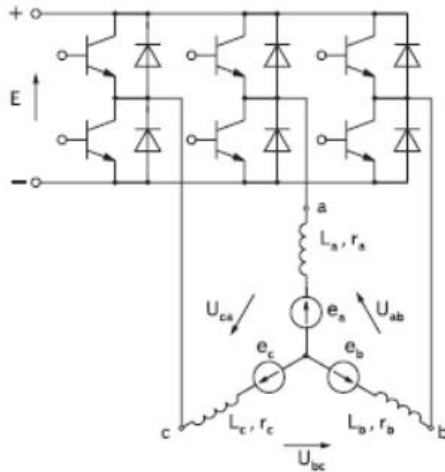


Рис.1.12. Схема з'єднання системи ТПЧ-СД

При підключенні синхронного двигуна до тиристорного перетворювача напруги з'являється можливість керувати частотою, але синхронний двигун зберігає свою здатність підтримувати частоту обертання при зростанні моменту

до критичного значення, після чого відбувається випад з синхронізму та зменшення швидкості обертання.

За допомогою зміни частоти можливо керувати синхронною швидкістю синхронного двигуна, що видно з формули:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p};$$

Механічна характеристика синхронного двигуна буде у вигляді залежності:

$$n = f(M)$$

Побудуємо механічні характеристики для різних значень регульованої швидкості обертання, при значеннях частоти $f_1 = 30$ Гц, $f_2 = 50$ Гц, $f_3 = 75$ Гц, $f_4 = 100$ Гц.

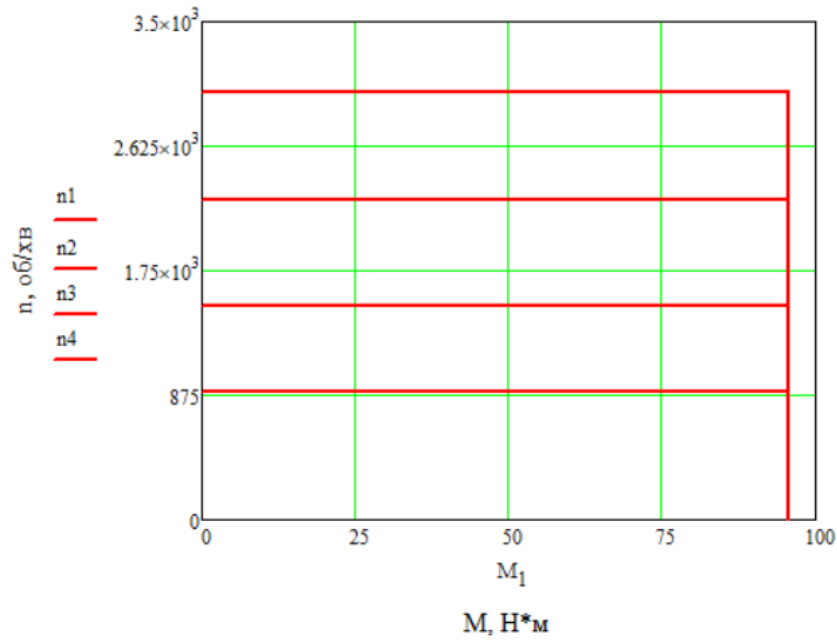


Рис.1.13. Механічні характеристики системи ТПЧ-СД

Кутова характеристика синхронного двигуна буде у вигляді залежності:

$$M = f(\theta);$$

Де θ це кут між вісями полюсів ротора і полем статора.

Крутний момент виражається через залежність:

$$M = M_{\text{макс}} \sin \theta ;$$

де $M_{\text{макс}}$ – максимальний момент двигуна.

Тоді кутова характеристика синхронного двигуна буде мати вид:

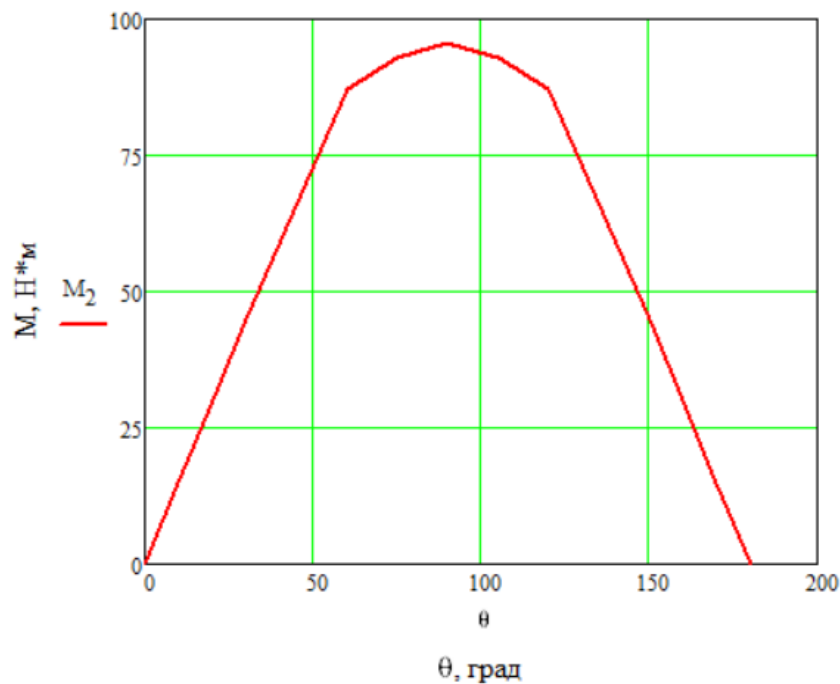


Рис.1.14. Кутова характеристика СД

При 90 градусах момент двигуна є максимальним.

Розрахунок коефіцієнта корисної дії

Коефіцієнт корисної дії ЕП знаходиться за формулою:

$$\eta = \frac{M_c \cdot \omega}{M_c \cdot \omega + \Delta P_{\Sigma}}$$

де, M_c – статичний момент;

ΔP_{Σ} – загальні втрати потужності у системі ЕП, які визначаються:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{пост}} + \Delta P_{\text{зм}},$$

Постійні втрати потужності визначаються:

$$\Delta P_{\text{пост}} = k_{\text{мех}} \cdot P_{\text{н}} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{н}}}\right)^2 = 0.005 \cdot 7.5(\text{кВт}) \cdot \left(\frac{314.159}{157.08}\right)^2 = 150 \text{ (Вт)},$$

Де $k_{\text{мех}}$ – коефіцієнт механічних втрат, $k_{\text{мех}} = 0.005$.

Змінні втрати потужності визначаються:

$$\Delta P_{\text{зм}} = I_{\text{дв}}^2 \cdot R_e = 20^2 \cdot 0.273 = 109.2 \text{ (Вт)}.$$

$$\Delta P_{\Sigma} = 150 \text{ (Вт)} + 109.2 \text{ (Вт)} = 259.2 \text{ (Вт)}$$

Побудову характеристики $\eta = f(\omega)$ проводимо для декількох значень статичного моменту двигуна ($M_c = 0.4; 0.6; 0.8; M_{\text{н}}$).

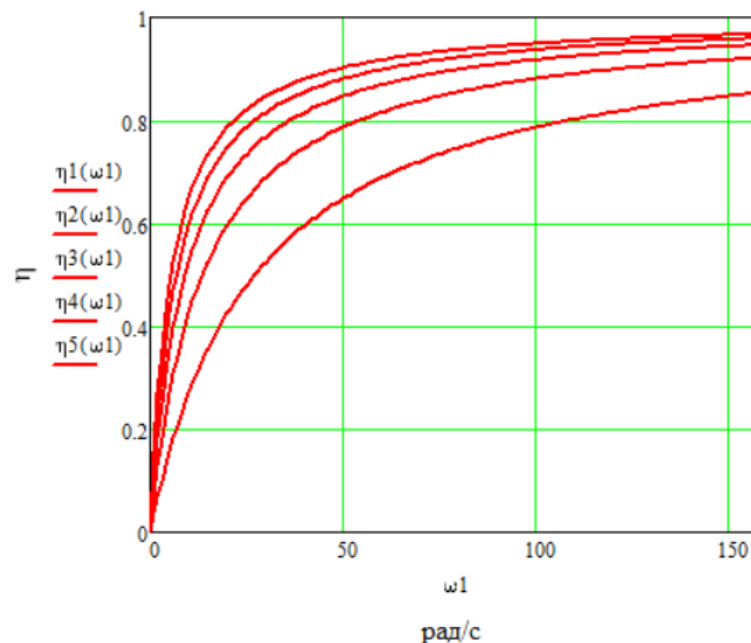


Рис.1.15. Залежність η від статичного моменту двигуна при різних величинах ($M_c = 0.4; 0.6; 0.8; M_{\text{н}}$). Графіки йдуть знизу вгору відповідно величині M_c

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Розрахунок коефіцієнта потужності.

Розрахунок коефіцієнту потужності виконується:

$$\cos \varphi = \frac{\frac{M_c \cdot \omega}{\eta}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_H}$$

Значення К.К.Д використовується із попереднього розрахунку для відповідних значень моменту і швидкості двигуна.

Побудову виконуємо аналогічно побудові енергетичних характеристик.

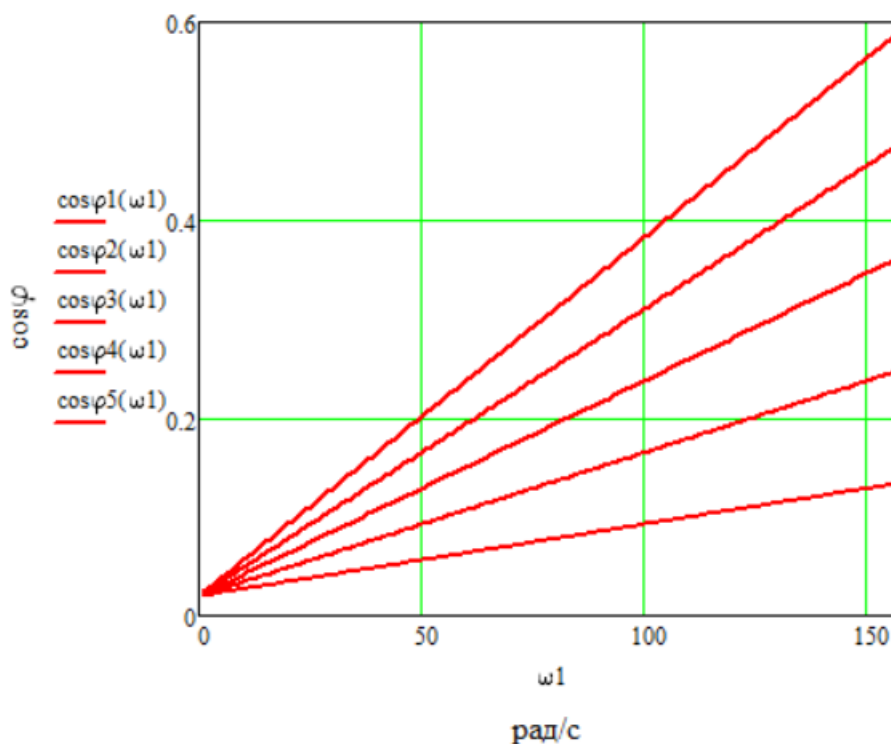


Рис.1.16. Залежність $\cos \varphi$ від статичного моменту двигуна при різних величинах ($M_c = 0.4; 0.6; 0.8; M_H$). Графіки йдуть знизу вгору відповідно величині M_c

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

РОЗДІЛ 2

Обґрунтування і розробка системи керування електроприводом

2.1. Обґрунтування і вибір структури системи керування електроприводом

Розглянемо декілька систем керування приводом серводвигунів.

