

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет
Кафедра приладів і систем орієнтації і навігації**

«На правах рукопису»
УДК 831.53

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Надія БУРАУ

«___» _____ 20__ р

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно - інтегровані
технології та системи навігації і керування»**

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Стенд для дослідження електричних двигунів»

Виконав:

студент VI курсу, групи ПГ-91мп
Григор'єв Артем Сергійович _____

Науковий керівник:

Доцент каф. ПСОН, к.т.н., доц.,
Мироненко Павло Степанович _____

Консультант з розробки стартапу:

Доцент каф. менеджменту, д.е.н., доц.,
Бояринова Катерина Олександрівна _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут (факультет) Приладобудівний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра Прилади і системи орієнтації і навігації
(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 151-Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бурай Н. І.
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Григор'єв Артем Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Стенд для дослідження електричних двигунів

науковий керівник дисертації доц. к.т.н. Мироненко П.С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації 07.12.2020 р.

3. Об'єкт дослідження Приводи обертального руху для систем автоматизації та керування.

4. Предмет дослідження Характеристики приводів обертального руху для систем автоматизації та керування.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

- 1) Огляд існуючих основних видів приводів обертального руху систем автоматизації і керування, призначення, принцип роботи;
- 2) Визначення основних характеристик приводів: крутячий момент (номінальний і піковий), швидкість обертання вихідного валу привода та аналіз факторів, що обмежують його швидкість; швидкість – моментна характеристика приводів;
- 3) Проектування стенду;
- 4) Практична реалізація стенду; дослідження основних характеристик приводів.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: графіки, діаграми, часові характеристики, зображення, таблиці.

7. Орієнтовний перелік публікацій

Григор'єв А. С. Порівняння характеристик приводів обертового руху / А. С. Григор'єв, О. М. Павловський. // XIII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування». 2020.

Григор'єв А. С. Розробка стенду дослідження характеристик приводів систем автоматизації і керування / А. С. Григор'єв, П. С. Мироненко. // XVI Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні». 2020.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап-проект	доц. Бояринова К. О.		

9. Дата видачі завдання 07.09. 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд наукової літератури за темою дисертації.	01.09.20-31.09.2020	Вик.
2	Огляд основних характеристик приводів обертального руху для систем автоматизації та керування	10.09.2020-30.09.2020	Вик.
3	Проектування стенду.	01.10.2020-15.10.2020	Вик.
4	Виготовлення стенду	01.10.2020-30.10.2020	Вик.
5	Проведення досліджень за темою дисертації, знаття вихідних параметрів та побудова характеристик приводів	01.11.20 -10. 11.20	Вик
6	Аналіз отриманих результатів	11.11.2020-12.11.2020	Вик
7	Формулювання висновків.	13.11.2020-15.11.20120	Вик.
8	Оформлення основної частини роботи, схем, результатів експериментів.	01.11.2020-05.12.2020	Вик.

Студент

(підпис)

Григор'єв А. С.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Мироненко П. С.
(ініціали, прізвище)

Реферат

Дисертацію виконано на 86 аркушах, вона містить 1 додатки та перелік посилань на використані джерела з 21 найменувань. У роботі наведено 24 рисунки та 31 таблицю.

Робота складається з чотирьох розділів.

В першому розділі представлена історія розвитку, класифікація та сфери застосування сервоприводів. Виділені переваги і недоліки, структура побудови та принцип роботи. Розглянуто сучасні моделі серводвигунів, складові частини та приведена їх функціональна схема.

В другому розділі описані принципи керування, програмування та підключення сервомоторів до Arduino. Виділено і описано спектр основних характеристик сервоприводів та методи їх вимірювання: крутного моменту на вихідному валу, кута перекладки і кутової швидкості обертання вихідної ланки.

Третій розділ присвячено розробці та виготовленню стенду для тестування основних параметрів серводвигунів постійного струму. Використання стенду дає можливість підвищити точність систем керування рухомими об'єктами за рахунок вдосконалення методики контролю стану малогабаритних швидкодіючих мехатронних модулів руху.

В четвертому розділі представлено стартап – проект “Стенд по дослідженню сервоприводів”.

Апробація результатів дисертації

Результати роботи магістерської дисертації були опубліковані на XVI Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні” (Київ 2020 р).

Публікації:

Основні результати досліджень викладені в 2 наукових працях, з яких:

1. Порівняння характеристик приводів обертового руху / А. С. Григор'єв // XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 року, м. Київ, Україна : збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського: Центр учбової літератури, 2020.

2. Розробка стенду для дослідження характеристик приводів систем автоматизації і керування / А. С. Григор'єв // XVI Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 8-9 грудня 2020 року, м. Київ, Україна : збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського: Центр учбової літератури, 2020.

Ключові слова: сервопривод, сервомотор, система керування, система управління, лабораторний стенд.

Реферат

Диссертация выполнена на 87 листах, она содержит 1 приложения и перечень ссылок на использованные источники с 21 наименований. В работе приведены 24 рисунки и 31 таблицу.

Работа состоит из четырех разделов.

В первом разделе представлена история развития, классификация и области применения сервоприводов. Выделенные преимущества и недостатки, структура построения и принцип работы. Рассмотрены современные модели серводвигателей, составные части и приведена их функциональная схема.

Во втором разделе описаны принципы управления, программирования и подключения сервомоторов к Arduino. Выделено и

описано спектр основных характеристик сервоприводов и методы их измерения: крутящего момента на выходном валу, угла перекладки и угловой скорости вращения выходного звена.

Третий раздел посвящен разработке и изготовлению стенда для тестирования основных параметров серводвигателей постоянного тока. Использование стенда позволяет повысить точность систем управления подвижными объектами за счет совершенствования методики контроля состояния малогабаритных быстродействующих мехатронных модулей движения.

В четвертом разделе представлены стартап - проект "Стенд по исследованию сервоприводов".

Апробация результатов диссертации

Результаты работы магистерской диссертации были опубликованы на XVII Всеукраинской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Эффективность инженерных решений в приборостроении" (Киев 2020 г.).

Публикации:

Основные результаты исследований изложены в 2 научных работах, из которых:

1. Сравнение характеристик приводов вращательного движения / А. С. Григорьев // XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих учених «Взгляд в будущее приборостроения», 13-14 мая 2020 года, г. Киев, Украина: сборник трудов конференции / КПИ им. Игоря Сикорского, ПСФ, ФММ. - Киев: КПИ им. Игоря Сикорского Центр учебной литературы, 2020.

2. Разработка стенда для исследования характеристик приводов систем автоматизации и управления / А. С. Григорьев // XVI Научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Эффективность и автоматизация инженерных решений в

приборостроении», 8-9 декабря 2020 года, м. Киев, Украина: сборник трудов конференции / КПИ им. Игоря Сикорского, ПСФ, ФММ. - Киев: КПИ им. Игоря Сикорского Центр учебной литературы, 2020.

Ключевые слова: сервопривод, сервомотор, система управления, система управления, лабораторный стенд.

Annotation

The dissertation is executed on 87 sheets, it contains 1 appendix and the list of references to the used sources from 21 names. The paper presents 24 figures and 31 tables. The work consists of four sections.

The first section presents the history of development, classification and scope of servos. The advantages and disadvantages, the structure of construction and the principle of operation are highlighted. Modern models of servomotors, components and their functional scheme are considered.

The second section describes the principles of control, programming and connection of servomotors to the Arduino. The spectrum of the main characteristics of servodrives and methods of their measurement are selected and described: torque on the output shaft, angle of transfer and angular speed of rotation of the output link.

The third section is devoted to the development and manufacture of a stand for testing the basic parameters of DC servomotors. The use of the stand makes it possible to increase the accuracy of control systems for moving objects by improving the method of monitoring the condition of small high-speed mechatronic motion modules.

The fourth section presents a startup - the project "Stand for the study of servos".

Approbation of dissertation results

The results of the master's dissertation were published at the XVI All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists "Efficiency of engineering solutions in instrument making" (Kyiv 2020).

Publications:

The main research results are presented in 2 scientific works, of which:

1. Comparison of the characteristics of rotary motion drives / AS Grigoriev // XV All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists "Look into the future of instrument making", May 13-14, 2020, Kyiv, Ukraine: collection Proceedings of the conference / KPI. Igor Sikorsky, PBF, FMM. - Kyiv: KPI named after Irorya Sikorsky: Center for Educational Literature, 2020.

2. Development of a stand for the study of the characteristics of the drives of automation and control systems / AS Grigoriev // XVI Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists "Efficiency and Automation of Engineering Solutions in Instrument Making", December 8-9, 2020, Kyiv, Ukraine: Proceedings of the conference / KPI. Iorya Sikorsky, PBF, FMM. - Kyiv: KPI named after Irorya Sikorsky: Center for Educational Literature, 2020.

Key words: servodrive, servomotor, control system, control system, laboratory stand.

ЗМІСТ

Реферат	4
Перелік умовних скорочень та сполучень	12
ВСТУП	14
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТИПІВ СЕРВОМОТОРІВ.....	16
1.1 Сервоприводи постійного струму: класифікація, історія розвитку, сфери застосування	16
1.2. Види, будова, характеристики і використання сервоприводів	18
1.2.1 Основні елементи сервоприводів	18
1.2.2. Недоліки і переваги сервоприводів.....	20
1.2.3. Сфери застосування сервоприводів	21
1.3 Датчик положення.....	22
1.4 Блок управління сервоприводу	22
1.4.1. Силова частина блоку управління.....	23
1.4.2. Інформаційна частина блоку управління.....	24
1.5 Функціональна схема сервоприводу	28
1.6 Модель сервоприводу	29
РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА КЕРУВАННЯ СЕРВОДВИГУНАМИ	32
2.1 Керування сервоприводом	32
2.2 Підключення сервомотору до Arduino	34
2.3 Безпосереднє керування	35
2.3.1 Алгоритм роботи.....	35
2.3.2 Написання програмних кодів.....	36
2.3.3 Керування серводвигуном за допомогою потенціометра	37

2.4. Сучасні сервомотори	38
2.5 Основні параметри сервоприводів	41
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СТЕНДУ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ СЕРВОДВИГУНІВ ..	44
3.1 Розробка стенду.....	44
3.2 Вибір апаратної частини.....	44
3.2.1. Вибір мікроконтролера.....	45
3.2.2. Вибір живлення приладу	46
3.2.3 Підключення сервомоторів	49
3.2.4 Збірка модулів Arduino	51
3.3 Результати досліджень.....	55
3.3.1 Режим дослідження крутного моменту в залежності від напруги живлення	55
3.3.2 Режим позиціювання	57
3.3.3 Дослідження крутного моменту різних типів сервоприводів при номінальній напрузі живлення	58
3.3.4 Дослідження швидкості повороту вихідного валу сервомоторів.	59
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ «СТЕНД ПО ДОСЛІДЖЕННЮ СЕРВОПРИВОДІВ»	61
4.1 Опис ідеї проекту продукту та технології роботи	61
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту	66
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.	67
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	75
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	77
4.6. Організація реалізації стартап-проекту.....	80
4.7 Висновки до четвертого розділу.....	82
ВИСНОВКИ.....	84

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	85
-------------------------------------	----

Перелік умовних скорочень та сполучень

АЦП Аналого-цифровий перетворювач
БТІЗ Біполярний транзистор з ізольованим затвором
БУ Блок управління
ДП Датчик положення
ЗС Задатчик струму
ІН Інвертор напруги
КІХ Кінцева імпульсна характеристика
ККД Коефіцієнт корисної дії
ЛАФЧХ Логарифмічна амплітудно-фазова частотна характеристика
ЛАЧХ Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика
ЛСМ Лінійна синхронна машина
МК Мікроконтроллер
МОП Метал-оксид-провідник
ММВ Характеристика мінімуму втрат
НЛСМ неявнополіусного лінійна синхронна машина
СШ Спостерігач швидкості
ПК Персональний комп'ютер
ПЛ Програмована логіка
ПЗ Програмне забезпечення
ПМРЧ Промислова мережа реального часу
РО Робочий орган
СМІМ Синхронна машина з постійними магнітами
СНК Система на кристалі
СУ Система управління
СК Система керування
СП Сервопривід
ЦАП Цифро-аналоговий перетворювач
ЦСП Цифровий сигнальний процесор

ЦС Цифровий сервопідсилювач

ЧПУ Числове програмне управління

ШІМ Широтно-імпульсна модуляція

ЕЛК Електропривод лінійний комплектний

ЕП Електропривод

ВСТУП

Актуальність теми. При проектуванні сучасних приладів і систем управління рухомими об'єктами широко впроваджуються новітні мехатронні системи. Головним елементом таких систем є мехатронні модулі руху, а основою таких модулів є малогабаритні швидкодіючі сервоприводи. Такі механізми використовуються в сучасних високоточних системах керування рухомими об'єктами, таких як рульові приводи систем керування літальних апаратів, роботи з рухомими елементами конструкцій тощо.

Ефективність використання таких електроприводів залежить від параметрів налаштування таких систем для певних режимів роботи в залежності від характеристик відповідного електроприводу.

Для налаштування параметрів електроприводів можна використати математичне моделювання, фізичне моделювання і налаштування параметрів безпосередньо на об'єкті. В процесі розробки сучасних електроприводів вимагається експериментальна перевірка їх працездатності і визначення показників якості процесу регулювання. Тому для цих механізмів необхідно проводити попереднє інженерне дослідження працездатності та тестування їх технічного стану для виявлення часових змін і перевірки їх основних метрологічних параметрів. В умовах виробничої експлуатації для цього найбільш доцільно використовувати випробувальні стенди.

Мета роботи – підвищення точності систем керування рухомими об'єктами на основі вдосконалення методики попереднього контролю стану малогабаритних швидкодіючих мехатронних модулів руху.

Об'єкт дослідження - пристрій для дослідження малогабаритних швидкодіючих сервоприводів постійного струму високоточних систем керування рухомими об'єктами.

Предмет дослідження – моделі та алгоритми вимірювання та реєстрації параметрів сервоприводів , моделі функціонування та алгоритмічного забезпечення достовірної інформації про параметри сервоприводів.

Наукова новизна – обґрунтовано використання та запропонована методика ідентифікації параметрів сервоприводів.

Практична цінність. Полягає в тому, що на основі аналізу конструктивно - структурних методів забезпечення надійності та точності роботи сервоприводів, розроблено та виготовлено стенд і реєстратор сигналів, які забезпечують підвищену надійність та інформативність в визначенні основних характеристик приводів систем автоматизації та керування: точності позиціонування вихідної ланки сервоприводу, діапазону регулювання обертового моменту на валу та часу перекладки вихідної ланки .

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТИПІВ СЕРВОМОТОРІВ

1.1 Сервоприводи постійного струму: класифікація, історія розвитку, сфери застосування

Сервопривод - це система приводу, яка в широкому діапазоні регулювання швидкості забезпечує динамічні, високоточні процеси руху і реалізує їх хорошу повторюваність [1].

У сучасному приладобудуванні до сервоприводу пред'являються високі вимоги по таким параметрам:

- Точність позиціювання;
- Діапазон регулювання;
- Стійкість до перенавантаження;
- Рівномірність частоти обертання;
- Висока динаміка.

Сервоприводи є найбільш високотехнологічної областю електроприводу. На даний момент сервоприводи використовуються в високопродуктивному обладнанні наступних галузей: виробництво харчових продуктів, будматеріалів, упаковка, підйомно - транспортні механізми, приводи систем керування рухомими об'єктами [1].

