

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики  
(інститут)

Електротехнічний факультет  
(факультет)

Кафедра електропривода  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеню Бакалавра  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студента: Стовбуна Олександра Владиславовича  
(ПІБ)

академічної групи ЕТФ -141-18ск-3  
(шифр)

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

спеціалізації \_\_\_\_\_  
за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(офіційна назва)

на тему: Сервопривод лінійного переміщення з передачею гвинт-гайка ковзання  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Худолій С.С.			
розділів:	Худолій С.С.			
Технологічна частина	Худолій С.С.			
Автоматизований електропривод	Худолій С.С.			
Дослідження динаміки електроприводу	Худолій С.С.			
Охорона праці	Столбченко О.В.			
Техніко-економічне обґрунтування	Тимошенко Л.В.			
<b>Рецензент</b>				
<b>Нормо контролер</b>	Казачковський М.М.			

Дніпро

2021

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
електропривода  
\_\_\_\_\_

(повна назва)

\_\_\_\_\_ Казачковський М.М.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня** \_\_\_\_\_ Бакалавра  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студенту Стовбуну Олександровичу Владиславовичу академічної групи ЕТФ-141-18ск-3  
(прізвище та ініціали) (шифр)  
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації \_\_\_\_\_  
за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
електромеханіка  
(офіційна назва)

на тему Сервопривод лінійного переміщення з передачею гвинт-гайка ковзання,  
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 12.04.2021 № 201-С

Розділ	Зміст	Термін виконання
Технологічна частина	<i>Основні характеристики класифікація та системи керування сервоприводами</i>	16.06.2021
Автоматизований електропривод	<i>Опис сервоприводу лінійного переміщення с передачею гвинт-гайка ковзання вибір типу серводвигуну і системи керування</i>	16.06.2021
Дослідження динаміки електроприводу	<i>Лістинг налагодження систем керування ASDA</i>	16.06.2021
Охорона праці	<i>Питання пов'язанні з охороною праці та шляхи вирішення їх.</i>	15.06.2021
Техніко-економічне обґрунтування	<i>Економічні розрахунки пов'язані з сервоприводом лінійного переміщення</i>	16.06.2021

**Завдання видано** \_\_\_\_\_  
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

**Дата видачі** \_\_\_\_\_  
**Дата подання до екзаменаційної комісії** \_\_\_\_\_

**Прийнято до виконання** \_\_\_\_\_  
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

## Реферат

Дана кваліфікаційна робота складається з розробки та опису сервоприводу лінійного переміщення з передачею гвинт-гайка ковзання, та слугує посібником у його використанні. Метою даної роботи є показати як працює сервопривод лінійного переміщення з передачею гвинт-гайка ковзання, як правильно підібрати сервоперетворювач та сервопривод до нього. Даний привод є дослідницьким, а також може використовуватись в різного типу змаганнях та демонстраціях.

В цій роботі було розглянуто багато пунктів таких як : пояснення що таке сервопривод та сервоперетворювач, типи сервоприводов та системи керування ними, розрахунок моментів інерції рухомих об'єктів, налагодження системи керування за положенням, швидкості та за моментом, також треба було підрахувати собівартість виконання цього стенду . Цей тип моделі роботи є новим для багатьох вищих закладів. У майбутньому можливо модернізувати цю модель, або цей тип моделі з додаванням обладнання та шляхом удосконалення програмного коду.

Пояснювальна записка складається з 5 розділів, має 62 сторінки, 16 рисунків та 10 таблиць.

Ключові слова: гвинт-гайка; електропривод; пристрій; сервоперетворювач ;

					ЕП.ПД.21.21.0.Р	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Abstract

This project consists of the development and description of a linear displacement servo drive with a sliding screw-nut transmission, and serves as a guide in its use. The purpose of this project is to show how a linear displacement servo works with a screw-nut transmission, how to choose the right servo converter and servo to it. This drive is research and can also be used in various types of competitions and demonstrations.

This project considered many points such as: explanation of what is a servo and servo converter, types of servos and control systems, calculation of moments of inertia of moving objects, adjustment of the control system by position, speed and torque, also had to calculate the cost of this stand. This type of job model is new to many institutions. In the future, it is possible to upgrade this model, or this type of model with the addition of equipment and by improving the software code.

The explanatory note consists of 5 sections, has 62 pages, 16 figures and 10 tables.

Keywords: screw nut; electric drive; device; servo converter

					ЕП.ПД.21.21.0.P	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Зміст

Вступ	7
<b>Розділ 1. Технологічна частина .</b>	<b>7</b>
1.1. Сервопривод: призначення, класифікація та основні характеристики .	8
1.2. Перетворювачі обертового руху на поступальний (кульково-гвинтова передача , передача «колесо-рейка»).	13
1.3. Системи керування сервоприводами .	17
<b>Розділ 2. Автоматизований електропривод</b>	<b>20</b>
2.1. Опис стенду лабораторії 5/35. Сервопривод лінійного переміщення з передачею гвинт-гайка ковзання.	21
2.2. Приведення до валу двигуна мас, швидкостей та моментів для передачі. Розрахунок моментів інерції рухомих об'єктів.	23
2.3. Вибір потужності та типу серводвигуна і системи керування.	25
<b>Розділ 3. « Динаміка електромеханічної системи»</b>	<b>29</b>
3.1. Налагодження системи керування ASDA в режимі керування за положення	30
3.2. Налагодження системи керування ASDA в режимі керування за швидкістю	36
3.3. Налагодження системи керування ASDA в режимі керування за моментом	41
<b>Розділ 4. Охорона праці</b>	<b>44</b>
4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних чинників проектного пристрою	45
4.2. Розрахунок штучного освітлення виробничих приміщень	45
4.3. Пожежна профілактика	47
4.4. Зоходи ергономіки	48
<b>Розділ 5. Технічно-економічне обґрунтування</b>	<b>50</b>
5.1. Розрахунок капітальних витрат	51
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	53

ЕП.ПД.21.21.0.ПЗ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розробка		Стовбун			Літера.
Кер.розділу		Худолій			Аркуш
Керівник		Худолій			Аркушів
Н. Контр.		Казачковський			5
Зав.каф.		Казачковський			62
					НТУ «ДП» Гр.141-18-СКЗ

## Вступ

При проектуванні сучасних приладів і систем управління рухомими об'єктами широко впроваджуються новітні мехатронні системи. Головним елементом таких систем є сервоприводи. В даний момент сервоприводи отримали досить широке поширення. Їх можна зустріти в точних приладах, автоматах, які виробляють різні плати, програмованих верстатах, промислових роботів і інших механізмах. Велику популярність приводи такого типу придбали в авіамодельної сфері за рахунок ефективної витрати енергії і рівномірного руху. Можливість досягнення високої точності часто стає вирішальним фактором для застосування сервопривода. Крім того, завдяки новим цифровим розробкам, що дозволяє передбачити різні способи зв'язку з об'єктами, система використовує комп'ютер для управління і налаштування, що значно спрощує роботу. Про один із таких сервоприводів і йдеться в цій кваліфікаційній роботі, а саме про сервопривод лінійного переміщення з передачею гвинт-гайка ковзання, цей тип переміщення являє собою пристрій, який перетворює обертальний рух двигуна в лінійне. Такий електропривод інтегрують в будь-яке обладнання для штовхання, витягування, підйому, опускання, позиціонування або повороту вантажу. використовуються в автоматах установки електронних компонентів на друковану плату медицині, промисловості, побуті і також