1. **Пропорційно-інтегрально-диференціальне (PID) керування** - це один з методів автоматичного управління, що найбільш широко використовуються, застосовується в різних галузях для забезпечення стабільності і точності регулювання систем. PID-регулятор поєднує три типи контролю: пропорційний (P), інтегральний (I) та диференціальний (D).

Переваги PID-керування:

Простота та надійність: PID-регулятори легко реалізуються та надійні в експлуатації.

Універсальність: Застосовні широкому спектру керованих об'єктів.

Точність: здатні забезпечувати високу точність регулювання.

Недоліки PID-керування:

Складність налаштування: Точне налаштування параметрів PID може бути складним і потребує досвіду.

Чутливість до шуму: Диференційна складова може посилити шуми, що потребує додаткової фільтрації.

2. **Векторне керування (Field-Oriented Control, FOC)** — це метод керування змінними струмами в синхронних та асинхронних електричних двигунах для досягнення високої продуктивності та ефективності. Цей метод дозволяє відокремити управління моментом двигуна та магнітним потоком, що забезпечує точне та швидке регулювання.

Переваги векторного керування:

Висока ефективність: FOC забезпечує оптимальне управління моментом та магнітним потоком, що знижує втрати енергії.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Розділ 2	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розробив</i>		Палієнко Я.В.						
<i>Перевірів</i>		Сьомочкин А.Б.					52	
<i>Реценз.</i>						КНУ ЕЕМ-20		
<i>Н. Контр.</i>		Сьомочкин А.Б.						
<i>Затвердив</i>		Пересунько І.І.						

Точність: Можливість незалежного керування осьовими компонентами (D і Q) дозволяє досягти високої точності регулювання.

Швидка динаміка: Швидкий відгук на зміни команд та зовнішніх умов, що є важливим для завдань з високою динамікою.

Плавне керування: Плавний запуск та зупинка двигунів.

Недоліки векторного керування:

Складність реалізації: Вимагає складних алгоритмів та потужних мікроконтролерів або DSP для виконання у реальному часі.

3. Слідкуючий електропривод (або привод, що стежить) — це система електроприводу, призначена для точного стеження за заданим положенням або швидкістю, забезпечуючи високу точність і швидкість реакції на зміни вхідного сигналу. Назва "пристрій, що стежить" походить від його основної функції - стежити за заданим параметром і підтримувати його в необхідному діапазоні.

Слідкуючі електроприводи або системи керування положенням являють собою замкнуті електроприводи, що управляють переміщенням та забезпечення стабілізації положення об'єкта регулювання щодо деякої базової системи координат.

При цьому регульована величина (положення об'єкта) з тією чи іншою ступенем точності має відповідати прикладеному до системи керуючому впливу. Слідкуючі електроприводи можуть забезпечувати як лінійне, так і кутове переміщення регульованого об'єкта. Наприклад, це може бути система наведення сонячної батареї, телескопа та ін. або система керування подачею різця у верстаті з програмним керуванням.

Функціональна схема приводу представлено на рис. 2.1, де зазначено: РП – регулятор положення; РС – регулятор швидкості; РТ – регулятор струму; Д – двигун; ОР – об'єкт регулювання; ДП, ДС, ДІ – датчики відповідно положення, швидкості та струму.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Таке завдання ставиться, наприклад, перед промисловими приводами маніпуляторів. У багатьох випадках у режимі позиціонування висуваються жорсткі вимоги до точності підтримання робочого органу у заданому положенні за наявності зовнішніх збурень.

У режимі стеження привід повинен забезпечити переміщення робочого органу відповідно до керуючого впливу, таким, що змінюється за довільним законом, при помилці, не перевищує задане значення.

У загальному випадку якість електроприводу оцінюється за точності позиціонування, точності стеження, запасу стійкості та завадостійкості.

Слідкуючий привід підходить для керування маніпулятором через такі переваги:

Висока точність позиціонування: Серводвигуни забезпечують високу точність позиціонування завдяки зворотному зв'язку про положення, що робить їх ідеальним вибором для маніпуляторів, які потребують точного керування.

Висока динаміка: Серводвигуни мають високу динаміку роботи, що дозволяє маніпулятору швидко переміщатися і виконувати завдання з високою швидкістю.

Гнучкість та керованість: Серводвигуни забезпечують гнучкість в керуванні швидкістю та моментом, що дозволяє легко адаптувати роботу маніпулятора під різні завдання та умови.

Простота управління: Управління серводвигунами зазвичай простіше, ніж керування іншими типами приводів, такими як крокові двигуни, особливо під час використання спеціалізованих контролерів.

Надійність: Серводвигуни зазвичай мають тривалий термін служби та високу надійність, що є важливим для промислових додатків, де маніпулятори використовуються протягом тривалого часу.

Отже ми вибираємо систему слідкуючого приводу для маніпулятора.

						ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			55

2.2. Розрахунок параметрів елементів системи керування електроприводом

Розглянемо три контури регуляторів для слідкуючої системи електроприводу та розрадуємо їх параметри.

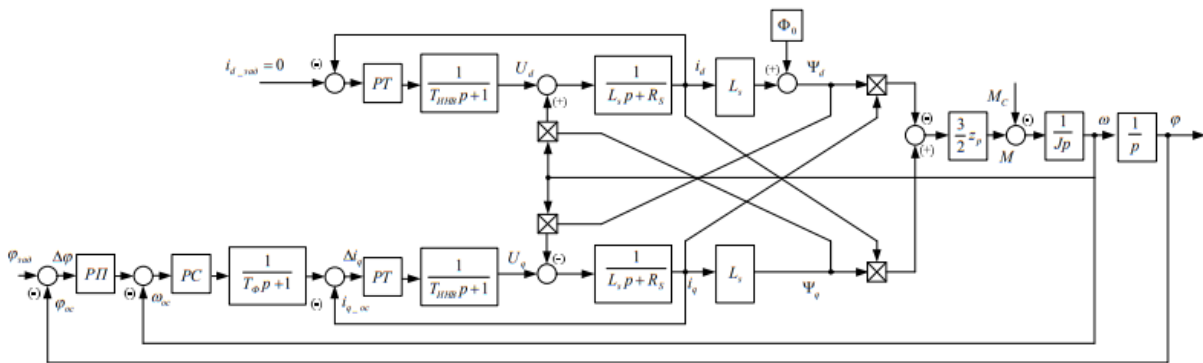


Рис.2.2. Лінеарізована структурна схема слідкуючого електроприводу.

Діапазон регулювання приймаємо $D = 8$.

1. Синтез регулятора струму.

1.1. Синтез регулятора струму по осі d.

										ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							56

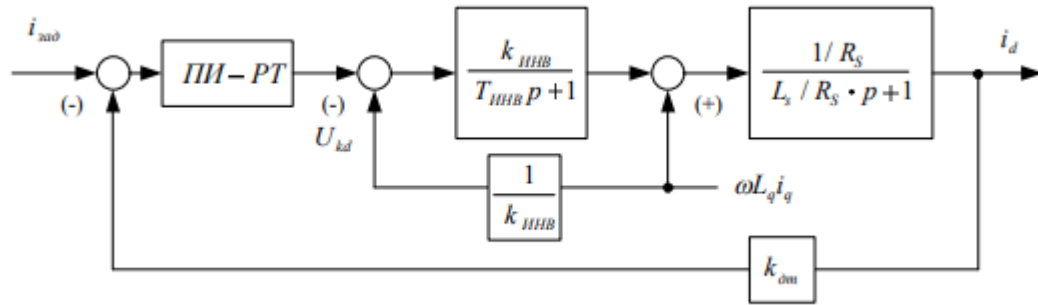


Рис.2.3. Структурна схема контуру струму по осі d.

Перерегулювання становить $\sigma = 4.32\%$, частота мережі $f_m = 50$ Гц.

Сигнал перехресного зв'язку, що підлягає компенсації, має вигляд:

$$U_{kd} = -\frac{1}{k_{\Pi}} \cdot \omega \cdot L_q \cdot i_q$$

Розрахуємо передатню функцію транзисторного перетворювача, яка представлена аперіодичною:

$$W_{\text{ТПЧ}} = \frac{k_{\Pi}}{T_{\Pi} \cdot p + 1};$$

Де k_{Π} – статичний коефіцієнт ТПЧ:

$$k_{\Pi} = \frac{U_d}{U_K};$$

Де U_d – перетворена напруга на виході перетворювача;

U_K – напруга керування, 10 В.

$$k_{\Pi} = \frac{U_d}{U_K} = \frac{400 \text{ В} \cdot \sqrt{2}}{10 \text{ В}} = 56.569;$$

T_{Π} – еквівалентна постійна часу перетворювача:

$$T_{\Pi} = T_{\text{СУ}} + T_{\text{ФСУ}} + r_c,$$

Де $T_{\text{СП}}$ – постійна часу сумуючого підсилювача;

$T_{\text{ФСП}}$ – постійна часу фазозсувуючого приладу;

r_c – середньостатистична затримка.

Перші дві величини приймаються малими і не враховуються, тобто:

$$T_{\Pi} = r_c$$

де r_c можна знайти за формулою:

$$r_c = \frac{1}{f_{\text{CP}}},$$

де f_{CP} - середня частота діапазону регулювання.