Спочатку серед сервосистем домінував привід постійного струму. Це було пов'язане з простотою реалізації законів управління по напрузі якоря. В якості керуючих пристроїв застосовувалися електромашинні підсилювачі, транзисторні та тиристорні регулятори. Управління швидкістю і моментом було аналоговим, з усіма витікаючими з цього проблемами завадостійкості в широкому діапазоні регулювання швидкості. Для вимірювання дійсної швидкості в каналі зворотного зв'язку застосовувалися тахогенератори постійного струму [1,2].

Підвищення динамічних характеристик сервоприводов проходило в напрямку створення двигунів постійного струму з малим моментом інерції. В основу отримання малого моменту інерції ротора було

покладено рішення про отримання циліндричного немагнітного якоря. Для цього на початку 70-х років стали широко застосовувати постійні магніти з рідкоземельних матеріалів, що забезпечують отримання підвищеного значення індукції в повітряному зазорі і високого крутного моменту.

Дослідження безщіткових двигунів, які можуть бути використані в сервоприводах, були розпочаті з середини 70-х років. На противагу звичайної компоновки двигуна постійного струму розробники прийшли до перспективного нового рішення: якір на статорі, поле збудження на роторі. Так з'явилися безщіткові двигуни постійного струму, або двигуни з електронної комутацією [2].

Ці електричні машини принципово являють собою синхронні двигуни ЦД з постійними магнітами, в яких положення ротора контролюється простим імпульсним датчиком положення. На додаток до електронної безконтактної комутації і низькому зносу, цей тип приводу має такі переваги:

- знижений момент інерції через відсутність обмотки на роторі;
- простота охолодження, оскільки відвід тепла від статора більш ефективно, ніж від ротора;
- підвищений ККД, так як немає втрат, пов'язаних з обмоткою збудження.

Паралельно з цим розвивалося також і напрямок по застосуванню асинхронного двигуна змінного струму в якості бесщеточного сервоприводу. З іншого боку, з розробкою безщіткових двигунів проводилися теоретичні дослідження по так званій синусної комутації сервоприводу. Принципово двигун з синусної комутацією являє собою СД з постійними магнітами, з усіма перевагами, зазначеними вище [2]. Однак, датчиком положення ротора в цьому випадку служить резольвер, вихідними синусоїдальними сигналами якого управляється струм статора

машини. Зазначені вище всі три типи безщіткових приводів використовуються в даний час [2].

На рисунку 1.1 показано класифікацію серводвигунів.

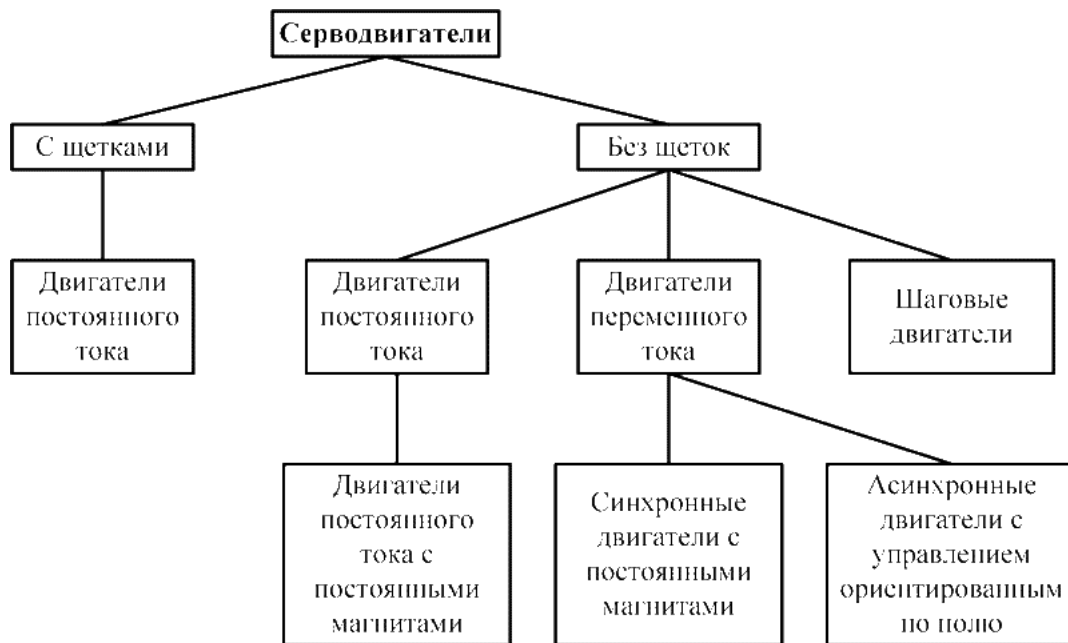


Рис.1.1 Класифікація серводвигунів

1.2. Види, будова, характеристики і використання сервоприводів

1.2.1 Основні елементи сервоприводів

У наш час сервоприводи використовуються у дуже широкому спектрі сфер, наприклад робототехніка, автоматизація різних процесів на виробництві, у виготовленні радіокерованих моделей та інше. По суті, сервопривід – це двигун постійного струму, суміщений із потужним редуктором і електронною схемою, що керує швидкістю, кутом повороту та системою автоматичної корекції положення, яке може бути програмно задано користувачем [1,2].

Сервопривод являє собою електромеханічний привід, який через внутрішній зворотний зв'язок, встановлює точне положення валу механізму в залежності від зовнішніх керуючих сигналів. Зовнішній вигляд та принципова схема сервопривода показані на рисунку 1.2. Їх

класифікують за багатьма параметрами, наприклад за типом двигуна - синхронні, що мають високу точність та швидкодію, асинхронні, з двигуном постійного або змінного струму, за потужністю, що може досягати 15кВт, та ін.



Рис. 1.2 Сервопривод: а) зовнішній вигляд; б) принципова схема

Шляхом запуску і зупинки електродвигуна можна приводити в рух вихідний вал редуктора, який пов'язаний з шестернею сервоприводу. До валу можна приєднувати пристрій або механізм, яким потрібно керувати. Крім цього для контролю положення валу потрібна наявність датчика зворотного зв'язку. Цей датчик може перетворити кут повороту знову в сигнал електричного струму [1,2].

Такий датчик отримав назву енкодер. Як енкодера може застосовуватися потенціометр. Якщо бігунок потенціометра повертати, то буде змінюватися його опір. Значення цього опору прямо пропорційно залежить від кута повороту потенціометра. Таким чином, є можливість домогтися установки певного положення механізму [2,4].

Крім вище названого потенціометра, редуктора і електродвигуна, сервоприводи оснащені електронною платою, яка обробляє надходить сигнал зовнішнього значення параметра від потенціометра, порівнює, і відповідно до результату порівняння запускає або зупиняє електродвигун. Іншими словами ця електронна начинка відповідає за підтримку негативного зворотного зв'язку.

Підключення сервоприводу здійснюється трьома провідниками, два з яких подають живлення на електродвигун, а по третьому провіднику надходить сигнал управління, за допомогою якого виконується встановлення положення валу двигуна [3].

Крім електродвигуна, грати роль приводу може і інший механізм, наприклад пневматичний циліндр зі штоком. Як датчик зворотного зв'язку застосовують також датчики повороту кута, або датчик Холла..

При необхідності створення плавного гальмування або розгону для запобігання надмірних динамічних навантажень двигуна, виконують схеми більш складних мікроконтролерів управління, які можуть контролювати позицію робочого елемента набагато точніше. Подібним чином виконано пристрій приводу установки позиції головок в комп'ютерних жорстких дисках

В паспортних даних найбільш важливими вважаються такі величини як є крутний момент або зусилля на валу діапазон напруг живлення та споживаний струм, максимальний кут повороту, та швидкість спрацювання. Швидкість спрацювання, показує, за який проміжок часу відбудеться поворот вихідного вала на 60 градусів. Напруга живлення у більшості малопотужних двигунів відповідає діапазону від 4,8 до 7,2 В, причому при збільшенні напруги, майже пропорційно збільшується і момент на вихідному валу [3]. Робочий кут повороту, у більшості пристроїв становить від 120° до 360°.

1.2.2. Недоліки і переваги сервоприводів

Серед переваг сервоприводів можна виділити:

- Легкість і простота установки конструкції на об'єкті.
- Безвідмовність і надійність, що важливо для відповідальних пристроїв.
- Не створюють шуму при експлуатації.

- Точність і плавність пересувань досягається навіть на малих швидкостях. Залежно від поставленого завдання роздільна здатність може налаштовуватися працівником.

Серед недоліків можна виділити:

- Ремонт пристрою може виявитися настільки дорогим, що може зрівнятися ціною з новим двигуном;
- Безколекторні приводи за ціною дорожче крокових приблизно в 1,5-2 рази. Моделі із щітками більш бюджетні, однак щітки в них необхідно міняти кожні 5 тис. відпрацьованих годин;
- В деяких випадках примусова зупинка двигуна призводить до його перегріву і може вивести привід з ладу.

1.2.3. Сфери застосування сервоприводів

Сервоприводи в даний час використовуються досить широко. Так, наприклад, вони застосовуються в різних точних приладах, промислових роботах, автоматах з виробництва друкованих плат, верстатах з програмним управлінням, різні клапани і засувки.

Найбільш популярними стали швидкодіючі приводи в авіамоделній справі. Серводвигуни мають гідність в ефективності витрати електричної енергії, а також рівномірного руху [3,4].

На початку появи серводвигунів використовувалися колекторні триполюсні мотори з обмотками на роторі, і з постійними магнітами на статорі. Крім цього, в конструкції двигуна був вузол з колектором і щітками. Далі, у міру технічного прогресу число обмоток двигуна збільшилася до п'яти, а момент обертання зріс, так само як і швидкість розгону.

Наступним етапом розвитку серводвигунів було розташування обмоток зовні магнітів. Цим знизили масу ротора, зменшили час розгону. При цьому вартість двигуна збільшилася. В результаті подальшого проектування серводвигунів було вирішено відмовитися від наявності

колектора в пристрої двигуна. Стали застосовуватися двигуни з постійними магнітами ротора. Мотор став без щіток, ефективність його зросла внаслідок збільшення крутного моменту, швидкості і прискорення.

Останнім часом найбільш популярними стали сервомотори, що працюють від програмованого контролера (Ардуіно). Внаслідок цього відкрилися великі можливості для проектування точних верстатів, роботостроєння, авіабудування (квадрокоптера) [3].

Так як приводи з моторами без колекторів мають високі функціональними характеристиками, точним керуванням, підвищеною ефективністю, вони часто застосовуються в промисловому обладнанні, побутовій техніці (потужні пилососи з фільтрами), і навіть в дитячих іграшках [7].

1.3 Датчик положення

Наявність датчика положення (ДП) в прецизійному сервоприводі необхідно, по-перше, для контролю відтворення заданого закону зміни положення, а по-друге, для забезпечення роботи електричної машини в режимі самокомутації. Як ДП зазвичай використовуються фотоелектричні датчики з оптичною лінійкою (енкодери). Рідше застосування знаходять резольвера, магнітні датчики і - в особливих випадках - інтерферометри [4-6].

1.4 Блок управління сервоприводу

Як блоків управління широке застосування знаходять ЦСУ, формують напруги на обмотках електричної машини на підставі неузгодженості заданих і виміряних координат ЕП. У ЦСУ для прецизійних застосувань часто використовується каскадний СУ з контурами струму, швидкості та положення, де електрична машина працює в режимі ВД (див. розділ 1.5). ЦСУ для точного машинобудування, істотно відрізняються один від одного. В них

використовуються різні технічні рішення при побудові як силовий, так і інформаційної частини [5].

1.4.1. Силова частина блоку управління.

З точки зору силової частини найбільш масовими є ЦСУ з двохрівневим інвертором напруги (ІН) з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) [6] на базі кремнієвих БТІЗ (біполярний транзистор з ізольованим затвором, англ. IGBT) із зворотними діодами, що показано на рисунку 1.3.

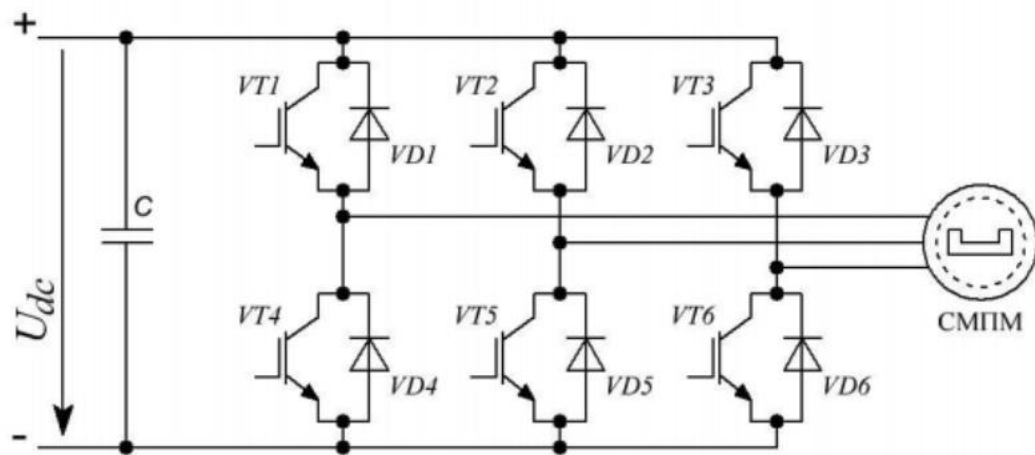


Рис. 1.3 Схема живлення трьохфазного СМІМ від двохрівневого ІН з БТІЗ (VT1-6) та зворотніми діодами

Живлення ІН здійснюється від джерела постійної напруги U_{dc} з вихідний ємністю C . Джерело U_{dc} може бути як зовнішнім по відношенню до ЦСУ пристроєм, так і внутрішнім: ЦСУ оснащується перетворювачем напруги (випрямляч, активний випрямляч, регулятор постійного напруги) для узгодження U_{dc} з доступною живильної електричної мережею [5-7].

Для поліпшення експлуатаційних характеристик сервоприводу застосування знаходять також багаторівневі ШІМ-інвертори [8], МОП-транзистори (метал оксид-напівпровідник) на основі карбіду кремнію SiC і перспективного нітриду Галія GaN [8], аналогові інвертори [10] та ін. В

даний час ці рішення в машинобудуванні зустрічаються досить рідко, в першу чергу через свою високу вартість.

Підвищення експлуатаційних характеристик точних верстатів можливо також за рахунок використання сервоприводу з більшою встановленою потужністю і масогабаритними показниками, з більш складною системою вимірювання положення, що вимагає значних додаткових капітальних витрат. Робота присвячена підвищенню експлуатаційних характеристик сервоприводу за рахунок удосконалення інформаційної частини блоку управління, що може бути в багатьох випадках економічно доцільно для досягнення необхідних показників точності, продуктивності, плавності руху [10].

1.4.2. Інформаційна частина блоку управління.

До інформаційної частини сервоприводу висуваються дві суперечливі вимоги. Для підвищення якості руху і продуктивності сервоприводу необхідно, з одного боку, все більше ускладнювати алгоритми СУ ЕП введенням додаткових розрахунків, а з іншого - скорочувати час виконання всіх розрахунків. Найбільш простим і очевидним рішенням при побудові інформаційної частини ЦСУ є використання єдиного мікроконтролера для вирішення завдань управління рухом і взаємодії з іншими пристроями, що показано на рисунку 1.4, а).