					ЕП.ПД.21.21.0.В	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1

**Технологічна частина**

					ЕП.ПД.21.21.1.ТЧ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробка	Стовбун				Основні характеристики класифікація та системи керування сервоприводами	Літера.	Аркуш	Аркушів
Кер.розділу	Худолій						7	62
Керівник	Худолій					НТУ «ДП» Гр.141-18-СКЗ		
Н. Контр.	Казачковський							
Зав.каф.	Казачковський							

## 1.1. Сервопривод: призначення, класифікація та основні характеристики

Сервоприводом - називається такий привод, точне управління яким здійснюється через негативний зворотний зв'язок, і дозволяє таким чином домогтися необхідних параметрів руху робочого органу.

Механізми цього типу мають датчик, що відслідковує конкретний параметр, наприклад швидкість, положення або зусилля, а також блок управління (механічні тяги або електронну схему), завдання якого - підтримувати в автоматичному режимі необхідний параметр в процесі роботи пристрою, в залежності від сигналу з датчика в кожен момент часу. Початкове значення робочого параметра задається за допомогою управління, наприклад ручкою потенціометра або за допомогою іншої зовнішньої системи, куди вводиться числове значення. Так, сервопривод автоматично виконує поставлене завдання - спираючись на сигнал з датчика, він точно підлаштовує заданий параметр, і підтримує його стійко на виконавчому органі.

Сервоприводи крім серводвигуна з набором датчиків мають в своєму складі блок управління. Той саме пристрій, який комутує живлення фаз двигуна, зчитує показання датчиків і коригує роботу серводвигуни відповідно до заданих параметрів в автоматичному режимі. Існують 3 основних типи сервоприводов . Це сервошагові приводи, багатооборотні безколекторні приводи і одно оборотні (хобі) сервоприводи.

Сервошагові приводи, як випливає з їх назви - побудовані на основі крокових двигунів. Вони дозволяють виконувати всі ті ж дії, що і звичайні крокові двигуни, але з більшою точністю і можливістю відстежити кут повороту вала, а іноді і контролювати крутний момент. Це знижує ризик наслідків пропуску кроків, характерних для крокових двигунів при перевищенні навантаження або швидкості.

Однооборотні (хобі) сервоприводи. Цей тип, як правило, складається з колекторного мотор-редуктора, потенціометра, що виконує функцію енкодеру і плати управління.

Все це міститься в один корпус і має 3х провідний висновок сполучення з пристроєм управління. Управління здійснюється за допомогою ШІМ, де шпаруватість визначає кут, на який повинен повернутися сервопривод.

					ЕП.ПД.21.21.1.ТЧ	Арк.
Изм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



Хобі сервоприводи можуть мати максимальний кут повороту 360гр, 270гр, 180гр, 90гр, 60гр і 45гр. Застосовуються в основному в маніпуляторах або поворотних механізмах, які не мають вимог до високої точності. Багатооборотні безколекторні сервоприводи. Дані сервоприводи перевершують всі перераховані вище за всіма параметрами. Номінальна швидкість обертання досягає 5000 об / хв, при цьому немає втрати величини крутного моменту, як на низьких, так і на високих швидкостях. Стандартна чіткість енкодера 2500 імп / об, 131072 імп / об (17 біт), 1048576 імп / об (20 біт). Використовувані типи енкодера – інкрементний та абсолютний. Стандартний набір параметрів включає контроль швидкості, кута повороту, крутного моменту, сканування системи на наявність несправностей, інформування користувача про помилку системи за допомогою візуальних засобів виведення інформації і багато іншого. Для багатооборотних сервоприводов характерна наявність функції завдання автоматичної відпрацювання «відрізків» з потрібними параметрами за різними алгоритмами вхідних сигналів. Оснащуються поширеними інтерфейсами, такими як CANOpen, ModBus, RS-232, RS-485 Modbus ASCII або RTU, EtherCAT, PROFIBUS DP. Так само для позиціонування передбачається функція управління сигналами PULSE / DIR або CW / CCW. Найчастіше дана функція затребувана в верстатах з ЧПУ. Область їх застосування досить широка. Це може бути як використання в рухливих рекламних об'єктах і розважальних атракціонах, так і у будь-яких виробничих верстатах і конвеєрних роботах. Ресурс роботи багатооборотних безколекторних сервоприводов досить великий і визначається в основному правильністю вибору і сумлінністю проведення ТО системи, в якій вони виконують свої функції.

Вид сервоприводу це його основна якісна характеристика. У залежності від розглянутого аспекту, сервоприводи можуть бути синхронні і асинхронні, щіткові і без щіткові. Кожен вид сервоприводов має свої переваги.

Асинхронні сервоприводи - без щіткові приводи на базі асинхронного двигуна з встановленим енкодером, сигнал з якого підключений до перетворювача частоти, що підтримує зворотний зв'язок. Подібні сервоприводи часто ставляться на шпинделі фрезерних верстатів, так як вони розвивають досить високу швидкість обертання, необхідну для обробки - до 10000 об/хв і більше.

					ЕП.ПД.21.21.1.ТЧ	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Енкодера на них при цьому ставлять невеликого дозволу, так як завдання прецизійного позиціонування від них не потрібно.

Ці сервоприводи відрізняються тим, що їх швидкістю – миттєва характеристика помітно залежить від оборотів.

Синхронні сервоприводи – відмінною характеристикою синхронні сервоприводів є здатність точно позиціонувати і утримувати вал з малим ривканням. Щіткові синхронні приводи помітно дешевше без щіткових, так як в них немає рідкоземельних магнітів, і вони мають більшу перевантажувальну здатність, однак у них є схильні до зносу щітки, які вимагають регулярної заміни. Підвидом синхронних сервоприводів є кроковий гібридний сервопривод. Його відмінність в тому, що такі приводи здатні утримувати вал абсолютно без нищпорення, але вони істотно повільніше розганяються і втрачають момент зі збільшенням швидкості - їх швидкість – миттєва характеристика являє собою постійно спадну криву, максимум моменту такі приводи видають коли вал нерухомий.

