

Хмельницький національний університет

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка стенду для дослідження сервоприводу електропобутової техніки

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

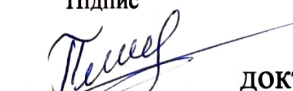
Шифр МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТМ-23-1


Підпис


Стручок М.М.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

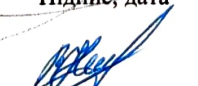
докт. філ. Поліщук А.О.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

доц. Тимошук О.Г.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

доц. Неймак В.С.
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

17 12 202 4 р.

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту і архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень магістр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Шифр і назва
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Шифр і назва
Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МАЕЕС
к.т.н., доц. Неймак В.С.
17 . 12 [підпис] 2024р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Стручок Микола Миколайович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка стенду для дослідження сервоприводу електропобутової техніки

керівник роботи докт. філ. Поліщук А.О.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26 08 2024 р. № 60

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики сервоприводу та електропобутової техніки

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Розробка стенду для дослідження сервоприводу електромеханічних швейних машин. 3. Дослідження характеристик сервоприводу електромеханічних швейних машин. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1, 2. Загальний вигляд серводвигунів. Документ оглядовий (A1). Аркуш 3. Стенд для дослідження сервопривода. Схема комбінована структурна (A1). Аркуш 4. Пристрій для вимірювання напруги і струму. Схема електрична принципова (A2)+Блок-діаграма віртуального приладу. Документ ілюстраційний (A2). Аркуш 5. Загальний вигляд стенду. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 6, 7. Графічні залежності. Розрахунки різні (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

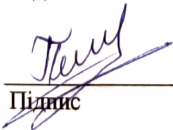
Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	до 29.10.24р.	
2. Розробка стенду для дослідження сервоприводу електромеханічних швейних машин	до 16.11.24р.	
3. Дослідження характеристик сервоприводу електромеханічних швейних машин	до 14.11.24р.	
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	до 12.12.24р.	

Студент


Підпис

М.М. Стручок
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

А.О. Поліщук
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові _____ Стручок Микола Миколайович

2. Тема магістерської роботи Розробка стенду для дослідження сервоприводу електро- побутової техніки

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 7 арк., сторінок записки 82

5 Сучасний розвиток технологій і зростання попиту на виробництво в легкій промисловості вимагає впровадження високопродуктивного обладнання. Збільшення обсягів виробництва стимулює використання машин, здатних працювати на високих швидкостях. На підприємствах для приведення в дію робочих органів електротехніки, зокрема швейних машин все частіше застосовуються сервоприводи, які складаються з серводвигуна та блоку керування. Ефективність процесу шиття залежить від якості роботи сервоприводу. Існує потреба в детальному вивченні динаміки серводвигуна, розробці методик його дослідження, аналізу поведінки двигуна в режимах розгону та гальмування. Тому розробка стенда та методики дослідження роботи сервоприводу електромеханічних швейних машин є актуальною задачею.

В магістерській роботі розроблено стенд для дослідження сервоприводів електромеханічних швейних машин. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. В другому здійснено розробку стенду для дослідження сервоприводу електромеханічних швейних машин. В третьому розділі виконано дослідження характеристик сервоприводу електромеханічних швейних машин.

Підпис студента _____ 

" 17 " 12 20 24 р.

РІШЕННЯ ЕК :

Протокол 6 від " 31 " 12 20 24 р.

Оцінка проекту ЕК добре /с
Рекомендації ЕК _____





Особливі відмітки _____

Технічний секретар _____ 

" 31 " 12 20 24 р.

ЗМІСТ

		стор.
	Вступ	6
1	Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	9
1.1	Загальні характеристики серводвигунів та галузі їх застосування	9
1.2	Різновиди серводвигунів: класифікація та особливості	11
1.3	Конструктивні різновиди серводвигунів та їх характеристики	14
1.4	Висновки до першого розділу	35
2	Розробка стенду для дослідження сервоприводу електромеханічних швейних машин	36
2.1	Розробка структурної схеми стенду для дослідження сервоприводу	36
2.2	Розробка комбінованої схеми стенду для дослідження серводвигуна	38
2.3	Обґрунтування та вибір сервоприводу для стенду	40
2.4	Розробка та вибір вимірювальних систем і приладів	42
2.5	Опис конструкції та особливостей стенду для дослідження приводу швейного обладнання	65
2.6	Висновки до другого розділу	67
3	Дослідження характеристик сервоприводу електромеханічної швейної машини	68
3.1	Методи проведення випробувань та налаштування вимірювальних приладів	68
3.2	Оцінка характеристик сервоприводу за результатами експериментів	69

МРМА 24.00.00.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата
Виконав	Стручок			
Перевір.	Поліщук			
Н.контр.	Тимошенко			
Затвер.	Неймак			
Розробка стенду для дослідження сервоприводу електропобутової техніки Пояснювальна записка			Літера	Аркуш
			м	4
			Аркушів 82	
ХНУ гр. ЕТМ-23-1				

3.3	Висновки до третього розділу	77
	Висновки	78
	Перелік джерел посилання	79
	Додаток А	

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Прогрес у сфері електроніки та матеріалів, що використовують в електротехніці, суттєво вплинув на розвиток техніки приводу. До теперішнього часу в сервосистемах переважно застосовували електродвигуни постійного струму з постійними магнітами [1].

Основним недоліком електродвигунів змінного струму в порівнянні від електродвигунів постійного струму є обмеження можливості регулювання швидкості. Проте досягнення в електроніці, зокрема у сфері мікроконтролерів, дозволило усунути цей недолік і забезпечити сучасний рівень продуктивності.

Сучасні тенденції в приводних системах свідчать про перехід від використання електродвигунів постійного струму до електродвигунів змінного струму. Ця зміна особливо помітна в сервосистемах, де раніше практично використовувалися електроприводи постійного струму.

Використання потужних постійних магнітів зі сплавів неодим-залізо-бору та самарій-кобальту, за рахунок їх високої енергоємності, дозволяє суттєво підвищити характеристики електродвигунів. Це зниження масогабаритних показників електромашин, покращення динамічних характеристик приводу та зменшення його розмірів [2].

У сучасній сервотехніці висуваються підвищені вимоги до: точності позиціонування; широкого діапазону регулювання; стабільності швидкості; стабільності моменту обертання; перевантажувальної здатності; високої динаміки.

Динамічні характеристики, такі як поведінка серводвигуна в часі, охоплюють усі процеси прискорення, які сприяють підвищенню продуктивності за рахунок збільшення циклів обробки машини. Висока точність виконання є вирішальним фактором для впровадження

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

серводвигунів у новітні технології. Саме ці вимоги диктують використання сучасних високодинамічних систем приводу.

Сервопривід - це система приводу, яка забезпечує широкі можливості регулювання швидкості, високу динамічність, точність виконання процесів та їх повторюваність [3].

Сучасний розвиток технологій і зростання попиту на виробництво в легкій промисловості вимагає впровадження високопродуктивного обладнання. Збільшення обсягів виробництва стимулює використання машин, здатних працювати на високих швидкостях. На підприємствах для приведення в дію робочих органів електротехніки, зокрема швейних машин все частіше застосовуються сервоприводи, які складаються з серводвигуна та блоку керування.

Швейні машини можна віднести до електропобутової техніки, оскільки вони широко використовуються в домашніх умовах для виконання різноманітних завдань з пошиття та ремонту одягу, текстильних виробів і декоративних елементів. Оснащені електричним приводом, такі машини значно спрощують процес шиття, забезпечуючи високу швидкість, точність і зручність у роботі.

Швейні машини доступні в різних модифікаціях: від простих моделей для базових операцій до багатофункціональних пристроїв з електронним управлінням, які можуть виконувати складні декоративні шви, вишивку та навіть автоматичне регулювання натягу ниток. Ці пристрої підходять як для новачків, так і для досвідчених користувачів, що робить їх універсальними в побуті.

Завдяки компактності та простоті використання швейні машини дозволяють швидко виконувати домашні ремонти одягу, створювати унікальні текстильні вироби, економлячи час і кошти на послугах ательє. Їхня належність до категорії електропобутової техніки обумовлена не лише

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

функціональністю, а й важливістю в побутовому житті, де комфорт і ефективність стають головними пріоритетами.

Ефективність процесу шиття залежить від якості роботи сервоприводу. Тому існує потреба в детальному вивченні динаміки серводвигуна, розробці методик його дослідження, аналізу поведінки двигуна в режимах розгону та гальмування.

Метою роботи є розробка стенда та методики дослідження роботи сервоприводу електромеханічних швейних машин.

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ТЕМАТИКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Загальні характеристики серводвигунів та галузі їх застосування

1.1.1 Історія розвитку серводвигунів

Серводвигуни мають довгу історію, що розпочалася в середині ХІХ століття разом із розвитком перших систем автоматичного керування [4]. Одними з перших прикладів були парові регулятори Джеймса Ватта, які заклали основу для подальшого розвитку концепції керування рухом. У ХХ столітті, із впровадженням електричних двигунів постійного струму, серводвигуни отримали новий імпульс для розвитку. Поява мікроелектроніки у 1960-70-х роках дала можливість інтегрувати серводвигуни у складні системи автоматизації. У ХХІ столітті, завдяки прогресу в області електроніки, матеріалознавства і програмного забезпечення, серводвигуни стали ще точнішими, ефективнішими та компактнішими.

1.1.2. Завдяки чому вони знайшли застосування на теперішній час

Сучасні серводвигуни стали незамінними завдяки низці унікальних характеристик [4]. По-перше, висока точність позиціонування дозволяє використовувати їх у завданнях, де необхідне прецизійне керування рухом. По-друге, здатність забезпечувати широкий діапазон регулювання швидкості та моменту обертання робить їх універсальними для різних застосувань. По-третє, серводвигуни вирізняються високою енергоефективністю завдяки використанню новітніх матеріалів, таких як неодим-залізо-бор і самарій-кобальт для виготовлення магнітів. Крім того, інтеграція з цифровими системами керування та сенсорами відкриває нові горизонти для

автоматизації складних процесів. Ці характеристики забезпечили серводвигунам широке застосування у сучасних технологіях.

1.1.3 Застосування серводвигунів у різних галузях

Серводвигуни активно використовуються у багатьох галузях промисловості [5]. У машинобудуванні вони забезпечують точне керування рухом, що важливо для обробних верстатів, робототехніки та систем автоматизації виробництва. В автомобільній промисловості серводвигуни знаходять застосування у системах керування приводами, гальмами та іншими компонентами транспортних засобів. У медицині вони використовуються в хірургічних роботах, автоматичних протезах та діагностичному обладнанні. В авіації та космонавтиці серводвигуни забезпечують точне керування рухом елементів літаків та супутників. Крім того, вони знайшли своє місце у побутовій техніці, наприклад, у сучасних пральних машинах, кондиціонерах та іншому обладнанні, де необхідне точне регулювання. Особливе місце займає легка промисловість, де серводвигуни використовуються для автоматизації обладнання, зокрема швейних машин.

1.1.4 Перспективи застосування серводвигунів в легкій промисловості, зокрема в приводі швейних машин

У легкій промисловості серводвигуни відіграють важливу роль у підвищенні продуктивності та якості продукції [6]. Особливо це стосується швейних машин, де точність і швидкість процесу є критичними. Використання серводвигунів у швейних машинах дозволяє забезпечити плавне регулювання швидкості, точне позиціонування голки та стабільну роботу при високих навантаженнях. Це сприяє створенню якісної продукції з мінімальними витратами.

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Перспективи застосування серводвигунів у цій галузі пов'язані з подальшим удосконаленням їх характеристик. Завдяки впровадженню нових алгоритмів керування і використанню високоефективних матеріалів можливе зниження енергоспоживання, підвищення надійності та подовження строку експлуатації обладнання. Також очікується, що інтеграція серводвигунів із системами інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту дозволить створювати «розумні» швейні машини, здатні самостійно оптимізувати параметри роботи залежно від типу тканини та завдання. Таким чином, серводвигуни продовжують залишатися ключовим компонентом автоматизації в легкій промисловості, сприяючи її сталому розвитку та інноваціям [6].

1.2 Різновиди серводвигунів: класифікація та особливості

Сімейство серво двигунів можна поділити на наступні групи [7]:

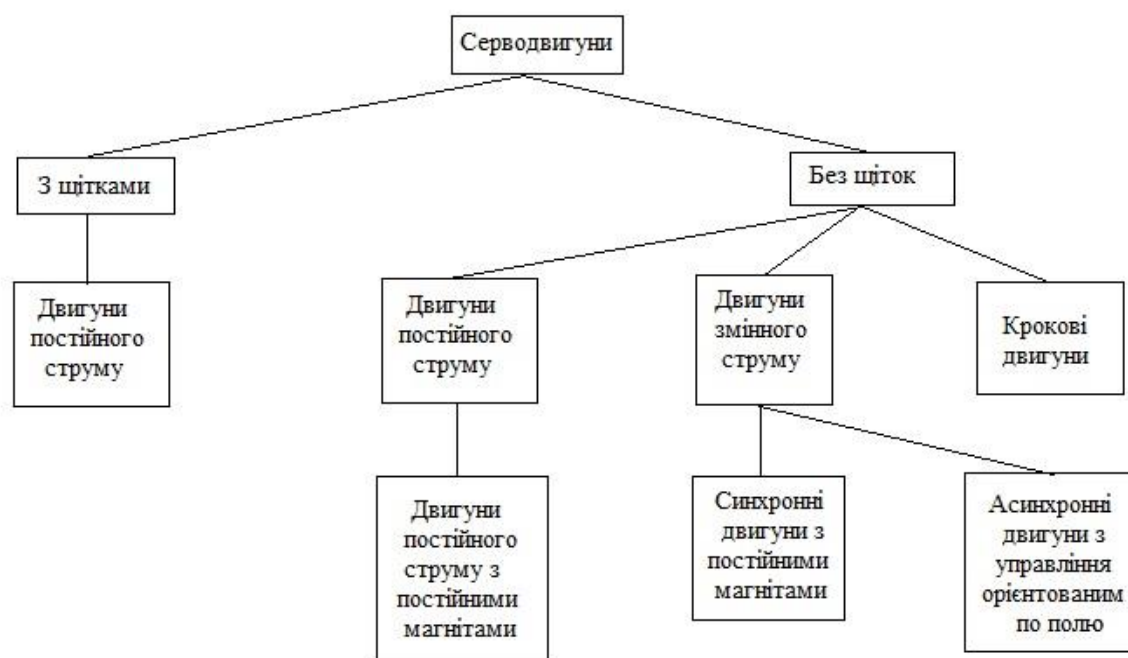


Рисунок 1.1 – Огляд серво двигунів

Класифікація серводвигунів, що представлена на рисунку 1.1 дає можливість краще зрозуміти їхні основні типи, принципи роботи та сфери застосування. Класифікація поділяється на дві великі групи: серводвигуни зі щітками та безщіткові серводвигуни [7].

1. Серводвигуни зі щітками.

Ця група серводвигунів має механічний комутатор (щітковий вузол), який змінює напрям струму в обмотках ротора.

Основні характеристики таких двигунів:

- простота управління,
- доступність,
- невисока вартість.

Однак вони не мають у вигляді швидкого зношування щіток, що обмежує їх термін експлуатації.

Двигуни постійного струму зі щітками.

Це найпоширеніший тип у цій групі. Вони використовують постійний струм для роботи й часто комплектуються постійними магнітами. Завдяки цьому двигуни мають компактні розміри, високу питому потужність і хороші динамічні характеристики. Основні переваги включають легке керування, можливість плавного регулювання швидкості обертання та точного позиціонування [7].

Основні сфери застосування:

- робототехніка;
- автомобільна техніка (наприклад, електроприводи склоочисників, дзеркал);
- дрібні побутові пристрої.

2. Серводвигуни без щіток:

Безщіткові серводвигуни не мають механічного комутатора, що робить їх більш надійними та довговічними. Вони забезпечують високу ефективність роботи, низькі втрати енергії та вимагають мінімального

обслуговування. До цієї групи входять як двигуни постійного струму, так і змінного струму.

2.1. Двигуни постійного струму без щіток [7]:

Двигуни постійного струму з постійними магнітами:

Ці двигуни мають у конструкції ротора постійні магніти, які створюють магнітне поле. Електронна комутація забезпечує зміну струму в обмотках статора.

Переваги:

- висока енергоефективність;
- компактність;
- стабільна робота з мінімальними втратами.

Використовуються в прецизійних системах, де потрібна висока точність, наприклад, у медичному обладнанні, сучасних автоматизованих системах.

2.2. Двигуни змінного струму.

Синхронні двигуни з постійними магнітами:

У цих двигунах ротор синхронізується з магнітним полем статора, що забезпечує високу точність позиціонування та стабільну швидкість обертання. Постійні магніти на роторі дозволяють знизити втрати енергії та підвищити ефективність.

Застосування:

- автоматизовані виробничі лінії,
- верстати з ЧПК,
- транспортні системи.

Асинхронні двигуни з управлінням, орієнтованими по полю [7].

Ці двигуни побудовані за принципом управління магнітним полем, що дозволяє забезпечити високу точність та ефективність роботи. Вони широко застосовуються в різних галузях. Знайшли застосування в:

- підйомних кранах,

- системах вентиляції,
- компресорах.

2.3. Крокові двигуни.

Це специфічний тип серводвигунів, які працюють у покроковому режимі. Кожен крок відповідає заданому куту повороту ротора, що робить їх ідеальними для застосування, де потрібна висока точність позиціонування.