Однак для забезпечення високошвидкісного обміну даними з зовнішніми пристроями і швидкого розрахунку складних алгоритмів управління, обчислювальної потужності єдиного процесора може не вистачити, і ці дві завдання можна розділити між двома процесорами (або процесорними ядрами). На один з процесорів тоді покладаються завдання забезпечення комунікації із зовнішніми пристроями, а на другий - виключно завдання цифрової обробки сигналів, що необхідно для швидкого розрахунку алгоритмів управління рухом [8-10]. У першому випадку можливе використання швидкого мікроконтролера (МК), а в

останньому зазвичай використовується цифровий сигнальний процесор (ЦСП). Між процесорами налагоджується швидкий обмін інформацією - передаються завдання координат, параметри, інформація про стан системи, що представлено на рисунку 1.4, б).

Для організації цифрового розрахунку алгоритмів управління в ЦСП необхідна організація отримання завдання координат ЕП від зовнішніх пристроїв (ЧПУ) через МК, а також вимірювання поточних значень координат ЕП. Зазвичай вимірюються сигнали зворотного зв'язку по струму і по положенню [10,11].

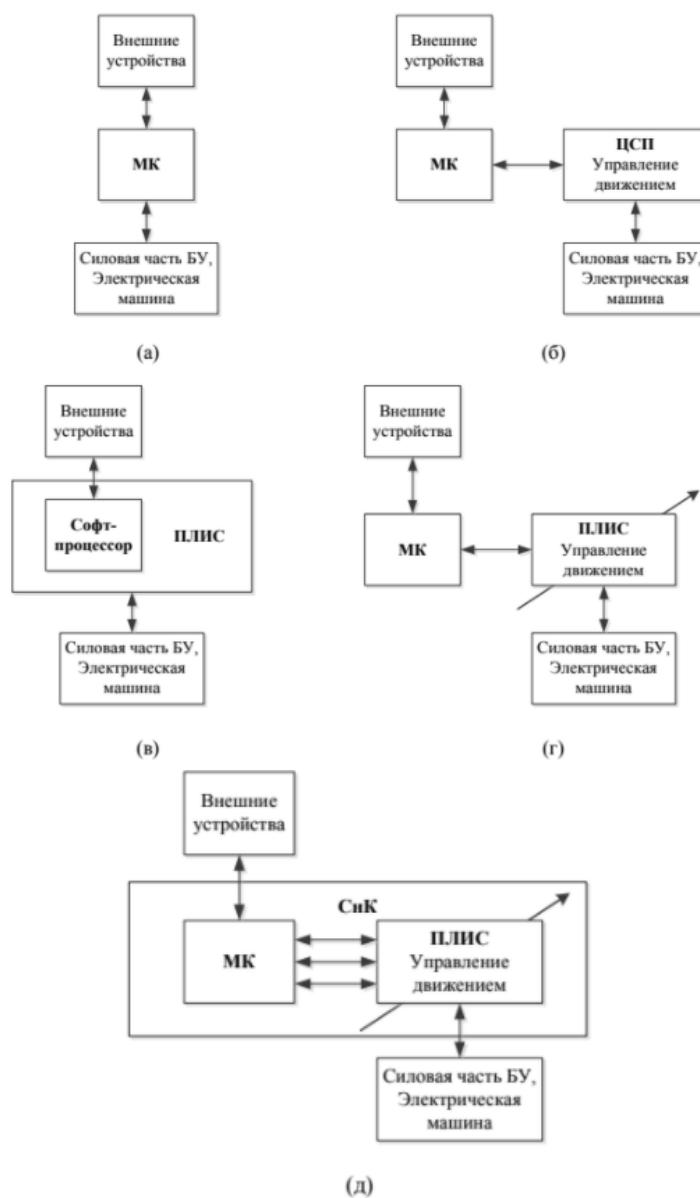


Рис. 1.4 Варіанти побудови інформаційної частини ЦСУ

Вимірювання може проводитися як за допомогою відповідних вбудованих периферійних пристроїв ЦСП (при їх наявності), так і за допомогою зовнішніх інтегральних схем, зв'язок з якими здійснюється зазвичай при допомогі послідовного інтерфейсу. Для уніфікації і створення можливості швидкої модифікації устаткування все більш широке застосування знаходять перепрограмувальні логічні пристрої [11]. В останні десятиліття їх вартість знизилася, а функціональність значно розширилася, що дозволило використовувати цей клас пристроїв не тільки для реалізації невеликих інтерфейсних схем, але і в якості основного пристрою для побудови СУ СП.

Для підтримки ефективного обміну даними з зовнішніми пристроями в інформаційній системі необхідно також наявність процесорного ядра. Можливі такі підходи до використання для розрахунку алгоритмів СУ СП:

- Використання ПЛІС з софт-процесором (один кристал), показано на рисунку 1.4, в);
- Використання ПЛІС в поєднанні з окремим процесором (2 окремих кристала), що показано на рисунку 1.4, г);
- Використання ПЛІС в поєднанні з МК в складі одного чіпа - системи на кристалі (СНК), що показано на рисунку 1.4, д).

Відмінність наведених підходів полягає в продуктивності процесора і в ступені його інтеграції з ПЛІС. При цьому всі вони припускають, що ПЛІС використовується для розрахунків алгоритмів СУ, а процесор виконує в першу чергу інтерфейсні завдання. Найбільш високо інтегрований рішенням є РНК, яка поєднує на одному чіпі і потужний процесор, і ПЛІС, дозволяючи здійснювати швидкий, перешкодостійкий і енергоефективний обмін інформацією між ними. Завдяки цьому з'являється можливість значно підвищити якість руху: за рахунок застосування більш складних алгоритмів управління, їх швидкого

розрахунку, використання технології сигма-дельта АЦП і високошвидкісних протоколів реального часу [12].

В сучасних РНК, пропонованих, наприклад, XILINX і ALTERA, використовується двоядерний процесор ARM Coretex A9 і програмована логіка -1 класу швидкодії (Zynq, Cyclone V). Вони позиціонуються як «Розгортаються» процесорні платформи, в яких найбільш ресурсомісткі завдання перекладаються з процесора на ПЛІС. Пристрої такого типу поки що рідко використовуються в сервоприводи, тому що є відносно новим продуктом: були анонсовані в 2011р. [13] і з'явилися на російському ринку в 2013р. Більш того процес розробки на базі РНК трудомісткий і вимагає від розробників широкої компетенції - не тільки в сфері електротехніки та мікропроцесорної техніки, а й в програмованій логікою, побудові багатоядерних систем, і побудові настроюється архітектури РНК. Система управління сервоприводу на базі РНК будується наступним чином: одне процесорний ядро управляє ПЛІС, в якій реалізовані апаратні алгоритми, а інше забезпечує зовнішній обмін даними по протоколу реального часу (рис.1.4, д). Управління ПЛІС за допомогою процесора зводиться до запису (і читання) даних в її регістри, в результаті чого змінюються параметри системи, уставки, а також режими роботи ЕП. Така система може підтримувати час циклу промислової мережі (EtherCat, PowerLink і ін.) в кілька десятків мікросекунд, з розрахунком СУ ВД за одиниці мікросекунд, а також керувати паралельно відразу декількома (в залежності від розміру кристала і складності алгоритмів) ВД [14].

При необхідності використання одного з ядер в інших цілях – крім управління ЕП (інтерфейс людина-машина, машинний зір та ін.) – можливо покласти інтерфейсні завдання і завдання управління приводом на одне ядро – в шкоду продуктивності.

При відсутності необхідності в підтримці високих частот поновлення промислової мережі, можливе використання софт-процесора

(Microblaze у Xilinx, NIOS у Altera), що реалізується на базі стандартної логіки і блоків пам'яті ПЛІС. У такій ситуації вся система може бути реалізована виключно на ПЛІС, яка при інших рівних дешевше РНК, але має значно меншою продуктивністю [14].

В роботі розроблялися і досліджувалися наступні ЦСУ:

- ЦСУ-П-380-24-Е-УХЛ4. Для уніфікації функції МК і ЦСП реалізовані на базі ідентичних ЦСП типу Texas F2812. Детальний опис стенду наведено в Додатку 3.
- ЦСУ на базі РНК типу Xilinx XC7Z020. Детальний опис стенду наведено в додатку 4.

1.5 Функціональна схема сервоприводу

Функціональна схема сервоприводу представлена на рис. 2. Для досягнення хорошої керованості по положенню організовується контур по току, швидкості і положенню [15]. На рисунку 1.5 прийняті позначення: ЗУ - задаючий пристрій; РП – регулятор положення; РС - регулятор швидкості; РТ - регулятор струму; Д - двигун; Р - резольвер.

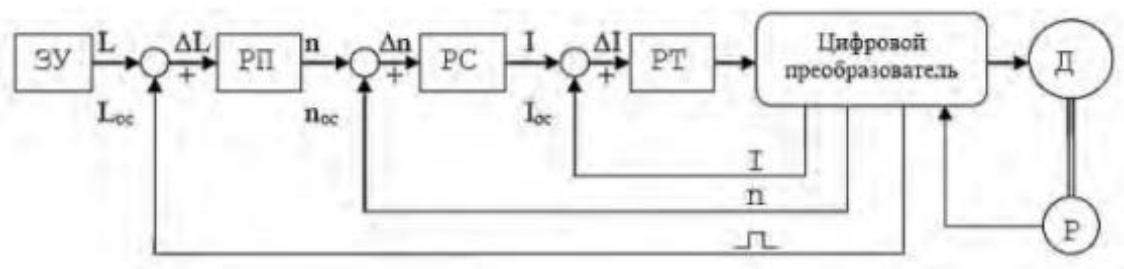


Рис.1.5 Функціональна схема сервоприводу

З датчика, що відслідковує положення ротора двигуна, в цифровий перетворювач надходить інформація про стан ротора двигуна в кожен момент часу. Похідна від положення дає інформацію про швидкість двигуна. Зовнішнім (і провідним) контуром є контур положення ротора двигуна. Різниця заданого і фактичного значень швидкості (помилка) подається на пропорційно-інтегральний регулятор положення (ПІ-РП).

Підпорядкованим контуром є контур швидкості. Задане значення з РП та фактичне значення швидкості порівнюються в РС. Помилка піддається коригуванню за допомогою пропорційно - інтегрального регулятора швидкості (ПІ-РС).

Сигнал з ДС подається в ланцюг обмежувача струму, який забезпечує захист двигуна і інвертора від стрибків струму. Вихідний сигнал з ланцюга обмежувача служить заданим струмом для внутрішнього контуру струму. Оцінені значення поточного та фактичного струму надходять на перетворювач, видаючи керуючі імпульси на транзистори інвертора.

Налаштування контуру РТ можна реалізувати як ПІ-регулятор. вхідним сигналом є різниця між величиною поточного і фактичного фазного струму, що живить двигун. Вихідним сигналом є керуюча напруга для широтно - імпульсного модулятора (ШІМ).

Розрахунок параметрів сервоприводів виконується згідно [15]. Контур струму в слідкуючих системах налаштовується на оптимум по модулю. Регулятор швидкості обчислює фактичну швидкість серводвигуна, порівнює з завданням і виробляє сигнал управління для блоку регулятора струму. Керуючий сигнал регулятора повинен за визначений інтервал часу привести усунення неузгодженості між заданою і фактичною швидкістю. Надалі регулятор підтримує задану швидкість обертання сервоприводу незалежно від крутного моменту з боку навантаження. Зворотній зв'язок по швидкості замикається в сервоприводі через резольвер, встановлений безпосередньо на валу серводвигуна [5].

1.6 Модель сервоприводу

У електродвигунах сучасних малогабаритних швидкодіючих приводах використовуються постійні магніти для створення поля збудження і малоінерційні рухомі струмопровідні обмотки. Для опису

такого двигуна можна використовувати рівняння динаміки двигуна постійного струму без обмотки збудження [15].

Зазвичай ці двигуни високообертові, до 8000 обертів за хвилину, що потребує використання багатоступеневого редуктора між ротором двигуна і вихідним валом серводвигуна.

У електродвигунів існує зворотний зв'язок по швидкості обертання ротора у вигляді антиЕРС ротора. Однак у сервоприводі в нашому випадку вихідна величина - кут повороту вихідного вала φ . Для його точного позиціонування необхідна реалізація зворотного зв'язку по положенню вихідного вала сервоприводу. Вхідним сигналом сервоприводу є бажане значення кута повороту вихідного вала φ_r і, отже, необхідне положення керованого механізму. З урахуванням цього можна представити структурну схему сервоприводу, блок – схемою, що показана на рисунку 1.6.

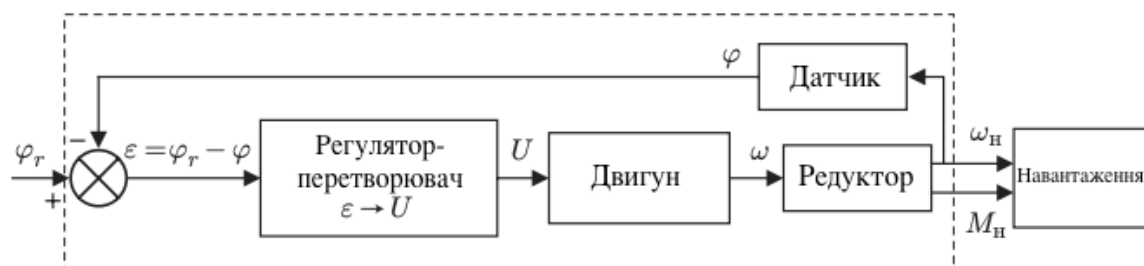


Рис. 1.6 Структурна схема сервоприводу

Процеси в двигуні описуються рівняннями для двигуна постійного струму з незалежним збудженням від постійних магнітів. Так як напруга U на виході перетворювач $\varepsilon \rightarrow U$ може носити імпульсний характер, в якості напруги і струму в обмотці якоря I_a прийняті їх середні значення. Високочастотні складові згладжені інерційними елементами двигуна. Будемо користуватися позначеннями змінних, встановленими в теорії електроприводу, та кожен раз вказувати розмірності нововведених параметрів [16]. У загальному випадку система рівнянь має вигляд:

$$\begin{cases} U = rI_{\text{я}} + L \frac{dI_{\text{я}}}{dt} + K\Phi\omega, \\ M = K\Phi I_{\text{я}}, \\ M - M_{\text{с}} = J \frac{d\omega}{dt}, \end{cases} \quad (1),$$

де τ - повний активний опір якірного ланцюга (Ом); L - повна індуктивність якірного ланцюга (Гн); $K\Phi\omega=E$ - ЕРС живлення якоря (В); K - безрозмірний коефіцієнт двигуна; ω - кутова швидкість обертання ротора двигуна (рад/с); Φ - магнітний потік збудження двигуна; M - момент обертання, створений двигуном $M_{\text{с}}$ - момент статичного спротиву навантаженню, приведений до валу двигуна (Н·м); J - момент інерції приводу, що включає в себе моменти інерцій двигуна та навантаження, $[J] = \text{кг} \cdot \text{м}^2 = \text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$.

РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА КЕРУВАННЯ СЕРВОДВИГУНАМИ

2.1 Керування сервоприводом

Вирішальне значення в управлінні сервоприводами виконує керуючий сигнал, який представляє собою імпульси постійної частоти і змінної ширини. Довжина імпульсу - це один з найважливіших параметрів, який визначає положення сервоприводу. Цю довжину можна задати в програмі вручну методом підбору через кут або використовувати команди бібліотеки. Для кожної марки пристрою довжина може бути різною [5].