#### Основні характеристики

Механізми мають ряд параметрів, що характеризують їх роботу:

1. Посилення на валу має прямий вплив на крутний момент. Це значення є однією з ключових характеристик, в паспорті пристрою може вказуватися кілька параметрів для різних величин напруги.
2. Швидкість повороту також має важливе значення в роботі механізму. Зазвичай вказується в параметрі часу - необхідно, щоб вихідний вал змінив свій напрямок на 60 градусів.
3. Вказується тип пристроїв - цифровий або аналоговий. Цифрові управляються за допомогою кодових команд, які послідовно передаються через інтерфейс. Аналогові управляються через подачу різних частот, параметри яких задаються певним чином.
4. Живлення може бути різним, але у більшості таких агрегатів воно знаходиться в діапазоні 4,8-7,2 вольт.
5. Кут повороту. Зазвичай це значення в 180 або 360 градусів.

Сервопривод може бути змінного або постійного обертання. Має значення матеріал виготовлення. Деталі можуть бути металевими, пластиковими або в комбінованому складі.

					ЕП.ПД.21.21.1.ТЧ	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Power  
200W – 400W 1-phase/3-phase 200 – 230V

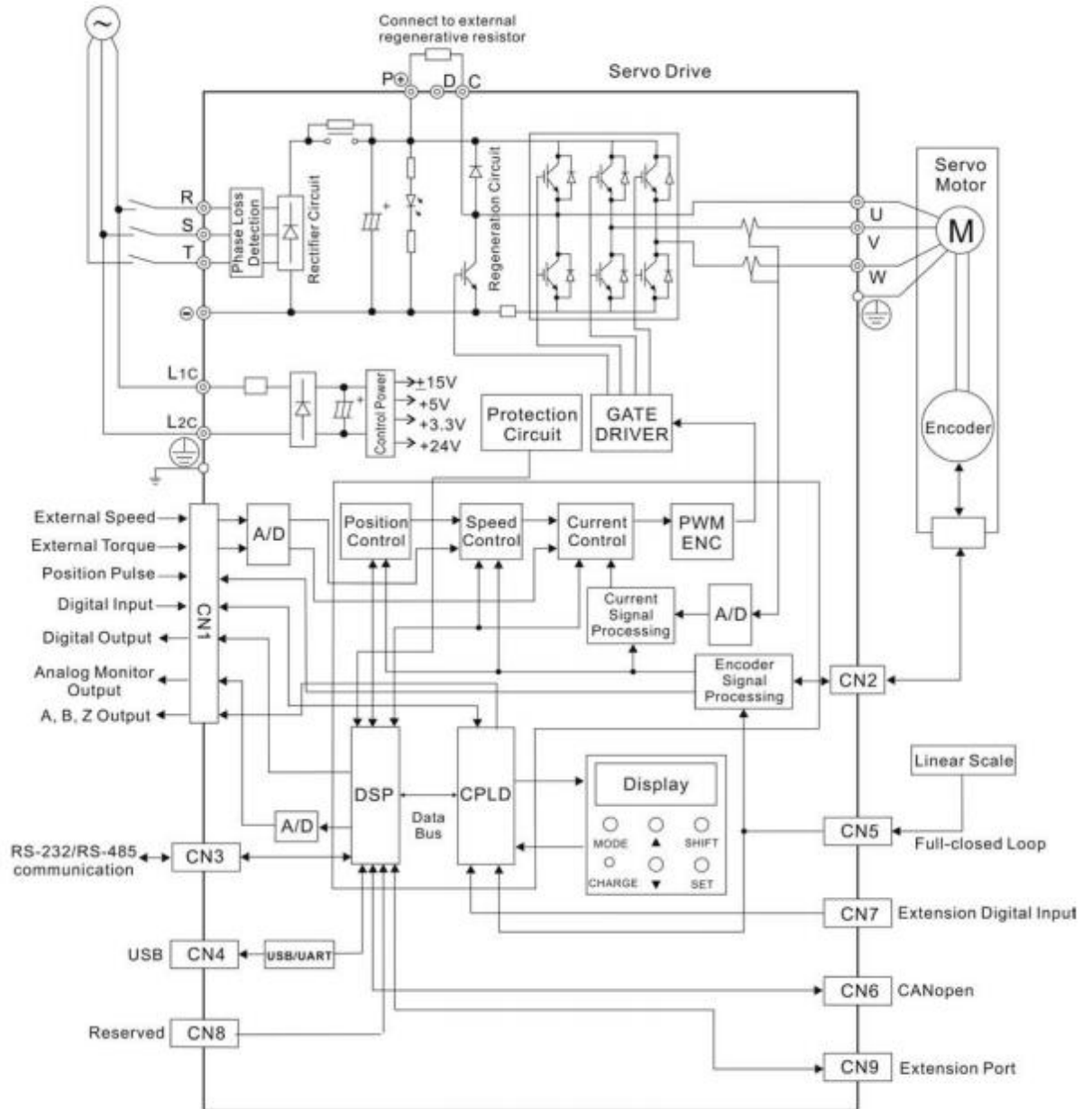


Рисунок 1. Базова схема з'єднань для моделей потужністю 400Вт і нижче

Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.21.21.1.ТЧ

Арк.