Основні сфери застосування:

- принтери;
- ЧПУ-обладнання;
- системи дозування в медицині та фармацевтиці тощо.

Переваги та перспективи використання [7].

Класифікація серводвигунів демонструє їх широку варіативність залежно від технічних вимог та умов експлуатації. Завдяки досягненням у сфері матеріалів, таких як неодимові магніти, і розвитку електроніки, ці двигуни знайшли широке використання.

Перспективи розвитку включають активне впровадження у промисловість, зокрема у приводі швейних машин, що забезпечує високу точність, повторюваність операцій і швидкість роботи. Застосування таких двигунів дозволяє значно підвищити якість продукції та автоматизувати виробничі процеси.

1.3 Конструктивні різновиди серводвигунів та їх характеристики

Розвиток серводвигунів за останнє десятиліття демонструє значний прогрес. Сучасні рішення включають синхронні та асинхронні серводвигуни, лінійні електродвигуни, електроциліндри, а також компактні мотор-редуктори, які об'єднують серводвигуни зі стандартними редукторами. Пропонуються як окремі компоненти, так і повноцінні сервоприводи з додатковим обладнанням.

Досягнення в електроніці, використання мікроконтролерів і високовольтних транзисторів забезпечили ефективне керування приводами змінного струму. Потужні магніти зі сплавів неодим-залізо-бору та самарій-кобальту підвищили енергоефективність синхронних двигунів, зменшивши їх розміри та вагу, покращуючи динамічні характеристики. Перехід до синхронних двигунів змінного струму стає все поширенішим, замінюючи традиційні двигуни постійного струму.

Серводвигуни вирізняються високою динамікою, стабільністю, точністю керування, широким діапазоном регулювання швидкості та компактністю [8]. Сучасні цифрові технології спрощують використання серводвигунів, пропонуючи спеціалізовані функції, різноманітні варіанти зв'язку та можливість оптимізації роботи через ПК.

Основні типи серводвигунів [9]:

- синхронні серводвигуни (серії DS/CM, CMP, CMD) – змінного струму;
- асинхронні серводвигуни (серії CT/CV, DRL) – змінного струму з датчиком зворотного зв'язку для роботи з частотними перетворювачами;
- синхронні лінійні електродвигуни (серія SL2) – з постійними магнітами.

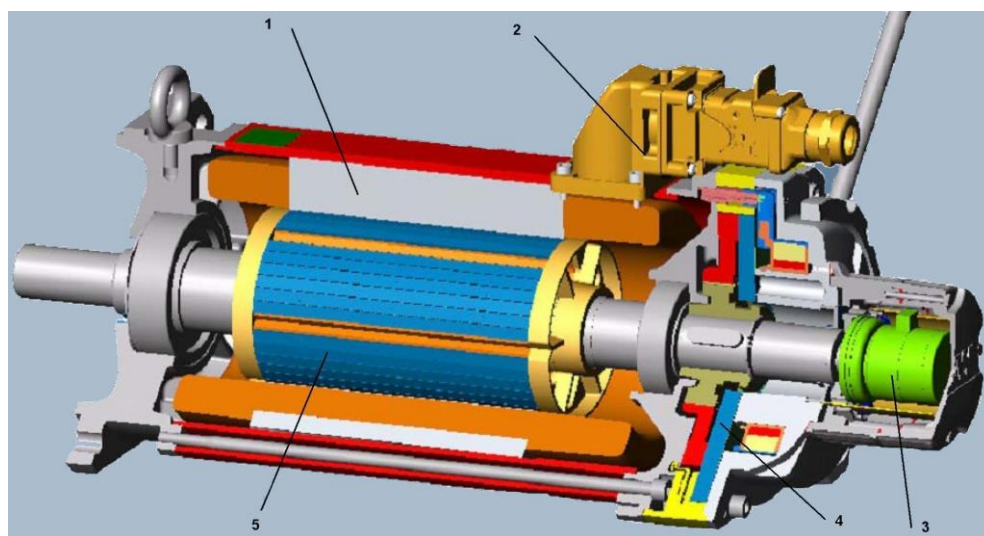
Ці двигуни забезпечують високу точність, ефективність і надійність, що робить їх незамінними в сучасних системах.

1.3.1 Синхронні серво двигуни (DS / CM, CMP, CMD серії)

Синхронні серводвигуни – це трифазні синхронні електричні двигуни, що збуджуються постійними магнітами та оснащені датчиком положення ротора (рис.1.2) [10]. Їх основною перевагою є низький момент інерції ротора відносно крутного моменту, що забезпечує високу швидкодію. Такі двигуни здатні розганятися до номінальної частоти за десятки мілісекунд і виконувати

реверс на повній швидкості в межах одного оберту вала. Основні сфери їх застосування – приводи подач верстатів і технологічні установки з циклом роботи менше секунди (наприклад, швидкодіючі позиційні системи автоматичних складів чи виробництво упаковки).

Основні показники серводвигунів [10]: керування швидкістю, моментом або позицією; точність підтримки позиції вала менше ± 10 ; діапазон регулювання швидкості понад 1:1000; статична точність підтримки швидкості до 0,01%; низька вага і компактність.



1 – статор з обмоткою, 2 – роз'єм для під'єднань, 3 – датчик положення та швидкості, 4 – гальмо електромагнітне, 5 – ротор з магнітами.

Рисунок 1.2 – Конструкція синхронного серводвигуна:

Серводвигуни серії CMD виконані в безкорпусному вбудованому варіанті (рис.1.3), що дозволяє інтегрувати їх безпосередньо в конструкцію виконавчого механізму робочої машини [8] (креслення [МРМА24.00.00.000ДО1]).



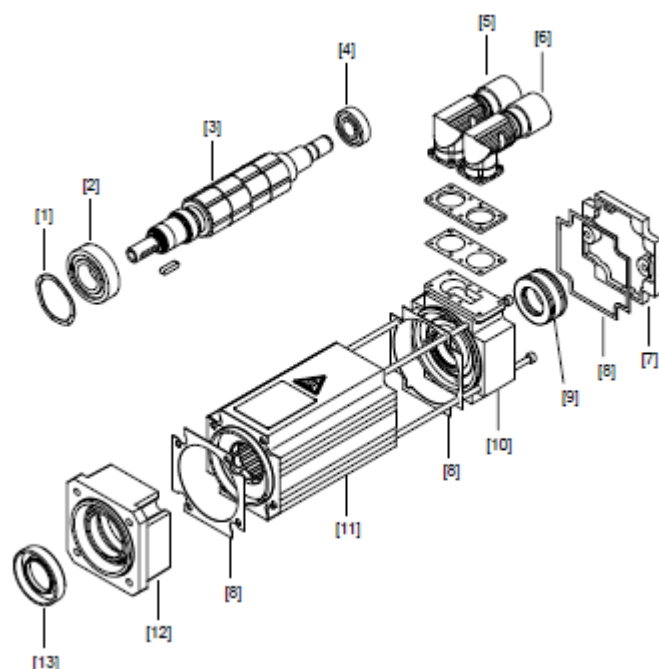
Рисунок 1.3 – Загальний вигляд серводвигунів CMD

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
16

інерційних навантажень [11]. Вони забезпечені потужним робочим гальмом і пропонують великий набір опцій для розширення функціональності.



1 – шайба компенсаційна, 2 – радіальний кулькопідшипник, 3 – ротор, 4 – радіальний кулькопідшипник, 5 – сигнальний піновий роз'єм SM / SB, 6 – силовий піновий роз'єм SM / SB, 7 – кришка корпусу, 8 – прокладка, 9 – резольвер, 10 – підшипниковий задній щит, 11 – корпус з статором, 12 – підшипниковий щит із фланцем, 13 – манжета.

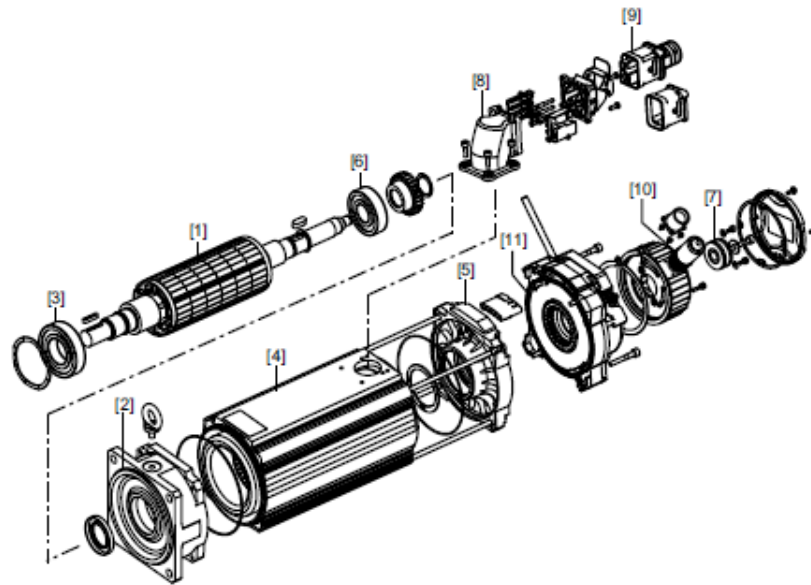
Рисунок 1.4 – Конструкція синхронного серводвигуна СМР:

Електродвигуни СМ/ДС [11] мають перевантажувальну здатність до 4 Н·м номінального моменту та підтримують монтаж на стандартні редуктори або редуктори для сервоприводів через адаптер. Вони оснащені статором із шаблонною обмоткою.

Двигуни можуть бути докомплектованими резольвером або датчиком абсолютного відліку з високою роздільною здатністю, а також опціональним робочим гальмом і вентилятором примусового охолодження. Монтаж передбачає використання штекерного роз'єму або клемної коробки.

Для теплового захисту двигуна передбачено датчики ТФ або КТЧ, що забезпечують надійну експлуатацію при змінних умовах роботи.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата



1 – ротор, 2 – підшипниковий щит з фланцем, 3 – радіальний кулькопідшипник, 4 – корпус з статором, 5 – підшипниковий задній щит, 6 – радіальний кулькопідшипник, 7 – резольвер, 8 – корпус штекерного роз'єму, 9 – штекер кабелю силового в зборі, 10 - штекер сигнального кабелю в зборі, 11 – гальмо.

Рисунок 1.5 – Конструкція синхронного серводвигуна СМ:

1.2.2 Асинхронні серводвигуни (СТ / CV серія і DRL серія)

Компанія SEW-EURODRIVE виробляє асинхронні та синхронні серводвигуни [12]. Конструкція статора в цих електродвигунах є однаковою, проте ротори мають суттєві відмінності (рис.1.6). Асинхронний серводвигун оснащений короткозамкнутим ротором, магнітне поле якого створено за рахунок індукції. У синхронному серводвигуні на роторі встановлені магніти зі сплавом неодим-залізо-бор, які генерують постійне магнітне поле.

Асинхронні серводвигуни відрізняються значно більшим крутним моментом у порівнянні з синхронними. Електродвигуни серії СТ/CV здатні створювати обертовий момент, що у трьох разях перевищує їх номінальний показник у динамічному режимі роботи. Номінальний момент електродвигунів серії DRL становить від 2,5 до 350 Нм, а їх

перевантажувальна здатність досягає 200–350%. Завдяки цьому такий двигун оснащений посиленими підшипниками та валами збільшеного діаметра для надійної передачі великого крутного моменту.

Асинхронні серводвигуни мають більший момент інерції, що підвищує коефіцієнт навантаження двигуна, але знижує загальну динаміку приводу. Для таких двигунів необхідний потужніший приводний перетворювач через втрату в роторі [12].

У стандартній комплектації асинхронні серводвигуни оснащуються синусо-косинусним енкодером, а синхронні - резольвером. За бажанням замовника на двигуні можуть бути встановлені датчики типу HiPerface або абсолютного відліку з інтерфейсом SSI. Крім того, такі двигуни можуть оснащуватися електромагнітним гальмом.

Для вибору електродвигуна потрібно виконати такі аспекти. Якщо прискорення механізму перевищує 5 м/с^2 , слід замінити синхронні серводвигуни. При потужностях понад 20–30 кВт асинхронні серводвигуни є більш економічно вигідними. Якщо коефіцієнт відповідного моменту інерції та навантаження двигуна перевищує 10, найкращим вибором є асинхронний серводвигун.



Рисунок 1.6 – Асинхронний серводвигун компанії SEW-EURODRIVE [12]

Технічні характеристик асинхронних серводвигунів представлені в табл.1.2 [12].

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики асинхронних серводвигунів

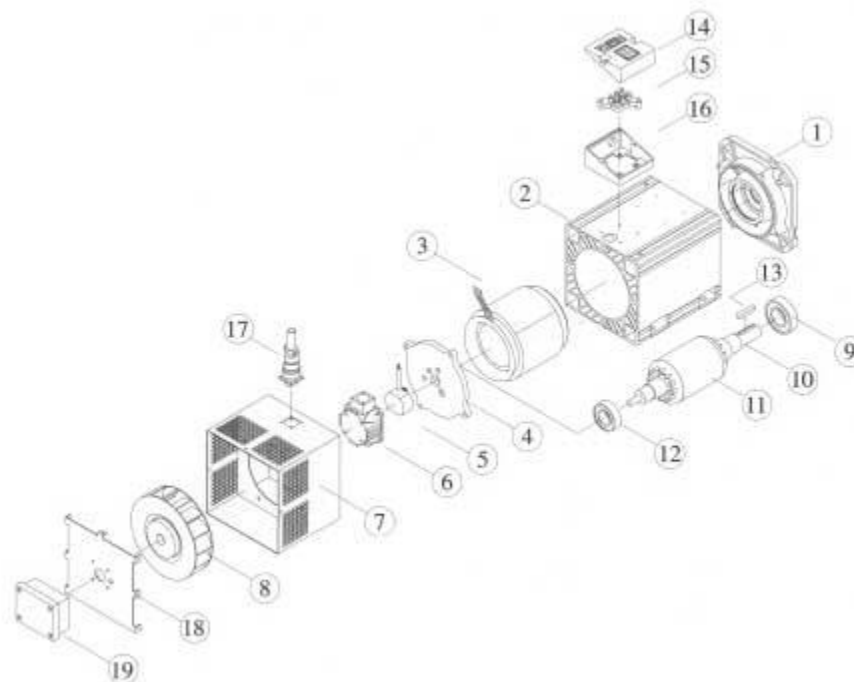
Тип	Номинальна частота обертання, об / хв	Номинальний пусковий момент M_0 , Нм	Максимальний момент M_{max} , Нм
СТ/СV	1200	3...200	7,7...567
СТ/СV	1700	3...190	7,7...567
СТ/СV	2100	3...175	7,7...567
СТ/СV	3000	3...145	7,7...567

Асинхронний серводвигун має низький момент інерції, високу швидкість і малу вагу, що дозволяє використовувати його в динамічних системах (рис. 1.7).

Примусова вентиляція продовжує термін служби та забезпечує роботу в складних умовах на високих швидкостях. Відсутність потреби у вузлі для кріплення датчика заднього зв'язку підвищення компактності двигуна.

Високі динамічні характеристики двигуна знижують динамічну та статичну неузгодженість у системах із числовим програмним керуванням, що дозволяє зберегти мінімальну контурну похибку. Прийнятна ціна робить асинхронний серводвигун наймасовішим у промисловості.

Асинхронні серводвигуни знаходять широке застосування в різних галузях промисловості, зокрема в металургії, екструдерах, намотувальних пристроях, пакувальному забезпеченні, машинах для літання пластмас під тиском, текстильній та друкарській промисловості.



1 – фланець; 2 – корпус; 3 – статор; 4 – стінка задня; 5 – енкодер;
 6 – кришка; 7 – кришка вентилятора; 8 – вентилятор; 9 – підшипник;
 10 – вал; 11 – ротор; 12 – кулепідшипник; 13 – шпонка; 14 – верх клемної
 коробки; 15 – блок клем; 16 – підставка; 17 – виход енкодера; 18 – кришка
 вентилятора; 19 – виход вентилятора.

Рисунок 1.7 – Асинхронний серводвигуна:

Асинхронний серводвигун ST80LA4 розроблений для роботи з частотним перетворювачем [12]. Завдяки зниженому зазору між ротором і статором він має менший коефіцієнт ковзання та вищий ККД. Двигун оснащений інкрементним енкодером і вентилятором охолодження (рис. 1.8). Під час короткочасного ввімкнення при зниженому навантаженні двигун може працювати на максимальній швидкості, але для безперервної роботи слід дотримуватись номінальної швидкості.

Двигун характеризується високою перевантажувальною здатністю завдяки ізоляції, виконаній за класом термостійкості (H). Він оснащений незалежною системою вентиляції з каналами для охолодження, що

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

забезпечує ефективне відведення тепла незалежно від швидкості обертання валу. Його технічні характеристики представлені в табл.1.3.



Рисунок 1.8 – Асинхронний серводвигун ST80LA4

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики серводвигуна ST80LA4

Параметр	Величина
Напруга живлення	380В
Максимальна частота обертання	4000об/хв
Номінальний струм навантаження	1,8А
Максимальний момент	10,5Н/м
Номінальний момент	3,8Н/м
Номінальна потужність	0,75кВт
Номінальна частота обертання	2000об/хв
Номінальна частота живлення	66,7Гц

Рівномірність частоти обертання на низьких швидкостях забезпечується завдяки однаковому магнітному зазору між ротором і статором по всьому колу двигуна. У двигунах компанії "Сервотехніка" можливе регулювання магнітного зазору, що сприяє підвищенню стабільності частоти обертання на низьких обертах [13]. Усі електродвигуни

оснащені роторами, збалансованими відповідно до стандарту ISO 2373 класу R.