Коли сигнал потрапляє в керуючу схему, генератор подає свій імпульс, тривалість якого визначається за допомогою потенціометра. В іншій частині схеми відбувається порівняння тривалості поданого сигналу і сигналу з генератора. Якщо ці сигнали різні за тривалістю, включається електромотор, напрямок обертання якого визначається тим, який з імпульсів коротше. У разі рівного розподілу довжини імпульсів мотор зупиняється [16,17].

Стандартна частота, з якою подаються імпульси, дорівнює 50 Гц, тобто 1 імпульс в 20 мілісекунд. При таких значеннях тривалість становить 1520 мікросекунд, і сервопривід займає середнє положення. Зміна довжини

імпульсу призводить до повороту сервоприводу - при збільшенні тривалості поворот здійснюється за годинниковою стрілкою, при зменшенні - проти годинникової стрілки. Є межі тривалості - в Ардуіно в бібліотеці Servo для 0 ° встановлено значення імпульсу в 544 мкс (нижня межа), для 180 ° - 2400 мкс (верхня межа).

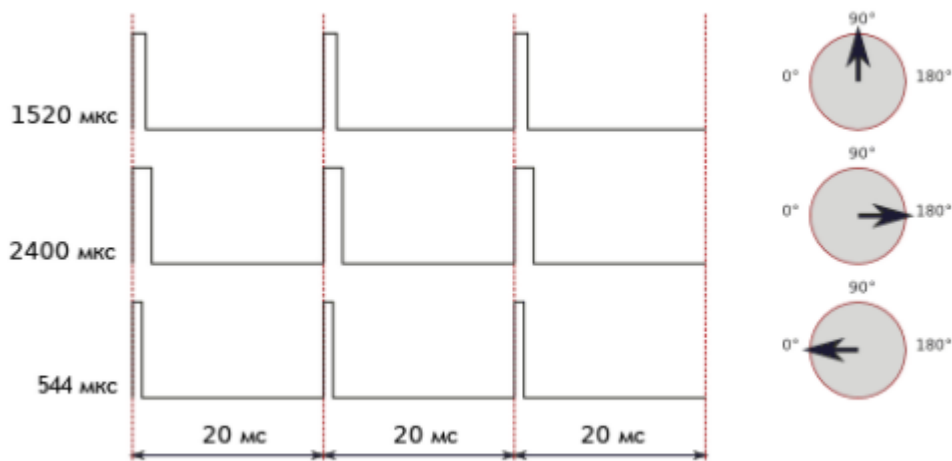


Рис.2.1 Графік подання сигналу

Важливо враховувати, що на конкретному пристрої настройки можуть дещо відрізнятися від загальноприйнятих значень. У деяких пристроїв середнє положення і ширина імпульсу може бути рівною 760 мкс. Всі прийняті значення також можуть незначно відрізнятися через похибки, яка може бути допущена при виробництві пристрої [16,17].

Спосіб управління приводом часто помилково називають PWM / ШІМ, але це не зовсім коректно. Управління безпосередньо залежить саме від довжини імпульсу, частота їх появи не так важлива. Коректна робота буде забезпечена як при 40 Гц, так і при 60 Гц, впливає тільки сильне зменшення або збільшення частоти. При різкому спаді сервопривід почне працювати ривками, при завищенні частоти вище 100 Гц пристрій може перегрітися. Тому правильніше називати PDM.

По внутрішньому інтерфейсу можна виділити аналогові і цифрові сервоприводи. Зовнішніх відмінностей немає - все відмінності тільки у внутрішній електроніці. Аналоговий сервопривід всередині містить спеціальну мікросхему, цифровий - мікропроцесор, який приймає і аналізує імпульси [16,17].

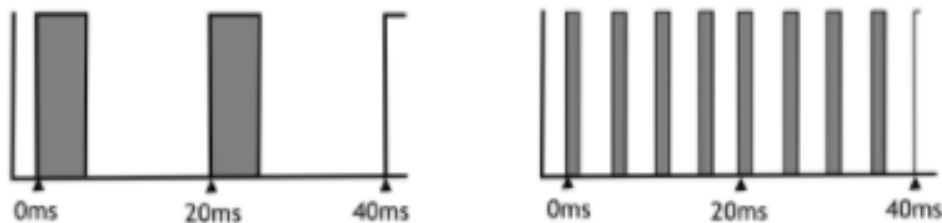


Рис. 2.3 Види сигналів: а) аналоговий; б) цифровий

При отриманні сигналу аналоговий сервопривод умовно приймає рішення, змінювати положення чи ні, і в разі потреби, подає на мотор сигнал з частотою 50 Гц. За час реакції (20 мс) можуть статися зовнішні впливи, які змінять положення сервоприводу, і пристрій не встигне зреагувати.

Цифровий сервопривід використовує процесор, який подає і обробляє сигнали з більшою частотою - від 200 Гц, тому він може швидше відреагувати на зовнішні впливи, швидше розвивати потрібну швидкість і крутний момент [16-18].

Отже, цифровий сервопривід буде краще утримувати задане положення. При цьому для роботи цифрового сервоприводу потрібно більше електроенергії, що підвищує їх вартість. Великий внесок в ціну робить і складність їх виробництва. Висока вартість - єдиний недолік цифрових сервоприводів, з технічної точки зору вони набагато краще аналогових пристроїв.

2.2 Підключення сервомотору до Arduino

Сервопривод має три контакти, різного кольору. Коричневий провід веде до землі, червоний - до живлення +5 В, провід помаранчевого або жовтого кольору - сигнальний. До Ардуіно пристрій підключається через макетну плату, що показано на рисунку 2.4. Помаранчевий провід (сигнальний) підключається до цифрового піну, чорний і червоний - до землі та живлення відповідно[5,6]. Для керування сервомотором не

потрібне підключення саме до шім-піну - принцип керування описано у 2.1.

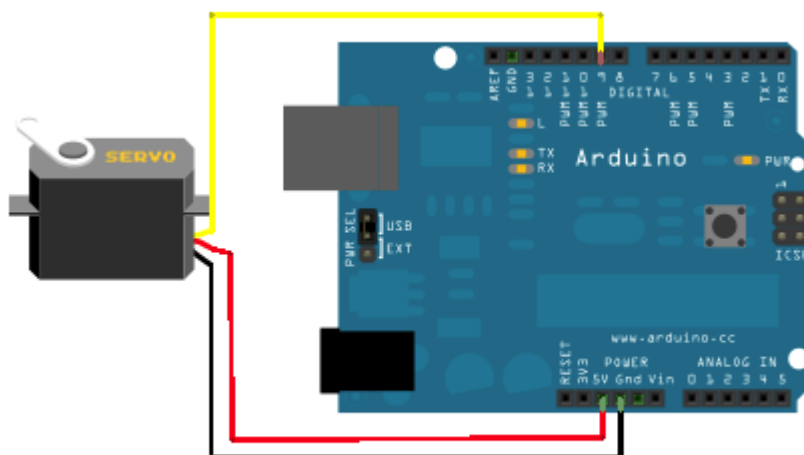


Рис.2.4 Принципова схема підключення сервомотору до плати Arduino uno

Не рекомендується підключати потужні сервоприводи безпосередньо до плати, оскільки вони створюють для схеми живлення Arduino струм, який може вивести з ладу плату; у деяких випадках може спрацювати запобіжник. Основні ознаки перевантаження і неправильного живлення сервоприводу полягають в "смиканні" сервомотору, неприємному звуку і періодичним перезавантаженням плати. Для живлення рекомендується використовувати зовнішні джерела, обов'язково об'єднуючи землі двох контурів [18].

2.3 Безпосереднє керування

Управління сервоприводом безпосередньо через зміну в коді тривалості імпульсів - досить нетривіальне завдання, використовуючи стандартну бібліотеку "Servo.h", що зашита в середині розробки Arduino [18].

2.3.1 Алгоритм роботи

Необхідною умовою для коректної роботи сервомотору є підключення стандартної бібліотеки "Servo.h", після цього прописуємо у

тілі коду об'єкт класу “Servo”, що дає змогу програмному середовищу розпізнати сервомотор, у блоці setup вказуємо порядковий номер контакту до якого під'єднано провід керування. Це важливо для того щоб сигнал подавався саме на потрібний пін плати. Використовуємо методи об'єкта звичайним для C ++ способом. Найпростішим є метод write, якому ми подаємо цілочисельне значення в градусах[18].

2.3.2 Написання програмних кодів

Розглянемо програмний код, що встановлює серводвигун на нульовий кут, а після повертає на 90 градусів. Програмний код приведено нижче:

```
#include <Servo.h>

Servo servo;

void setup() {
    servo.attach(9);
    servo.write(0);
}

void loop() {
    servo.write(90);
    delay(1000);
    servo.write(180);
    delay(100);
    servo.write(90);
    delay(1000);
    servo.write(0);
    delay(1000);
}
```

Розглянемо випадок підключення декількох серводвигунів до плати. Принципово нічого не змінюється, додаються аналогічні команди для

встановлення зв'язку з сервомотором на другому піні і оголошується ще один об'єкт типу `Servo`. Приклад програмного коду наведено нижче:

```
#include <Servo.h>

Servo servol;
Servo servo2;

void setup() {
    servol.attach(9);
    servo2.attach(10);
}

void loop() {
    servol.write(0);
    servo2.write(180);
    delay(20);
    servo2.write(0);
    servol.write(180);
}
```

2.3.3 Керування серводвигуном за допомогою потенціометра

При керування сервомотором за допомогою потенціометра, сервопривід повертається в залежності від значення напруги, отриманої від потенціометра. Досягається це за допомогою конвертації сигналу, взятого з потенціометра при використанні стандартної функції `map`, яка перетворює зчитане значення потенціометра і перетворює його на кут повороту, який сприймається сервомотором [18]. Приклад програмного коду приведено нижче:

```
void loop() {
    val = analogRead(A0); // Зчитуємо значення з піна, до
    якого підключений потенціометр
```

```
    val = map(val, 0, 1023, 0, 180); // Перетворимо число в
діапазоні від 0 до 1023 в новий діапазон – від 0 до 180.
    servo.write(val);
    delay(15);

}
```

2.4. Сучасні сервомотори

На даний час виробляється досить велика кількість серводвигунів різного призначення, які мають досить різні характеристики, масогабаритні розміри та можуть застосовуватися у кардинально різних сферах. В одних випадках вирішальну роль грають маса та габаритні розміри, а в інших - крутний момент на валу або сила утримання. Нижче приведені характеристики трьох найпопулярніших серводвигунів.

Сервопривод SG90, що показано на рисунку 2.5, найчастіше використовується в управлінні невеликими легкими механізмами з кутом повороту від 0 ° до 180 °.

Технічні характеристики SG90:

- Швидкість відпрацювання команди 0,12 с / 60 градусів;
- Живлення 4,8В;
- Робочі температури від -30С до 60 С;
- Розміри 3,2 x 1,2 x 3 см;
- Вага 9 г



Рис. 2.5 Сервопривід SG90

Сервопривод не забезпечує точних налаштувань початкових і кінцевих позицій. Для того, щоб уникнути зайвих перевантажень і характерного тріску в положенні 0 і 180 градусів краще виставляти крайні точки в 10° і 170° . При роботі пристрою важливо стежити за напругою живлення. При сильному завищенні цього показника можуть пошкодитися механічні елементи зубчастих механізмів, що виготовлені з пластику.

Сервомотор MG995, що показано на рисунку 2.6 є другою за популярністю моделлю сервоприводів, найчастіше підключаються до проектів Arduino. Має набагато кращі характеристики в порівнянні з SG90. Вихідний вал у MG995 повертається на 120 градусів (по 60 в кожному напрямку). Пристрій виконується в пластиковому корпусі [18].

Технічні характеристики MG995:

- Вага 55 г;
- Крутний момент 8,5 кг на см;
- Швидкість 0,2 с / 60 градусів (при 4,8В);
- Робоче живлення 4,8 - 7,2В;
- Робочі температури - від 0 С до 55 С.

Підключення до Arduino також відбувається трьома проводами. Для непрофесійних проектів допускається підключення MG995 безпосередньо до Arduino, але струм двигуна завжди буде створювати небезпечне навантаження для входів плати, тому рекомендується жити двигун окремо, з'єднавши землю обох контурів живлення [18].



Рис. 2.6 Сервопривід MG995

Сервопривод MG996R, що показано на рисунку 2.7 використовується в управлінні досить масивними механізмами з кутом повороту від 0° до 180° . Перевагою даного сервомотору у порівнянні з приведеними вище є те, що шестерні редуктора виготовлені з металу і можуть витримувати досить великі навантаження і не зношуватися на відміну від пластикових [18].

Технічні характеристики MG996:

- Вага 55 г;
- Крутний момент 9,4 кг на см;
- Швидкість 0,2 с / 60 градусів (при 4,8В);
- Робоче живлення 4,8 - 7,2В;
- Робочі температури - від 0 С до 55 С.



Рис. 2.7 Сервопривід MG995

2.5 Основні параметри сервоприводів

Параметри сервоприводу, що підлягають ідентифікації в контексті цієї роботи, можна умовно розділити на три групи:

1. Електромеханічні параметри, які визначаються компонентами сервоприводу:

- 1) Фазний електричний опір R ;
- 2) Фазная індуктивність L .

2. Електромеханічні параметри, які визначаються також конструкцією механічної частини, наприклад верстата:

- 1) Параметри, що визначають механічну добротність ЕП
 - a) Сумарна рухлива маса m_{Σ} ;
 - b) Коефіцієнт сили K_{Tph} .
- 2) Механічні збурення
 - a) Сила сухого тертя T_{cf} ;
 - b) Сила в'язкого тертя $T_{vf}(v)$;
 - c) Зубцову силу $T_{cog}(x)$;
 - d) Постійна зовнішня активна сила T_L .

3. Теплові обмеження:

- 1) Ідентифіковані
 - a) Тривалий струм I_c ;
 - b) Теплова постійна часу T_{th} .

2) Задаються при проектуванні компонентів ЕП

а) Піковий струм I_p .

3) Отримані в результаті розрахунків

а) Час пікового струму t_p ;

б) Стопорна швидкість v_{stop} .

Незважаючи на наявність технічного опису, яке надається виробниками компонентів сервоприводу, виникає необхідність в ідентифікації прямого сервоприводу вже після його вбудовування обладнання. Вона викликана тим, що більшість його параметрів залежать від особливостей конкретної установки. Індивідуальними для кожного випадку є і механічні обурення $T_{cf}, T_{vf}(v), T_{cog}(x)$, T_L, m_Σ, K_{Tph} , сильно залежить від величини повітряного зазору електричної машини, що забезпечується конструкцією установки, а також I_c, T_{th} , зумовлені особливостями тепловідведення. Параметри є нелінійними, наприклад, R, L, K_{Tph} залежать від величин струмів, багато параметрів залежать від зовнішніх умов, насамперед, температури: $R, T_{vf}(v)$, (мастило лінійних напрямних або підшипників), $T_{cog}(x)$ і ін. Облік нелінійностей безпосередньо в моделях, використовуваних в СУ, суттєво підважчує розрахунки і вимагає в деяких випадках додаткових засобів вимірювання [19].