11

Power  
 750W - 1kW 1-phase/3-phase 200 - 230V  
 2kW - 3kW 3-phase 200 - 230V

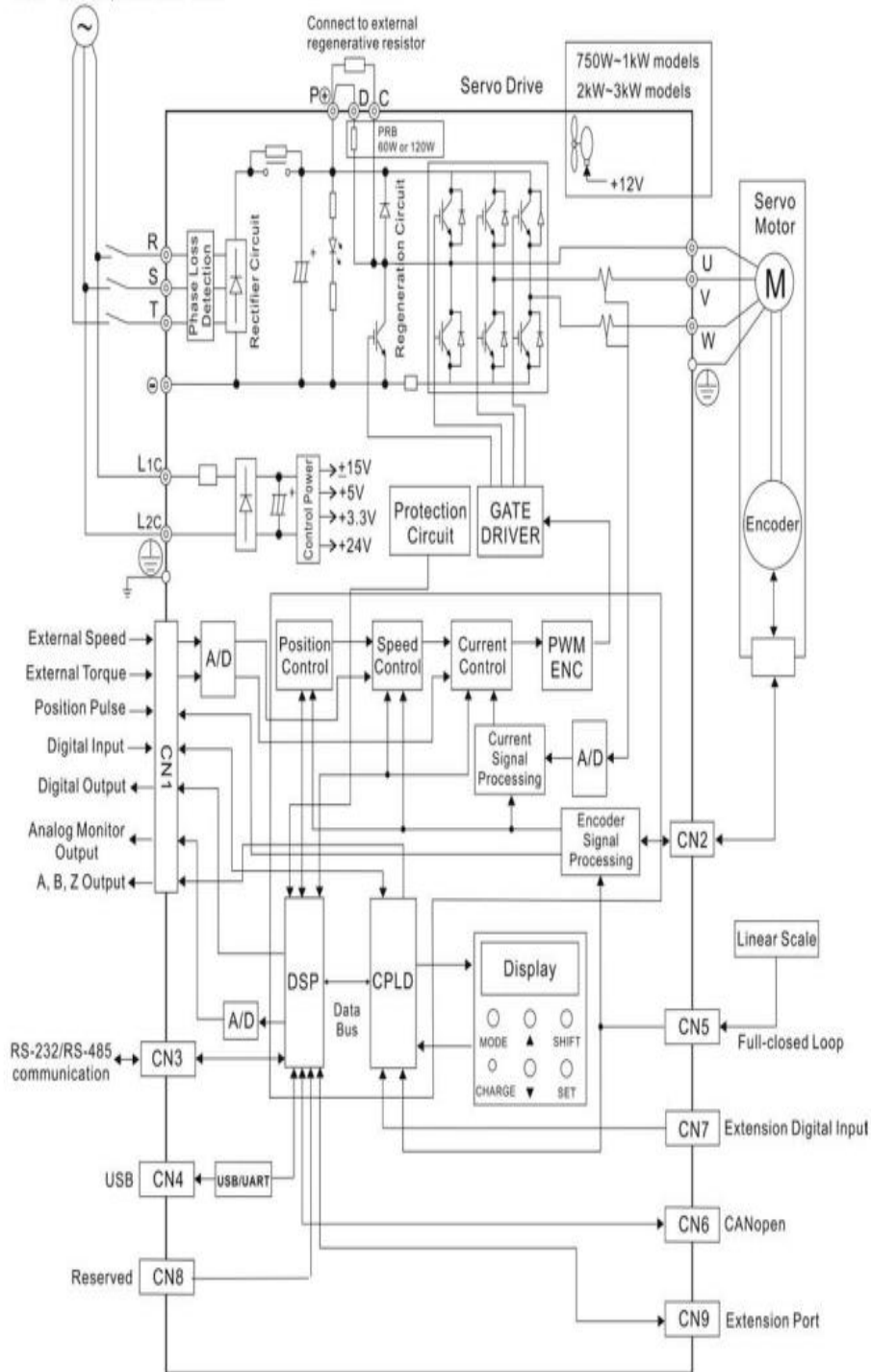


Рисунок 2. Базова схема з'єднань для моделей потужністю 750Вт і вище

Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ЕП.ПД.21.21.1.ТЧ

Арк.

12

## 1.2. Перетворювачі обертового руху на поступальний (кульково-гвинтова передача, передача «колесо-рейка»)

Кулька - гвинтова передача - механічна передача (гвинтова пара), що перетворює обертовий рух у поступальний або навпаки. У загальному випадку вона складається з гвинта і гайки.

Гвинтові передачі за видом тертя у них діляться на:

- передачі ковзання;
- передачі кочення, які за виконанням тіл кочення діляться на:
  - кульково-гвинтові передачі кочення;
  - ролика-гвинтові передачі кочення.

Гвинтові механізми принципово нічим не відрізняються від різьбових з'єднань, але так як вони застосовуються для передачі руху, то сила тертя в нарізі повинна бути мінімальною. Найменше тертя між гвинтом і гайкою забезпечує прямокутний наріз, однак через низьку технологічність і невелику міцність в порівнянні з трапецоїдною різьбою роблять її застосування обмеженим. Тому для ходових гвинтів застосовують головним чином трапецоїдні нарізи із дрібним, середнім і великим кроками і упорну наріз. Найбільшого поширення набула трапецоїдна різь із середнім кроком. Трапецеїподібну наріз із дрібним кроком використовують при відносно невеликих переміщеннях; трапецеїподібну наріз з великим кроком — при важких умовах експлуатації. Такий профіль різі дозволяє використовувати її в механізмах з реверсивним рухом. Наріз гвинтів та гайок передач буває правою або лівою, одно-західною або багато західною.

Рівці (жолоби) гвинта кулькова - гвинтової передачі і гайки в осьовому перерізі мають напівкруглу форму. Нерозривний замкнений потік кульок заповнює гвинтовий простір між жолобами по всій довжині гайки. Після його проходження, кульки переходять в заокруглений трубчастий зворотний канал, по якому вони повертаються в робочу зону гвинтової пари. ККД такої передачі становить 0,95.

					ЕП.ПД.21.21.1.ТЧ	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Основні характеристики:Передавальне відношення

$$i = \frac{\pi d}{P_1} \quad (1)$$

де  $d$  - діаметр кола, по якому рухається точка прикладання сили;  $P_1$ - хід гвинта.

Хід гвинта дорівнює:

$$P_1 = P_n \quad (2)$$

Де  $P$ -крок різі ;  $n$ - число заходів різі.

Основні переваги

- Ці передачі безшумні в роботі, що досягається підвищеною плавністю зачеплення.
- Прості за конструкцією і у виготовленні і дозволяють отримувати великий виграш у зусиллях.

Недоліки:

- Відносно низький ККД.
- Схильність до заїдання.

Відносна тихохідність передач застосування. В залежності від основних вимог, що ставляться до них, гвинтові передачі та їх гвинти поділяються на:

1. Вантажні, що використовуються для створення великих осьових сил (в підйомних механізмах, верстатах, гвинтових пресах тощо). При знакозмінному навантаженні мають трапецієподібний наріз, при великому односторонньому навантаженні — упорну. Гайки вантажних гвинтів виконуються цілісними. В домкратах для забезпечення великої сили та самогальмування використовують одно-західний наріз з малим кутом під'йому гвинтової лінії.

2. Встановлювальні — використовуються для точних переміщень та регулювання у вимірювальних приладах (механізми для точних переміщень, мікрометричні і диференціальні гвинти), в прокатних станах зазвичай, мають метричний наріз . В механізмах точних переміщень, де важливе мале тертя і відсутність зазору в нарізі, використовують кулькові пари.

					ЕП.ПД.21.21.1.ТЧ	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

3. Ходові, які використовуються для переміщень в механізмах подачі (наприклад, механізми подачі робочих інструментів у верстатах). Для зменшення тертя мають, в основному, трапецієподібну багато-західний наріз. Для усунення «мертвого» ходу через знос нарізі гайки ходових гвинтів виконують роз'ємними

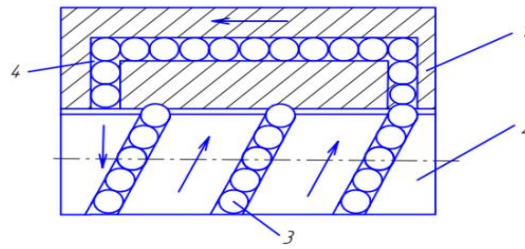


Рисунок 3. Кулькова гвинтова передач

**Кинематическая схема механизма**

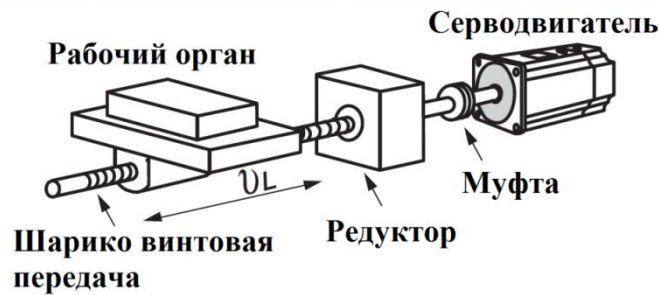


Рисунок 4. Кінематична схема механізму серводвигун – ШВП

Рейкові передачі використовують як верстатні тягові пристрої у вигляді «зубчасте колесо–рейка» складається з зубчастого циліндричного колеса і зубчастої рейки - планки з нарізаними на ній зубами. Такий механізм можливо використовувати для різних цілей: обертаючи зубчасте колесо на нерухомій осі, переміщати поступально рейку (наприклад в рейковому домкраті, в механізмі подачі дреля); обкативая колесо по нерухомій рейці, переміщати вісь колеса щодо рейки (наприклад, при здійсненні поздовжньої подачі супорта в токарному верстаті