Серводвигун має високу динамічність за рахунок зменшення моменту інерції вала та зниження індуктивності статора. Це дозволяє досягти значно коротшої електромеханічної сталої часу.

Асинхронні електродвигуни забезпечують високу продуктивність, що дозволяє в багатьох випадках відмовитися від дорогих синхронних машин. Завдяки використанню сучасних матеріалів можна зменшити масу двигунів на 20%, створити компактну конструкцію, яка об'єднує двигун, датчик зворотного зв'язку та вентиляції.

На відміну від синхронних машин, які вимагають дорогих магнітів із рідко земельних металів, асинхронні двигуни є значно дешевшими у виробництві. Крім того, двигуни компанії "Сервотехніка" оптимізовані для ефективної роботи при частковому навантаженні спеціально за допомогою геометрії статора та розташування обмоток, що зменшує втрати енергії [13].

Частотні перетворювачі КЕВ серії F5 multi добре зарекомендували себе як керуюча частина електродвигуна. Вони підтримують цифрові інтерфейси (Can, Cergos, Profibus), забезпечують швидкість 12 мс і мають широкий набір інструментів для налаштування під конкретне обладнання. Завдяки цим перевагам вони можуть створити якісні та економічні комплектні приводи з необхідними функціями.

1.2.3 Синхронні лінійні серводвигуни SL2 серії [14]

Лінійні електродвигуни можуть замінити шпинделі, пасові та ланцюгові приводи, кривошипно-шатунні механізми, а також передачу типу «шестерня-рейка» в нових чи існуючих виробничих процесах. Принцип роботи синхронних лінійних електродвигунів базується на тому ж принципі, що й обертових синхронних серводвигунів. Ця схожість стає очевидною,

якщо «розрізати і розгорнути» синхронний серводвигун, як показано на рис. 1.9.

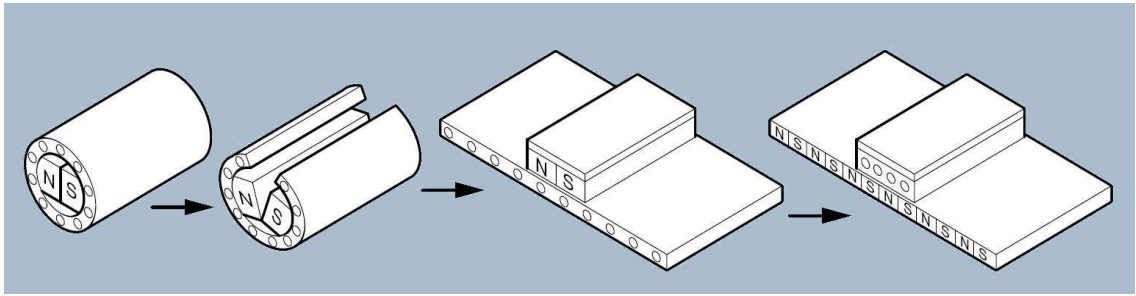


Рисунок 1.9 – Принцип дії лінійного синхронного серводвигуна [14]

Лінійний електродвигун складається зі статора (первинна частина) з обмоткою і термодатчиком та ротора (друга частина) з постійними магнітами в захисній оболонці. У двигунах із коротким статором статор переміщується вздовж магнітного шляху.

Охолодження лінійних двигунів серії SL2 (рис. 1.10) забезпечує розсіювання тепла, а для підвищення ефективності можливе використання вентиляторів примусового обдуву [14].



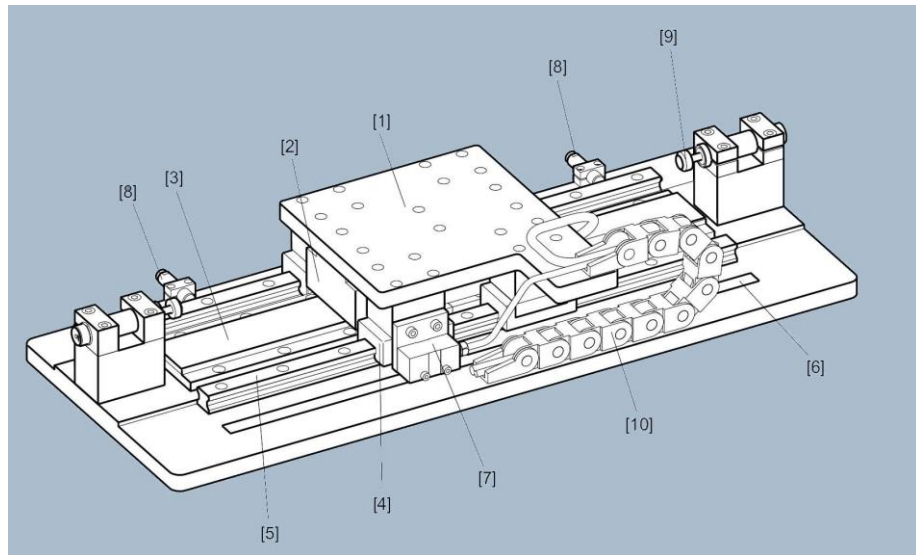
Рисунок 1.10 – Синхронний лінійний серводвигун компанії SEW-EURODRIVE

Синхронні лінійні електродвигуни мають швидкість 1, 3 або 6 м/с, (рис.1.11), номінальну силу тяги від 280 до 6000 Н, максимальні сили тяги лежать в діапазоні від 650 до 12600 Н.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
25



1 – платформа первинної частини, 2 – частина первинна, 3 – частина вторинна,
 4 – напрямний візок, 5 – напрямна, 6 – шкала вимірювальна, 7 – головка для
 зчитування даних, 8 – вимикач кінцевий, 9 – буфер,
 10 - підведення живлення.

Рисунок 1.11 – Будова синхронного лінійного серводвигуна:
 фірми SEW-EURODRIVE [14]

Переваги синхронних лінійних електричних двигунів.

Синхронні лінійні електродвигуни мають низку переваги від обертових серводвигунів. Вони забезпечують лінійні швидкості до 6 м/с і більше, прискорення до 80 м/с², а також мають прямий привід без редукторів і проміжних передач. Такі двигуни відзначаються високою точністю позиціонування та повторення (до ±2 інкрементів), здатні рухати більшу масу навантаження і мають низький знос деталей.

Області використання.

Синхронні лінійні електродвигуни широко застосовуються в пакувальних технологіях, для переміщення і транспортування вантажів, у складних і оброблювальних процесах. Вони також знаходять використання в металообробці, деревообробці та виробництві спецмашин [14].

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

1.2.4 Серводвигуни постійного струму, щіткові серводвигуни

Щіткові серводвигуни створені на основі щіткових двигунів постійного струму з енкодером і драйвером (рис. 1.12). Їх потужність змінюється від 10 до 400 Вт, а напруга живлення може сягати 80 В. Такі двигуни використовують у плоттерах, принтерах, верстатах із числовим програмним керуванням, пакувальному та розкроювальному устаткуванні. Вони розроблені для обладнання, яке потребує низького рівня вібрації, мінімального шуму, високої швидкості та точності [14]. Технічні характеристики цих двигунів наведені в таблиці 1.4.



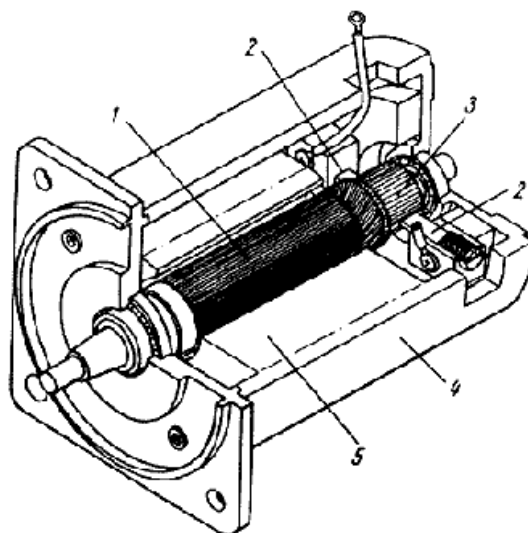
Рисунок 1.12 – Серводвигун постійного струму із щітками
54SYT207-01 [14]

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики серводвигуна 54SYT207-01

Робочий момент	0,353 Нм
Максимальна частота обертання	2700 об/хв
Струм при мінімальному моменті, не більше	4,6 А
Максимальна напруга живлення	30,3 В

1.2.5 Електричні двигуни постійного струму на постійних магнітах

Електродвигун постійного струму [15] із збудженням від постійних магнітів - це двигун постійного струму (ДПС), у якому магнітне поле створюється обертовими постійними магнітами (рис. 1.13). Головною відмінністю таких двигунів від двигунів з електромагнітним збудженням є конструкція їхньої магнітної системи.



1 – якор; 2 – щітка; 3 – колектор, 4 – корпус;
5 – статор (постійний магніт).

Рисунок 1.13 – Електричний двигун постійного струму на постійних магнітах:

Електродвигуни постійного струму на постійних магнітах, також відомі як «високомоментні електродвигуни», забезпечують високий крутний момент без редукторів і витримують перевантаження в 20–50 разів від номінального при малих обертах.

Типи магнітних систем [15].

Радіальне розташування магнітів (з полюсними наконечниками або без них, рис. 1.14, 1.15) - використання в багатополюсних машинах ($2p > 4$). Для зменшення розмагнічуючої дії магніторуйнівної сили якоря

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

застосовуються полюсні наконечники з магнітно-м'якого матеріалу (рис. 1.14) та магніти з високою коерцитивною силою (наприклад, ферит барієвий).

Тангенціальне розташування магнітів (рис. 1.16) - доцільне в числі пар полюсів $2p = 2$, забезпечує велику площу намагнічення за рахунок тривалості магнітів.

Кільцеве розташування магнітів (рис. 1.17) - створюється з магнітотвердого матеріалу у вигляді кілця.

Постійні магніти в таких двигунах аналогічні магнітам, які використовуються в синхронних електричних машинах із постійними магнітами [15].

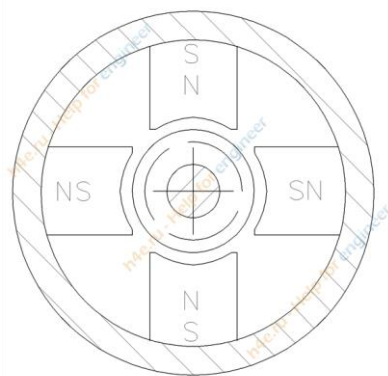


Рисунок 1.14 – Магніти, що розміщені радіально

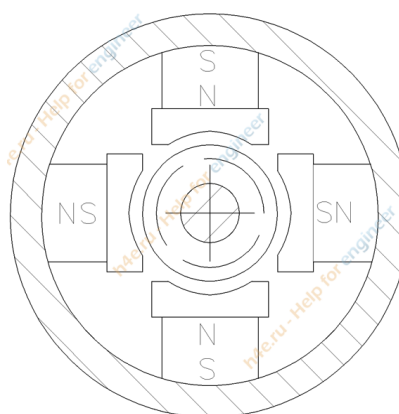


Рисунок 1.15 – Магніти з полюсними наконечниками, що розташовані радіально

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

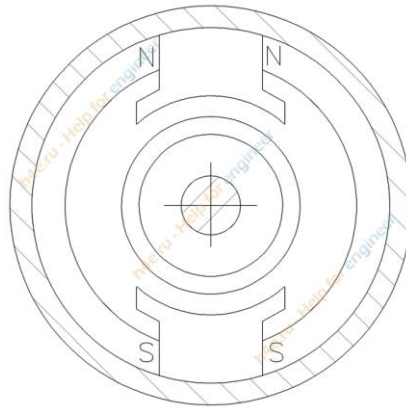


Рисунок 1.16 – Магніти, що розташовані тангенціально

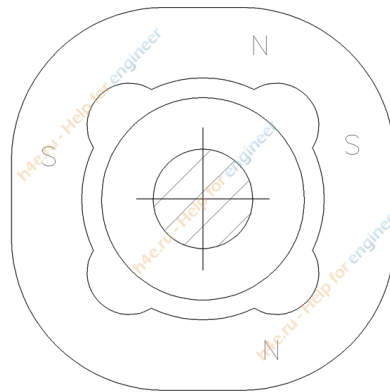


Рисунок 1.17 – Кільцеві магніти

Електродвигуни постійного струму з постійними магнітами широко застосовуються в малопотужних приводах авіації, автомобілебудуванні та автоматичних системах. Вони працюють в короткочасних і повторно-короткочасних режимах роботи, а частота їх обертання регулюється зміною напруги якоря. Проектування таких двигунів складне через необхідність врахування впливу магніторуйнівної сили якоря.

Серед основних переваг цих двигунів - високий коефіцієнт корисної дії (ККД), менші габарити та маса, знижений нагрів, стабільність відновлення та менша вартість. Недоліками є неможливість регулювання частоти обертання зміною поля збудження, висока вартість матеріалів для постійних магнітів [15].

Серводвигуни постійного струму серії СЗД на основі рідкоземельних металів [16] відповідають міжнародним стандартам і є визнаними у світі (рис.

1.18, аркуш [МРМА24.00.00.000ДО2]). Вони забезпечують тривалий термін служби та високу якість.

Ці двигуни мають великий крутний момент навіть при малому моменті інерції, високу швидкість, здатність до перевантаження і ККД. Вони компактні, легкі, мають низький рівень шуму та вібрації, прості в обслуговуванні і захищені на рівні не нижче IP44.



Рисунок 1.18 – Серводвигун постійного струму серії 50SZD [17]

На валу серводвигуна можуть бути встановлені наступні пристрої: енкодер; гальмівна муфта, тахогенератор.

В таблиці 1.5 наведені технічні характеристики серводвигуна серії 50SZD [17].

Таблиця 1.5 – Технічні параметри серводвигуна постійного струму серії 50SZD

Параметр	Величина
Потужність (ном.), кВт	0,025
Частота ($\pm 10\%$), об/хв	1000
Напруга (ном.), В	24(75)
Момент (ном.), Н·м	0,24
Струм (ном.), А	1.7(0.5)

Серводвигуни на постійних магнітах з електронною комутацією (вентильні двигуни) забезпечують високу точність і якість керування рухом. Серія SM відрізняється компактністю, малою вагою, високим номінальним моментом і перевантажувальною здатністю. Основою цих двигунів є ротор із постійними магнітами NdFeB (неодим-залізо-бор) та статор із трифазною обмоткою для синусоїдальної комутації [18].

Серводвигун КЕВ SM0 Dynamic Line I (рис. 1.19) оснащений ротором на магнітах NdFeB, термодатчиком для захисту від перегріву, резольвером для визначення положення ротора, а також може бути укомплектований абсолютним енкодером EnDat або Hiperface [18]. Доступна опція гальма на постійних магнітах і незалежного вентилятора охолодження. Робочий температурний діапазон становить від -20 до +40 °С, температура спрацювання термозахисту - близько 140 °С.

Особливості серводвигуна: широкий спектр номінальних швидкостей; ступінь захисту IP65; резольвер як штатний датчик зворотного зв'язку; клас ізоляції обмоток F; фланцеве кріплення; радіальні підшипники з високотемпературним мастилом.

Області застосування. Серводвигуни використовують в робототехніці, транспортних системах, упаковці та координатних столах.

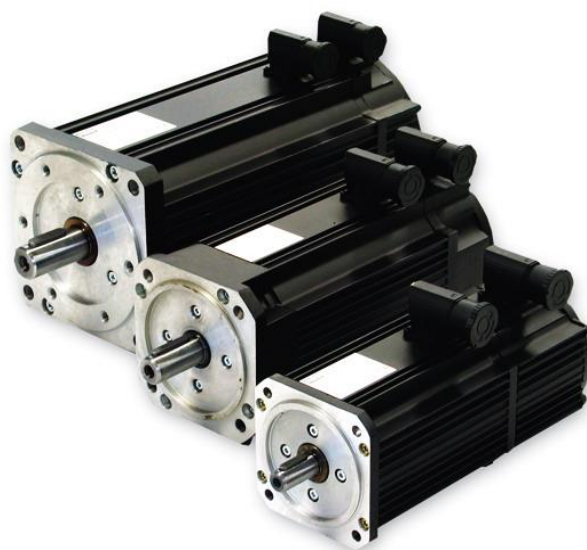


Рисунок 1.19 – Серводвигун КЕВ SM0 Dynamic Line I [18]

В таблиці 1.6 наведені технічні характеристики серводвигуна KEB SM0 Dynamic Line I.

Таблиця 1.6 – Технічні параметри серводвигуна KEB SM0 Dynamic Line I

Параметр	Величина
Напруга живлення	220В
Максимальна частота обертання	9000об/хв
Номінальна частота обертання	6000об/хв
Момент утримання при нульовій швидкості	0,5Н / м
Максимальний момент	2,5Н/м
Струм утримання при нульовій швидкості	1,5А

1.2.6 Інтегрований сервопривод СПШ10

СПШ10 - це висопродуктивний сервопривід із векторним керуючим моментом [19], розроблений фахівцями ЗАТ «Сервотехніка». Він перевершує більшість іноземних аналогів за технічними характеристиками та функціональними можливостями, вигідно вирізняючись доступною вартістю. Сервопривід СПШ10 не має аналогів.