Для забезпечення високої точності моделі ЕП потрібно визначення параметрів для його конкретної робочої зони і при сталих умовах навколишнього середовища, де забезпечується лінійність моделі. При такому зміні умов призводить до підході лінійності моделі. При такому підході зміна умов призводить до необхідності повторної ідентифікації. У зв'язку з цим, для формування прямих програмних зв'язків по напрузі можна обмежитися досить грубою оцінкою параметрів ($\pm 10\%$), дійсної для

широкого діапазону роботи ЕП [19]. При цьому регулятори його СУ компенсують неточності моделі. Більш критичним є формування траєкторії руху з урахуванням граничних характеристик, визначення яких має здійснюватися для найгіршого можливого в заданих умовах експлуатації випадку. Інакше з'являється ймовірність формування нереалізованого вимогам завдання ЕП, що приведе до втрати точності, а при істотних розузгодженнях - насиченню і неконтрольованим коливанням в системі.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СТЕНДУ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ СЕРВОДВИГУНІВ

3.1 Розробка стенду

При розробці та розрахунках проектів, пов'язаних з автоматизацією та керуванням, у тому чи іншому разі виникає необхідність використання серводвигунів, оскільки на даний час вони є найпопулярнішими елементами, за допомогою яких можна керувати обертовим рухом.

На власному досвіді було перевірено, що не завжди вказані виробником характеристики відповідають дійсності. Це призводить не тільки до недосконалої роботи пристрою, а й в цілому до незрозумілого виходу з ладу цілого ряду приладів. Якщо перенести цю проблему на серійне виробництво, це може призвести до підвищення відсоткового відношення браку в розрізі кожної партії.

Для вирішення цієї проблеми було прийнято рішення розробити стенд, який буде перевіряти основні характеристики серводвигунів. Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновки про відповідність або невідповідність заявлених виробником характеристик. Це дає можливість при виникненні невідповідностей характеристик серводвигунів на стадії перевірки забракувати сервомотор і у подальшому уникнути браку самого пристрою. Особливо актуально це для пристроїв, що основним чином працюють за базі сервоприводів постійного струму [8].

3.2 Вибір апаратної частини

Насамперед для створення стенду потрібно досить просто запускати сервомотори після закріплення на стенді. Про те, як працювати з серводвигунами за допомогою програмного середовища Arduino, особливості керування та написання програмних кодів описано у другому розділі.

3.2.1. Вибір мікроконтролера

Компоненти стенду були обрано у відповідності до вимог проекту. Головними критеріями є: компактність, час автономної роботи пристрою, можливість вдосконалення, відносно невеликі габаритні розміри.

Табл. 3.1 Характеристики Arduino Uno, Mega, Nano

	Arduino Uno	Arduino Mega	Arduino Nano
Мікроконтролер	ATmega328	ATmega2560	ATmega328
Напруга живлення	5 В	5 В	5 В
Вхідна напруга	7-12 В	7-12 В	7-12 В
Цифрові виводи	14 (6 з яких можна використовувати як ШІМ)	54 (15 з яких можна використовувати як ШІМ)	14 (6 з яких можна використовувати як ШІМ)
Аналогові виводи	6	16	8
Постійний струм вхід/вихід	40 мА	40 мА	40 мА
Постійний струм для виводу 3.3 В	50 мА	50 мА	50 мА

Флеш-пам'ять	32 Кб	256 Кб	32 Кб
ОЗУ	2 Кб	8 Кб	2 Кб
EEPROM	1 Кб	4 Кб	1 Кб
Тактова частота	16 МГц	16 МГц	16 МГц
Габарити	68 на 53 мм	101 на 53 мм	16 на 42 мм

Аналізуючи таблицю 3.1 та критерії стенду, було обрано Arduino Uno, що показано на рисунку 3.1, оскільки ця плата має найбільшу кількість контактів для підключення сервомоторів, а її габаритні розміри не мають ключової ролі у даному проекті.



Рис. 3.1 Зовнішній вид Arduino Uno

3.2.2. Вибір живлення приладу

У стаціонарних умовах необхідності для реалізації автономного живлення немає, оскільки не ставиться задача мобільності пристрою, проте при розробці стенду зручніше було зробити систему живлення задля конкретної роботи в умовах постійного мобільного тестування.

Плата Arduino Uno потребує напругу живлення 5 В. Основним рішенням було живлення приладу від універсального портативного акумулятора, що має USB порт з вихідною напругою 5 В [9].

Для самостійної реалізації блоку живлення, було обрано такі компоненти:

- Акумулятор Samsung 18650;
- Зарядка та захист літійових акумуляторів TP4056;
- Перетворювач напруги з 3.7 В до 5 В.

Акумулятор, що показано на рисунку 3.2, було обрано за його ємність - 2500 mAh та компактні розміри: висота 65.1 мм, діаметр - 18.2 мм. Максимальна та мінімальна напруги 4.2 В і 2.5 В відповідно.



Рис. 3.2 Акумулятор Samsung 18650

Для захисту та зарядки батареї було обрано модуль зарядний пристрій TP4056, що показано на рисунку 3.3.



Рис. 3.3 Зовнішній вид мікросхеми зарядного пристрою TP4056

Лінійної зарядний пристрій з технічними характеристиками, що приведено у таблиці 3.2, дозволяє заряджати акумулятор за допомогою мікро USB роз'єму 4.5 В - 5.5 В. Індикація рівня зарядки відбувається за допомогою двох світлодіодів. Червоний колір світлодіода сигналізує про початок зарядки. Зелений колір світлодіода - пристрій повністю заряджено.

Табл.3.2 Характеристики TP4056

Вхідна напруга	4.5 В-5.5 В
Напруга заряду	4.2 В
Зарядка точності	1.5 %
Розміри	22 мм на 16 мм
Вага	3 г

Для отримання напруги живлення 5 В потрібно застосувати конвертер постійного струму MT3608, що показаний на рисунку 3.4.



Рис. 3.4 Зовнішній вид конвертера постійного струму MT3608

На вхід конвертера подається напруга з акумулятора, а на виході отримуємо бажану напругу живлення для Arduino nano, шляхом регулювання змінного опору.

3.2.3 Підключення сервомоторів

У найпростішому випадку можна підключити сервомотор напряму до програмної плати, як було показано у другому розділі. Для універсалізації процесу, щоб постійно не під'єднувати та від'єднувати сервомотори від плати і залишити її у класичному виді, як плату керування, було прийнято рішення використовувати спеціальний модуль для роботи з сервомоторами - 16-канальний 12-bit PWM / Servo модуль з I2C інтерфейсом на чіпі PCA9685, що показано на рисунку 3.5.

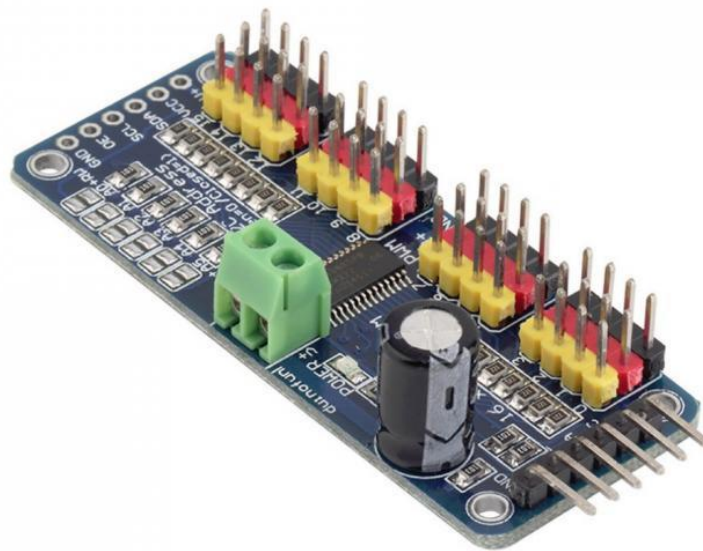


Рис. 3.5 Зовнішній вид Servo модуля з I2C інтерфейсом

Модуль забезпечує підключення 16 сервоприводів до Arduino або Raspberry, використовуючи всього 2 сигнальних дроти, і каскадно підключати декілька таких модулів і, в результаті, керувати 992 сервоприводами. Передбачена окрема подача напруги живлення для сервоприводів, що дає змогу розвести живлення між платою управління і сервомоторами та, в результаті, зменшити ризик вигорання плати.

Технічні характеристики модуля наведено нижче:

- управління по шині I2C всього двома сигнальними проводами;
- на платі встановлені додаткові резистори по кожному з виходів для зручного підключення;
- можливість каскадування до 62 пристроїв з отриманням 992 ШІМ - виходів;
- живлення від 3.3В з можливістю підключення до 5В пристроїв;

- можливість підключення 6 В сервоприводів;
- 6-розрядна I2C адреса;
- регульована частота ШІМ до 1,6КГц;
- 12-бітове управлінням скважністю по кожному з каналів;
- налаштовувати вихід - двотактний або з відкритим стоком;
- окремий вхід джерела живлення сервоприводів;
- наявність 3-пінового роз'єму, що дозволяють легко і просто підключити всі 16 сервоприводів до плати;
- висока якість виготовлення модуля;
- габаритні розміри: 62 x 25 x 15 мм

3.2.4 Збірка модулів Arduino

Підключаємо всі описані вище компоненти у довільній послідовності.

Збираємо блок живлення, при цьому контакти модуля TP4056 В+ та В- було приєднані до плюса та мінуса акумулятора 18650 відповідно. Вивід OUT+ через кнопку припаюється до контакту IN+, а вивід OUT- було приєднано до виводу IN+ підвищуючого перетворювача. На виході перетворювального модуля напруга буде дорівнювати 5 В. На рисунку 3.6 показано, напруга акумулятора, що була виміряна за допомогою мультиметра і дорівнює 4.11 В.

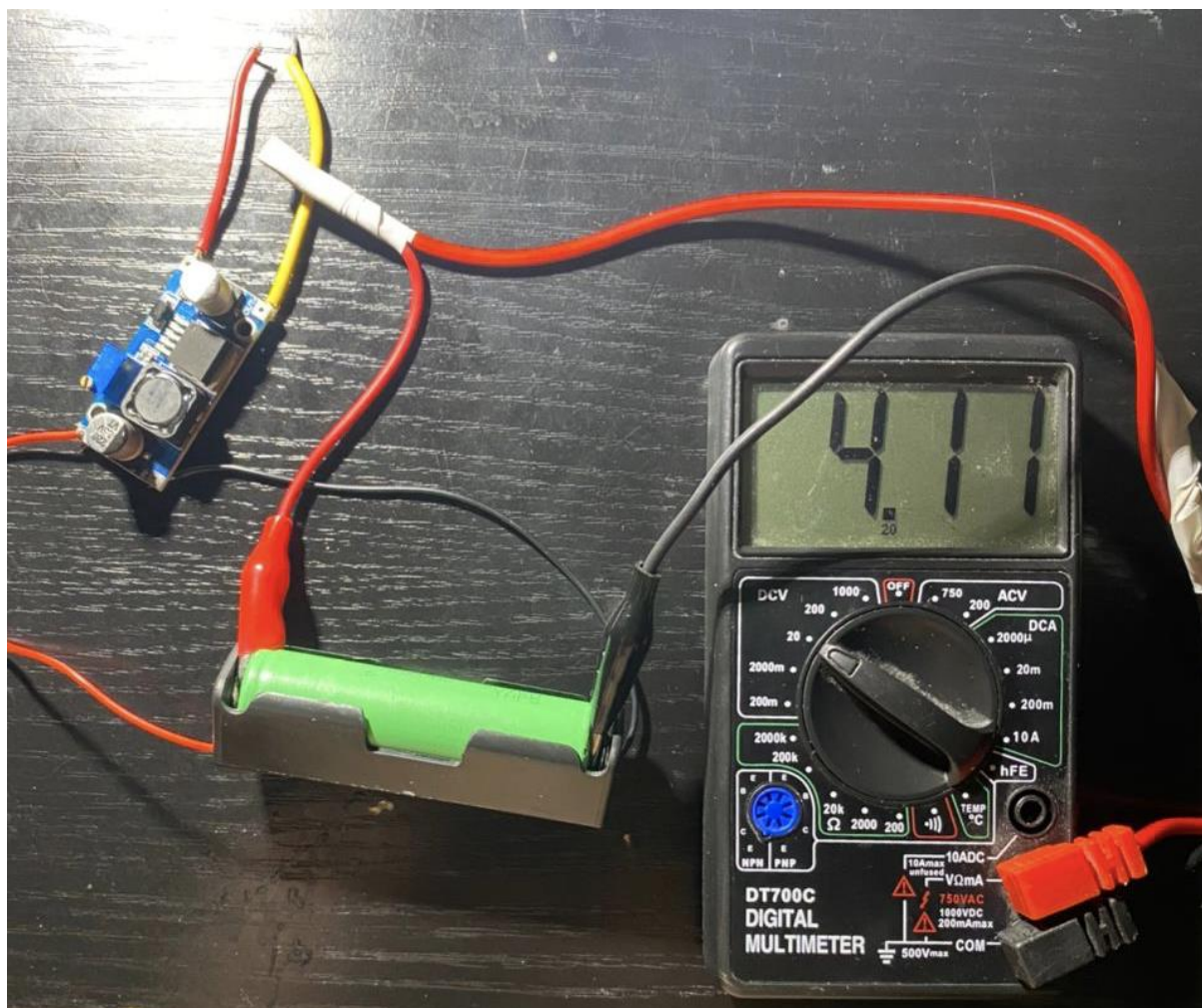


Рис.3.6 Блок контролю напруги живлення

Після того як напруга подається на підвищуючий перетворювач, отримуємо вихідну напругу рівну 5.13В (показано на рисунку 3.7), що є достатнім для живлення програмної плати. Регулювання напруги здійснюється за допомогою регулювання змінного опору на платі MT3608. За допомогою змінного опору можна досить точно регулювати напругу і з легкістю отримати рівно 5 В, але задля коректної роботи було встановлено трохи більшу напругу.