Так як $D=8$, то $\omega_{\text{min}}=8$ Гц, із цього знайдемо f_c :

$$f_{\text{ср}} = \frac{\omega_{\text{мін}} + f_{\text{м}}}{2} = \frac{8 + 50 \text{ (Гц)}}{2} = 29 \text{ (Гц)};$$

$$T_{\text{п}} = r_{\text{с}} = \frac{1}{29 \text{ (Гц)}} = 0.034 \text{ (с)};$$

Тоді передатня функція ТПЧ:

$$W_{\text{ТПЧ}} = \frac{56.569}{0.034 \cdot p + 1};$$

Знайдемо постійну часу статорного кола по осі d ($L_d = L_s$)

$$T_d = \frac{L_s}{R_s} = \frac{2.14 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн)}}{0.273 \text{ (Ом)}} = 0.008 \text{ (с)};$$

Вважаючи вплив перехресного зв'язку повністю компенсованим, виконаємо налаштування контуру на модульний оптимум з малою некомпенсованою постійною часу $T_{\text{кс}} = T_{\text{п}}$. Для цього приймаємо ПІ-регулятор струму з передавальною функцією виду:

$$W_{\text{РС}}(p) = \frac{R_s \cdot (T_d \cdot p + 1)}{2 \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{дс}} \cdot T_{\text{п}}} = \frac{L_s}{2 \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{дс}} \cdot T_{\text{п}}} + \frac{R_s}{2 \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{дс}} \cdot T_{\text{п}}} \cdot \frac{1}{p}$$

де $k_{\text{дс}}$ – коефіцієнт підсилення датчика струму.

$$k_{\text{дс}} = \frac{U_A}{I_{\text{max}}},$$

де U_A напруга керування, 10 В;

I_{max} – максимальний струм датчику:

$$I_{\text{max}} = 50 \text{ (А)};$$

$$k_{\text{дс}} = \frac{10 \text{ (В)}}{50 \text{ (А)}} = 0.2.$$

Тоді передавальна функція регулятора буде мати вигляд:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{pc}(p) = \frac{2.14 \cdot 10^{-3} (\text{Гн})}{2 \cdot 56.569 \cdot 0.2 \cdot 0.034 (\text{с})} + \frac{0.273 (\text{Ом})}{2 \cdot 56.569 \cdot 0.2 \cdot 0.034 (\text{с})} \cdot \frac{1}{p} =$$

$$= 2.782 \cdot 10^{-3} + \frac{0.355}{p}$$

Передаточна функція замкнутого контуру струму з цим регулятором має вигляд:

$$W_{kc}(p) = \frac{1}{k_{дс}} = \frac{5}{2 \cdot T_{п}^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T_{п} \cdot p + 1} = \frac{5}{2.378 \cdot 10^{-3} \cdot p^2 + 0.069 \cdot p + 1},$$

1.2. Синтез регулятора струму по осі d.

Синтез регулятора струму по осі q виконується аналогічно з урахуванням наступних умов:

$$(L_q = L_s)$$

$$T_d = \frac{L_s}{R_s} = \frac{2.14 \cdot 10^{-3} (\text{Гн})}{0.273 (\text{Ом})} = 0.008 (\text{с});$$

$$W_{pc}(p) = \frac{R_s \cdot (T_d \cdot p + 1)}{2 \cdot k_{п} \cdot k_{дс} \cdot T_{п}} = \frac{L_s}{2 \cdot k_{п} \cdot k_{дс} \cdot T_{п}} + \frac{R_s}{2 \cdot k_{п} \cdot k_{дс} \cdot T_{п}} \cdot \frac{1}{p} =$$

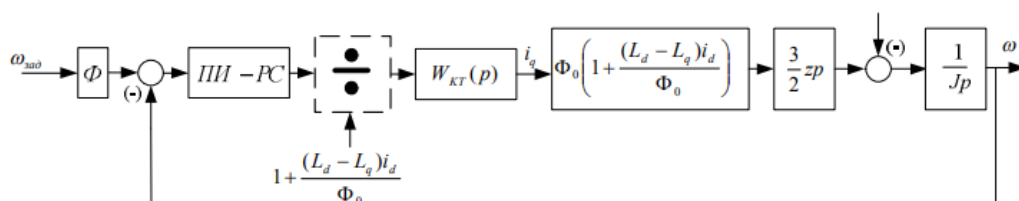
$$= \frac{2.14 \cdot 10^{-3} (\text{Гн})}{2 \cdot 56.569 \cdot 0.2 \cdot 0.034 (\text{с})} + \frac{0.273 (\text{Ом})}{2 \cdot 56.569 \cdot 0.2 \cdot 0.034 (\text{с})} \cdot \frac{1}{p} =$$

$$= 2.782 \cdot 10^{-3} + \frac{0.355}{p}.$$

Сигнал перехресного зв'язку, що підлягає компенсації, має вигляд:

$$U_{kd} = \omega(L_d \cdot i_d + \Phi_0).$$

1.3. Синтез регулятора швидкості



						ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			58

Рис.2.4. Структурна схема контуру швидкості

Тут для неявнополюсної машини $L_d = L_q = L_s$.

Контур швидкості налаштовується на симетричний оптимум ($T_{кш} = 2 \cdot T_{кc}$):

$$W_{рш}(p) = \frac{k_{дс} \cdot J}{3 \cdot T_{кc} \cdot \Phi_0 \cdot z_p \cdot k_{дш}} + \frac{k_{дс} \cdot J}{12 \cdot T_{кc}^2 \cdot \Phi_0 \cdot z_p \cdot k_{дш}} \cdot \frac{1}{p};$$

Де J – момент інерції системи:

$$J = J_{дв} + J_{ред} = 9.5 \cdot 10^{-3} (\text{кг} \cdot \text{м}^2) + 0.40510^{-4} (\text{кг} \cdot \text{м}^2) = 9.54 \cdot 10^{-3} (\text{кг} \cdot \text{м}^2);$$

$$T_{кш} = 2 \cdot T_{кc} = 2 \cdot 0.034 = 0.068 (\text{с});$$

$k_{дш}$ – коефіцієнт підсилення датчика швидкості, тобто в нашому випадку тахогенератора:

$$k_{дш} = \frac{U_A}{\omega_{нтг}} = \frac{10 (\text{В}) \cdot 30}{\pi \cdot n_{нтг}} = \frac{10 (\text{В}) \cdot 30}{\pi \cdot 1500 \left(\frac{\text{Об}}{\text{ХВ}}\right)} = 0.064 \left(\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}\right);$$

z_p – число пар полюсів двигуна:

$$z_p = \frac{60 \cdot f_M}{n_{нд}} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2.$$

Φ_0 – магнітний потік створюваний статором:

$$\Phi_0 = B \cdot S,$$

Де B – магнітна індукція постійних магнітів ротора

Приймаємо що магніти зроблені з неодимово-залізоборводневих матеріалів, магнітна індукція яких має діапазон від 1 до 1.4 Тл.

Обираємо значення магнітної індукції 1.3 Тл.

S – площа поперечного перерізу статора.

Так як для серводвигуна SZGH-18750CC площа поперечного перерізу має круглу форму, то:

$$S = \pi \cdot r^2,$$

де r – радіус статору, 0.116 м.

$$S = \pi \cdot 0.116^2 = 0.042 (\text{м}^2)$$

Тоді потік буде мати значення:

$$\Phi_0 = 1.3 (\text{Тл}) \cdot 0.042 (\text{м}^2) = 0.059 (\text{Вб}) = 59 (\text{мВб}).$$

Тоді передаточна функція контуру швидкості:					Арк.
ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	59
$W_{рш}(p) = \frac{k_{дс} \cdot J}{3 \cdot T_{кc} \cdot \Phi_0 \cdot z_p \cdot k_{дш}} + \frac{k_{дс} \cdot J}{12 \cdot T_{кc}^2 \cdot \Phi_0 \cdot z_p \cdot k_{дш}} \cdot \frac{1}{p};$					

$$W_{\text{рш}}(p) = \frac{0.2 \cdot 9.54 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 0.068 (c) \cdot 0.059 (B6) \cdot 2 \cdot 0.064 \left(\frac{B \cdot c}{\text{рад}}\right)} + \frac{0.2 \cdot 9.54 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 0.068^2 (c) \cdot 0.059 (B6) \cdot 2 \cdot 0.064 \left(\frac{B \cdot c}{\text{рад}}\right)} \cdot \frac{1}{p} = 0.084 + \frac{4.563}{p};$$

1.4. Синтез регулятора положения.

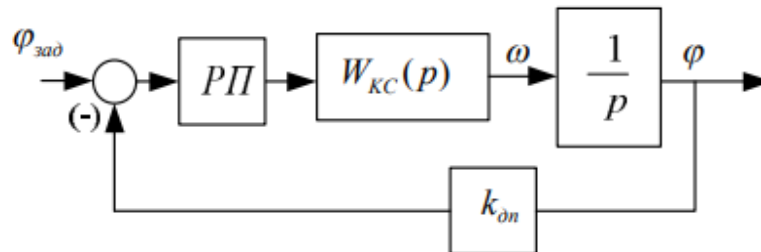


Рис.2.5. Структурна схема контуру положення

Контур положення реалізується на основі замкнутого контуру швидкості та може бути оптимізований за МО або СО. В данній роботі ми будемо оптимізувати регулятор положення за модульним оптимумом.

Для оптимізації контуру положення необхідно визначити його еквівалентну малу постійну часу $T_{\mu\Pi}$ з урахуванням еквівалентної постійної часу внутрішнього замкнутого оптимізованого контуру швидкості M_C . У загальному випадку приймається:

$$T_{\mu\Pi} = T_C + \Sigma T_{\mu\Pi i}$$

де $T_C = 2T_{\mu C}$ при оптимізації контуру швидкості по МО та $T_C = 4T_{\mu C}$.

$\Sigma T_{\mu\Pi i}$ - сума власних малих постійних часу в контурі положення, с.

$\Sigma T_{\mu\Pi i} = T_{\Pi} + T_d + T_{кС} + T_{кш} = 0.034 + 0.008 + 0.034 + 0.068 + 0.068 = 0.212 (c);$

При оптимізації контуру по МО:

$$T_C = 2 \cdot T_{\mu C},$$

де $T_{\mu C}$ - некомпенсуєма постійна часу зовнішнього контуру, $T_{\mu C} = 2 \cdot T_{\mu}$,

де T_{μ} - некомпенсуєма постійна часу внутрішнього контуру,

приймаємо $T_{\mu} = 0.004$ с.

Годі:					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Док.	2	№ докум.	0.0047(с)		Дата
						60

$$T_C = 2 \cdot T_{\mu C} = 2 \cdot 0.008 \text{ (с)} = 0.016 \text{ (с)}.$$

Тоді:

$$T_{\mu\Pi} = 0.016 \text{ (с)} + 0.212 \text{ (с)} = 0.228 \text{ (с)}.$$

1.5. Оптимізація контуру положення за МО.