«Зубчасте колесо–рейка» мають такі найважливіші особливості:

1) Велике передатне відношення – за один оберт зубчастого колеса рейка переміщається на довжину початкової окружності цього колеса, тому пара «зубчасте колесо–рейка» мало придатна для здійснення рухів з малими швидкостями й малими переміщеннями;

- 2) Зазори й нерівномірність передатного відношення за рахунок прояву помилок зубчастого зачеплення, тому рейкова передача непридатна для приводу подачі прецизійних верстатів і верстатів з ЧПК;
- 3) Відсутність самогальмування ускладнює використання передачі «зубчасте колесо–рейка» для вертикального переміщення вузлів верстата; 4) малі втрати на тертя та високий ККД передачі виправдовують її застосування в приводі головного руху поздовжньо-стругальних і довбальних верстатів у разі передачі значної потужності;
- 5) Технологічність виготовлення та складання пари «зубчасте колесо – рейка» визначає її низьку вартість, що приводить до досить широкого використання цієї пари в допоміжних пристроях за умови невисоких вимог до точності руху.

Умови роботи зубчастої рейкової передачі по суті не відрізняються від умов і характеру роботи пари зубчастих коліс. Для виготовлення рейкового колеса та рейки звичайно застосовують сталь 45 або леговані сталі 40X, 40XН, 35ХМ, якщо це виправдане високими вимогами довговічності та міцності. Для зменшення деформації рейок, особливо у разі значної їх довжини, доцільно застосовувати поверхневе загартування зубів з нагріванням СВЧ. У разі великої довжини зубчасті рейки виконують складовими з окремих секцій, що закріплюються гвинтами та фіксуються штифтами. Розрахунки передачі «зубчасте колесо–рейка» здійснюють тими самими методами, що й розрахунки зубчастих передач, з урахуванням того, що зубчасто-рейкові передачі є тихохідними та відкритими. У разі розрахунків зубчасто-рейкової передачі повинні бути відомі:  $F_t$  – дотична сила на рейковому колесі, яка дорівнює тяговій силі на рейці QT;  $V$  – швидкість рейки. У разі застосування косозубого рейкового колеса необхідно враховувати додатковий вплив на рухомий вузол складової сили, спрямованої вздовж осі рейкового колеса.

Таблиця 1 – Межа витривалості та коефіцієнти для розрахунків

Термічна обробка	Твердість зубів HRC		Сталь	$\sigma^*_{H\lim}$ МПа	$S_H$	$\sigma^*_{F\lim}$ МПа	$S_F$	$[\sigma_{H\max}]^*$ МПа	$[\sigma_{F\max}]^*$ МПа
	на поверхні	у серцевині							
Нормалізація, поліровання	HB 180 – 350		40; 45; 40X; 40XН; 35ХМ і ін.	$2HB + 70$	1,1	$1,8 \overline{HB}$	1,75	$2,8 \sigma_{\max}$	$2,7 \overline{HB}$
Об'ємне загартування	45 – 55		40X; 40XН; 35ХМ і ін.	$18HRC + 150$					
Загартування під час нагрівання СВЧ по всьому контуру (модуль $m_n \geq 3$ )	56 – 63	25 – 35	58; В7	$17HRC_{\text{сер}} + 200$	1,2	630	1,75	$40HRC_{\text{сер}}$	1260
	42 – 50	42 – 50	40X; 35ХМ; 40XН і ін.						
Загартування під час нагрівання СВЧ із охолодом западини (модуль $m_n < 3$ )	42 – 50	42 – 50	40X; 35ХМ; 40XН і ін.	$17HRC_{\text{сер}} + 200$	1,2	375	1,75	$40HRC_{\text{сер}}$	1430
Азотування	HB 550 – 750	24 – 40	40X; 40XФА; 40XН2МА й ін.						
Цементація та загартування	56 – 63	30 – 43	Цементовані сталі всіх марок	$23HRC_{\text{сер}}$	1,2	$10HRC_{\text{сер}} + 240$	1,55	$40HRC_{\text{сер}}$	1200
			20ХН2М; 12ХН3А			600			
Нітроцементація та загартування	56 – 63	30 – 43	25ХГМ	$23HRC_{\text{сер}}$	1,2	750	1,55	$40HRC_{\text{сер}}$	1520

\* Поширяється на весь перетин зуба й частину тіла зубчастого колеса під підставою западини. \*\* Значення визначають за середньою твердістю зубів.  $HRC_{\text{сер}}$  – твердість поверхні зуба,  $HRC_{\text{сер}}^*$  – твердість серцевини зуба.

					ЕП.ПД.21.21.1.ТЧ	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



### 1.3. Системи керування сервоприводами

Для переміщення виконавчого органу в системах автоматичного регулювання або дистанційного керування застосовується сервопривод. За способом управління сервоприводи бувають аналогові і цифрові.

Аналогові управляються аналоговим сигналом – частота параметра якого задаються за допомогою широто – імпульсної модуляції або ШІМ.

Цифрові управляються цифровим сигналом, які представляють собою кодові команди, які передаються по послідовному інтерфейсу.

Керуючий сигнал - це імпульсний сигнал з ШІМ (широтно-імпульсною модуляцією), що представляє собою послідовність прямокутних імпульсів з амплітудою 3-5 В і тривалістю від 0.9 до 2.1 мс. Тривалість імпульсу і визначає положення виконавчого механізму. Мінімальне значення (1 мс) - означає розворот в крайнє ліве (або проти годинникової стрілки -400- 800 в залежності від моделі) положення, середнє значення (1.5 мс) - центральноє положення штока, а максимальнє значення (2 мс) - крайнє праве (за годинниковою стрілкою +400...+800 в залежності від моделі) становище.