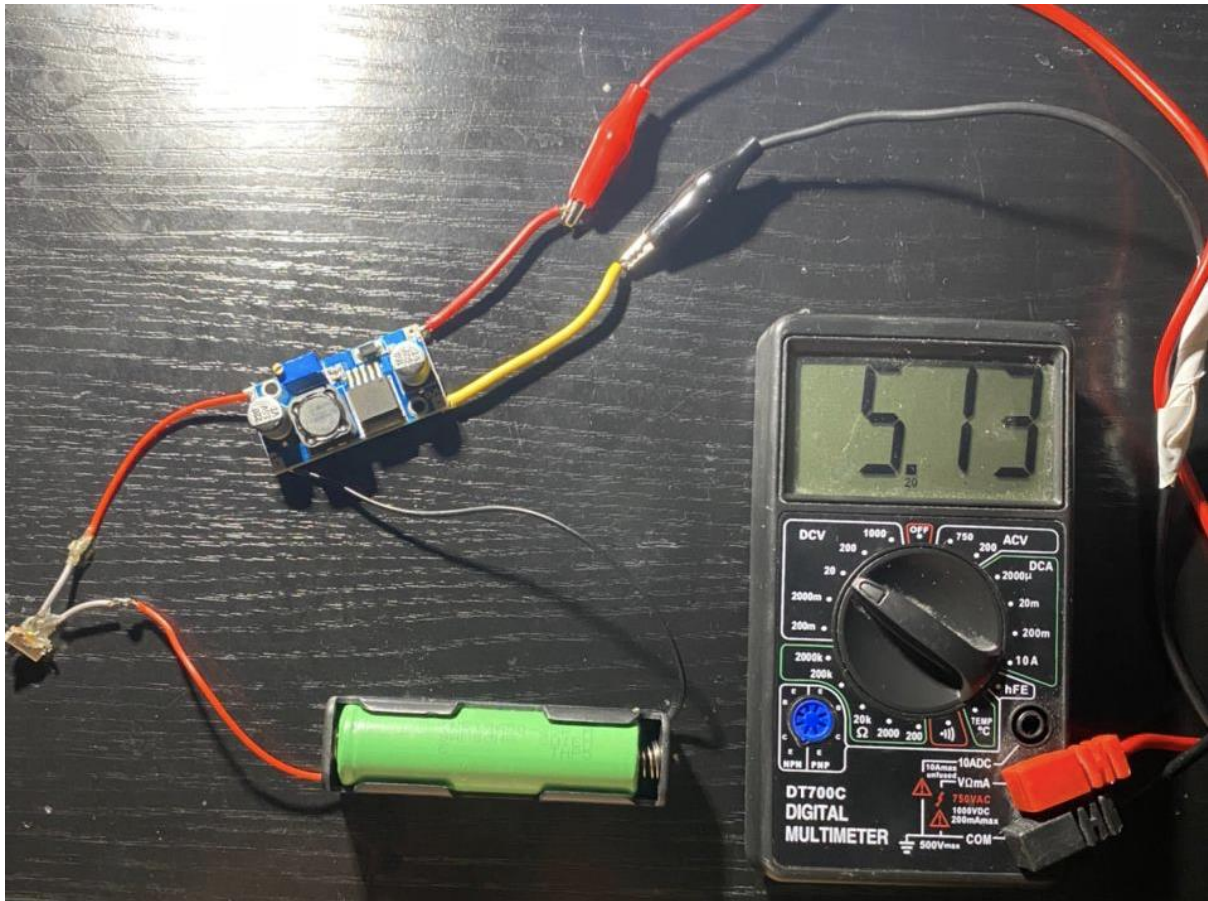


Рис.3.7 Зовнішній вид блоку живлення підвищуючого перетворювача

Після цього необхідно під'єднати виводи MT3608 до сервомодуля і, таким чином, досягти автономності живлення сервомоторів. При необхідності, можна використати акумулятор 12В та аналогічний понижуючий перетворювач, що дає змогу перетворити 12 вхідної напруги в необхідні 5 В вихідної напруги і, таким же чином, забезпечити живлення сервомодулів.

На рисунку 3.8 показано збірку основних компонентів електричної частини стенду, що надалі будуть використовуватись при проведенні дослідів.

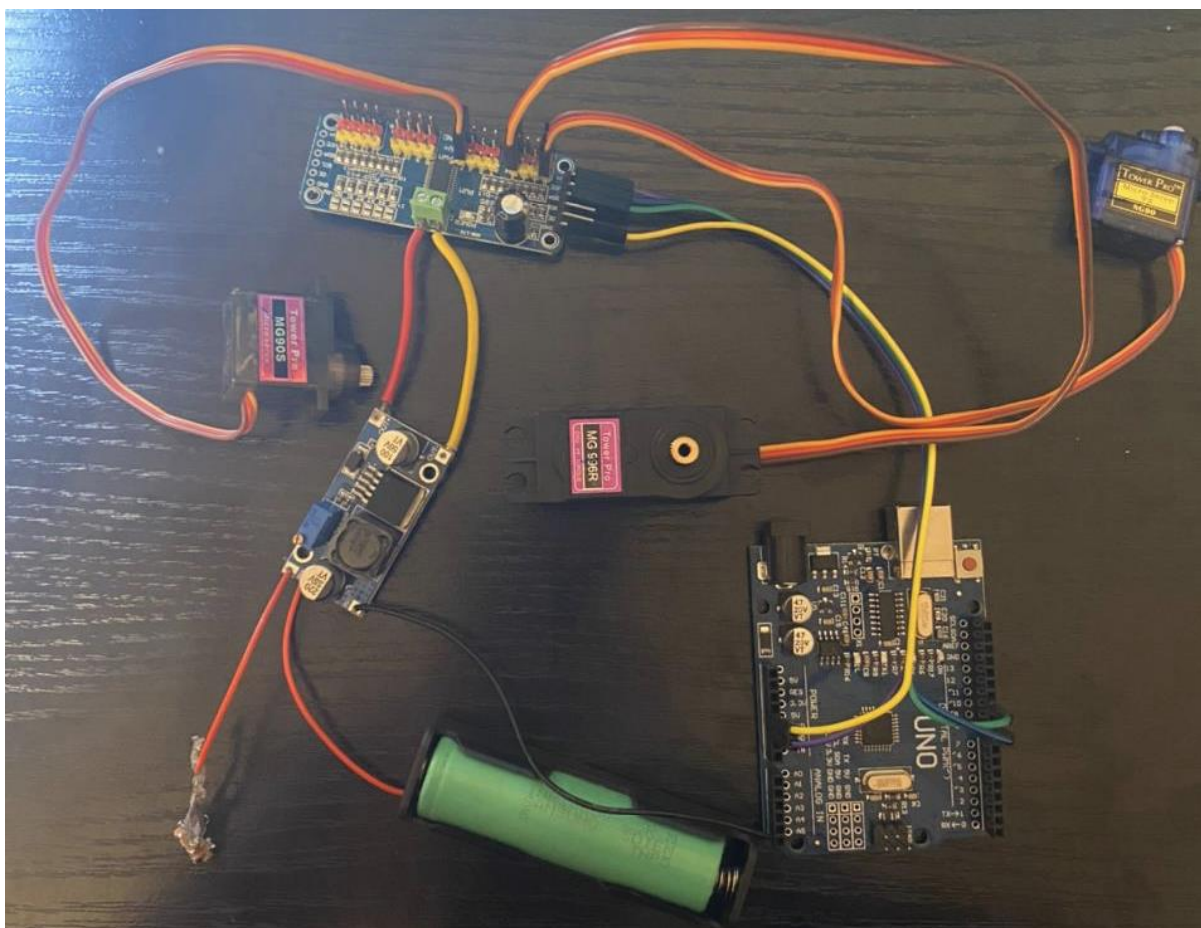


Рис. 3.8 Зовнішній вид електронних компонентів стенду

Стенд виготовлено у вигляді настільної конструкції, на профільній плиті якого, як показано на рисунку 3.9, закріплені :

- 1 - персональний комп'ютер;
- 2 - плата керування;
- 3 - живлення стенду;
- 4 - servo модуль з I2C інтерфейсом;
- 5-пристрій для вимірювання кутового положення валу сервомотора;
- 6 - цифровий динамометр;
- 7 - пристрій для налаштування нульової відмітки динамометра;
- 8 - цифровий вольтметр;
- 9 - досліджуємий сервомотор;
- 10 – досліджуємий сервомотор.

Основою лабораторного стенду є сервоприводи постійного струму. Персональний комп'ютер використовується для організації взаємодії користувача з контролером руху. Через інтерфейс користувача відбувається завдання користувачем виду типового впливу, параметрів впливу та моніторингу зворотного зв'язку.

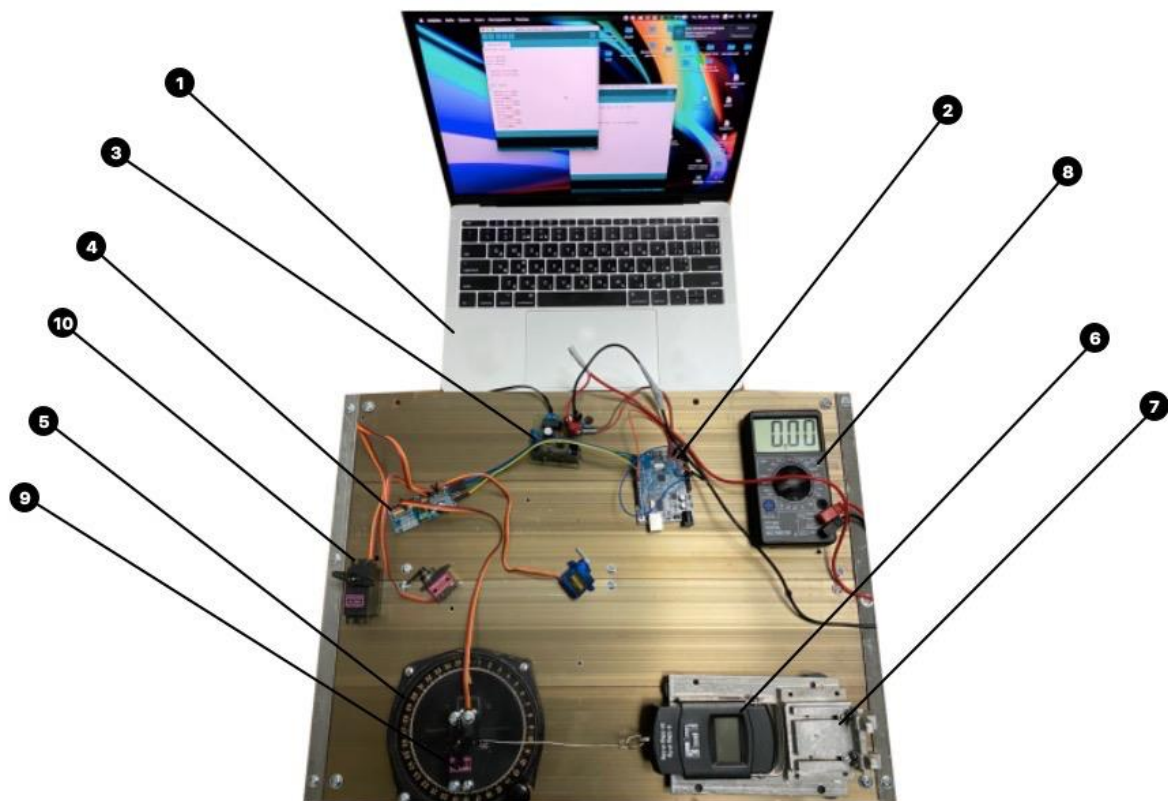


Рис. 3.9 Зовнішній вид стенду для перевірки параметрів сервомоторів

3.3 Результати досліджень

3.3.1 Режим дослідження крутного моменту в залежності від напруги живлення

Вимірювання крутного моменту на вихідному валу сервопривода в залежності від напруги живлення здійснювалось за допомогою використання як електричної так і механічної частин стенду. Електрична частина стенду складається з закріпленого на основі стенду досліджуємого сервопривода, що керується за допомогою сигналів з

персонального комп'ютера, електронних компонент стенду. Механічна частина стенду складається з модулів вимірювання кутів переміщення валу приводів та модуля вимірювання моменту на валу, основою якого є цифровий динамометр 6 (рис. 3.9.).

Користувачі стенду можуть проводити дослідження як в ручному режимі, так і в режимі управління з персонального комп'ютера.

Після проведення досліджень було отримано наступні результати, що показано у таблиці 3.3 та на графіку 3.1.

Таблиця 3.1 Зміна моменту на валу в залежності від напруги живлення

Номер досліджу	Напруга				
	2.5 В	3.5 В	4 В	5 В	6 В
1.	2.1 кгс	2.0 кгс	4.4 кгс	6.1 кгс	9.5 кгс
2.	1.9 кгс	1.9 кгс	4.5 кгс	6.2 кгс	9.4 кгс
3.	1.8 кгс	1.9 кгс	4.4кгс	6.3 кгс	9.5 кгс
4.	1.8 кгс	2.0 кгс	4.3 кгс	6.2 кгс	10.0 кгс
5.	1.7 кгс	1.9 кгс	4.6 кгс	6.1 кгс	9.4 кгс

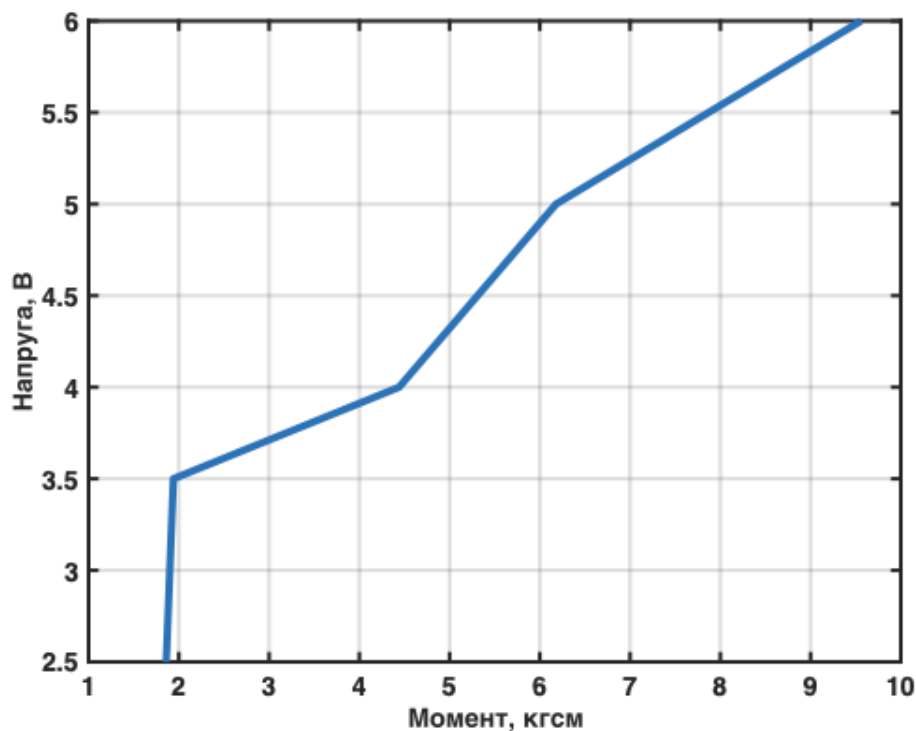


Рис. 3.9 Експериментальні значення крутного моменту на валу від напруги живлення

3.3.2 Режим позиціювання

В цьому режимі завдання на переміщення вихідного валу задається на комп'ютері таке, що виконуючий орган повинен перейти з одного фіксованого положення в інше стрибком. Після чого сервопривод повинен зупинитися.

Для режиму позиціювання головними показниками є час і точність позиціювання.

Точність приведення виконуючого органу в задану точку визначається якістю роботи механізму, наприклад, допуском на виготовлення деталей редуктора.

Час перехідного процесу при позиціюванні визначає продуктивність механізму. За час перехідного процесу приймають час від подачі керуючого стрибкоподібного керуючого сигналу на електропривод до закінчення переходу виконуючого органу в зону заданої похибки. Задана похибка може задаватись як в абсолютних так і у відносних одиницях.

Усталена похибка при позиціюванні дорівнює статичній похибці слідкуючого приводу.

Результати випробувань представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Дослідження похибок кутів повороту сервомотору MG996

№	Заданий кут повороту вихідної ланки, град	Відтворений кут повороту вихідної ланки, град	Похибка сервомотору, %
1	30	26	13.4
2	60	52	13.4
3	90	80	11.2

3.3.3 Дослідження крутного моменту різних типів сервоприводів при номінальній напрузі живлення

Крутний момент (сила на валу) – фактор, що визначає міру обертальної сили, що приложена до тіла. Момент буває номінальний (сервопривод може працювати з таким моментом довгий час) і піковий – короткочасно збільшений, що досягається додатковим струмом в обмотці мотора.