Для оптимізації контуру положення за МО обирається П-регулятор з передатною функцією:

$$W_{РП} = K_{РП},$$

де $K_{РП}$ – коефіцієнт підсилення регулятора положення;

$$K_{РП} = \frac{2 \cdot K_C}{K_{\Pi}} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_{max}}{\varphi_{зад.макс}}},$$

K_{Π} – коефіцієнт зворотнього зв'язку за положенням:

$$K_{\Pi} = \frac{U_A}{\varphi_{макс}} = \frac{10 \text{ (В)}}{75 \left(\frac{\text{імП}}{\text{об}} \right)} = 0.133;$$

K_C – фактичне значення коефіцієнта зворотнього зв'язку:

$$K_C = \frac{U_{зш}}{\omega_{уст}}$$

Де $U_{зш}$ – напруга завдання контуру швидкості, приймаємо 10 В;

$\omega_{уст}$ – усталене значення кутової швидкості, 157.08 рад/с;

$$K_C = \frac{U_{зш}}{\omega_{уст}} = \frac{10 \text{ (В)}}{157.08 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right)} = 0.064 \left(\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}} \right)$$

Тоді $K_{РП}$:

$$K_{РП} = \frac{2 \cdot K_C}{K_{\Pi}} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_{max}}{\varphi_{зад.макс}}} = \frac{2 \cdot 0.064}{0.133} \cdot \sqrt{\frac{15.385}{75}},$$

Передатня функція за керуванням оптимізованого за МО з П-РП замкнутого контуру положення:

$$W_{\Pi}(p) = \frac{1}{\frac{K_{\Pi}}{2 \cdot T_{\mu\Pi}^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T_{\mu\Pi} \cdot p + 1}} = \frac{7.519}{0.104 \cdot p^2 + 2 \cdot 0.456 \cdot p + 1}$$

2.3. Автоматизація керування маніпулятором

Системи керування електроприводами маніпулятора забезпечують рух

виконавчого органу (ст. снєння) по заданій просторової траєкторії шляхом

управління рухом окремих ланок маніпулятора. Кожна ланка оснащується

електроприводом та датчиками для контролю переміщень. Завдання на рух

ланок здійснюється від УЧПУ. На рис. 2.6 та 2.7 показані функціональні схеми систем керування рухом ланок триланкових маніпуляторів двох типів, у яких виділено лише переносні координати. Задають дії q_{13} , q_{23} , q_{33} надходять на блоки управління БУ1...БУ3 електроприводами М1...М3.

Передаточні механізми ПМ1 ... ПМ3 забезпечують реалізацію необхідного виду руху (лінійного або кутового) ланок. Цей рух визначається узагальненими координатами q_1, q_2, q_3 . Датчики положення ланок можна встановлювати на електродвигунах та ланках маніпулятора.

У маніпуляторі першого типу (рис. 2.6) на нерухомій підставі 1 розміщується колона 2, яка здійснює кутові рухи φ та вертикальні лінійні рухи z за допомогою електродвигунів та передавальних механізмів, що знаходяться на підставі. На колоні встановлена рука 3, яка за допомогою електродвигуна М3 здійснює горизонтальні лінійні рухи схвата 4 з вантажем 5. Точкою Р відмічен центр маси схвата з вантажем. Робота маніпулятора відбувається в циліндричній системі.

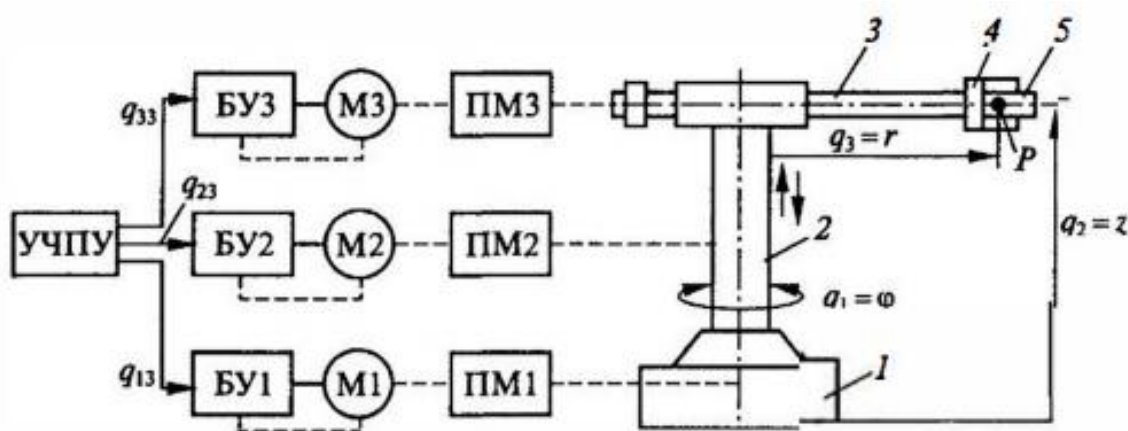


Рис. 2.6. Маніпулятор першого типу

У маніпуляторі другого типу (рис. 6.5) на нерухомій підставі 1 встановлена

колонна 2, що здійснює кутові рухи φ_1 навколо вертикальної осі, а ланки 3 і 4	4рк.
ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	
Змв здійснює кутові рухи φ_2 навколо осей, перпендикулярних до площини	63

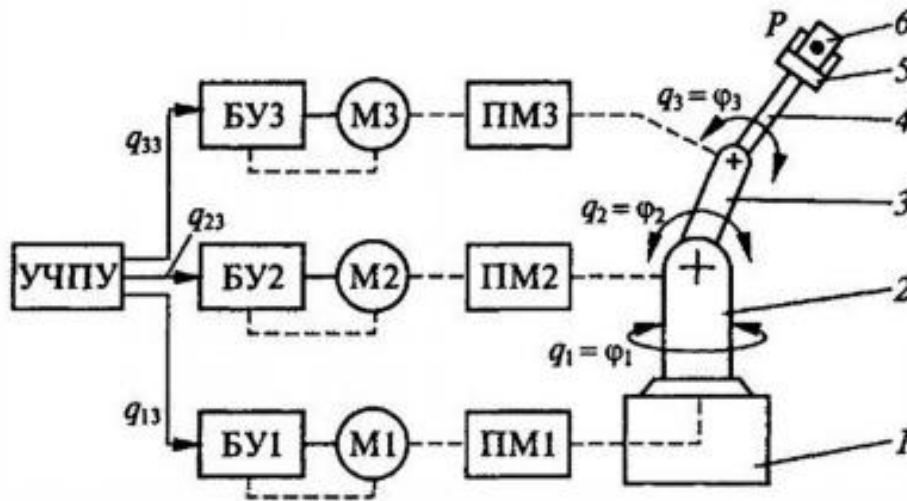


Рис. 2.7. Маніпулятор другого типу

Програмування траєкторії руху схвата 5 з вантажем 6 виконується в нерухомій системі координат основи. Вектор узагальнених координат схвату як функція часу технологічного процесу $q_c(t)$ (рис. 2.8) формується через вектор узагальнених координат ланок маніпулятора, який у жорсткій механічній системі є вектором узагальнених координат приводів $q_n(t)$.

Вектори $q_c(t)$ і $q_n(t)$ пов'язані між собою відображенням перетворення координат T , зміст якого встановлюється з вирішення прямої задачі кінематики маніпулятора. УЧПУ виробляє вектор задніх узагальнених координат приводів

$q_{n3}(t)$, який пов'язаний з вектором задають узагальнених координат схвату маніпулятора $q_{c3}(t)$ зворотним відображенням перетворення координат T^{-1} .

Зміст T^{-1} встановлюється для вирішення зворотного завдання кінематики маніпулятора.

Реалізуючи системи управління рухом маніпуляторів, прагнуть до того, щоб інерційні властивості приводів і ланок не вносили спотворення в задані траєкторії руху схвата. З цією метою застосовують комплектні електроприводи, які мають велику смугу пропускання (сервоприводи). Однак динамічні властивості маніпулятора як об'єкта управління не дозволяють це зробити однозначно, розглядаючи системи управління ланками маніпулятора як автономні системи. Через наявність коріолісових та відцентрових сил інерції

У загальному випадку динамічні властивості маніпулятора характеризуються матрицею $W_m(p, q_n)$, відповідно до якої виконується синтез матриці управляючих пристроїв $W_{yn}(p, q_n)$.

В узагальненій матричній структурній схемі системи керування захопленням маніпулятора (див. рис. 2.8) $F(t)$, $F_c(t)$ – вектори сил, прикладених до ланок маніпулятора та опорів; $q_n(t)$ – вектор вимірних значень узагальнених координат приводів; $W_{ip}(p)$ – матриця інформаційних пристроїв. Крім головних зворотних зв'язків за узагальненими координатами приводів, в системі можуть бути зворотні зв'язки по проміжним координатам, виконані відповідно до принципів підпорядкованого управління.

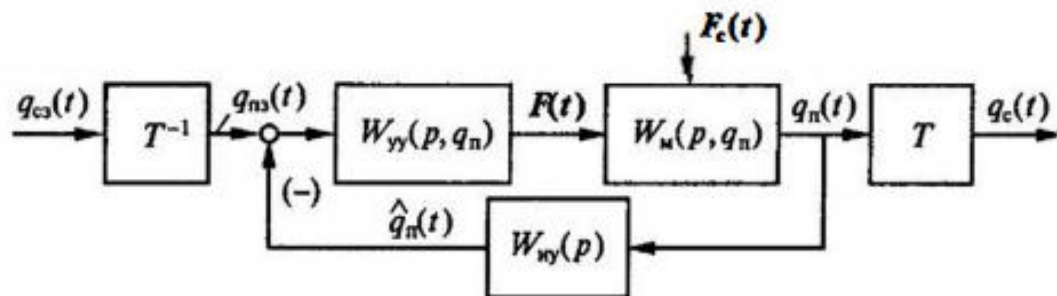


Рис. 2.8. Узагальнена матрична структурна схема системи керування захопленням маніпулятора

Роботи промислового призначення – промислові роботи (ПР), а автоматизовані на їх базі технологічні комплекси – роботизованими технологічними комплексами (інформаційні та керуючі; мобільні; маніпуляційні). ПР складають 90 % усього парку роботів у світі.