Виробництво СПШ10 в Україні забезпечує короткі терміни доставки, зручне гарантійне та сервісне обслуговування. Інтегрований сервопривід (рис. 1.20) за рахунок усіх витрат компонентів для забезпечення роботи в різних режимах у компактному корпусі.

Складові СПШ10: гібридний кроковий електродвигун; датчик кутового переміщення; перетворювач частоти на основі високопродуктивного DSP-процесора; програмований логічний контролер (PLC).

Технічні характеристики серводвигуна наведено в таблиці 1.7.



Рисунок 1.20 – Загальний вигляд інтегрованого серводвигуна
СПШ10-23017 [19]

Таблиця 1.7 – Основні технічні параметри СПШ10-23017

Параметр	Величина
Момент утримання, Нм	1,8
Напруга живлення блоку керування, В	15
Номінальний струм, А	3
Момент інерції вала ротора, кг • см ²	0,4
Напруга живлення силової частини, В	24-85
Вихідна потужність, Вт	70
Дозвіл енкодера, імп. / об.	1000
Температура зберігання, °С	-40...+50
Допустима експлуатаційна температура навколишнього середовища, °С	-20...+50
Виконання	IP54
Маса, кг	1,9

1.3 Висновки до першого розділу

Зростання автоматизації у виробництві машин і обладнання вимагає скорочення робочих циклів та підвищення гнучкості при зміні продукції. Ці вимоги все рідше можуть бути реалізовані за допомогою звичайних асинхронних електроприводів або гідравлічних і пневматичних компонентів.

Така тенденція сприяла широкому використанню сучасних серводвигунів. Аналіз їхніх характеристик демонструє численні переваги, серед яких високий номінальний момент, широка функція швидкостей, низький рівень шуму та вібрації, ефективність, тривалий термін служби та точність переміщення. Завдяки цим властивостям серводвигуни стали найпоширенішими приводами на великих підприємствах.

Крім того, їх функції та додаткові опції роблять серводвигуни популярними в галузях, де потрібна точність і надійність, наприклад, у швейній промисловості.

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕРВОПРИВОДУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ШВЕЙНИХ МАШИН

2.1 Розробка структурної схеми стенду для дослідження сервоприводу

Проведений огляд різних типів сервоприводів, їх характеристик та сфери застосування сформував ідею дослідити серводвигун із призначенням визначення його технічних параметрів і характеристик. Для реалізації цієї мети був розроблений спеціальний стенд, який дозволяє встановити серводвигун і здійснити його подальше дослідження. На цьому стенді передбачено проведення вимірювань механічних та електричних характеристик сервоприводу, що дає можливість отримати комплексну інформацію про його функціонування.

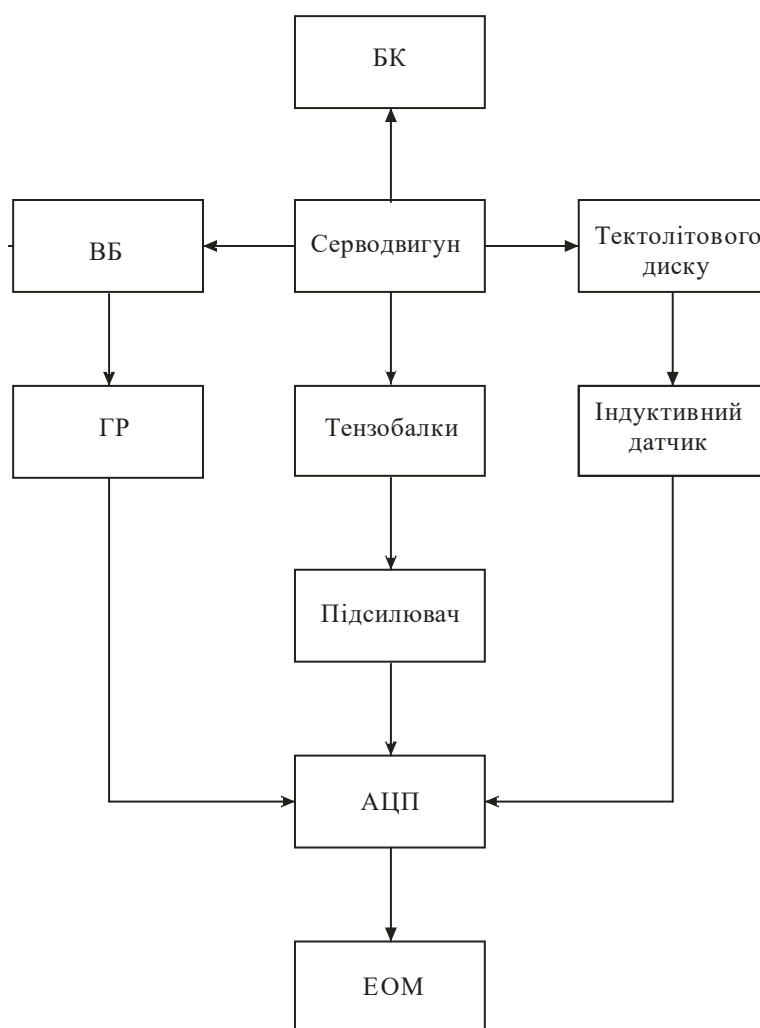
Розроблена структурна схема стенду, зображена на рисунку 2.1, включає всі необхідні прилади й устаткування, які забезпечують точне та коректне вимірювання необхідних параметрів. Схема містить такі основні елементи:

- об'єкт дослідження (серводвигун),
- блок керування (БК),
- індуктивний датчик,
- текстолітовий диск для визначення частоти обертання двигуна,
- тензометричні балки для вимірювання крутного моменту на валу електродвигуна.

Сигнали від датчиків і тензометричних балок передаються через допоміжні пристрої, такі як підсилювач (П), аналого-цифровий перетворювач (АЦП) та вимірювальний блок (ВБ), до компютера (ЕОМ). ЕОМ використовується для зчитування, обробки та фіксації параметрів крутного моменту й частоти обертання. Для вимірювання електричних показників,

таких як напруга, струм і потужність, використовується багатофункціональний лічильник електроенергії (Л).

Графічне відображення результатів вимірювання здійснюється на моніторі за допомогою програмного забезпечення LabVIEW, яке дозволяє в реальному часі відображати параметри роботи сервоприводу [20]. Така інтеграція апаратного й програмного забезпечення створює універсальну платформу для досліджень, забезпечуючи високу точність і зручність у проведенні експериментів. Стенд надає можливість вивчення як статичних, так і динамічних характеристик сервоприводу, що є важливим.



БК – блок керування; ВБ – вимірювальний блок;

ГР – гальванічна розв’язка; АЦП - аналого-цифровий перетворювач;

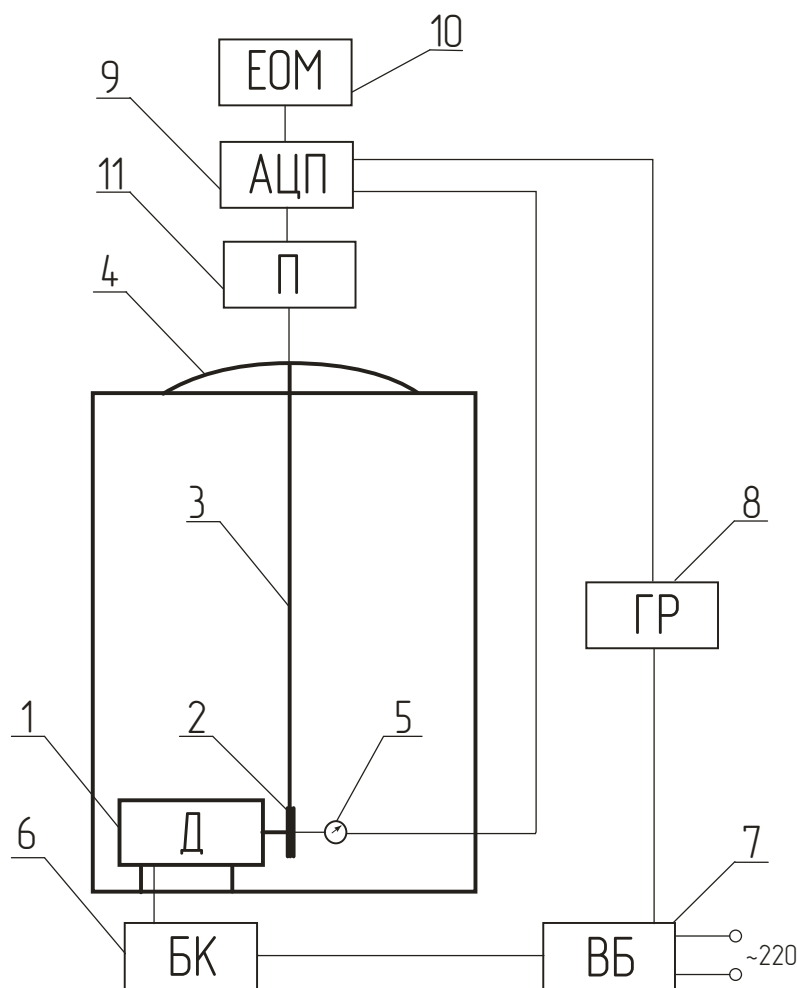
ЕОМ – комп’ютер

Рисунок 2.1 – Структурна схема стенду, що розробляється:

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

2.2 Розробка комбінованої схеми стенду для дослідження серводвигуна

З метою дослідження серводвигуна швейної машини було розроблено стенд, представлений на рисунку 2.2 (креслення [МРМА24.00.00.000С1]). На час проведення експериментів планується детально дослідити електричні та механічні характеристики серводвигуна, що дозволяють оцінити що дозволяє оцінити його продуктивність, енергоефективність, стабільність роботи, а також відповідність вимогам



- 1 – серводвигун (Д), 2 – шків, 3 – пас шкіряний, 4 – балка тензометрична, 5 – датчик індуктивний, 6 – блока керування серводвигуном, 7 – блок вимірювальний, 8 – розв’язка гальванічна, 9 – АЦП, 10 – комп’ютер, 11 – підсилювач.

Рисунок 2.2 – Схема комбінована стенду для дослідження серводвигуна:

Для проведення дослідження серводвигуна (поз. 1) його підключили до електричної мережі через вимірювальний блок (поз. 8), який зчитував параметри споживання електроенергії: струм, напругу та потужність. Також використовувався електричний лічильник (поз. 6) для тарування вимірювального блоку перед початком експериментів. Усі отримані дані надходили до аналогово-цифрового перетворювача, який оцифровував їх і передавав на комп'ютер для збереження та подальшого аналізу.

Механічне натягування створювалося за допомогою металевої стрічки, кінці якої закріплювалися на тензометричних балках. Ці балки підключалися до підсилювача (поз. 12), який підключався до АЦП (поз. 10). Дані про крутний момент і навантаження зберігалися на електронно-обчислювальній машині (ЕОМ).

Електричні параметри серводвигуна (струм, напруга, потужність) вимірювалися через вимірювальний блок (ВБ), підключений до гальванічної розв'язки для забезпечення безпеки. Дані з ВБ передавалися на АЦП і оброблялися комп'ютером, що гарантувало їх точність і надійність.

Частоту обертання валу електродвигуна вимірювали за допомогою індуктивного датчика (поз. 5). Сигнали від датчика надходили на АЦП, де оброблялися в середовищі LabVIEW [20]. Це середовище дозволяло в реальному часі відображати графіки залежностей, записувати показники та зберігати їх для подальшого аналізу.

Усі дані - механічні, електричні та динамічні параметри серводвигуна - інтегровані в єдину базу. Це забезпечувало глибокий аналіз роботи двигуна, включаючи динамічні характеристики, ефективність у різних випадках та визначення оптимальних параметрів режиму роботи.

2.3 Обґрунтування та вибір сервоприводу для стенду

Для розробленого стенда було обрано сервопривід FD VX-4A (рис. 2.3) [21]. Управління цим серво приводом здійснюється за допомогою імпульсів змінної тривалості, що передаються через сигнальний дріт. Коли тривалість імпульсу становить близько 1,5 мс, серво привід знаходиться в нейтральному положенні, що означає рівний потенціал обертання в обидва напрямки.



Рисунок 2.3 – Сервопривід FD – VX 4A

Кут повороту серво приводу визначається тривалістю імпульсу. Чим довший імпульс, тим швидше працює електродвигун. Якщо тривалість імпульсу менше 1,5 мс, вал приводу повертається на певний кут проти годинникової стрілки й намагається зафіксувати це положення. Якщо ж тривалість імпульсу перевищує 1,5 мс, вал обертається за годинниковою стрілкою. Для нормальної роботи серво приводу необхідний діапазон тривалості імпульсів у межах 1–2 мс.

Серво привід потребує регулярних імпульсів для утримання заданого положення. Якщо протягом 20 мс не надходять нові імпульси, привід втрачає здатність підтримувати поточне положення. У процесі виконання команди привід створює максимальний опір зовнішній силі, яка намагається змінити його положення, що визначає його граничну силу.

Важливою характеристикою серво приводу є швидкість обертання, яка визначає час, необхідний для переходу з одного положення в інше. Цей параметр суттєво впливає на ефективність і точність роботи приводу, особливо в системах, де необхідно забезпечити швидке й точне позиціонування.

В табл.2.1 представлено технічні параметри сервоприводу FD – BX 4A [21].

Таблиця 2.1 – Технічні параметри сервопривода FD – BX 4A [21]

Технічні параметри	Величина
Тип електродвигуна	FD – BX 4A
Напруга живлення, В	220В
Максимальна частота обертання, об/хв	3000
Мінімальна частота обертання, об/хв	155
Потужність, Вт	400
Маса, кг	4

Цей сервопривід оснащений функціями регулювання швидкості та позиціонування голки, що робить його ефективним рішенням для впровадження в швейній промисловості. Його встановлюють на швейні машини, щоб покращити процес шиття, забезпечуючи більшу точність і контроль.

2.4 Розробка та вибір вимірювальних систем і приладів

2.4.1 Вибір методу та пристрою для вимірювання частоти обертання

Для вимірювання частоти обертання був обраний індуктивний датчик IA08BLN25PO, зображений на рисунку 2.4 [22]. Цей датчик є параметричним перетворювачем, принцип дії якого базується на зміні індуктивності L або взаємоіндуктивності обмотки з осердям. Такі зміни відбуваються внаслідок зміни магнітного опору RM магнітного кола датчика, до складу якого входить осердя.



Рисунок 2.4 – Індуктивний датчик IA08BLN25PO [22]

Індуктивні датчики знайшли широке застосування в промисловості для вимірювання переміщення в діапазоні від 1 мкм до 20 мм. У цьому випадку параметр, який вимірюється за допомогою різних чутливих елементів, перетворюється в зміну переміщення, після чого ця величина передається до індуктивного вимірювального перетворювача.

Індуктивні датчики широко застосовуються в промисловості для вимірювання переміщень у діапазоні від 1 мкм до 20 мм. У цьому випадку вимірюваний параметр, завдяки різним чутливим елементам, перетворюється на зміну переміщення, яке подається на індуктивний вимірювальний перетворювач.

Конструкція індуктивного датчика включає котушку з обмоткою, осердя з магнітом'якого заліза та магніт [22]. Така конструкція використовується для підрахунку кількості обертів валу електричного двигуна або іншого обертового пристрою (рис.2.5).

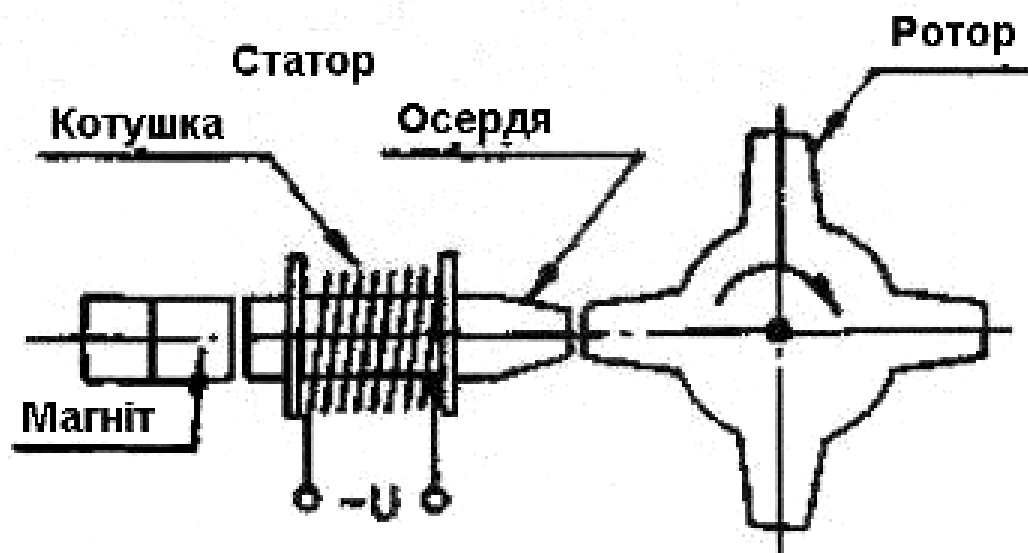


Рисунок 2.5 – Будова індуктивного датчика

Три основні елементи утворюють статор датчика, з яким взаємодіє ротор, виконаний у вигляді зубчастого диска або рейки з певною кількістю зубів. Коли зуб ротора наближається до обмотки статора, напруга в обмотці стрімко зростає, досягаючи максимуму при збіганні із середньою лінією обмотки. Після цього, при віддаленні зуба, напруга змінює знак і також швидко збільшується в протилежному напрямку, досягаючи нового максимуму [22].