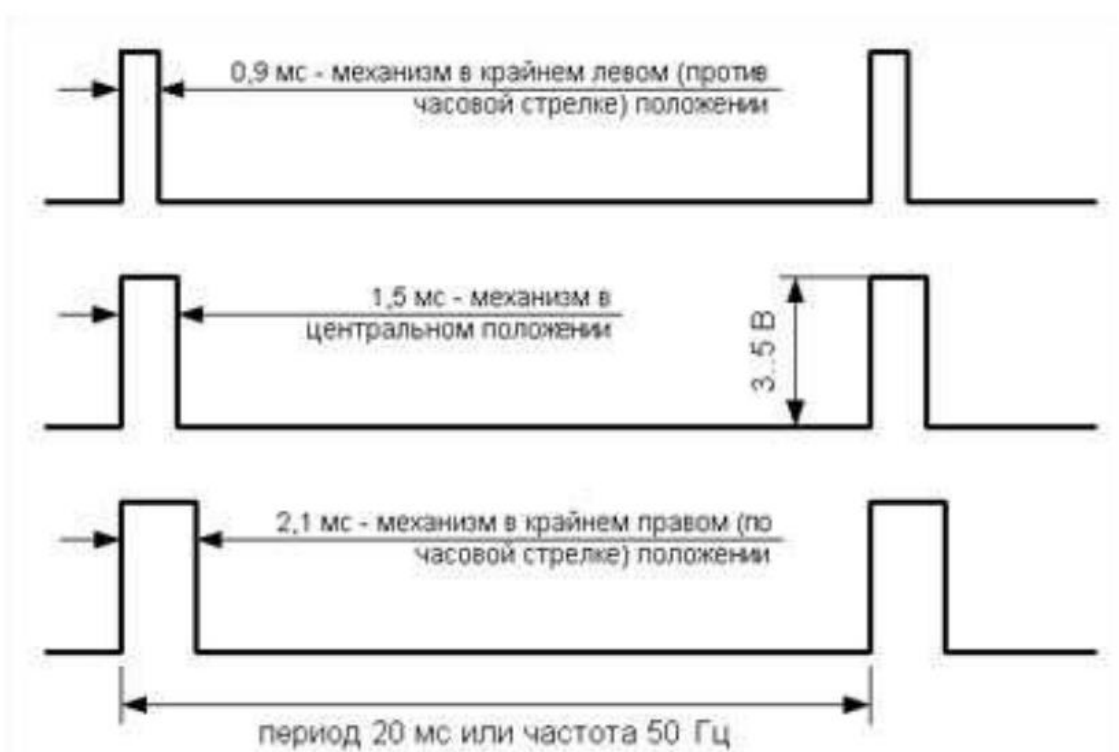


Рисунок 5 Діаграма тривалості імпульсу

					ЕП.ПД.21.21.1.ТЧ	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Сервопривод обертального руху діляться на синхронні і асинхронні . Синхронний сервопривод - дозволяє точно задавати кут повороту (з точністю до кутових хвилин), швидкість обертання, прискорення. Розганяється швидше асинхронного, але в рази дорожче. Асинхронний сервопривод - дозволяє точно задавати швидкість, навіть на низьких оборотах. По принципу дії сервоприводи бувають:

- Електромеханічні;
- Електро-гідромеханічні.

Рух у електромеханічного сервоприводу формується електродвигуном і редуктором. У електрогідромеханічного сервоприводу рух формується системою поршень-циліндр. У даних сервоприводов швидкодію на порядок вище в порівнянні з електромеханічними.

Головні частини сервоприводу - це його двигун, елементи управління і передача, блокування, сигналізація, система включення / вимикання, елементи зворотного зв'язку.

$$U_d = R_s i_d + L_s \frac{di_d}{dt} - z_p \omega L_s i_q \quad (3)$$

$$U_q = R_s i_q + L_s \frac{di_q}{dt} - z_p \omega L_s i_d + z_p \omega \varphi_0 \quad (4)$$

$$M = \frac{3}{2} z_p \varphi_0 i_q \quad (5)$$

$$I \frac{d\omega}{dt} = M - M_c \quad (6)$$

Де  $U_d$  – напруження двигуна;  $R_s$  – опір двигуна;  $i_d$  - сила струму двигуна ;  $L_s$  - індуктивність обмотки збудження ;  $z_p$ - приведений опір;  $i_q$  - сила струму якоря;  $U_q$ - напруга якоря;  $\omega$  – кутова швидкість;  $\varphi_0$ - кут зсуву фаз;  $M$  - навантажувальний момент;  $M_c$  - момент опору.

					ЕП.ПД.21.21.1.ТЧ	Арк.
						18
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновок

У розділі технічної частини були виконані такі пункти як опис сервоприводу для чого він використовується були описані асинхронні та синхронні двигуни щіткові і безщіткові зроблений опис їх переваг і недоліків. також показано 2 рисунки базових з'єднань для моделей потужністю 400Вт і нижче та 700 і вище розглянуті 2 види передач: кульково-гвинтова и колесо-рейка їх плюси і недоліки для чого вони використовуються і яка між ними різниця. Також описано які бувають сервоприводи за способом управління їх опис та різниця, описано що таке керуючий сигнал та показана діаграма тривалості імпульсу. описано також на які бувають сервоприводи по своєму принципу дії і на які типи діляться сервоприводи обертового руху та їх різниця між собою.

					ЕП.ПД.21.21.1.ТЧ	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Розділ 2

**Автоматизований електропривод**

					ЕП.ПД.21.21.2.АЕ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробка</i>	<i>Стовбун</i>				<i>Опис сервоприводу лінійного переміщення с передачею гвинт-гайка</i>	<i>Літера.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Кер.розділу</i>	<i>Худолій</i>						20	60
<i>Керівник</i>	<i>Худолій</i>				<i>ковзання вибір типу серводвигуну і системи керування</i>	НТУ «ДП» Гр.141-18-СКЗ		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Казачковський</i>							