До основних технічних параметрів ПР належать: номінальна вантажопідйомність m_n (кг); число ступенів рухливості робота n ; діапазони переміщень за ступенями рухливості S_i (мм), φ_i (рад); швидкості переміщення за ступенями рухливості – максимальні швидкості V_{max} (м/с), ω_{max} (1/с); максимальне прискорення за ступенями рухливості a_{max} (м/с²), ϵ_{max} (град/с²); похибка позиціонування робочого органа Δ (мм); кінематична структура маніпулятора; робоча зона робота; обсяг робочої зони V_{pz} (м³); тип системи координат; тип системи програмного управління (СПУ), обсяг пам'яті СПУ;

габаритні розміри		L, B, H (м);		маса робота, маніпулятора, СПУ відповідно м _р , м _м , м _{спу} (кг).		ЕТФ КНУ РВ:149:24.303-Р		Арк. р,
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				65

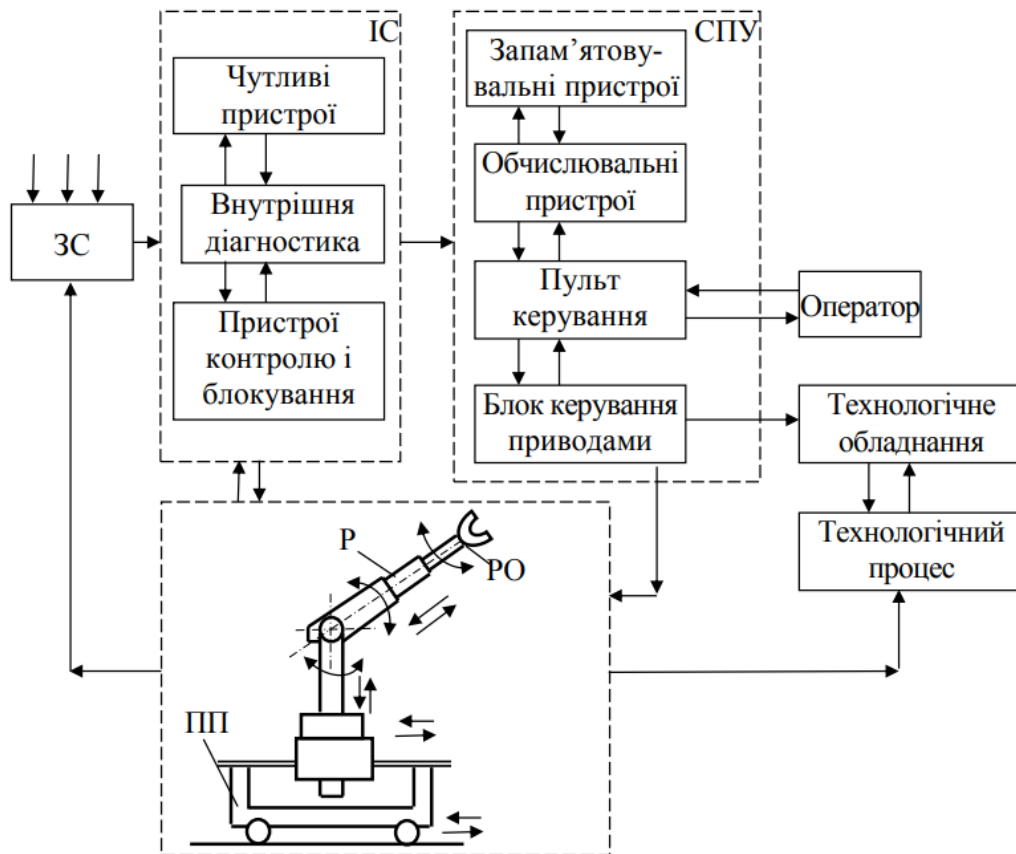
Функціональну схему ПР наведено на рис. 6.7. До складу ПР входять наступні основні частини: маніпулятор (М), або інакше механічна система робота; інформаційна система; СПУ. У сукупності інформаційна система і система програмного управління утворюють пристрій автоматичного керування.

Маніпулятори ПР містять робочий орган у вигляді захоплювального пристрою, зварювальної головки, фарборозпилювача і т. д. і механізми, необхідні для виконання всіх його рухових функцій: передавальні механізми; виконавчі механізми; приводи; несучі елементи.

Виконавчий механізм ПР з приводом і захватним пристроєм називають рукою маніпулятора. Для переміщення М відносно технологічного обладнання використовуються пристрої пересування. Усі маніпуляційні пристрої характеризуються маневреністю і коефіцієнтом сервісу, під яким розуміють можливість підходу робочого органа до заданої точки з різних напрямків. Коефіцієнт сервісу дає уявлення про рухові можливості М, тобто про його маневреність. Маневреність М – це число ступенів рухливості при фіксованому положенні робочого органа, яка визначає можливість обходу маніпулятором

перешкод у робочому об'єм та здатність до виконання складних операцій. До складу інформаційної системи входять чутливі (сенсорні) пристрої для контролювання зовнішнього середовища, система внутрішньої діагностики та пристрої контролю та блокувань. Інформаційна система забезпечує збір, первинну обробку та надходження до СПУ даних про функціонування механізмів маніпулятора робота і про стан зовнішнього середовища.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66



ІС – інформаційна система; Р – рука маніпулятора; ПП – пристрій пересування; РО – робочий орган; ЗС – зовнішнє середовище

Рис. 2.9. Функціональна схема РР

СПУ призначена для формування і видачі керуючих впливів виконавчим механізмам М відповідно до керуючої програми. Можливі два варіанти режиму роботи РР: режим програмування (режим навчання), при якому в запам'ятовувальний пристрій вводиться керуюча програма, і режим виконання технологічних операцій (режим роботи). Силowymi модулями маніпуляторів промислових роботів слугують різні типи приводів – електричні, гідравлічні, пневматичні. Поширені в експлуатації РР з гідро- і пневмоприводами мають такі

недоліки, як схильність до витоків робочого тіла (рідини або газу), обов'язкова наявність спеціальних станцій живлення, високий рівень шуму.

Основними параметрами приводів РР є: потужність, швидкодія і точність відпрацювання командних сигналів. Застосування сучасних електроприводів у промисловій робототехніці зумовлене рядом специфічних особливостей і вимог

					Арк.
					67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

(від 5 до 7), кожна з яких керується окремим приводом, для виконання заданої

технологічної операції необхідно забезпечити групове керування приводами координат; особливе значення має забезпечення заданої точності позиціонування за кожною координатою при напруженому динамічному режимі роботи та великій кількості кінематичних пар; швидкодія, тобто здійснення рухів виконавчих механізмів з високими швидкостями і за малої похибки позиціонування; широко змінюється діапазон навантажень на привод з переважанням інерційних зусиль, що істотно впливає на вибір типу привода; до приводів ПР висувають жорсткі вимоги щодо габаритних розмірів і маси при високих енергетичних показниках, що забезпечується при великих значеннях відношення вихідної потужності до маси; приводи ПР повинні тривалий час працювати в нерухомому, загальмованому стані (тобто створити рушійний момент при $\omega = 0$); можливість роботи в режимі автоматичного керування і регулювання, що забезпечує оптимальні закони розгону і гальмування при мінімальному часі перехідних процесів; потрібний великий ресурс роботи і висока надійність при значних динамічних навантаженнях і без регламентованої експлуатації. Особливостями електроприводів ПР є розширений діапазон малих моментів (до 0.05 Нм), підвищена максимальна частота обертання (до $15 \cdot 10^3$ об/хв), мала інерція двигунів, можливість вбудовування в ЕД електромагнітних гальм і різних датчиків, а також наявність хвильових редукторів у механічних передачах.

2.4. Вибір контролера для автоматизації керування синхронного серводвигуна SZGH-18750CC.

Для автоматизації керуванням слідкуючого приводу серводвигунів

маніпулятора ABB IRB 4600-60 обираємо контролер ABB IRC5.					Арк.
ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19					
Згідно з додатковою інформацією про контролері ABB IRC5.					68

Керування роботами виробництва компанії ABB Group (Швеція) забезпечується блоком модулів керування (Control module), пов'язаним із силовими блоками керування окремими роботами (Drive module).

Блок модулів керування забезпечує керування синхронною роботою кількох роботів (до 4-х) за допомогою функції MultiMove.

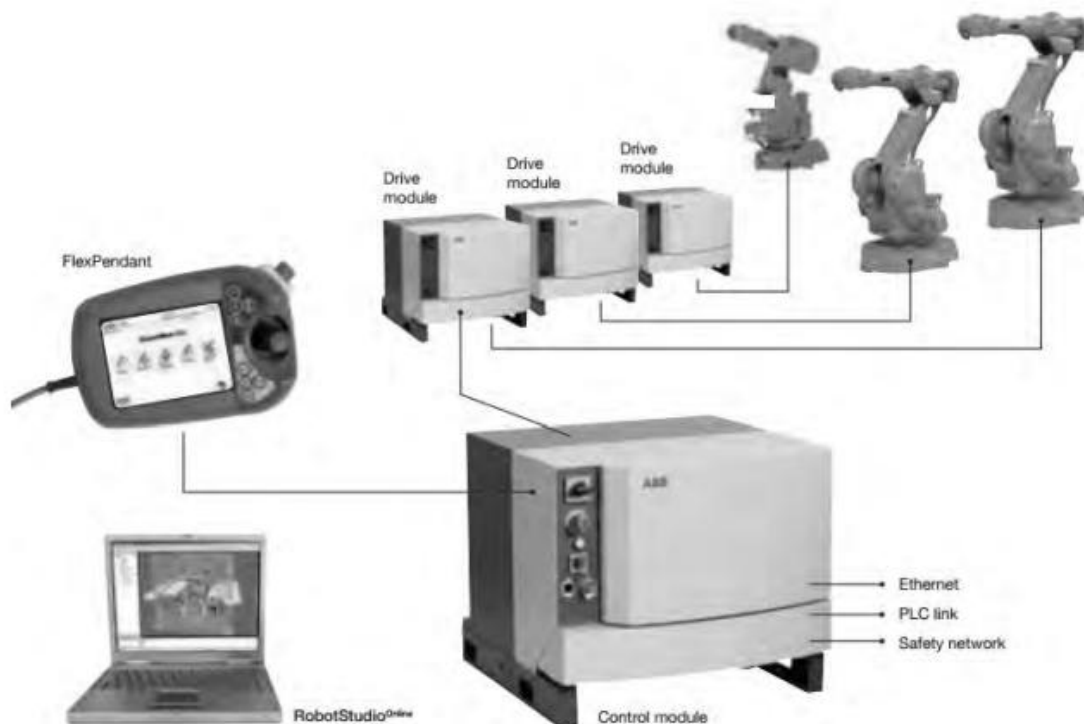


Рис. 2.10. Схема керування контролером маніпуляторів

При створенні блоку модулів керування п'ятого покоління використано нова концепція модульного проектування.

Модульна конструкція блоку керування (Control module) забезпечує управління як роботами, а й технологічним процесом. Подібна гнучкість дає можливість створювати оптимальні компонування гнучких роботизованих технічних комплексів (РТК), а також виконувати модернізацію або проводити заміну одного з модулів при мінімальному втручанні інших модулів.