На графіку (рисунок 2.6) чітко видно крутизну зміни напруги, що дозволяє використовувати такий перехід для керування електронними системами.

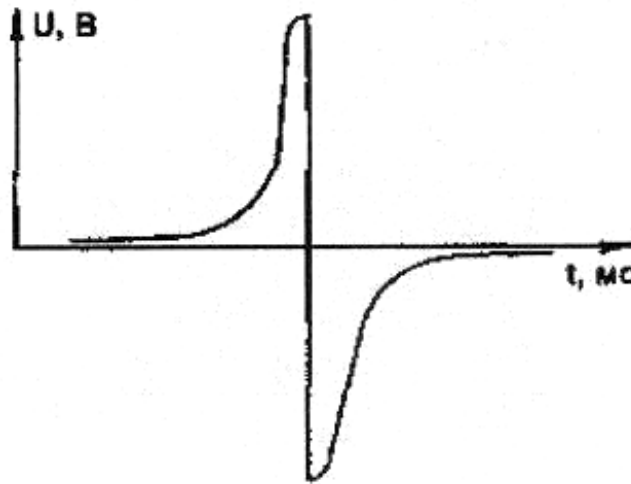


Рисунок 2.6 – Вихідний сигнал індуктивного датчика [22]

Індуктивні датчики також використовуються як датчики наближення, які безконтактно виявляють металеві та неметалеві об'єкти, працюючи за принципом двійкового сигналу "так" або "ні".

У таблиці 2.2 представлені технічні характеристики індуктивного датчика.

Таблиця 2.2 – Технічні параметри індуктивного датчика IA08BLN25PO [22]

Технічна характеристика	Величина
Частота операцій циклів	2000 Гц
Номінальний робочий струм	$\leq 200 \text{ мА} + 25^\circ\text{C}$
Струм холостого ходу	$\leq 10 \text{ мА}$
Номінальна робоча напруга	10-30 В
Падіння напруги	$< 2,5 \text{ В}$
Ефективна дистанція спрацювання	2-2,5 мм

Продовження табл.2.2.

Температура навколишнього середовища:	
- операційна	від -25° до +70°С
- зберігання	від -30° до +75°С
Ступінь захисту	IP 67
Матеріал корпусу	Нержавіюча сталь, AISI 303
Вага	АІ... 36 g
	АІ...М1/М5 11 g
Захист від короткого замикання	так

Переваги індуктивних датчиків включають [23]:

- можливість підключення до джерел змінного струму промислової частоти;
- просту та міцну конструкцію без ковзних контактів;
- високу чутливість;
- відносно високу вихідну потужність (до кількох десятків ват).

Однак вони мають і недоліки:

- працездатність лише на змінному струмі;
- точність роботи залежить від стабільності частоти та напруги живлення.

На вихідному кінці валу електроприводу закріплюється диск із фольгованого текстоліту, який має чотири мідні позначки, як показано на рисунку 2.7. Чутливий елемент індуктивного датчика встановлюється на відстані 1,5–2,5 мм від цих позначок.

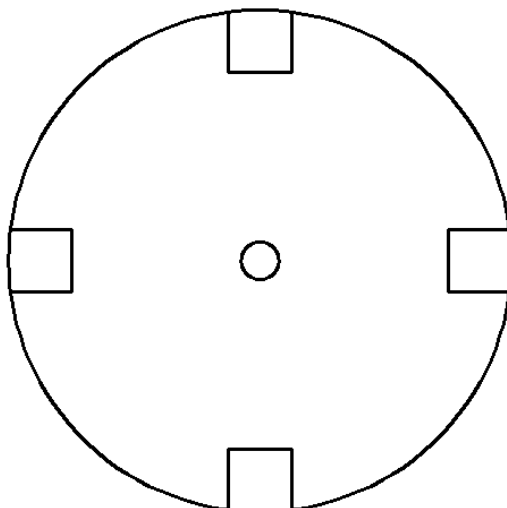


Рисунок 2.7 – Диск з текстоліту фольгованого

2.4.2 Підбір способу вимірювання крутного моменту

Для механічного навантаження електродвигунів використовуються різні типи гальмівних пристроїв, які забезпечують регулювання навантажувального (протидіючого) моменту на валу двигуна та одночасно дозволяють вимірювати його величину. У дослідженнях електродвигунів широко застосовуються фрикційні та електромеханічні гальмівні пристрої [24].

Одним із прикладів є стрічкове гальмо, зображене на рисунку 2.8. Цей пристрій складається з гальмівної стрічки (2), що охоплює шків (1) досліджуваного електродвигуна, двох динамометрів (3), гвинта (6) і штурвала (5) із гайкою, яка накручується на гвинт. Уся конструкція змонтована на стійці (4). Навантажувальний момент M_2 (Н·м) визначається за показаннями динамометрів F_1 та F_2 за формулою:

$$M_2 = 0,5 \cdot D(F_1 - F_2),$$

де D – діаметр шківа, м.

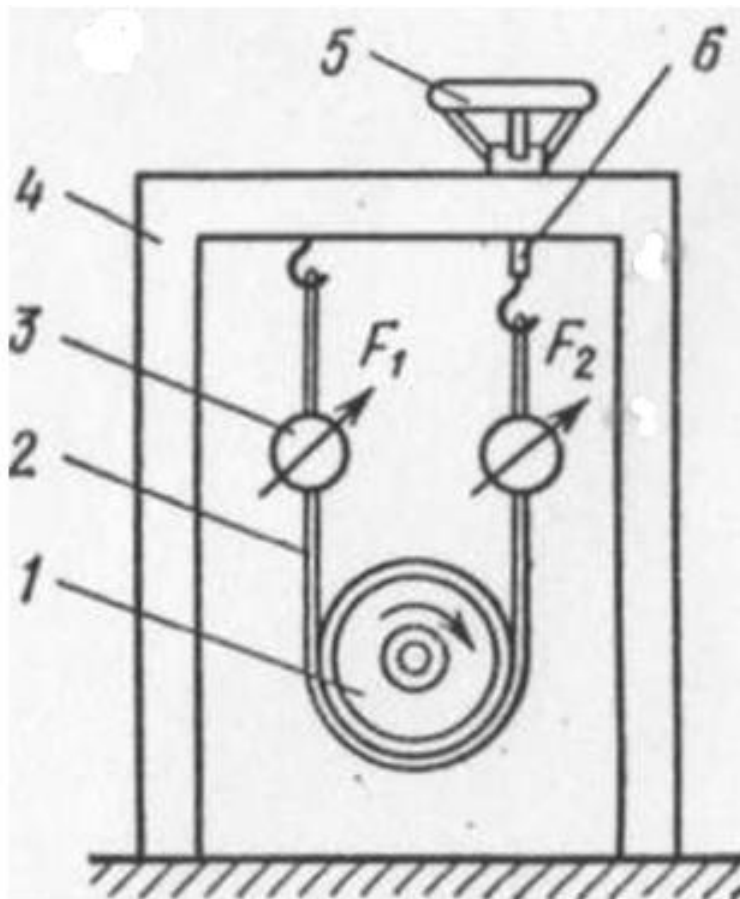


Рисунок 2.8 – Стрічкове гальмо із динамометром

Щоб уникнути перегрівання стрічки та шківа під час гальмування, необхідно застосувати охолодження водою. Це важливо, тому що високі температури можуть призвести до пошкодження гальмівного механізму та зниження ефективності його роботи. Однак, у цьому випадку використання стрічкових гальм можливо тільки при потужності електродвигуна, що не перевищує 3-4 кВт. Для потужніших двигунів можуть знадобитися більш ефективні або альтернативні гальмівні системи, здатні витримувати більші навантаження [24].

Для вимірювання крутного моменту динамометри замінюють тензометричними балками, на які закріплюються тензометричні датчики. Навантаження балки здійснюється за допомогою пасу, що охоплює шків електрофрикційного приводу швейної машини.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Принцип роботи тензометричних резисторів базується на явищі тензоефекту, який полягає у зміні електричного опору провідників і напівпровідників під час їхньої механічної деформації [25]. Тензорезистори виготовляються в різних розмірах, але їхня довжина зазвичай не менша за 0,25 мм, що дозволяє вимірювати деформації до 10^{-6} м. Тензорезистори встановлюють на поверхню об'єкта, який досліджується, або вмонтовують у матеріал, деформація якого потребує вимірювання.

Залежно від конструкції промисловість пропонує три основні типи тензорезисторів:

- фольгові;
- дротові;
- напівпровідникові.

Дротові тензорезистори можуть бути як наклеюваними, так і ненаклеюваними, тоді як напівпровідникові доступні у наклеюваному або дифузійному виконанні. У напівпровідникових тензорезисторів механічний тиск призводить до деформації кристалічної решітки, що спричиняє значно більшу зміну опору порівняно з металевими аналогами.

Для вимірювання крутного моменту на ведучому валу серводвигуна було обрано тензорезистор КФ5П1 (рис.2.10) [26].

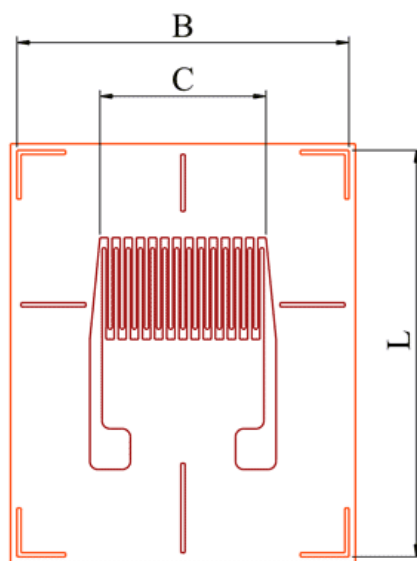


Рисунок 2.9 – Тензорезистор марки КФ5П1

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Тензорезистори серії КФ використовуються для вимірювання деформацій деталей машин і конструкцій за умов статичних і динамічних навантажень. Вони також застосовуються у силовимірювальних тензометричних перетворювачах і датчиках.

В табл.2.3 показані технічні параметри тензорезистора КФ5П1 [26].

Таблиця 2.3 – Технічні параметри тензорезистора КФ5П1

Технічна характеристика	Величина
Типорозмір	5-100
Опір, Ом	100
Розмір підкладки	
L	18,5
B	5,9
Розмір чутливого елемента	
A	10
C	2,21
Інтервал термокомпенсації, °С	від + 10 до + 120
Чутливість	2,1 ± 0,2
Максимальний струм живлення, мА	30

3.4.3 Вибір операційного підсилювача

Для посилення сигналів використовували операційний підсилювач LM358P [27]. Він містить два незалежні операційні підсилювачі з внутрішньою частотною корекцією, забезпечуючи коефіцієнт посилення напруги до 100 дБ. Підсилювач LM358P (рисунок 2.10) відрізняється низьким енергоспоживанням (1,2 мА) і призначений для роботи від одного джерела живлення з напругою в діапазоні від 3 В до 32 В.

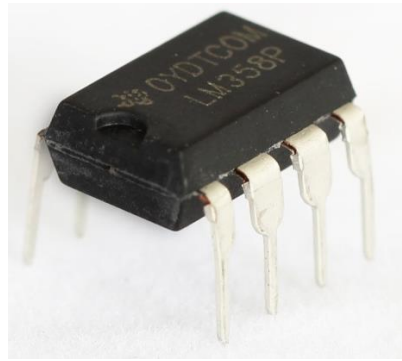


Рисунок 2.10 – Операційний двоканальний підсилювач
LM358P

Цей операційний підсилювач може живитися через дільник напруги від малопотужного джерела живлення, при цьому струм витoku залишається постійним і не залежить від рівня напруги. У таблиці 2.4 подано технічні характеристики операційного підсилювача.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики операційного підсилювача LM358P [27]

Технічні характеристики	Величина
Кількість контактів	8
Смуга пропускання	1МГц;
Широкий діапазон живлення	3В ~ 32В;
Корпус	PDIP-8.
Кількість каналів	2
Коефіцієнт блокування перешкод	65 дБ
Вхідна напруга зміщення	7 мВ
Вид монтажу	Наскрізний отвір
Мінімальна робоча температура	0 ° С
Максимальна робоча температура	+ 70 ° С

Продовження табл.2.4.

Струм живлення	1.2 мА
Вихідний струм	30 мА
Технологія	Bipolar

2.4.4 Розробка електричної схеми пристрою для визначення напруги і струму

Для стенду розроблено електричну схему пристрою вимірювання напруги та струму, представлена на рис. 3.11 (креслення [МРМА24.00.00.000Е3]).

Як запобіжник у схемі використано діод КД522 [28], який починає проводити струм при напрузі 0,6 В. У подальшому здійснюється розрахунок основних компонентів електричної схеми пристрою вимірювання напруги.

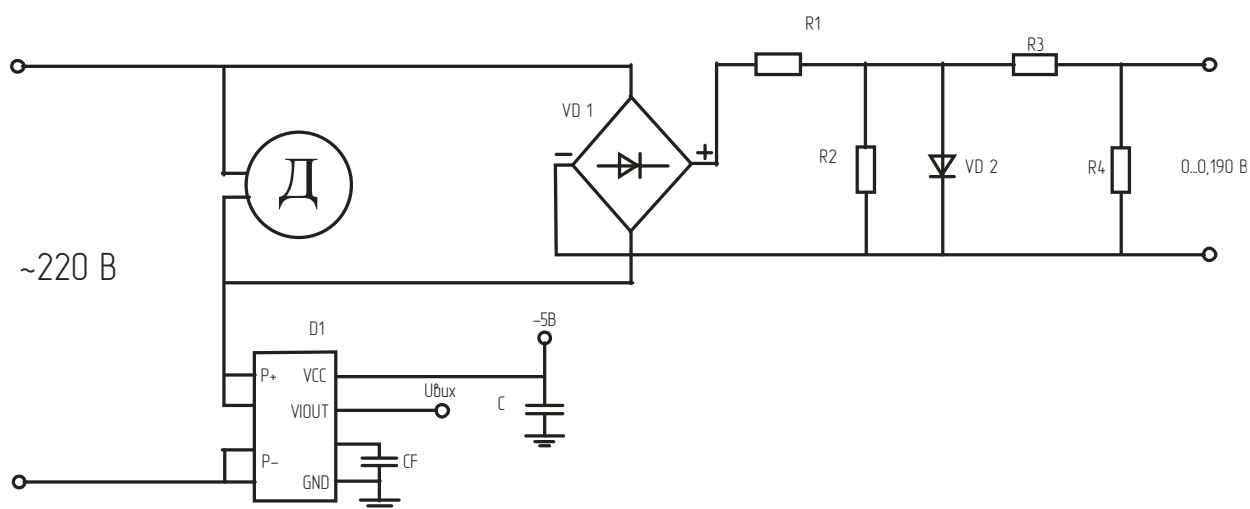


Рисунок 2.11 – Схема електрична приладу визначення напруги і струму

Згідно із законом Ома, величина падіння напруги (зменшення потенціалу при переміщенні заряду між двома точками електричного кола) на кожному резисторі буде прямо пропорційна його опору:

$$U=IR \quad (2.1)$$

Для кожного резистора буде складати:

$$U_1=IR_1, \quad (2.2)$$

$$U_2=IR_2, \quad (2.3)$$

$$U_3=IR_3, \quad (2.4)$$

$$U_4=IR_4. \quad (2.5)$$

Розділивши вираз для U_1 на вираз для U_2 і U_3 на U_4 в було отримано:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}, \quad (2.6)$$

$$\frac{U_3}{U_4} = \frac{R_3}{R_4}, \quad (2.7)$$

де $U_1=299,4$ В;

$U_2=0,6$ В;

$U_3=0,4$ В;

$U_4=0,2$ В.

Таким чином, відношення напруг U_1 до U_2 і U_3 до U_4 буде рівнятися відношенню опорів R_1 до R_2 і R_3 до R_4 .

Тоді:

$$\frac{299,4}{0,6} = \frac{R_1}{R_2},$$

$$\frac{0,4}{0,2} = \frac{R_3}{R_4}.$$

Резистори було вибрано із номінального ряду Е6. Звідки, R_1 приймаємо на 300 кОм $\pm 20\%$, R_3 на 3,9 кОм $\pm 20\%$, а резистор R_2 і R_4 було знайдено з наступних формул:

$$U_{вих1} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \cdot U_{вх1}, \quad (2.8)$$

$$U_{вих2} = \frac{R_4}{R_4 + R_3} \cdot U_{вх2}, \quad (2.9)$$

де $U_{вих1} = 0,6$ В;

$U_{вх1} = 300$ В;

$U_{вих2} = 0,2$ В;

$U_{вх2} = 0,6$ В.

Тоді:

$$0,6 = \frac{R_2}{R_2 + 300000} \cdot 300, \quad (2.10)$$

$$R_2 = 601,2 \text{ Ом.}$$

$$0,2 = \frac{R_4}{R_4 + 3900} \cdot 0,6, \quad (2.11)$$

$$R_4 = 1950 \text{ Ом.}$$

З номінального ряду Е6 було обрано R_2 на 560 Ом $\pm 20\%$ і R_4 на 2 кОм $\pm 20\%$.