## 2.1. Опис стенду лабораторії 5/35. Сервопривод лінійного переміщення з передачею гвинт-гайка ковзання.

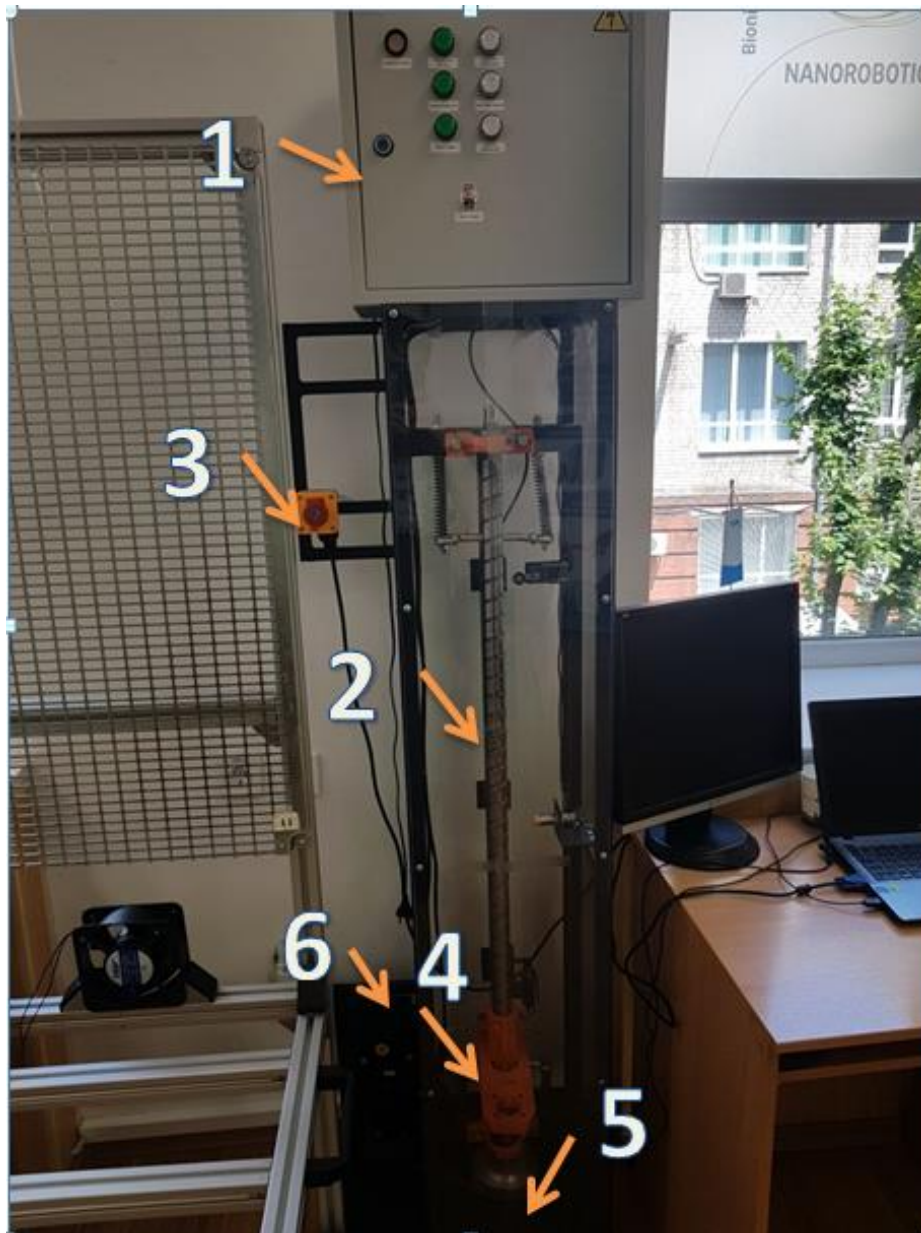


Рисунок 2.1 Стенд лабораторії 5/35. Сервопривод лінійного переміщення з передачею гвинт-гайка ковзання.

- 1-Панель управління де встановлений сервоперетворювач ASDA-2-042;  
2-Ходовий гвинт 3- Кнопка"Стоп"; 4- Кулькова - гвинтова передача; 5 - передача «колесо-рейка»; 6 -Серводвигун ЕСМА-С10604RS;

					ЕП.ПД.21.21.2.АЕ	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

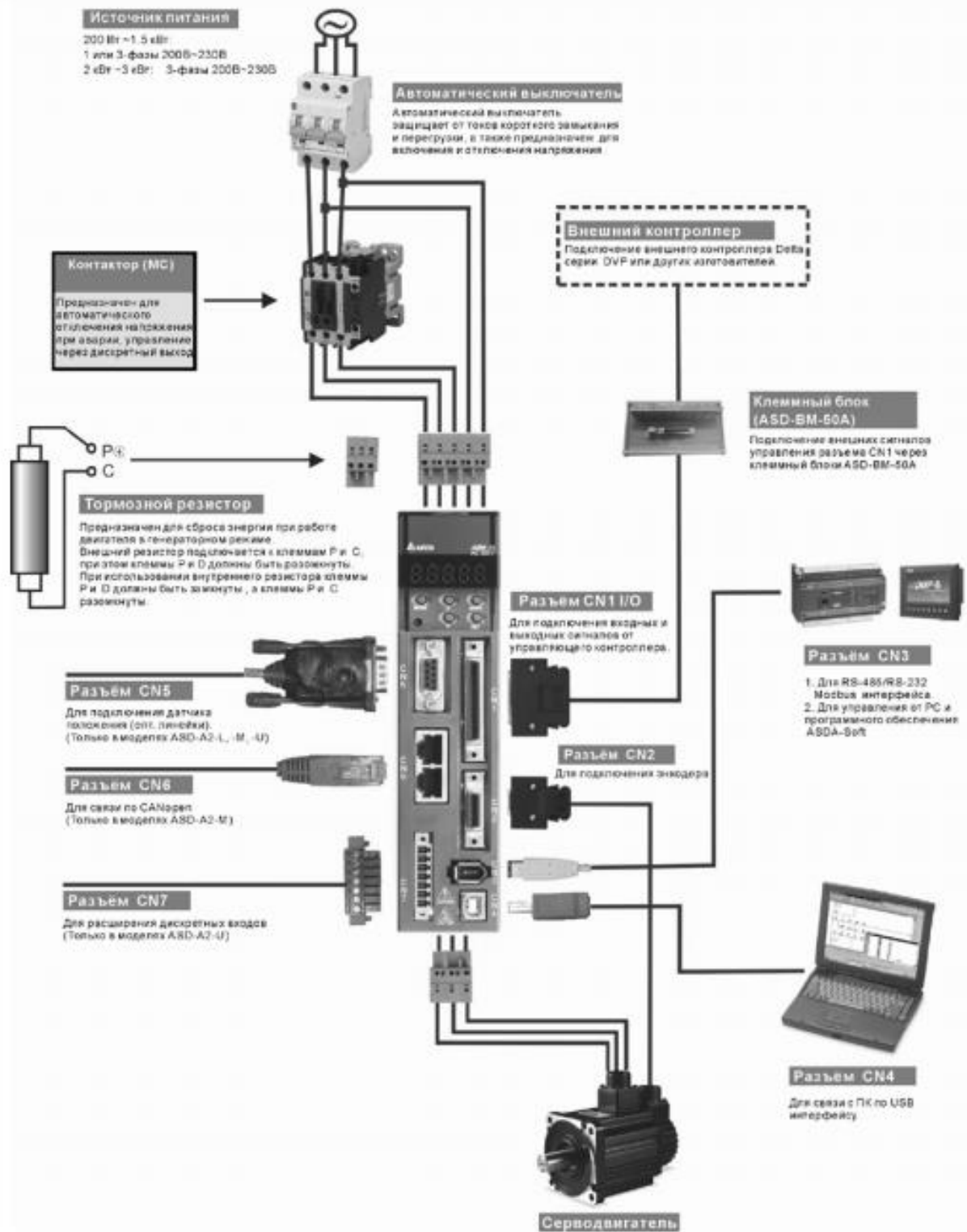


Рисунок 2.2 З'єднання із зовнішніми пристроями ASDA-2-042

Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## 2.2. Приведення до валу двигуна мас, швидкостей та моментів для передачі. Розрахунок моментів інерції рухомих об'єктів