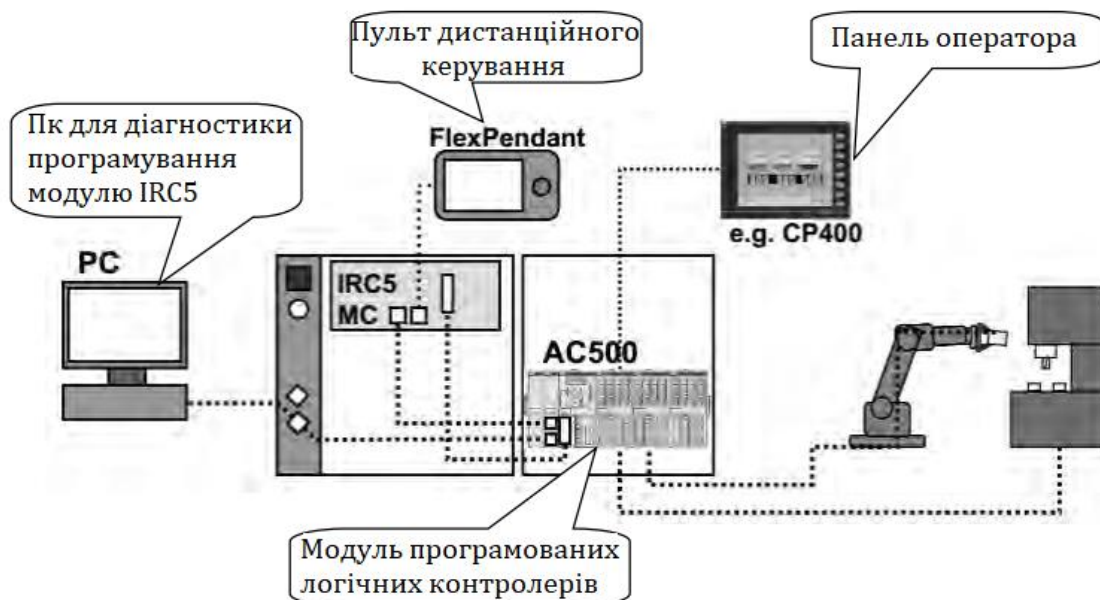


Рис.2.11. Загальна концепція використання модуля IRC5 для керування роботом та технологічним обладнанням

Для виключення простою обладнання під час програмування роботів виконання інших операцій до модулю IRC5 (рисунок 2.35) може бути підключено персональний комп'ютер для офлайн-програмування РТК на мовою RAPID.

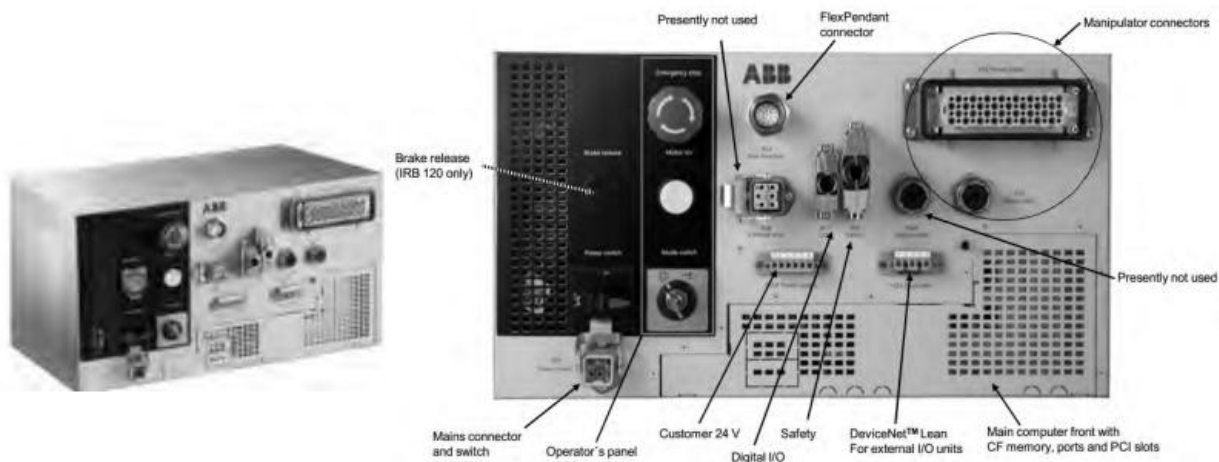


Рис.2.12. Модуль керування IRC5

Для керування технологічним обладнанням та аналізу його стану до блоку управління можуть бути під'єднані різні аналогові та цифрові пристрої, які забезпечують включення та вимикання окремих механізмів верстатів, конвеєрів і виконують оцінку стану цих механізмів після виконання керуючих команд.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для цього блок управління стандартної комплектації має 16 портів введення-виведення цифрових сигналів (Digital I/O 16 DI/16 DC), 8 портів релейних сигналів для включення контакторів та реле (8 DI /8 DO relay) та 4 аналогових канали вводу-виводу (Analog 4 AI/4 AO).

Програмування модуля управління IRC5 в умовах гнучкого виробництва для виключення простоїв обладнання виконується в режимі офлайн використанням віртуального контролера. Для програмування РТК, створених на базі роботів виробництва АВВ Group, використовується спеціальна мова програмування RAPID. З метою скорочення трудомісткості для програмування гнучких роботизованих комплексів концерном АВВ Group розроблено систему моделювання та програмування РТК RobotStudio.

RAPID-програма містить дані та інструкції, які керують роботою та периферійним обладнанням. RAPID-програма (рисунок 2.37) зазвичай складається із чотирьох частин.

1. Головна програма, яка викликає виконання підпрограми.
2. Декілька підпрограм, які поділяють програму на менші частини, що викликаються з головних або інших підпрограм.
3. Умовно-постійні дані програми, які використовуються для визначення положення елементів РТК, числових значень та систем координат.
4. Системні модулі – програми, які постійно знаходяться в оперативній пам'яті та призначені для управління виконавчими механізмами робота.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

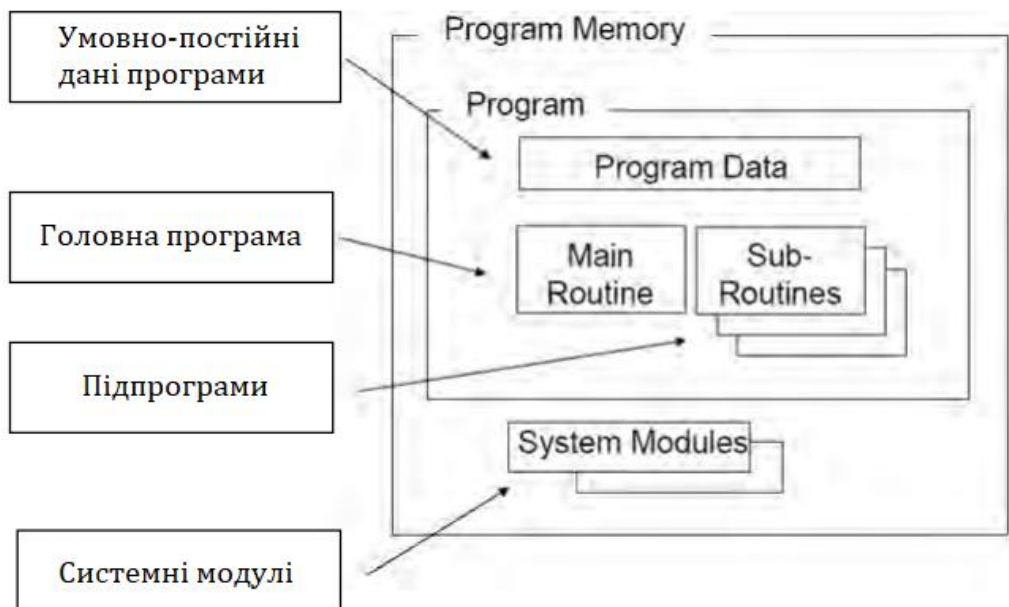


Рис.2.13. Структура RAPID-програми

Специфічними особливостями мови RAPID є наявність у ній спеціальних функцій – інструкцій для керування переміщеннями руки робота, периферійного обладнання та обробки сигналів цифрових та аналогових датчиків.

Для завдання переміщень руки робота використовуються інструкції позиціонування.

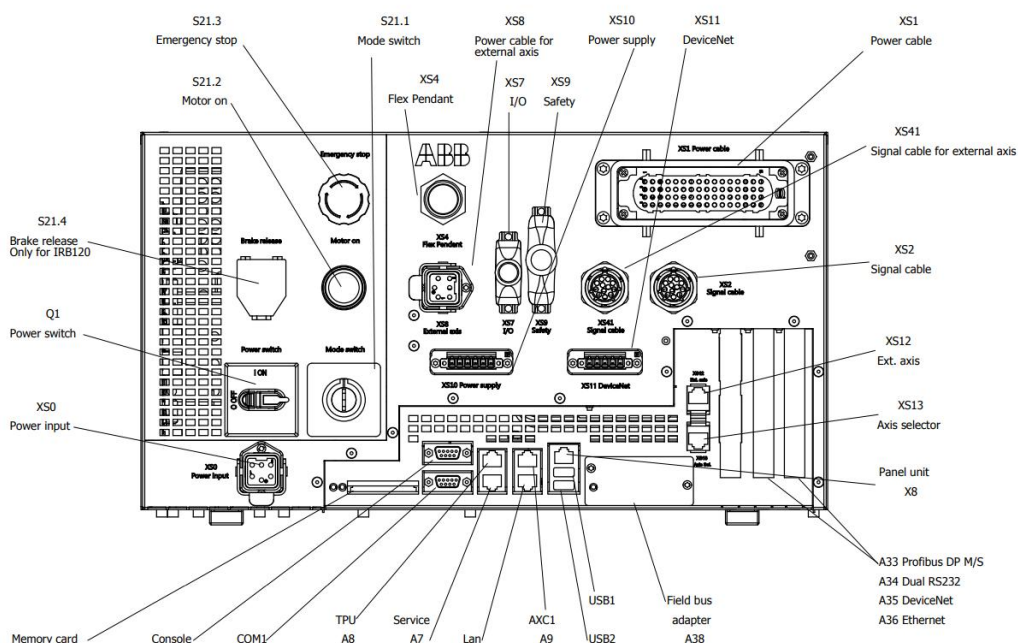


Рис.2.14. Вид спереду контролера ABB IRC5

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						71

Розглянемо, з чого складається передня панель контролера ABB IRC5.