2.4.5 Підбір датчика струму

Для автоматизації дослідження сервоприводу використовувався датчик струму [29], який забезпечує контроль величини струму, отримання його значень у цифровому форматі та спрощує розрахунки на основі цих даних.

Датчик струму ACS712ELECTR-20A-T працює на основі ефекту Холла, принцип якого полягає у взаємодії магнітного поля з провідником, через який протікає струм. Ефект проявляється у виникненні електрорушійної сили (ЕРС) перпендикулярно до напрямку струму і магнітного поля. Схематичне зображення цього явища наведено на рисунку 2.12.

Через тонку пластину напівпровідникового матеріалу, звану елементом Холла, протікає струм I . При наявності магнітного поля на рухомі носії заряду (електрони) діє сила Лоренца, що викривляє траєкторію руху електронів. Це спричиняє перерозподіл зарядів у матеріалі елемента Холла, внаслідок чого на його краях виникає ЕРС Холла. Величина цієї ЕРС

пропорційна векторному добутку магнітної індукції B і густини струму I .
Типове значення ЕРС Холла становить кілька мікрвольт.

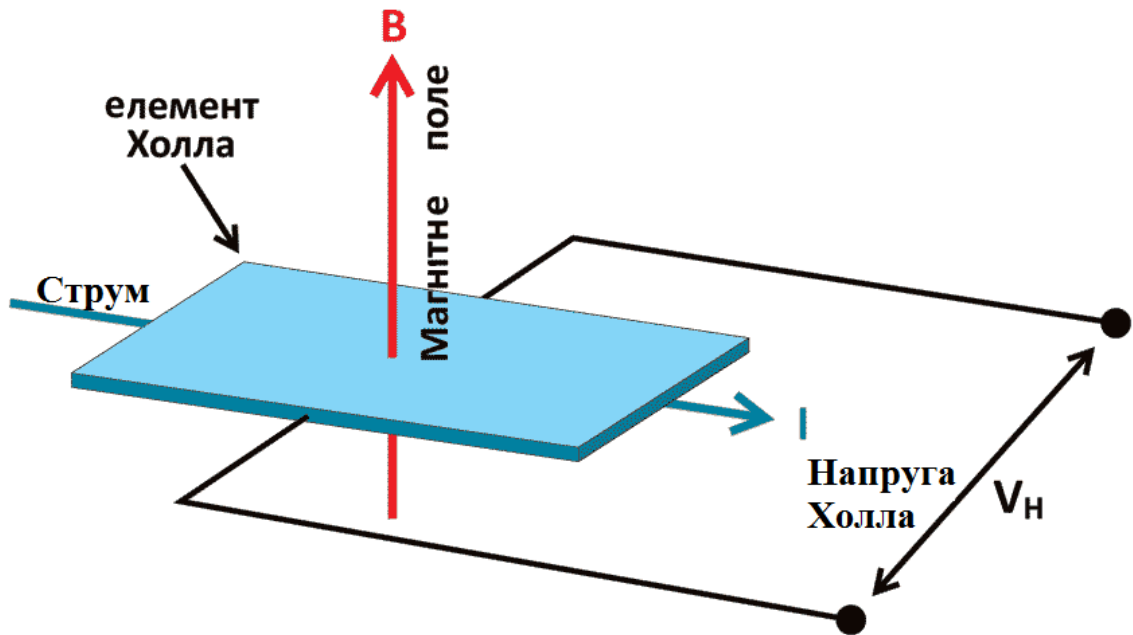
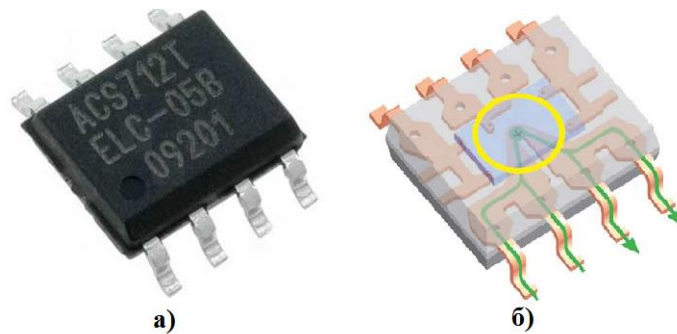


Рисунок 2.12 – Ефект Холла

Мікросхему ACS712ELECTR-20A-T випускають в мініатюрному 8-виводному корпусі SOIC для поверхневого монтажу (рисунок 2.13, а).



а - мікросхема ACS712ELECTR-20A-T в корпусі SOIC;

б - внутрішня конструкція датчика

Рисунок 2.13 – Датчик струму ACS712ELECTR-20A-T:

Датчик складається з високоточного лінійного сенсора Холла з малою напругою зміщення та мідного провідника, який проходить уздовж поверхні чіпа та виконує роль сигнального шляху для струму (рисунок 13, б) [29]. Струм, що проходить через цей провідник, створює магнітне поле, яке вловлюється вбудованим у кристал елементом Холла. Інтенсивність магнітного поля лінійно залежить від величини струму. Вбудований формувач сигналу обробляє напругу, створену чутливим елементом, шляхом її фільтрації та підсилення до рівня, який може бути зчитаний аналогово-цифровим перетворювачем мікроконтролера.

2.4.6 Вибір гальванічної розв'язки

Гальванічна розв'язка застосовується в ситуаціях, коли необхідно обмінюватися інформацією між кількома електричними колами, що мають різні потенціали «землі» [30]. Вона ефективно усуває паразитні сигнали, які можуть проникати через спільні ділянки «земляного» провідника, і забезпечує безпеку, запобігаючи ризику ураження електричним струмом.

Гальванічна розв'язка моделі HL-7B30 (рисунок 2.14) містить багатоканальні аналогові перетворювачі з індивідуальною ізоляцією на рівні 1500 В. Вона забезпечує нормування сигналів постійної та змінної напруги і струму, а також підтримує роботу з термометрами опору, термопарами та потенціометрами. Конструктивно модулі виконані у формі блоків із гвинтовими з'єднаннями, розміщеними в пластиковому корпусі, що дозволяє їх монтаж на DIN-рейку.



Рисунок 2.14 – Гальванічна розв'язка HL–7B30

Технічні характеристики цієї гальванічної розв'язки приведені в табл.2.5.

Таблиця 2.5 – Технічні параметри гальванічної розв'язки HL-7B30 [30]

Технічні характеристики	Величина
Кількість каналів	1 – 4 , функція відключення виходів
Діапазон частот	0..3 Гц / 0..10кГц
Блокування перешкоди загального вигляду не менше	100 дБ (50 Гц)
Похибка нелінійності не більше	0.1%
Основна похибка перетворення	$\pm 0.2 \dots \pm 0.5\%$
Напруга живлення	10..30 В
Введення сигналів постійної напруги	0..100 мВ
Споживана потужність не більше	0.3 Вт
Діапазон робочих температур	-10 .. + 70 ° С

2.4.7 Підбір аналого-цифрового перетворювача

Сучасні технології збору даних активно використовуються в багатьох сферах — від наукових досліджень до автоматизації виробництва [31]. Для цього застосовуються ПК з інтерфейсами PCI, USB, Ethernet та іншими, а також віддалені пристрої збору даних. Сигнали поділяються на аналогові та цифрові, і вибір апаратної частини залежить від їхніх характеристик. Аналогові сигнали вимагають вимірювання таких параметрів, як частота, амплітуда та швидкість наростання, тоді як цифрові обробляються на основі частоти або амплітуди імпульсів [31].

У системах збору даних використовуються синхронний і асинхронний обмін інформацією. Асинхронний обмін із керуючими сигналами підвищує надійність передачі. Запуск і завершення збору часто виконуються за допомогою тригерів, які синхронізують роботу систем із зовнішніми імпульсами. Цифрові інтерфейси забезпечують взаємодію з периферійними пристроями, такими як мікроконтролери чи принтери.

Узгодження сигналів включає підсилення для зменшення шуму та електричну ізоляцію для безпеки. Наприклад, мікросистема m-DAQ12 використовується для збору та обробки даних у мобільних або лабораторних умовах, забезпечуючи надійність і безпечне підключення через USB.

Завдяки використанню цифрових систем на кафедрі машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем пристрої збору даних дозволяють виконувати лабораторні роботи з високою якістю. Підключення ПК через Ethernet дає змогу ефективно управляти об'єктами та спрощує обслуговування завдяки LABVIEW. Інженери можуть легко вносити зміни до проєктів, що значно спрощує роботу.

m-DAQ12 – багатофункціональний вимірювальний модуль (рисунки 2.15), який підключається до ПК через інтерфейс USB 2.0 HighSpeed [32].

Сигнали підключаються через роз'єм, розташований на боковій стінці модуля.

Мікросистема складається з таких компонентів [32]:

- порту для введення та виведення дискретних сигналів;
- 12-розрядного аналогово-цифрового перетворювача (в моделі m-DAQ12) із функцією мультиплексування вхідних аналогових каналів;
- двоканального 12-розрядного цифро-аналогового перетворювача (доступного як опція).



Рисунок 2.15 – Мікросистеми m-DAQ12

Мікросистема підтримує роботу з 4 диференціальними або 8 каналами з загальною землею для введення аналогових сигналів. Аналогові канали підключаються до АЦП через програмно керований підсилювач із чотирма діапазонами вимірювання напруги: ± 10 В, ± 5 В, ± 2.5 В, ± 1.25 В.

Забезпечується безперервний збір даних на частотах дискретизації АЦП від 65 Гц до 100 КГц. Цифрове введення-виведення представлено 8 лініями, які можна конфігурувати для введення або виведення, сумісними з ТТЛ рівнями. Контакти зовнішнього роз'єму мають напругу живлення для зовнішніх пристроїв: +5 В і ± 15 В [32].

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Базова модель m-DAQ12 виконана у компактному корпусі з АВС-пластика, підключення здійснюється через роз'єм DB-25. У версії для вбудованих застосувань використовується штирьовий з'єднувач IDC-26.

Системні вимоги:

- процесор: не нижче Pentium III;
- інтерфейс: USB 2.0 з підтримкою HighSpeed (480 Мб/с);
- місце на диску: 100 МБ;
- ОС: Microsoft Windows XP або новіша.

Апаратна частина [32].

Мікросистема m-DAQ12 має 8 каналів аналогового введення (AIN0...AIN7). Програмно встановлюваний діапазон входних напруг для кожного каналу: ± 10 В, ± 5 В, ± 2.5 В, ± 1.25 В. Максимальна частота дискретизації:

- одноканальний режим: до 150 кГц;
- багатоканальний режим: до 100 кГц.

Запуск АЦП відбувається за допомогою внутрішнього генератора або синхронізується із зовнішньою подією. Аналоговий тракт АЦП забезпечує входну комутацію каналів і індивідуальне налаштування коефіцієнта посилення для кожного каналу відповідно до обраного діапазону входних напруг.

Загальні технічні характеристики.

Мікросистема живиться від шини USB 2.0, підтримуючи режим HighSpeed із швидкістю до 480 Мб/с. Споживання струму без навантаження на ЦАП і лініях дискретного введення/виведення не перевищує 250 мА. Робочий температурний діапазон становить від $+5$ °С до $+40$ °С, а зберігати пристрій можна при температурах від -30 °С до $+70$ °С. Вологість у робочих умовах допускається в межах 5–90% без утворення конденсату. Для підключення використовуються роз'єми DB25F (базова модель) або IDC-26

(ЕОМ-версія). Розміри мікросистеми становлять $60 \times 100 \times 28$ мм, а її маса не перевищує 0,35 кг.

Технічні характеристики аналогових каналів [32].

Мікросистема підтримує 4 диференціальні або 8 однопровідних аналогових канали із загальною землею. Діапазон вхідних напруг налаштовується програмно й може становити ± 10 В, ± 5 В, ± 2.5 В або ± 1.25 В. Максимальна вхідна напруга для кожного каналу не перевищує ± 15 В. АЦП має розрядність 12 біт, диференціальна нелінійність коливається від -1 до +1.5 МЗР, а інтегральна - до +1.5 МЗР.

Частота дискретизації в одноканальному режимі може досягати 150 кГц, тоді як у багатоканальному режимі — до 100 кГц. Запуск АЦП здійснюється внутрішнім генератором або синхронізується з зовнішньою подією.

Придушення перехресного сигналу досягає 98 дБ для частоти 10 кГц на діапазоні ± 10 В і внутрішньому опорі 50 Ом. Придушення перешкод при диференціальному підключенні варіюється залежно від діапазону вхідних напруг: 92 дБ для ± 10 В, 96 дБ для ± 5 В, та 100 дБ для ± 2.5 В і ± 1.25 В.

2.4.8 Вибір програмного забезпечення

Для обробки даних з аналого-цифрового перетворювача використовують програми LabVIEW і Microsoft Excel.

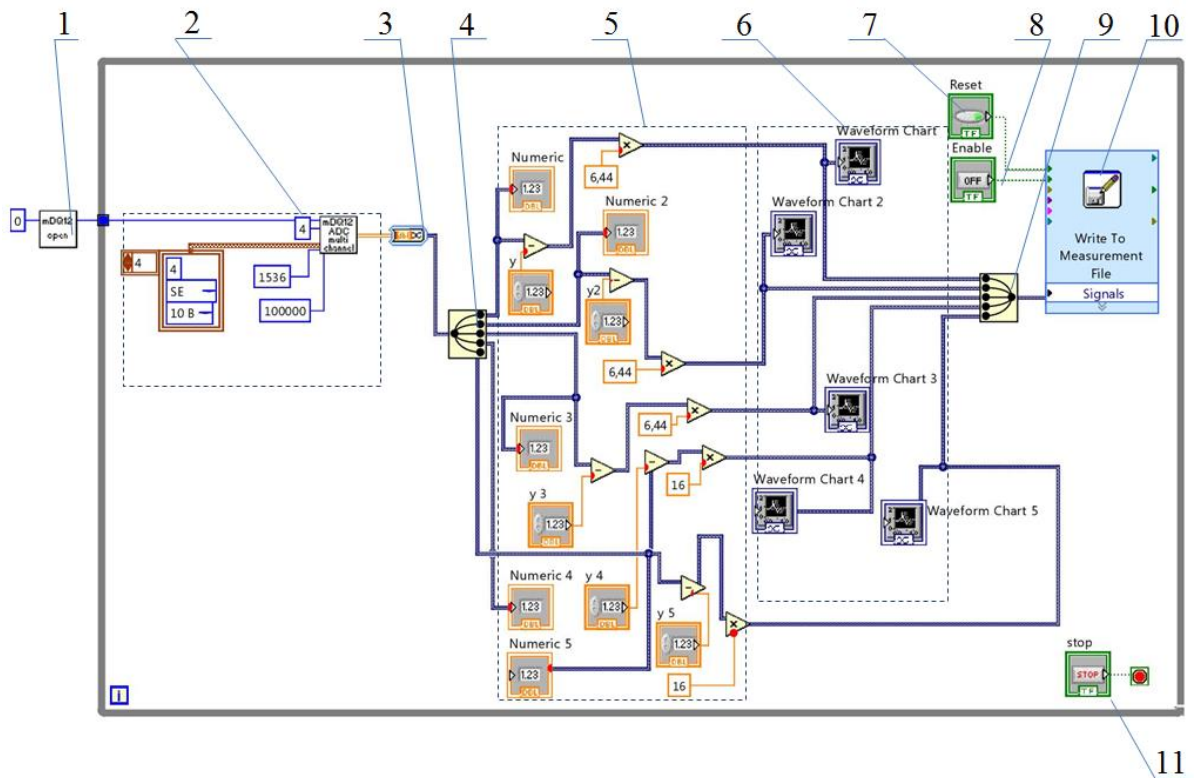
LabVIEW - середовище розробки на графічній мові «G», створене компанією National Instruments у 1986 році. Платформа доступна для UNIX, GNU/Linux, Mac OS і Windows, де вона найбільш популярна. LabVIEW використовується для збору й обробки даних, а також для управління технічними об'єктами і технологічними процесами [20].

Програма складається з двох частин: блокової діаграми, що визначає логіку роботи, та лицьової панелі для зовнішнього інтерфейсу. Лицьова панель включає кнопки, перемикачі й шкали, а блокова діаграма містить функціональні вузли, термінали і керуючі структури, подібні до умовних операторів і циклів.

LabVIEW підтримує інтеграцію з обладнанням через інтерфейси RS-232, GPIB-488, TCP/IP тощо. Вона забезпечує управління робототехнікою, машинним зором, цифровою обробкою сигналів, аналізом даних, моделюванням систем і візуалізацією. Програма також інтегрується з базами даних, створює звіти і взаємодіє з іншими додатками, що робить її універсальним інструментом для роботи з даними.

Для дослідження параметрів фрикційного приводу створено блок-діаграму в середовищі LabVIEW (рисунок 2.16). Вона дозволяє отримувати, зберігати та обробляти дані з двох тензодатчиків та індуктивного датчика, а також виводити графічні залежності в реальному часі під час експерименту. Це приклад простої програми, що не потребує складних перетворень.

Спочатку програма відкриває порт через модуль 1, інформація з якого надходить до блоку управління потоками даних з АЦП 2. У налаштуваннях блоку вказуються кількість каналів АЦП, частота зчитування даних, розмір масиву, що виводиться з модуля 6, та параметри налаштування каналів. Дані у вигляді масиву перетворюються в потік, який зручніше обробляти та виводити на графічні індикатори (рисунок 2.17) (креслення [MPMA24.00.00.00.000ДП1]), а також записувати для подальшого аналізу через блок 9.