Моменти різних сервоприводів можуть мати різну характеристику. Вони можуть бути приблизно однакові на всіх обертах, або зменшуватися на малих чи на великих обертах. Стенд забезпечує можливість проведення вимірювань крутного моменту сервоприводів, використовуючи відповідний модуль вимірювання.

Виходячи з конкретної задачі, а саме необхідності тестування моменту приводу, можна сформулювати вимоги до складу вимірювального комплексу:

- персональний комп'ютер для керування сервоприводом;
- цифровий мультиметр для вимірювання напруги живлення;
- модуль вимірювання крутного моменту.

В підсумку, на основі отриманих експериментальних даних в порівнянні з паспортними даними сервоприводів , можна зробити висновки про доцільність використовувати той чи інший сервопривод в конкретних умовах експлуатації.

Таблиця 3.3 Похибка відтворення моменту на валу сервоприводу в залежності від типу сервоприводу

№	Модель сервоприводу	Паспортні дані крутного моменту, кгс	Реальні показники крутного моменту, кгс	Похибка, %
1	SG-90	2.0	1.8	10.0
2	MG-90	2.2	2.0	9.09
3	MG-996R	9.4	9.56	1.70

3.3.4 Дослідження швидкості повороту вихідного валу сервомоторів

В цьому режимі вимірювання завдання на переміщення вихідного валу сервомотору задається на комп'ютері таке , що виконуючий орган повинен перейти з одного фіксованого положення в інше стрибком так , щоб в той же час повернутися в вихідне положення.

Для підвищення точності вимірювання часу циклу замір проводився за 10 циклів переміщення валу.

Кут переміщення фіксувався за допомогою спеціальної рухомої кругової шкали. Результати досліджень представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 Дослідження похибки відтворення швидкості повороту вихідного валу сервомоторів без навантаження

№	Модель сервоприводу	Паспортні дані швидкості повороту, сек/60°	Реальні показники швидкості повороту, сек/60°	Похибка, %
1	SG-90	0.12	0.13	7.70
2	MG-90	0.1	0.12	16.66

3	MG-996R	0.17	0.20	15.0
----------	----------------	------	------	------

Сьогодні на ринку представлено багато брендів, які пропонують свої рішення в області сервоприводів. Використовуючи такі приводи, можна суттєво підвищити точність технології передачі руху. Але перед їх використанням в реальних конструкціях треба максимально точно знати їх параметри.

Запропонований стенд для вимірювання параметрів сервоприводів постійного струму дозволяє тестувати мікропроцесорні сервосистеми і перевіряти правильність налаштування сервоприводів перед їх використанням в промислових умовах.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ «СТЕНД ПО ДОСЛІДЖЕННЮ СЕРВОПРИВОДІВ»

4.1 Опис ідеї проекту продукту та технології роботи

В наш час технології розвиваються дуже стрімко і з кожним днем на ринок виходять нові прилади, які спрощують не тільки життя людству, а й допомагають створювати інженерам-технологам ще більш інноваційно технологічні розробки, завдяки яким можна запустити ще більш якісніші продукти та вийти на новий рівень вітчизняного виробництва.

Одними з дійсно важливих в багатьох галузях, та не простими в своїх технологіях, є стенди по дослідженню сервоприводів.

Сервоприводи поділяються на кілька видів— механічні, гідравлічні і електричні. Електричні сервоприводи є найсучаснішими, тому в даній роботі будемо розглядати саме цей вид та проводити паралелі між змістом самої ідеї сервопривода, напрямками його застосування та вигоди для користувача. (табл 4.1)

Таблиця 4.1

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Пропонується с створення стенду по дослідженню сервоприводів, задля перевірки характеристик заявлених виробником	Закривання та відкривання засувки або клапанів	Швидкість роботи механізму
	Дистанційне автоматичне керування або регулювання машин чи апаратів	Точність даних, яка в процесі використання допоможе скорегувати всі недоліки в роботі інших механізмів

В таблиці можемо бачити, що з запропонованих напрямків, в яких можна використовувати стенд по дослідженню сервоприводів є тільки позитивні сторони при застосуванні даного механізму, а саме висока точність роботи та отримання чітких показників.

Для кращого розуміння структури проекту, необхідно побудувати бізнес модель стартапу (табл 4.2).

Таблиця 4.2



В таблиці 4.2 наведені найвигідніші сегменти споживачів. канали збуту та пов'язані з цими показниками фактори просування.

Основними модулями описаних вище систем є мехатронні модулі руху (ММР).

Основою таких модулів є малогабаритні швидкодіючі сервоприводи, що використовуються в сучасних високоточних системи керування

рухомими об'єктами, таких як рульові системи літальних апаратів, роботи з рухомими елементами конструкцій тощо

Сервоприводи мають суттєві переваги серед аналогічних пристроїв у тому, що за рахунок зворотнього зв'язку механізм може відпрацьовувати положення вихідного валу незалежно від його навантаження, що дозволяє реалізовувати робоче положення механізму з високою точністю позиціонування.

Дані приводи мають і інші вагомні переваги:

- за допомогою редуктора приводу зменшується кутова швидкість вихідного валу і збільшується момент на ньому;
- позиціонування робочого органу легко налаштовується програмними методами;
- можливість досягнення великих прискорень при роботі, що робить
- сервопривод більш придатним для використання в швидкодіючих механізмах, в порівнянні з кроковими двигунами;
- практично постійний вихідний момент у всьому діапазоні робочих швидкостей;
- можливість виконувати свої функції в умовах перенавантаження.

Конструктивно стенд складається з двох частин:

- корпусу, в який встановлена частина електроустаткування, електронні плати, лицьова панель, силовий модуль і стільниця інтегрованого робочого столу;
- двох машинних агрегатів працюють в системі генератор-двигун. До складу першого машинного агрегату входить два електродвигуни постійного струму. До складу другого машинного агрегату входить

один електродвигун постійного струму і один асинхронний електродвигун з фазним ротором.

У корпусі стенду розміщені:

1. Сервопривод, призначений для дослідження сервоприводу на базі двигуна постійного струму. Сервопривод може працювати в двох режимах:

- Програмування. В цьому режимі сервопривід після натискання кнопки “Пуск” відпрацьовує кут заданий датчиком положення.
- Стежить. В цьому режимі сервопривід постійно стежить за датчиком положення. Цифровий регулятор сервоприводу може працювати в двох режимах: ПД-регулятор або поліноміальний регулятор. Змінити коефіцієнти і тип регулятора можна з передньої панелі стенда.

2. Частотний перетворювач, призначений для формування трифазної мережі змінного струму регульованої частоти і напруги живлення асинхронного електродвигуна. Перетворювач складається з модуля управління і силового модуля.

Перетворювач частоти дозволяє досліджувати асинхронний електродвигун у всіх чотирьох квадрантах механічної характеристики, а також реалізувати динамічне гальмування двигуна з регульованим струмом.

Головні частини сервоприводу — це його двигун, елементи керування і передача. Крім того, в ньому є також дрібніші периферійні пристрої — блокування, сигналізація, система включення/виключення, елементи зворотного зв'язку. Сервоприводи можуть працювати, на відміну від систем сельсин/давач — сельсин/приймач, тільки від зовнішніх джерел енергії, оскільки потужності внутрішніх джерел енергії недостатньо для

ефективного функціонування сервоприводу (дуже вже енергоємну роботу йому доводиться виконувати).

В заключенні проведемо аналіз між різними виробниками сервоприводів та визначити свої слабкі (W), нейтральні (N) та сильні (S) сторони. (табл 4.3)

Таблиця 4.3

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари / концепції конкурентів			W	N	S
		Мій проект	НТЦ-07.30.	НТЦ-07.36.			
1	Сфери застосування	Декілька	Декілька	Декілька	-	-	+
2	Універсальність використання	Універсально	Частково універсально	Універсально	-	-	+
3	Можливість швидкої заміни комплектуючих	Так	Ні	Так	+	-	-
4	Мобільність	Мобільний	Мобільний	Мобільний	-	+	-
5	Кількість місця, яке займає програмний код	10 мб	25мб	Інформація відсутня	+	-	-
6	Ціна	2000	3000	5000	+	-	-

Виходячи з наведеного переліку слабких, сильних та нейтральних характеристик і властивостей ідей потенційного товару можна дійти до висновку про конкурентоспроможність запропонованого стенду досить висока. Програмний код, розроблений мною, має багато перевагу в тому, що був удосконалений з оглядом на конструктивні особливості перед своїми аналогами. Він має нижчу ціну, декілька сфер застосування, а також програма займає меншу кількість місця.

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В даному підрозділі проведемо аудит технології за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз даних складових які вказані в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Дослідження заводських параметрів сервоприводів	Лабораторна установка	Лабораторна установка розроблена	Технології є доступними
2	Перевірка заявлених характеристик серводвигунів	Лабораторна установка	Лабораторна установка розроблена	Технології є доступними
3	Перевірка працездатності сервомоторів	Лабораторна установка	Лабораторна установка розроблена	Технології є доступними

4	Зменшення кількості браку у приладах, які виготовляються	Лабораторна установка	Лабораторна установка розроблена	Технології є відносно доступними
----------	--	-----------------------	----------------------------------	----------------------------------

Судячи з даних в таблиці можемо зробити висновки, що можливість технологічної здійсненності проекту дуже висока, адже для проходження всіх заданих параметрів перевірки та своєрідного вдосконалення нам потрібне лабораторне устаткування та прилад стенду, що був розроблений під час виконання даної роботи.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.

Даний розділ почнемо з визначень ринкових можливостей та загроз, які будуть прямо чи опосередковано впливати на запуск проекту, або перешкоджати його реалізації.

Першим пунктом в даному підрозділі проведемо аналіз попиту, а саме: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл 4.5)

Таблиця 4.5

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	100 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростаюча
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	65%

Проаналізувавши результати таблиці можна зробити висновки, що вихід на ринок є абсолютно рентабельним. Адже, враховуючи те, що на ринку дуже мала кількість гравців можна бути впевненим, що вийти на ринок буде достатньо легко. Високий відсоток рентабельності дасть змогу проекту швидко відбити кошти, які були витрачені на розробку програми.

Наступним кроком буде визначення потенційних груп клієнтів, їх характеристики та формування орієнтовного переліку вимог до товару для кожної групи (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Розробка стенду для перевірки сервомоторів	- Машинобудівельні та приладобудівельні підприємства - Спеціалізовані виставки, які потребують перевірки сервоприводів	Особливості викликані зі специфікою проведення дослідів	Надійність, висока точність, швидкість та безперебійна робота технічного устаткування

З наведених даних в таблиці бачимо, що товар матиме популярність та затребуваність серед малих, середніх та особливо великих підприємств, які займаються приладобудуванням та машинобудуванням.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводимо аналіз ринкового середовища: складаємо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 4.7)

Таблиця 4.7

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Нові фірми конкуренти	Збільшення конкурентоздатної продукції на ринку	Вдосконалення товару. маркетингова діяльність

2	Більш нові технології	Можлива швидка застарілість товару, пов'язана з дуже швидким розвитком на ринку	Вдосконалення товару або потреба споживачів у нових функціях
----------	-----------------------	---	--

Основними факторами, що перешкоджають ринковому впровадженні проекту є: дуже стрімка потреба споживачів в більш нових технологіях та конкуренція. Але ми в той же час можемо виділити ряд особливостей продукту та його можливостей на ринку серед конкурентів (табл. 4.8).

Таблиця 4.8.

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Високий попит на продукцію	Збільшення товарообігу та пошук нових каналів збуту	Впровадження модифікацій товару
2	Потреба в доступній методиці	Актуальна розробка з достатньо низькою собівартістю	Залучення іноземних та вітчизняних інвестицій
3	Процвітання в вітчизняній сфері машинобудування та приладобудуванні	Збільшення кількості продаж, підвищення ціни	Підвищення ціни
4	Потреба в чіткості та швидкості при роботі з приладом	Збільшення ціни за рахунок безперечно ідеальної роботи устаткування	Підвищення попиту та ціни

Після проведеного аналізу факторів можливостей та загроз можна сказати, що ринок стендів для перевірки сервомоторів є перспективним для входу, розвитку і вдосконаленню нових компаній в подальшому.

Наступним робимо проведення ступеневого аналізу пропозиції: визначаємо загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.9).

Таблиця 4.9

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Чиста конкуренція	Окремі покупці і продавці не можуть впливати на ціну	Основна мета діяльності підприємства – якісно виготовлений товар
2. Національна конкуренція	Конкуренція компаній всередині країни	Різні варіації представлених стендів для перевірки сервомоторів
3. Внутрішньогалузева конкуренція	Конкуренція між підприємствами в межах однієї галузі	Притримуватись адекватного формування та утримання ціни на ринку серед конкурентів
4. Товарно-видова конкуренція	Конкуренція між товарами одного виду.	Покращення товару, нові функції та можливості
5. Нецінова конкуренція	Вдосконалення якості продукції та умов її продажу.	Додавання нових функцій, покращення вже існуючих, при цьому не сильно підвищувати ціни
6. Марочна конкуренція	Конкурентні компанії пропонують подібний продукт.	Зниження цін на товар, виготовлення тільки якісної продукції, пропонування

		приємних бонусів, або гарантій на більш тривалий термін
--	--	---

За результатами аналізу таблиці 4.9 можемо зробити висновок, що запропонована конструкція демонструє високу конкурентоспроможність. Найбільш небезпечною в даному випадку є товарно-видова. Оскільки аналогічні стенди для перевірки сервоприводів виготовляють з урахуванням довгого перебування на ринку і компанії мають досить високий рівень довіри клієнтів, а чим більше модифікацій та нових можливостей буде впроваджено, тим більше з'явиться ще й нових зацікавлених клієнтів.

Далі проведемо детальний аналіз конкурентної ситуації в галузі за М. Портером (табл. 4.10).

Таблиця 4.10

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	НТЦ-07.30., НТЦ-07.36.	Будь-яка компанія, яка буде виготовляти аналогічний продукт	Змінні витрати постачальників. Концентрація постачальників	ПАТ «ТУРБОАТОМ», ПрАТ «НОВОКРАМАТОРСЬКИЙ МАШИНОБУДІВНИЙ ЗАВОД»	Аналогічні дослідження конкурентів
Висновки:	Конкуренція є невеликою	Можливості для виходу на ринок є, достатньо високі, але є і достатньо сильні	Постачальники не диктують умови роботи ринку	Клієнти не диктують умови роботи ринку	Обмежень для роботи на ринку через товари-замінники немає

		конкуренти. Орієнтовний строк для виходу на ринок – 12 місяців			
--	--	---	--	--	--

Отже, з огляду на таблицю 4.10 можемо зробити висновки, що дійсно конкуренція в даній галузі є, але вона не на стільки є високою і розроблений продукт може вийти на ринок і загалом бути конкурентом, але якщо не займатись модифікацією, то можна легко втратити своє місце на ринку.