1. S21.3 Emergency stop: Кнопка аварійної зупинки.
2. S21.2 Motor on: Перемикач вмикання двигуна.
3. S21.1 Mode switch: Перемикач режимів роботи контролера.
4. XS4 Flex Pendant: Роз'єм для підключення Flex Pendant, який використовується для керування роботом.
5. XS8 Power cable for external axis: Роз'єм для підключення кабелю живлення зовнішньої осі.
6. XS7 I/O: Роз'єм для підключення різних периферійних пристроїв та датчиків, які взаємодіють із контролером.
7. XS9 Safety: Роз'єм для підключення пристроїв та систем, що дозволяє інтегрувати в систему різні компоненти безпеки.
8. XS10 Power supply: Роз'єм для підключення блока живлення.
9. XS11 DeviceNet: Роз'єм для підключення до мережі DeviceNet.
- 10.XS41 Signal cable for external axis: Роз'єм для підключення сигнального кабелю зовнішньої осі.
- 11.XS2 Signal cable: Роз'єм для підключення сигнального кабелю.
- 12.XS12 Ext. axis: Роз'єм для підключення зовнішньої осі.
- 13.XS13 Axis selector: Роз'єм для вибору осі.
- 14.X8 Panel unit: Роз'єм для підключення панелі керування.
- 15.X50 Power input: Роз'єм для введення живлення.
- 16.Q1 Power switch: Перемикач живлення.
- 17.S21.4 Brake release (Only for IRB120): Перемикач розблокування гальма.
- 18.X1 Power switch: Вимикач живлення.
- 19.Memory card: Слот для картки пам'яті.
- 20.Console: Роз'єм для підключення консолі.
- 21.COM1: Послідовний порт COM1.
- 22.TPU/A8: Роз'єм для підключення Flex Pendant, що має додаткові функції та можливості.

									ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						72

- 23.Service/A7: Роз'єм для сервісного підключення для обслуговування та діагностики системи.
- 24.Lan: Гніздо для підключення локальної мережі.
25. A9 AXC1: Роз'єм AXC1.
- 26.USB1/USB2: Порти USB 1 та USB 2.
- 27.Field bus adapter/A38: Роз'єм адаптера польової шини або A38.
- 28.A33 Profibus DP M/S: Роз'єм для підключення до мережі Profibus DP Master/Slave.
- 29.A34 Dual RS232: Роз'єм для підключення двох послідовних портів RS232.
- 30.A35 DeviceNet: Роз'єм для підключення до мережі DeviceNet.
- 31.A36 Ethernet: Роз'єм для підключення до мережі Ethernet.
- 32.A38 Field bus adapter: призначений для підключення адаптера польової шини, що використовуються для зв'язку між контролером та датчиками, виконавчим механізмом та сервоприводом.

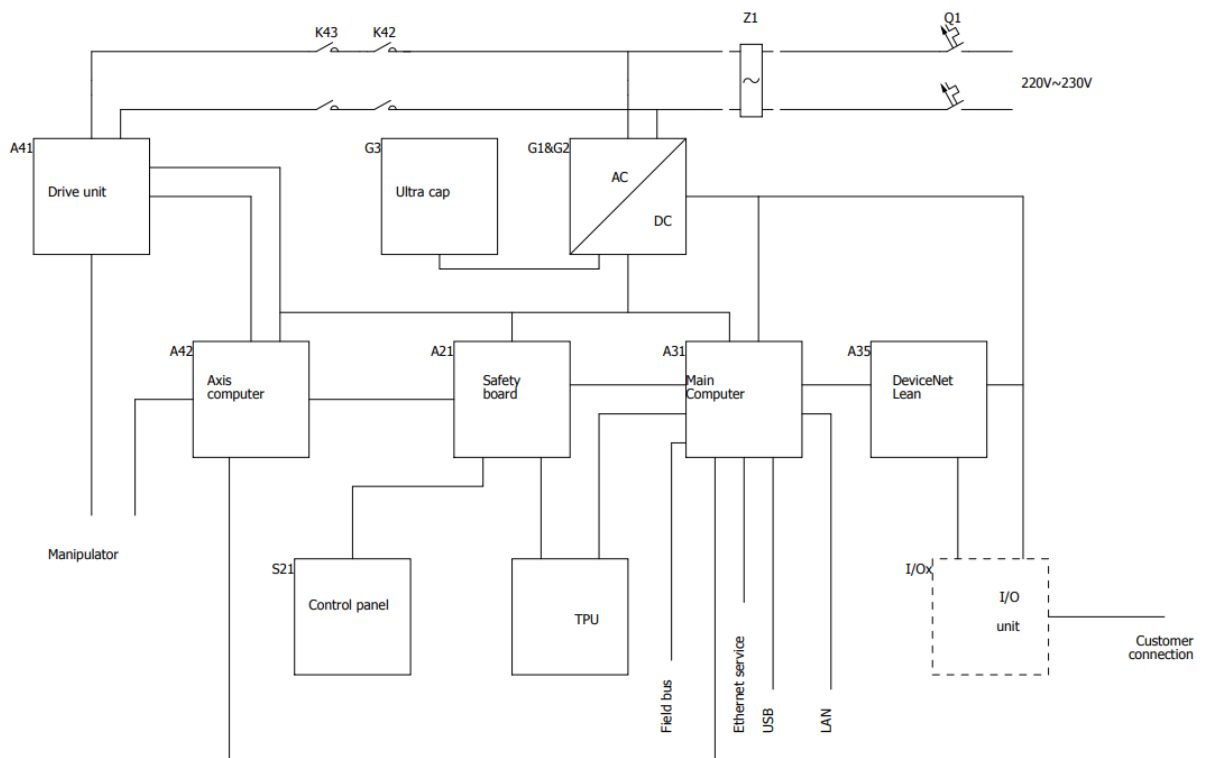


Рис.2.15. Блок схема керуванням маніпулятора

Блок схема контролера показує його основні складові та дає змогу скласти принцип його роботи.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

На вхід контролера подається змінна напруга 220-230 В, що проходить через вимикач Q1, фільтр Z1 та контактори K43, K42 до блоку керування приодами маніпулятора A41. З іншого боку напруга надходить на випрямляч G1&G2, що живить усі компоненти системи. Від випрямляча живиться конденсатор G3, що накоплює енергію та забезпечує безперебійне живлення інших компонентів. Далі випрямлена напруга йде на блоки A35, A31, A21, A42, I/Ox та блок керування приводами. Блок A35 являє собою інтерфейс для зв'язку з зовнішніми пристроями, такими як датчики, виконавчі прилади та інші контролери, що підключаються через блок вводу/виводу I/Ox, через мережу DeviceNet. Інтерфейс Customer connection, що є в блоку I/Ox, використовується для під'єднання зовнішніх пристроїв, які не є стандартними для контролера, та дає змогу підключати пристрої з різними інтерфейсами та можливостями для розширення функціональності системи. Блок A31 є головним комп'ютером системи, що координує роботу усіх компонентів системи, обробляє команди та керує загальним процесом. Він має інтерфейси Ethernet, який потрібен для мережевого з'єднання та дистанційного керування системою, LAN порти для приєднання та USB для підключення периферійних пристроїв. Також до головного комп'ютера підключається шина Field Bus, яка потрібна для під'єднання датчиків та виконавчих механізмів до контролера. Блок TPU це інтегральна схема специфічного застосування, яка використовується для налаштування та діагностики системи. Блок Safety board забезпечує аварійні відключення та моніторинг безпеки системи. Блок S21 Control panel це панель керування, за допомогою якої оператор може керувати маніпулятором та контролювати його стан. Блок Axis computer керує положенням та рухом осей маніпулятора за допомогою датчиків зворотнього зв'язку.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

РОЗДІЛ 3

Моделювання динамічних режимів роботи привода механізму на ЕОМ

2.1. Моделювання динамічних режимів замкненої системи

Збираємо та відлагоджуємо модель ТПЧ-СД в програмному застосунку MATLAB (рис. 3.1), для дослідження замкненої системи керування сервоприводом 3-ої вісі маніпулятора та моделюємо її динамічні характеристики.

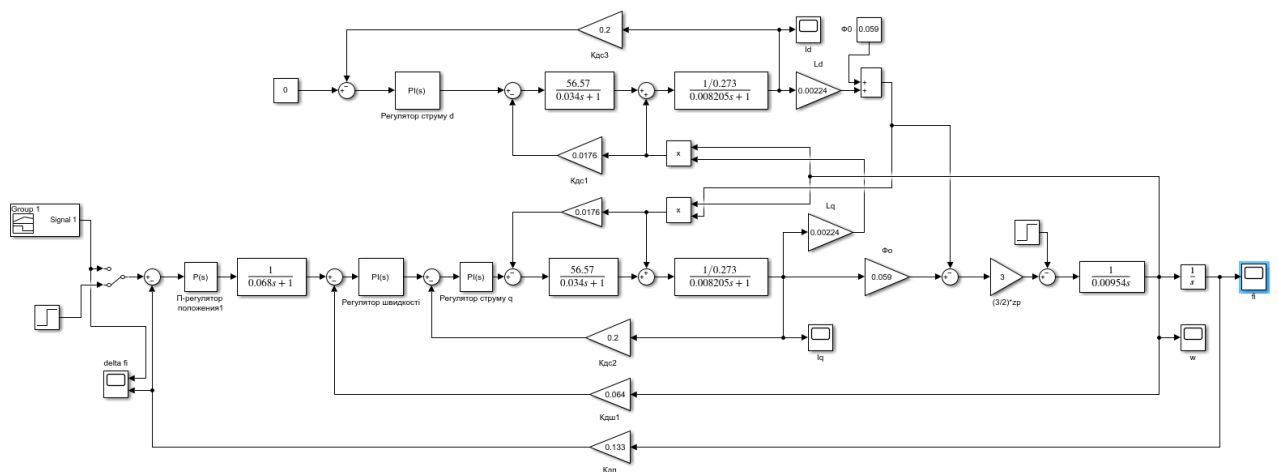


Рис.3.1. Модель системи ТПЧ-СД

Струм паралельної вісі I_d приймаємо нулю для спрощення моделювання. Тоді графіки контурів струму I_d та I_q :



Рис.3.2. Динамічна характеристика контура струму I_d

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19		
Зм.	Лист	№	Підпис	Дата	Розділ 3		
Розробив	Палієнко Я.В.						
Перевірив	Сьомочкин А.Б.						
Реценз.							
Н. Контр.	Сьомочкин А.Б.						
Затвердив	Пересунько І.І.				Лім.	Лист	Листів
						75	
						КНУ ЕЕМ-20	