1 – елемент керування портом АЦП, 2 – блок керування потоками даних з АЦП, 3 – елемент перетворення масиву значень в сигнал, 4 – елемент розділення сигналу на окремі потоки, 5 – блок тарування сигналу, 6 – блок виводу сигналу на графічний індикатор, 7, 8–кнопка керування записом в файл, 9 –елемент об’єднання оброблених потоків сигналу в один,10 – блок запису даних в файл, 11 – кнопка зупинення виконання програми
 Рисунок 2.16 – Блок-діаграма віртуального приладу, що створена в середовищі LabVIEW:

Оскільки дані отримуються з чотирьох незалежних каналів, їх спершу розділяють на два окремі потоки за допомогою елемента 4. Далі кожен потік проходить тарування та відображається на відповідних графічних індикаторах.



Рисунок 2.17 – Лицьова панель віртуального приладу побудована в середовищі LabVIEW

Тарування виконується шляхом арифметичних перетворень з використанням коефіцієнтів тарування у блоці 5. Для встановлення сигналу на нульове значення застосовується операція віднімання. Після проведення всіх необхідних перетворень сигнали об'єднуються в єдиний потік за допомогою елемента 9 і передаються на блок запису даних у файл 10, який активується кнопками 7 і 8. Для завершення роботи програми передбачено кнопку зупинки 11.

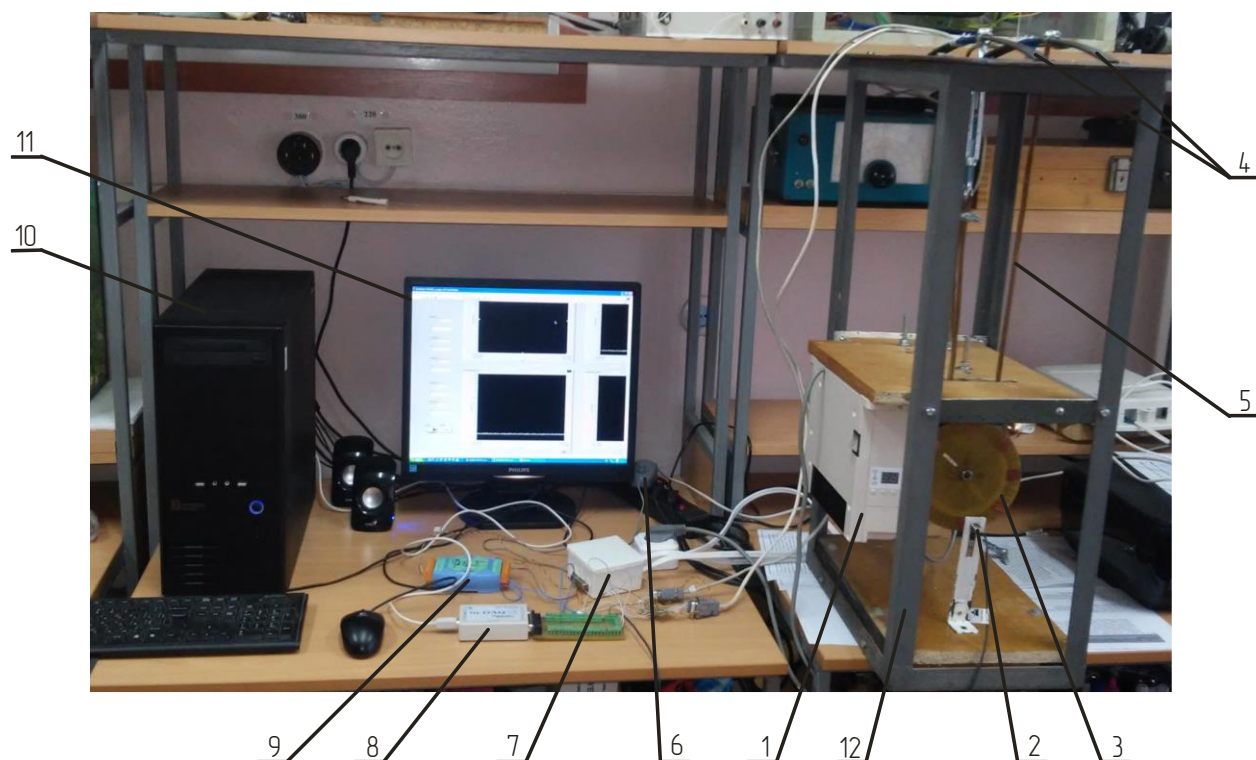
2.5 Опис конструкції та особливостей стенду для дослідження приводу швейного обладнання

На рисунку 2.18 (креслення [МРМА24.00.00.000ДІ2]) зображено стенд для дослідження серводвигунів швейних машин. Експериментальний серводвигун закріплюється на стенді, а на його вал, до шківів, встановлюється фольгований текстолітовий диск 3 з чотирма рівномірно розташованими зубцями. Індуктивний датчик 2, закріплений на металевій пластині, розміщується навпроти мідних зубців диска. Датчик працює за принципом "так/ні": при співпадині мідного зубця з чутливим елементом датчик подає сигнал. Напряга на датчик подається від блока живлення 6. При наближенні зубця до чутливого елемента датчика в останньому генерується напруга, яка передається на АЦП 9. Дані реєструються за допомогою програмного забезпечення та зберігаються в пам'яті ЕОМ, розташованій у системному блоці 10. Відображення даних у вигляді графіків здійснюється на моніторі комп'ютера 11 за допомогою програмного забезпечення LabVIEW.

Крутний момент сервоприводу вимірюється за допомогою гальмування шківів електродвигуна шкіряним ременем 5, обидва кінці якого прикріплюються до двох тензометричних балок 4, оснащених наклеєними тензорезисторами. Тензометричні балки закріплені на металевій пластині, розташованій на корпусі стенду 12. Величина деформації балок реєструється тензорезисторами, сигнал із яких підсилюється та передається на аналого-цифровий перетворювач. Обробка та візуалізація отриманих даних здійснюється за допомогою ЕОМ із використанням програмного забезпечення LabVIEW та Microsoft Excel. Різниця напруги на тензобалках дозволяє визначити величину крутного моменту, який виникає на валу сервоприводу швейної машини.

Електричні параметри, отримані за допомогою вимірювальних пристроїв, передаються до ЕОМ і зберігаються у програмному середовищі. У

програмі Excel дані обробляються, а також створюються графічні залежності для їх аналізу.



1 – блок управління, 2 – датчик індуктивний, 3 – текстолітовий фольгований диск, 4 – тензобалка, 5 – пас шкіряний, 6 – блок живлення, 7 – блок вимірювальний, 8 – АЦП, 9 – розв’язка гальванічна, 10 – блок системний, 11 – монітор.

Рисунок 2.18 – Фотографічна схема стану для дослідження серводвигуна швейних машин:

Технічні характеристики стану для дослідження приводу швейних машин приведені в табл.2.6.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Таблиця 2.6 – Технічна характеристика стенду для дослідження приводу швейних машин

Технічна характеристика	Величина
Сервопривід	FD BX-4A
Тензодатчик	КФ5П1
Індуктивний датчик	IA08BLN25PO
Блок керування	FDM
Гальванічна розв'язка	HL-7B30
Аналого-цифровий перетворювач	m-DAQ 12
Програмне забезпечення	LabVIEW Microsoft Excel

2.6 Висновки до другого розділу

У цьому розділі була створена структурна схема стенду для дослідження серводвигуна швейного обладнання. Визначено ключові характеристики, що підлягають вимірюванню, та обрано серводвигун разом з обладнанням, необхідним для проведення експериментів і вимірювання показників. Надано їх технічні характеристики та описано принцип роботи. Також обрано програмне забезпечення для обробки отриманих експериментальних даних.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СЕРВОПРИВОДУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ШВЕЙНИХ МАШИН

3.1 Методи проведення випробувань та налаштування вимірювальних приладів

Експерименти проводилися на спеціальному стенді для визначення параметрів сервоприводу, таких як:

- крутий момент,
- частота обертання,
- сила струму,
- напруга,
- потужність.

Електричні параметри вимірювалися під час сталої роботи сервоприводу під навантаженням. Тарування індуктивного датчика відбувалося з використанням електронного тахометра та стробоскопа. На текстолітовий фольгований диск нанесені дві позначки: біла - для вимірювання частоти обертання стробоскопом, та фольгована для вимірювання електронним тахометром. Вимірювання проводилися при постійних частотах обертання.

Тензометричні балки тарувалися за допомогою вантажів ваги 49 Н, 98 Н, 147 Н. У результаті було визначено коефіцієнти тарування: 10,7 для першої балки та -15,2 для другої.

Датчики струму та напруги тарувалися за допомогою багатфункціонального лічильника електроенергії «ЕЛВІН» ET2B5E8ULRT. У результаті було отримано рівень для тарування датчика струму.

$$y=4,4732x-10,466.$$

Тарувальний коефіцієнт для визначення напруги становить 60,76.

Дослідження сервоприводу проводилися за різного навантаження на валу електричного двигуна. У ході експериментів отримані дані були оброблені, що дозволило побудувати графічні залежності параметрів сервоприводу.

3.2 Оцінка характеристик сервоприводу за результатами експериментів

На рис. 3.1 – 3.5 показані графічні залежності крутного моменту від часу (креслення [МРМА24.00.00.000РР2]). Аналіз цих графіків дозволяє зробити наступні висновки.

Період часу t_1 відповідає неробочому стану сервоприводу, коли двигун знаходиться в спокої. У цей період частота обертання валу серводвигуна залишається постійною та дорівнює $n_{д0} = \text{const}$.

Період часу t_2 характеризується збільшенням зусилля на педалі, що призводить до різкого підвищення крутного моменту, а частота обертання ротора серводвигуна починає збільшуватися і наближається до номінального значення крутного моменту.

Період часу t_3 – це усталений режим роботи сервоприводу, при якому частота обертання валу серводвигуна досягає максимального значення n_{max} і залишається сталим на рівні, відповідному частоті обертання валу швейної машини ($n_{д} = n_{п}$).

Період часу t_4 відповідає процесу гальмування сервоприводу, коли зменшення зусилля на педалі викликає різке падіння частоти обертання валу, і крутний момент зменшується до нуля.

Деталі на графіках.

Рисунок 3.1: тривалість періодів роботи складає $t_1=2,2\text{с}$, $t_2=0,8\text{с}$, $t_3=4,1\text{с}$, $t_4=1\text{с}$. Крутний момент є рівним $M = 0,9 \text{ Н}\cdot\text{м}$, максимальна частота обертання дорівнює $n_{\text{max}} = 2950 \text{ об/хв}$.

Рисунок 3.2: тривалість періодів роботи складає $t_1=2,1\text{с}$, $t_2=0,8\text{с}$, $t_3=4\text{с}$, $t_4=1\text{с}$. Крутний момент дорівнює $M = 1,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$, максимальна частота обертання є рівною $n_{\text{max}} = 2950 \text{ об/хв}$.

На рисунку 3.3 тривалість періодів роботи є рівною: $t_1 = 1,9 \text{ с}$, $t_2 = 0,4 \text{ с}$, $t_3 = 5,3 \text{ с}$, $t_4 = 0,7 \text{ с}$. Крутний момент дорівнює $M = 1,6 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Максимальна частота обертання складає $n_{\text{max}} = 2950 \text{ об/хв}$.

На рисунку 3.4 тривалість періодів роботи становить: $t_1 = 2,1 \text{ с}$, $t_2 = 0,4 \text{ с}$, $t_3 = 5,3 \text{ с}$, $t_4 = 1 \text{ с}$. Крутний момент є рівним $M = 1,9 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Максимальна частота обертання рівняється $n_{\text{max}} = 2950 \text{ об/хв}$.

На рис. 3.5 тривалість періодів роботи є рівним: $t_1 = 2,7 \text{ с}$, $t_2 = 1,5 \text{ с}$, $t_3 = 4 \text{ с}$, $t_4 = 1,5 \text{ с}$. Крутний момент рівняється $M = 2,1 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Максимальна частота обертання складає $n_{\text{max}} = 2950 \text{ об/хв}$.

Експериментальні значення електричних характеристик сервоприводу показано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Електричні характеристики сервоприводу під час його сталої роботи

Графік Параметр	Рис. 3.1	Рис. 3.2	Рис. 3.3	Рис. 3.4	Рис. 3.5
Сила струму, А	2,13	3,07	4,3	5,34	6,13
Напруга, В	214,8	216,3	213,9	213,6	215,1
Потужність, Вт	458,9	665,5	919,6	1142,3	1319,3

Графічні залежності електричних параметрів приводу від крутного моменту приведено на рис.3.7 – 3.8 (креслення [МРМА24.00.00.000 РР3]).

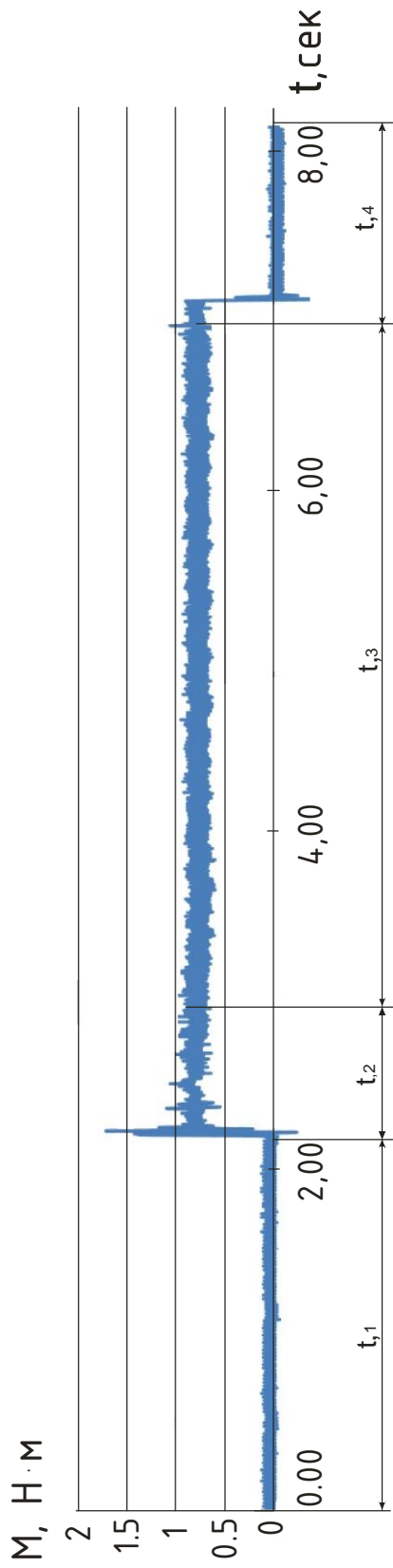


Рисунок 3.1 – Графічна залежність крутного моменту від часу для навантаження на вал

0 8 Н

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

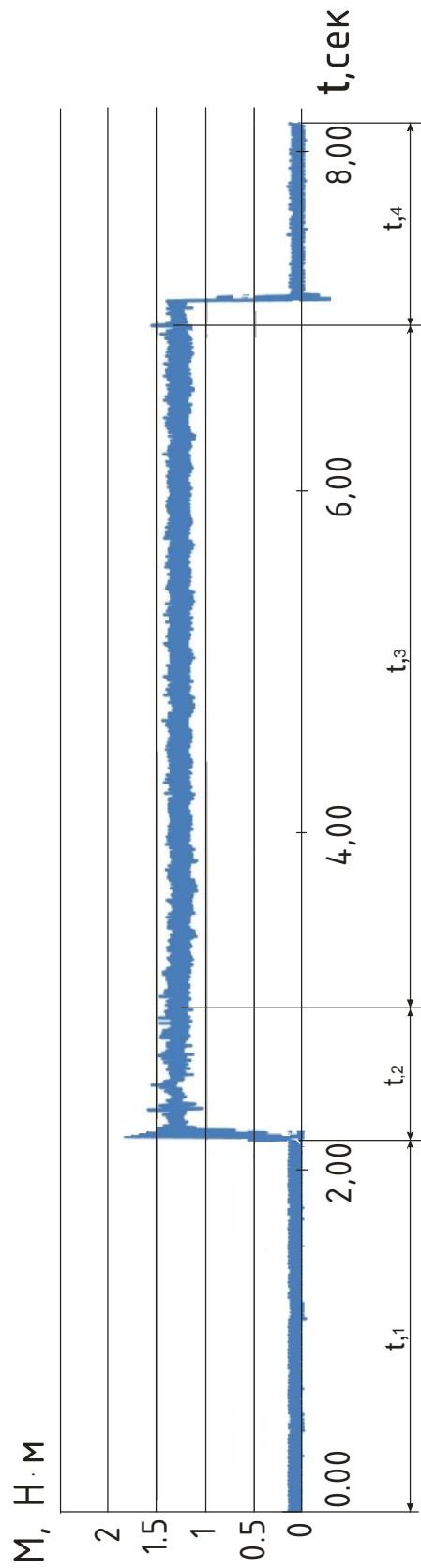


Рисунок 3.2 – Графічна залежність крутного моменту від часу для навантаження на вал 14,7