Після наведених даних визначимо перелік факторів конкурентоспроможності та обґрунтуємо їх.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в табл. 4.10, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту в табл. 4.1, вимог споживачів до товару табл. 4.6 та факторів маркетингового середовища табл. № 4.6-4.7 визначаємо та обґрунтовуємо перелік факторів конкурентоспроможності в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів з начущим)
1	Ціна	Ціна на товар являється одним із засобів ведення конкурентної боротьби, оскільки даний стенд для перевірки сервоприводів на порядок дешевший, ніж його прямі конкуренти, при цьому є високоякісним.
2	Висока точність	Одним із найголовніших критеріїв при виборі даної розробки є висока точність показників, адже головною метою цього

		стенду є саме вимірювання даних і усунення неполадок.
3	Легкість в користуванні	Хоча сама розробка не є простою, а скоріше має високотехнологічні властивості, в користуванні вона має бути максимально простою, легкою та доступною для розуміння всіх потенційних клієнтів.

Після проведення ряду аналізів та досліджень конкурентності розробленого стенду для перевірки сервоприводів можемо зробити висновок, що проект вже є конкурентноспроможним. Адже всі описані фактори в табл. 4.11 є головними в цій розробці і вони не мають негативних сторін, особливо ціна-якість. Потенційні споживачі зможуть отримати чіткість виконання завдання поставленого перед приладом.

З отриманих раніше даних можемо провести аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 4.12)

Таблиця 4.12

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з НТЦ-07.36.						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ціна	17		+					
2	Висока точність	19				+			
4	Простота реалізації та користуванні	17				+			

Останнім пунктом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту складемо SWOT-аналіз (табл. 4.13) на основі виділених ринкових загроз, можливостей, сильних та слабких сторін.

Частково ми вже провели аналіз і вияснили всі слабкі та сильні сторони можливої продукції. Сильними сторонами можна назвати високу точність, швидка обробка даних та легкість у використанні та розуміння даної розробки. Зі слабких сторін можна виділити – невідомість компанії

на ринку, порівняно з її конкурентами. Можливостями є високий попит на дану програму, низька собівартість, впровадження нових методів та покращення вже існуючих. Загрози – збільшення конкуренції на ринку та зниження доходів потенційних споживачів, в більшій частині компаній, у зв'язку з економічною та політичною ситуаціями в країні.

Таблиця 4.13

Сильні сторони: висока точність, швидка обробка даних та легкість у використанні та розумінні розробки	Слабкі сторони: компанія початківець на ринку
Можливості: Конкурентоспроможність, низька собівартість товару, збільшення обсягів продажів.	Загрози: збільшення конкуренції на ринку; зниження доходів потенційних споживачів; політичні та економічні ризики ведення бізнесу;

Взявши за основу готовий раніше SWOT-аналіз розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення продукту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Таблиця 4.14

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Рекламні заходи, пошук клієнтів— просування товару і ціль максимально зацікавити потенційних клієнтів	Ймовірність висока, адже в успішному варіанті це збільшить попит на продукт	1,5 роки
2	Встановлення низької початкової ціни на товар з метою заохочення більшої кількості покупців	Ймовірність дуже висока, тому що продукт стане більш популярним, споживачі спробують якісний товар за адекватно сформовану ціну, можливо буде ще й плюс в рекламну	6 місяців

		компанію, наприклад «сарафанне радіо»	
3	Використання головних переваг, а саме якість розробленого товару, над недоліками (не популярність)	Ймовірність висока, адже знову можна схилитись до низької ціни, яка ще й супроводжується якістю товару	1 рік

Беручи за основу таблицю 4.14 можемо зробити висновок: найбільш перспективна альтернатива найшвидшого отримання ресурсів – це встановлення низької ціни на товар, адже при виході продукту на ринок від незнайомого виробника важко досягнути великих продажів при високій ціні. Тому саме дана альтернатива найбільше підходить та має найкоротші терміни реалізації.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Першим пунктом розроблення ринкової стратегії є визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.15

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Машинобудівельні підприємства	Так	80%	Висока	Обмежень немає
2	Спеціалізовані виставки, які потребують перевірки сервоприводів	Так	45%	Нижче середньої	Наявні обмеження
3	Приладобудівельні підприємства	Так	85%	Висока	Обмежень немає

За результатами аналізу найбільший попит є від машинобудівельних та приладобудівельних підприємств, менший, але ймовірний від, спеціалізованих виставок, які потребують перевірки сервоприводів. Для усіх потенційних клієнтів основними критеріями є точність показань, якість та ціна розробленого стенду.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.16

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Стенд для перевірки сервоприводів	Через виставки та масові тематичні заходи, де можна презентувати дану розробку	Ціна, висока точність, швидка обробка даних	Лідерства по витратах

Наступним етапом в роботі є вибір базової стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.17).

Таблиця 4.17

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1.	Ні	Так	Ні	Стратегія лідерства на ринку

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також відштовуючись від вибраної стратегії розвитку (табл. 4.16) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.17) можемо розробити та сформулювати стратегію позиціонування (табл. 4.2) яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 4.18

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Висока точність та якість самого продукту	Модернізація проекту	Розроблений стенд проводить перевірку сервомоторів та вимірює точність роботи даного пристрою	За показниками точності; За сферою застосування; За якістю самого приладу

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим етапом є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.19 зробимо підсумки результатів аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.19

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Стенд для	Адекватна	Надійність в роботі та точність показників,

	перевірки сервоприводів	цінова категорія, точність показників приладу, якість	максимально простий в використанні, не зважаючи на його важливу задачу
--	----------------------------	---	---

Наступним процесом є розроблення трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 4.20)

Таблиця 4.20

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Пропонується програма для очищення сигналів від шуму		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	Вартість знижки	М	Е
	Простота набуття навичок	М	Е
	Інформаційна виразність	М	Е
	Легкість управління	М	Е
	Якість: розробляється відповідно до загальноприйнятих стандартів		
	Марка: НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського»		
III. Товар із підкріпленням	До продажу можливість аналізу та усунення несправностей		
	Після продажу можливість розробки покращень та модернізації існуючого функціоналу		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: ліцензія			

Далі йде етап визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.21).

Таблиця 4.21

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
-------	--	----------------------------------	--	---

1	7000	11000	15000-20000	5000
2	11000	14000		17000

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту (табл. 4.22)

Таблиця 4.22

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Орієнтація на постійні оновлення	Встановлення контактів із споживачами, формування попиту і стимулювання збуту; дослідницька робота зі збору маркетингової інформації; зменшення витрат в ході збуту продукції.	Продаж у сфері машинобудування та приладобудування, а також на спеціалізованих виставках.	Через внутрішній ринок

Фінальним етапом маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.23)

Таблиця 4.23

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Клієнти пов'язані з	Конференції,	Якість;	Заохотити	Конференції,

	машинобудуванням та приладобудуванням	веб-розміщення рекламних акцій	Зручність використання; Точність	покупців купувати даний продукт, продемонструвати переваги в вигляді якості та адекватної ціни	спеціалізовані виставки та інтернет площадки для розміщення реклами
--	---------------------------------------	--------------------------------	-------------------------------------	--	---

Результатом є ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

4.6. Організація реалізації стартап-проекту

Представимо команду стартап-проекту та її розвиток (табл. 4.24).

Таблиця 4.24.

Розвиток команди	Учасники	Завдання учасників	Освіта	Досвід роботи	Спеціалізовані знання	Витрати, тис. грн
Мінімальна команда	Григор'єв А.С.	Керівник, фінансист	Бакалавр	3D-моделювання, економіст	Знання в приладобудуванні та економіці	5000
Разом:						5000

В даній таблиці була представлена команда, яка повністю представляє інтереси стартап-проекту та регулює його роботу.

На наступному етапі необхідно розробити календарний графік реалізації стартап проекту (табл. 4.25).

Таблиця 4.25

№	Зміст етапу	Період реалізації, номер місяця з початку виконання робіт													Вартість етапу, грн
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	

1	Розробка моделі														1000
2	Розробка кошторису														1500
3	Створення прототипів														3000
4	Розробка скелету проекту														5000
5	Розробка дизайну														10000
6	Написання проекту														15000
7	Додавання дизайну														5000
8	Тестування														3000
9	Аналіз недоліків														2000
10	Усунення недоліків														5000
11	Підготовка версії релізу														5000
12	Запуск реклами														10000
Всього:															65500

В даній таблиці представлено календарний графік реалізації стартап-проекту, що передбачає всі можливі витрати на проект від початку його розробки до моменту запуску реклами.

Далі розглядається потреба в промислово-виробничому персоналі, а саме чисельність та витрати на персонал (табл. 4.25).

Таблиця 4.25 Потреба в промислово-виробничому персоналі

№	Посада/виконувані завдання	Чисельність	Витрати на персонал, тис. грн
1	Інженер	1	15000
Разом:		6	15000

Далі необхідно визначити початкові витрати необхідні для стартапу (4.26).

Таблиця 4.26 План витрат на запуск виробництва продукції

№	Найменування	Характеристика	Вартість, тис. грн.
1	Приміщення	Витрати на оренду приміщення	10000
2	Обладнання та комплектуючі	Витрати на придбання обладнання	28000
3	Оплата праці промислово-виробничого персоналу	Витрати на заробітну плату та соціальні відрахування	15000
Разом:			53000

В даній таблиці було визначено початковий план витрат, що необхідний для запуску виробництва.

Також визначимо загальні обсяги інвестицій (табл. 4.27)

Таблиця 4.27 Обсяг інвестицій

№	Вид інвестицій	Сума, грн
1	Першо-початкові інвестиції	38000
2	Інвестиції на стадії виробництва	10000
3	Інвестиції на просування стартапу	100000
Разом:		148000

Визначено суму загального обсягу виробництва на всі етапи розробки продукту, тобто початкові інвестиції, інвестиції на стадії виробництва та на просування стартапу.

4.7 Висновки до четвертого розділу

Після проведення повного аналізу можна зробити висновок про високу можливість конкурентноспроможність на ринку даного проекту у зв'язку з наявністю високого попиту споживачів на дану продукцію, адже велику роль грає ціна, яка є на багато меншою не тільки в порівнянні з іноземними виробниками, а й з вітчизняними конкурентами.

З огляду на конкурентну ситуацію, враховуючи низьку інтенсивність конкуренції, можна зробити висновок щодо можливості роботи на ринку,

вона з великою ймовірністю може мати позитивну динаміку, адже даний стенд є ще й простим у використанні.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів попит є від сфери приладобудування та машинобудування. Для усіх потенційних клієнтів основними критеріями є точність показань, якість та ціна розробленого стенду.

Для даного проекту обрано альтернативу впровадження - встановлення низької ціни на новий продукт з метою залучення більшої кількості покупців і завоювання великої частки ринку, так як виробник поки є невідомим на ринку.

Враховуючи високий попит споживачів, позитивну динаміку ринку, низьку інтенсивність конкуренції та якісні відмінності даної програми від розробок конкурентів, вважаю доцільним подальше впровадження проекту.

ВИСНОВКИ

Для проведення досліджень характеристик серводвигунів постійного струму з метою визначення можливості використання їх в якості приводів для систем керування рухомими об'єктами, був спроектований спеціалізований лабораторний стенд.

Стенд дозволяє користувачам, змінюючи меню програмних параметрів, проводити дослідження та тестування сервоперетворювачів, як в ручному режимі так і в автоматичному з допомогою персонального комп'ютера.

За допомогою розробленого стенду проведено низку досліджень найбільш розповсюджених сервоприводів постійного струму по визначенню відхилення основних паспортних параметрів цих двигунів від параметрів, що отримані експериментальним шляхом за допомогою стенду, а саме:

- крутного моменту на вихідному валу, в залежності від напруги живлення;
- точності позиціювання вихідної ланки сервоприводу;
- кутової швидкості перекладки вихідного валу.

Перевірку параметрів даних приводів необхідно проводити для коректного налаштування серводвигунів перед їх використання в реальних конструкціях систем керування рухомими об'єктами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Григор'єв А. С. Порівняння характеристик приводів обертового руху для систем автоматизації і керування. / А. С. Григор'єв, О. М. Павловський. // Погляд у майбутнє приладобудування. – 2019. – №1. – С. 7–9.
2. Исследование современных сервоприводов на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=rm#inbox/FMfcgxwKjdzqKVpSwZsBgPkRhVvvnjWT?projector=1&messagePartId=0.6>.
3. Сервоприводи [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: Автоматизированный электропривод портального подъемника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/6620.pdf/download/6620.pdf?lang=en> (24.05.2017).
4. Григор'єв А. С. Розробка стенду для дослідження характеристик приводів і систем автоматизації і керування. / А. С. Григор'єв, П. С. Мироненко. // Ефективність та Автоматизація інженерних рішень. – 2020. – №1. – С. 22–24.
5. Сервоприводи [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: Автоматизированный электропривод портального подъемника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/6620.pdf/download/6620.pdf?lang=en> (24.05.2017).
6. Как устроен сервопривод. Принцип работы. [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: oprivod-printsip-raboty-a-164/
7. Сервоприводы Ардуино SG90, MG995, MG996: схема подключения и управление [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino-master.ru/motor-dvigatel-privod/servoprivody-arduino-sg90-mg995-shema-podklyuchenie-upravlenie/>.

8. Петров Ю. П. Оптимальное управление электроприводом / Ю. П. Петров. – Москва: М. - Л., Госэнергоиздат,, 1967. – 187 с. – (М. - Л., Госэнергоиздат,).

9. Карнюшин Л. В. Области существования оптимального управления электроприводами / Л. В. Карнюшин, В. Д. Пышкало, А. И. Рогачев. – Киев: Техника, 1972. – 3-4 с. – (Техника).

10. Курбанов С. А. Основы электропривода: Учебное пособие / С. А. Курбанов, Д. А. Магомедова. – Москва, 2016. – 192 с.

11. Москаленко, В.В. Системы автоматизированного управления электропривода / В.В. Москаленко. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. - 208 с.

12. Онищенко, Г.Б. Теория электропривода: Учебник / Г.Б. Онищенко. - М.: Инфра-М, 2018. - 384 с.

13. Рассудов Л.Н. Системы на кристалле: Новые возможности управления сервоприводом. / Рассудов Л.Н, Балковой А.П. //Труды VIII международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. - Саранск, 07-09 окт 2014г. - Т.1 стр. 384388

14. Rassudov L. FPGA based Broadband Current Control for a Servodrive./Rassudov L. Balkovoi A.// Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2016 ElConRusNW), St. Petersburg, February 2-3, 2016. p.703-706.

15. Система автоматического управления сервоприводами [Электронный ресурс] // Крушенко Г. Г.. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-avtomaticheskogo-upravleniya-servoprivodami/viewer>.

16. К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.А. Соболев, М.Н. Филиппов, А.П. Ян. Разработка и идентификация модели сервопривода на

основе экспериментальных данных // Автометрия, 2013. Т.49, №6. С. 42-50.

17. К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.А. Соболев, М.Н. Филиппов, А.П. Ян. Стенд для разработки и идентификации моделей сервоприводов // Индустриальные информационные системы – ИИС-2013. Всероссийская конференция (Новосибирск, 24-28 сентября 2013 г.): Сборник тезисов докладов / Новосибирск, КТИ ВТ СО РАН, 2013. С. 33-34.

18. Работаем с сервоприводами [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <http://developer.alexanderklimov.ru/arduino/servo.php>.

19. В.А. Елисеева, А.В. Шинявский. Справочник по автоматизированному электроприводу. М.: Энергоатомиздат, 1983. 616 с.

20. Алексеев И. Е. Исследование существующих сервоприводов аппаратуры радиоуправляемых носителей / И. Е. Алексеев, В. В. Воронин, Г. Б. Чаусовский. – Москва, 2008. – 210 с. – (Проблемы электроники).

21. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.