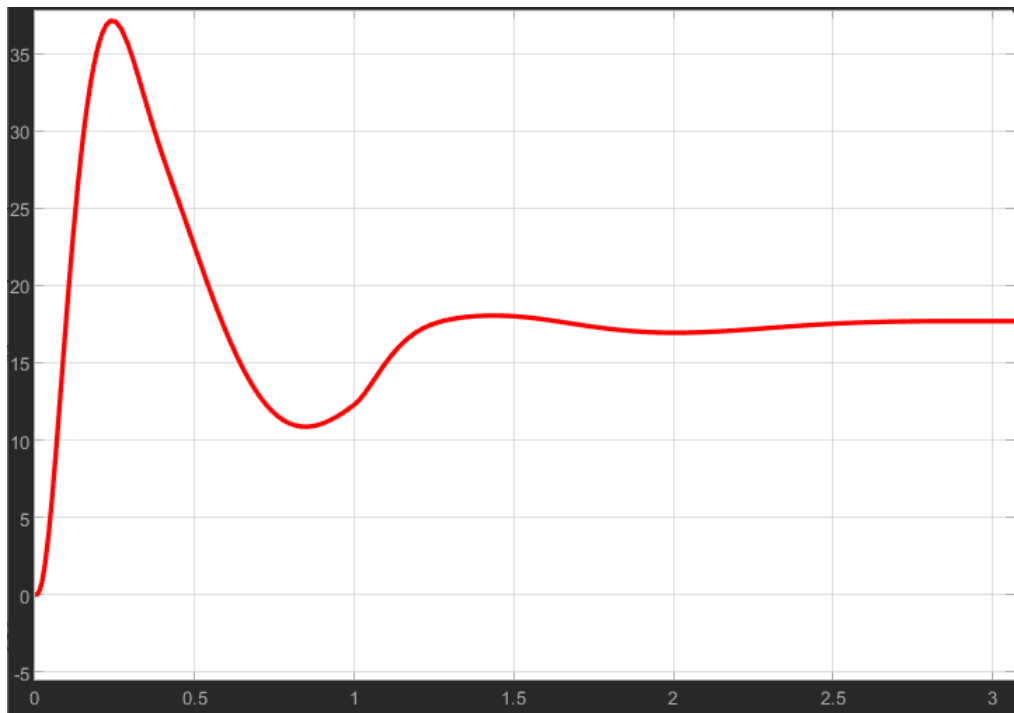


Рис.3.3. Динамічна характеристика контура струму I_q

Графік динамічної характеристики контуру швидкості:

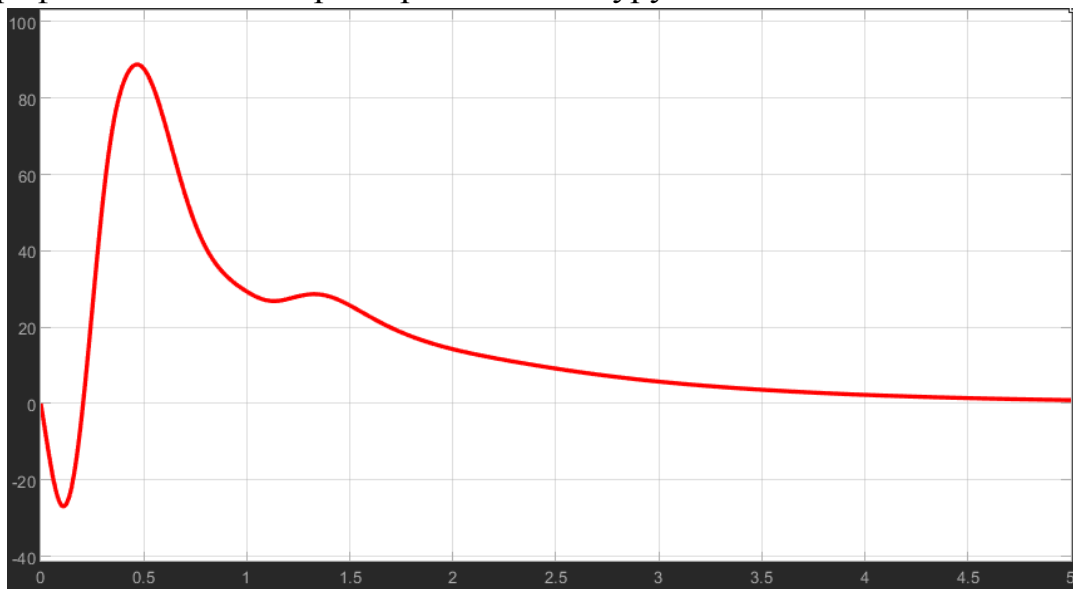


Рис.3.4. Динамічна характеристика контуру швидкості

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Графік динамічної характеристики контуру положення:

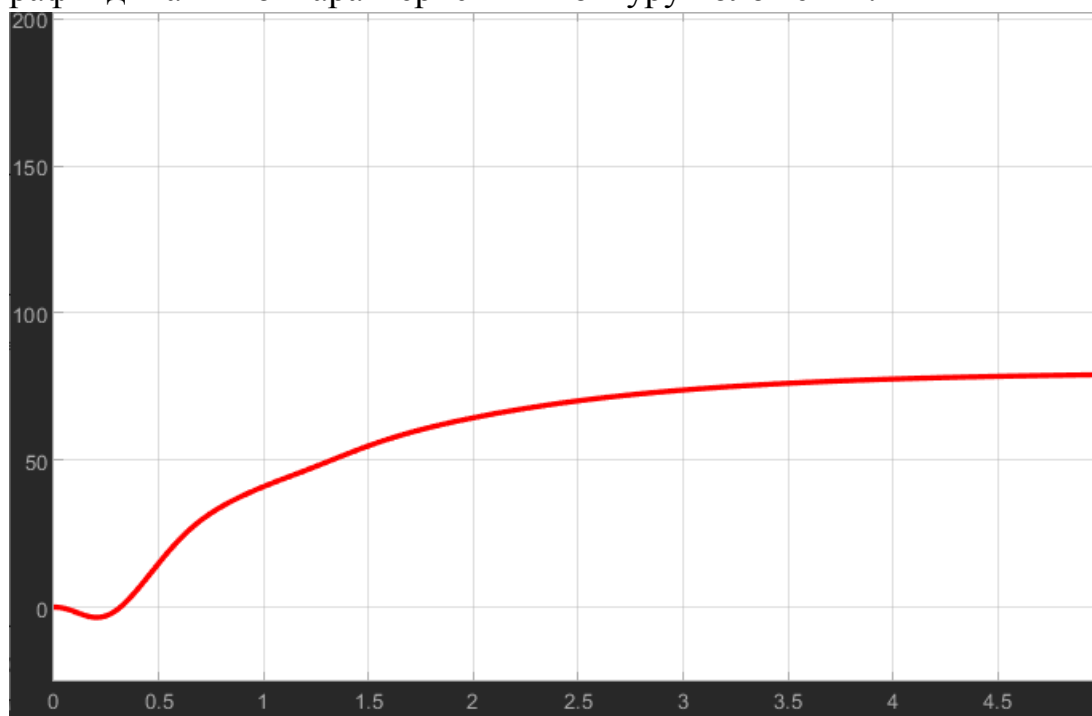


Рис.3.5. Динамічна характеристика контуру положення

2.2. Аналіз якісних показників розробленої системи керування.

Так як, позиціонування сервоприводу відбувається в інтервалі 5 секунд, то з динамічних характеристик контурів струму, а саме рис.3.2 та рис.3.3 видно, що при мометні супротиву в 3 Н·м струм збудження I_d зростає до значення 2.5 А для доведення синхронного двигуна до синхронної швидкості та спадає до нуля після доходження швидкості до синхронної, струм реакції якоря I_q зростає до значення приблизно рівного двом номінальним для набору максимального моменту та спадає приблизно до значення номінального струму для підтримки положення серводвигуна.

З динамічної характеристики контуру швидкості рис 3.4 видно, що при початку руху, момент супротиву навантажує двигун, швидкість спадає у від'ємні значення, потім, через деякий час зростає до значення приблизно 90 рад/с після чого, в момент зупинки позиціонування спадає до нуля.

З динамічної характеристики контуру рис.3.5 положення видно, що за час позиціонування положення змінюється на заданий максимальний кут 75° та після закінчення позиціонування залишається на рівні цього кута.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Висновки

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена автоматизації слудкуючого електроприводу робота-маніпулятора АВВ IRB 4600-60. Метою досліджень є розробка та проектування автоматизованого слідууючого електроприводу промислового маніпулятора. У першому розділі наведено загальний вигляд, кінематику та параметри маніпулятора; наведено вимоги до роботи маніпулятора та обґрунтовано систему електроприводу маніпулятора. Також у відповідності до вимог до механізму маніпулятора були розраховані потужності кожного з 6 електродвигунів; вибрано відповідний транзисторний перетворювач та датчики; розраховано параметри елементів схеми заміщення; розраховано механічні та енергетичні характеристики електроприводу ТПЧ-СД. У другому розділі проведено аналіз та обґрунтовано систему автоматичного керування; проведено розрахунок регуляторів струму, швидкості та положення; наведено схему автоматичного керування за допомогою контролера. У третьому розділі проведено моделювання динамічних режимів роботи приводу робота-маніпулятора, для замкненої системи підлеглого керування. Дослідження вказали на доцільність застосування замкненої системи підлеглого керування електроприводом підйому крану за структурою, яка містить регулятори струму, швидкості та положення.

						ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			78

ЛІТЕРАТУРА

1. Habr: [сайт]. URL:https://habr.com/ru/companies/stc_spb/articles/672308/(дата звернення 15.05.2024)
2. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу “Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов” для студентов специальности 140604 “Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов”. – Томск: Изд. ТПУ, 2009. – 44 с
3. Пашков Е. В., Крамарь В. А., Кабанов А. А. П 22 Следящие приводы промышленного технологического оборудования: Учебное пособие. — 2-е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2015. — 368 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).
4. Поліщук, Л. К. Верстатні комплекси. Проектування роботів та маніпуляторів. Частина 1 : навчальний посібник / Поліщук Л. К. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 132 с.
5. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для студ. высш. учеб. заведений/ М. П. Белов, В.А. Новиков, Л. Н. Рассудов. - 3-е изд., испр. - М. : Издательский центр «Академия», 2007. - 576 с. ISBN 978-5-7695-4497-2
6. С. Г. Воронин. ЭЛЕКТРОПРИВОД ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ: Учебно-методический комплекс. Offline версия 1.0. – Челябинск, 1995-2011. <http://model.exponenta.ru/epivod/cntnts.ht>
7. Практичні заняття з навчальної дисципліни «Системи керування електроприводами» для здобувачів в галузі знань: 14 «Електрична інженерія», спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», КНУ, 2020. - 84 с.
8. Экспонента:[сайт]. URL: <https://hub.exponenta.ru/post/sistema-vektornogo-upravleniya-sdpm-v-osyakh-alfa-betta-sravnenie-analogovoy-i-diskretnoy-modeley246> (дата звернення 03.06.2024)
9. Фираго, Б. И. Свойства, характеристики и параметры синхронных двигателей с постоянными магнитами при векторном и скалярном частотном управлении / Б. И. Фираго, С. В. Александровский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2019. Т. 62, № 3. С. 205–218.

									Арк.
									79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-19				