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

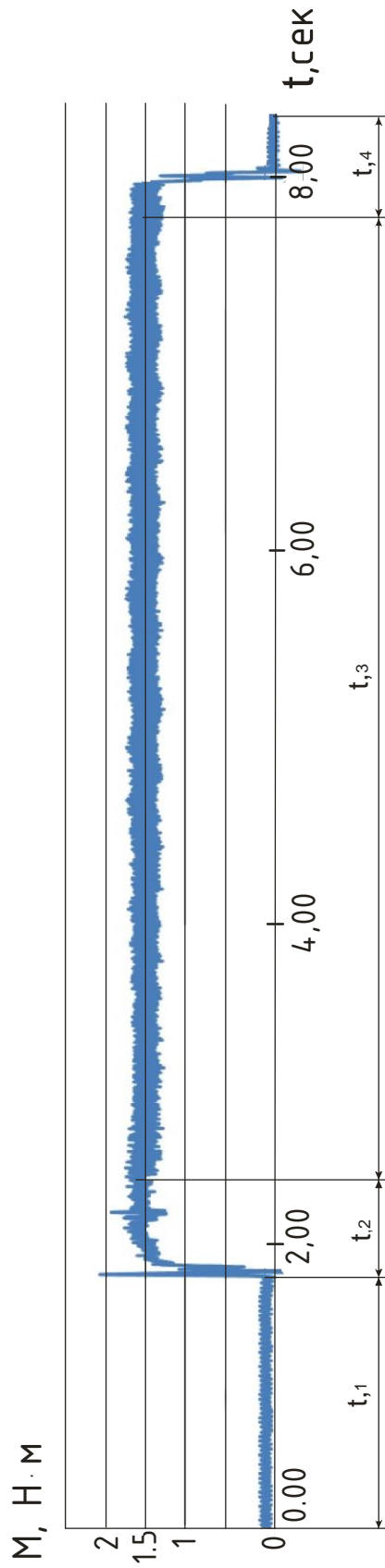


Рисунок 3.3 – Графічна залежність крутного моменту від часу для навантаження на вал 19,6 Н

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

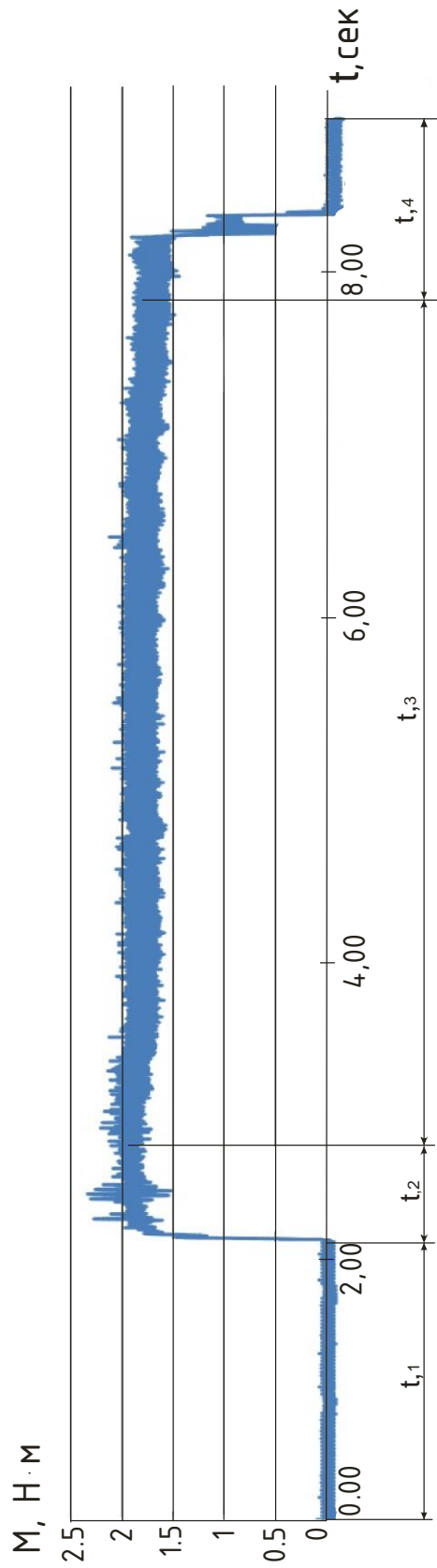


Рисунок 3.4 – Графічна залежність крутного моменту від часу для навантаження на вал 24,5 Н

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

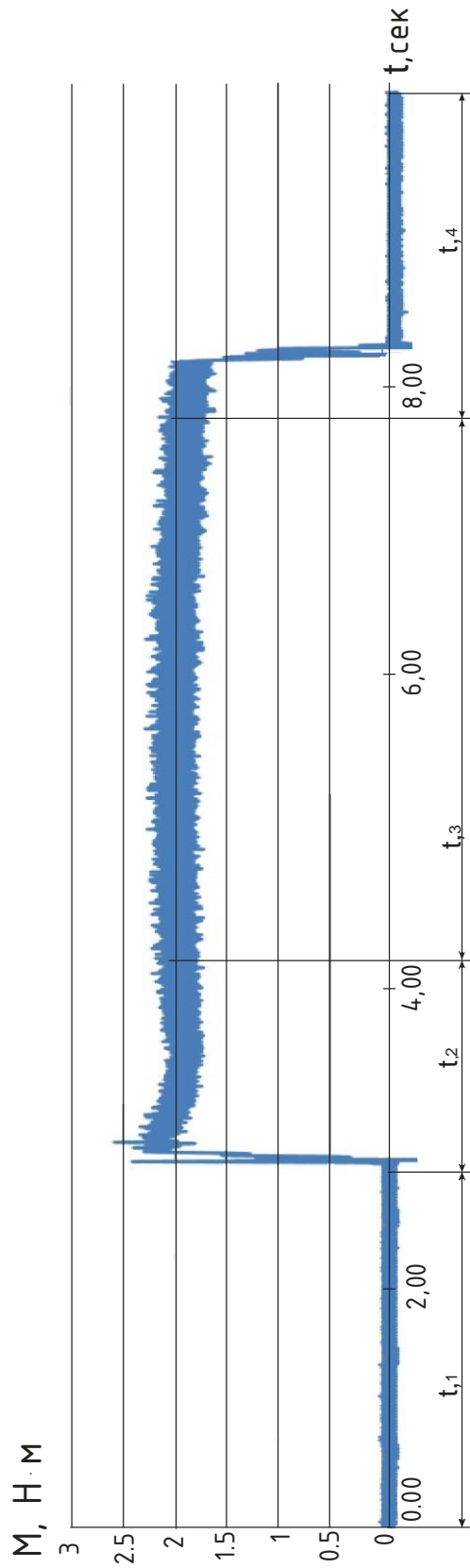
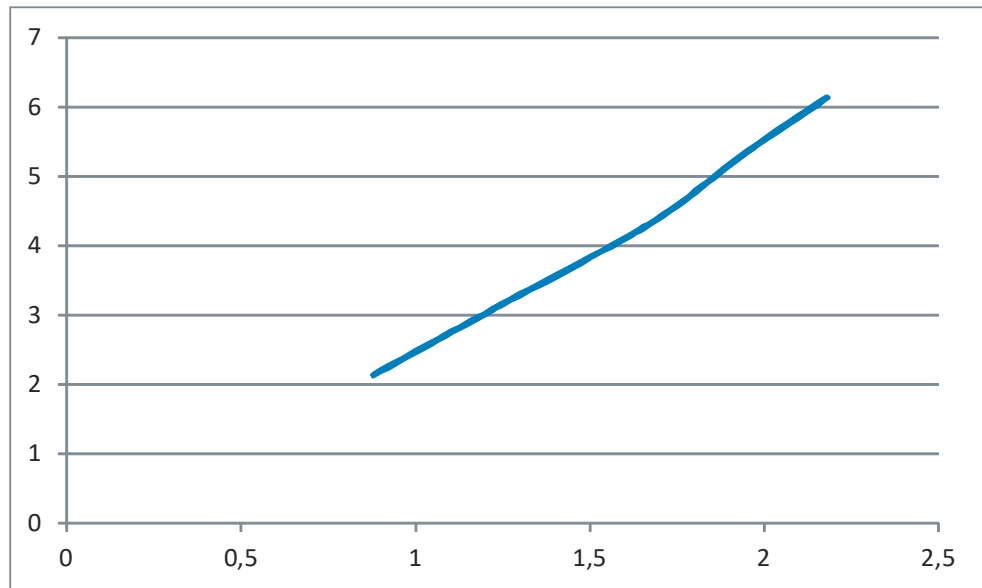


Рисунок 3.5 – Графічна залежність крутного моменту від часу для навантаження на вал 29.4

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

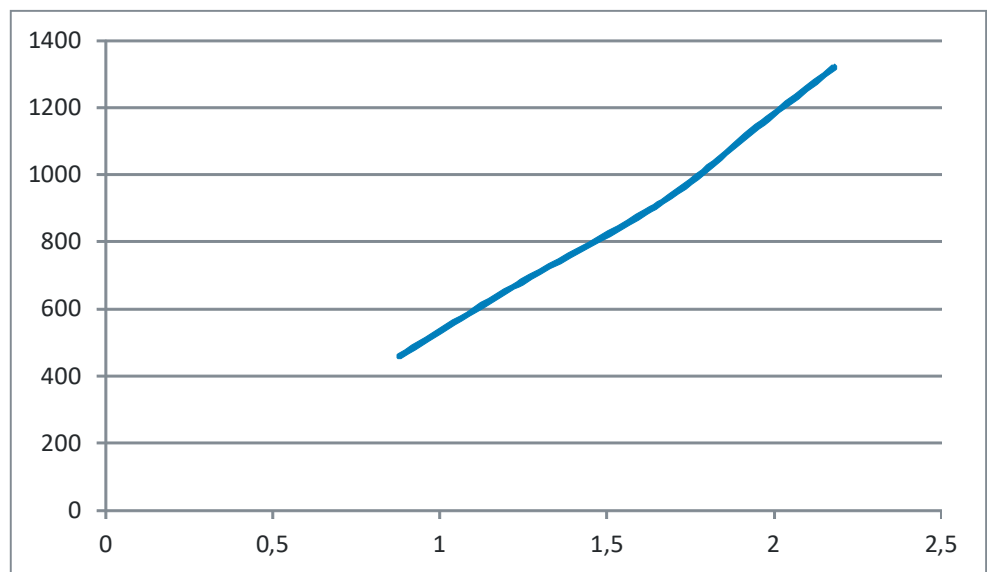
I, A



$M, N \cdot m$

Рисунок 3.7 – Графік зміни сили струму від крутного моменту

$P, Вт$



$M, N \cdot m$

Рисунок 3.8 – Графік зміни потужності відносно крутного моменту

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
76

3.3 Висновки до третього розділу

У цьому розділі були проведені експериментальні дослідження, під час яких за допомогою сучасного обладнання та програмного забезпечення було вивчено характеристики сервоприводу та побудовано графічні залежності. Було встановлено, що зі збільшенням крутного моменту відповідно зростають сила струму та потужність сервоприводу.

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У першому розділі магістерської роботи проведено детальний аналіз сучасних серводвигунів, зокрема їх конструктивних особливостей, принципів роботи та загальних вимог до функціонування сервоприводів. Було відмічено ключові характеристики, такі як точність позиціонування, широкі функції регулювання швидкості, динамічності та стабільності роботи. Також визначено основні сфери застосування сервоприводів у промисловості, зокрема в легкій промисловості та автоматизованих виробничих системах, що підтверджує їхню значущість у сучасному виробництві.

Другий розділ зосереджений на розробці установки для експериментального дослідження сервоприводу швейної машини. Детально описано процес вибору об'єкта дослідження та допоміжних пристроїв, які використовують для отримання характеристик електричного приводу. Розроблено стенд, що забезпечує точне вимірювання основних параметрів сервоприводу, таких як крутний момент, частота обертання, сила струму та потужність. Описано принцип роботи стенда, його конструктивні особливості та взаємодію між компонентами, що гарантує точність та повторюваність експериментальних результатів.

У третьому розділі представлені результати проведених експериментальних досліджень. Побудовані графічні залежності крутного моменту від часу, а також зміни сили струму та потужності у залежності від крутного моменту. Зроблено аналіз отриманих даних, що дозволяє оцінити динамічні характеристики сервоприводу. Отримані результати не тільки підтвердили відповідність вибраного сервоприводу сучасним вимогам, але й стали основою для визначення перспективи його використання в швейному забезпеченні та інших сферах. Проведені дослідження дають змогу зробити висновок про високу ефективність розробленої системи, її адаптивність та потенціал для подальшого вдосконалення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Електропривод: Підручник / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко. –К.: Видавництво «Ліра-К», 2009. – 504с.
2. Василега П.О. Електропривод робочих машин : підручник / П.О. Василега. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 290 с.
3. Сервопривод [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%B4>
4. Історія розвитку серводвигуна [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ua.micro-servomotor.com/news/the-development-history-of-servo-motor-75826962.html>.
5. Де використовуються серводвигуни [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ua.zjxlmotors.com/news/where-are-ac-servo-motors-used-77917542.html>.
6. Орловський Б.В. Мехатроніка в галузевому машинобудуванні: навчальний посібник / Б. В. Орловський. – К.: КНУТД. – 2018. – 416 с.
7. Класифікація сервоприводів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://modelistam.com.ua/ua/klassifikatsiya-servoprivodov-vse-cho-nih-nujno-znati-a-258/>
8. Гайдамак, О.Л. Автоматичне керування та автоматизація процесів зварювання і відновлення : лабораторний практикум / Гайдамак О. Л. – Вінниця : ВНТУ, 2017. –51 с.
9. Серводвигун – типи та принцип роботи [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.fmuser.net/content/?18259.html>.
10. Синхронні серводвигуни серії СМР [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.sew-eurodrive.ua/produkty/dvigateli/servodvigateli/sinkhronnye_servodvigateli_cmp_vysokodinamichnye/sinkhronnye_servodvigateli_cmp_vysokodinamichnye-2.html

11. Серводвигуни DS/CM [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/11365714.pdf>.

12. Серводвигуни [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://eurodrive.ua/>.

13. Серво та крокова техніка [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.bibus.ua/produkti-rishennja/prividna-ta-transmisiina-tekhnika/servo-ta-krokovaya-tekhnika/servotekhnika/>.

14. Синхронні лінійні серводвигуни SL2 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.sew-eurodrive.ua/produkty/dvigateli/prjamolinejnoe_dvizhenie/sinkhronnye_linejnye_servodvigateli_sl2/sinkhronnye_linejnye_servodvigateli_sl2-2.html

15. Колб Ант. А, Колб А.А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник. – 2-е вид. перероб. і доп. –Д., Національний гірничий університет, 2011. – 540 с.

16. Сучасна силова електроніка/ Розробка та виготовлення [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://diadagroup.com/>.

17. Серводвигун постійного струму серії SZ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.xindamotor.com/uk/series-sz-dc-servo-motor-product/>.

18. SM Servo motors [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.falmot.pl/COMBIVERT%20Motors%20\(SM\)%20en.pdf](https://www.falmot.pl/COMBIVERT%20Motors%20(SM)%20en.pdf)

19. Сервопривод СПШ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.novitech.com.ua/prod/servoprivod/servoprivod-spsh>

20. Створення віртуальних приладів в середовищі LabVIEW [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / В. М. Головня; РТФ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,92 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 142 с.

21. Сервопривод FD-BX 4A 220V/400W (с позиционером) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://oltrade.com.ua/servoprivod-fd-bx-4a-220v-400w--s-rozicionerom-.html>.

22. Індуктивний датчик IA08BLN25PO PNP NO [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://avr.in.ua/ua/p5878155-induktivnyj-datchik-ia08bln25po.html>.

23. Індуктивні і трансформаторні датчики [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://stud.com.ua/176851/tehnika/induktivni_transformatorni_datchiki#google_vignette.

24. Панкратов А.І. Системи керування електроприводами. Видання 2: Навч. посібник з дисципліни «Сис теми керування електроприводами» (для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології» денної і заочної форми навчання)/ – Краматорськ: ДДМА, 2018. – 225 с.

25. Принцип роботи та монтажу тензодатчика [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ukrvesi.com.ua/ua/a397100-printsip-raboty-montazha.html?srsId=AfmBOoosx6gOTV0XfdnFKgRU1iz2FwTQPG1QF41v6rXWTG35QMJO_vZC.

26. Тензорезистор КФ5П1-10-400-6-12 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/tenzorezistor-kf5p1-10-400-6-12_162366.html.

27. Операційний підсилювач. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ru.aliexpress.com/item/10pcs-LM358P-LM358-DUAL-OPERATIONAL-AMPLIFIERS-IC-OP-AMP-DUAL-DIP-8/32350522886.html>

28. Толочко О.І., Коцегуб П.Х., Розкаряка П.І. Особливості цифрової реалізації оптимальних алгоритмів керування позиційним електроприводом // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ. – 2006. – №3 (38). Ч. 1. – С.8-11.

29. Датчик струму ACS712ELECTR-20A-T [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.rcscomponents.kiev.ua>.

30. Гальванічна розв'язка HL-7B30 [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://vkmodule.com.ua/Converter/Converter485.html>.

31. Система збору даних [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%B7%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%83_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%85.

32. Технічні засоби автоматизації. Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Г. С. Тимчик, В. С. Антонюк, В. Г. Здоренко, Н. М. Защепкіна, С. М. Лісовець, С. В. Барилко. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,3 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 128 с.

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		