Задамо початкові Параметри:

$$\text{Швидкість навантаження: } \vartheta_{L=15 \text{ м/хв}} \quad (2.1)$$

$$\text{Маса елементів поступального руху: } m = 250 \text{ кг;} \quad (2.2)$$

$$\text{Довжина гвинта: } l_B = 1,0 \text{ м} \quad (2.3)$$

$$\text{Діаметр гвинта: } d_B = 0,02 \text{ м;} \quad (2.4)$$

$$\text{Шаг різьби гвинта: } P_B = 0,01 \text{ м;} \quad (2.5)$$

$$\text{Густина кульки : } \rho = 7,87 \times 10^3 \text{ кг/м}^3 \quad (2.6)$$

$$\text{Передаточне число редуктора: } i = 2 \quad (2.7)$$

$$\text{Сумарний момент інерції редуктора і сполученої муфти: } J_G = 0.40 \times 10^{-4} \text{ кг/м}^2 \quad (2.8)$$

$$\text{Частота подач (переміщень): } n = 40 \text{ хв} - l; \quad (2.9)$$

$$\text{Дистанція переміщень (позиціонування): } l = 0.275 \text{ м} \quad (2.10)$$

$$\text{Максимальний час переміщення (позиціонування): } t_m = 1.2 \text{ с;} \quad (2.11)$$

$$\text{Точність зупинки: } \delta = \pm 0,01 \text{ мм;} \quad (2.12)$$

$$\text{Коефіцієнт тертя ковзання: } \mu = 0,2 \text{ с;} \quad (2.13)$$

$$\text{ККД механіки: } \eta = 0,9 \text{ (90\%)} \quad (2.14)$$

Розрахунок часу за допомогою циклограми лінійного переміщення

Для точного розрахунку параметрів мотора під потрібні завдання потрібно скласти циклограму руху механізму (робочого органу). В даному випадку рух робочо органу буде циклічним.

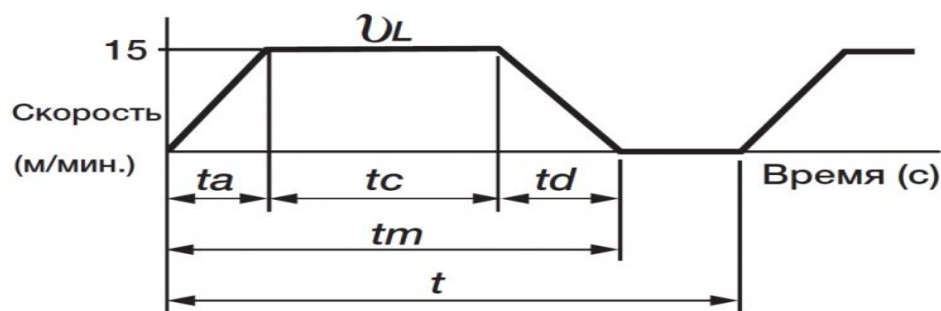


Рисунок 2.2 Циклограма лінійної швидкості.

					ЕП.ПД.21.21.2.АЕ	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$t = 60/n = 60/40 = 1.5 \text{ (с)} \quad (2.15)$$

З циклограми видно, що час прискорення і гальмування мають рівні значення, отже, ми отримуємо:

$$t_a = t_d = t_m = t_m - (60 \times l)/\vartheta_L = 1.2 - (60 \times 0.275)/15 = 0.1 \text{ (с)} \quad (2.16)$$

$$t_c = t_m - 2 \times t_a = 1.2 - 2 \times 0.1 = 1.0 \text{ (с)}. \quad (2.17)$$

## 2.2.2 Розрахунок швидкості обертання валу серводвигуна

Швидкість обертання гвинта ШВП:

$$n_L = \frac{\vartheta_L}{P_B} = \frac{15}{0,001} = \mathbf{1500} \text{ (об/хв)} \quad (2.18)$$

Швидкість обертання валу двигуна

$$n_M = n_L \times i = 1500 \times 2 = 3000 \text{ (об/хв)} \quad (2.19)$$

## 2.2.3. Розрахунок моменту, що прикладається до валу серводвигуна

$$M_L = \frac{9.8 \times \mu \times m \times P_B}{2\pi \times i \times \vartheta} = \frac{9.8 \times 0.2 \times 250 \times 0.01}{2\pi \times 2 \times 0.9} = 0.43 \text{ (Нм)}. \quad (2.20)$$

## 2.2.4. Розрахунок приведенного моменту інерції до валу серводвигуна

Лінійна частина

$$J_{L1} = m * \left[ \left( \frac{P_B}{2\pi \times i} \right) \right]^2 = 250 \times \left[ \left( \frac{0.01}{(2\pi \times 2)} \right) \right]^2 = 1.58 \times 10^{-4} \text{ (кг * м}^2\text{)} \quad (2.21)$$

Момент інерції підшипників:

$$J_B = \frac{\pi}{32\rho} \times l_B \times |d_B|^4 \times \frac{1}{i^2} = \frac{\pi}{32\rho} \times 7.87 \times 103 \times 1.0 \times |0.02|^4 \times \frac{1}{2^2} = \quad (2.22)$$

$$0.31 \times 10^{-4} \text{ (кг * м}^2\text{)}$$

Сумарний момент інерції муфти і редуктора:

$$J_G = 0.40 \times |10|^{-4} \text{ (кг * м}^2\text{)}; \quad (2.23)$$

Сумарний момент інерції:

$$J_L = J_{L1} + J_B + J_G = (1.58 + 0.31 + 0.40) \times |10|^{-4} = 2.29 \times |10|^{-4} \text{ (кг * м}^2\text{)}. \quad (2.24)$$

## 2.2.5. Розрахунок потужності навантаження

$$P_O = \frac{2\pi \times n_M \times M_L}{60} = \frac{2\pi \times 3000 \times 0.43}{60} = 135 \text{ (Вт)} \quad (2.25)$$

## 2.2.6. Розрахунок потужності серводвигуна для забезпечення необхідної динаміки системи

$$P_a = \left| \left( \frac{2\pi \times n_M}{60} \right) \right|^2 \times \frac{J_L}{t_a} = \left| \frac{2\pi \times 3000}{60} \right|^2 \times \frac{2.29 \times 10^{-4}}{0.1} = 226 \text{ (Вт)}. \quad (2.26)$$

					ЕП.ПД.21.21.2.АЕ	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



### 2.3. Вибір потужності та типу серводвигуна і системи керування

Із розрахунків які були вказані в розділі 2.2 можливо зробити висновок що для того щоб підібрати правильний нам серводвигун повинні бути виконані наступні умови

А) Вибір серводвигуна, що задовольняє умовам:

$M_L \leq$  номінальний момент двигуна;

$(P_a+P_o)/2 <$  Потужності двигуна;

$n_M \leq$  Номінальна швидкість обертання двигуна;

$J_L \leq$  допустимого моменту інерції навантаження;

Таблиця 2.1. Можливі комбінації сервоперетворювачів і серводвигуна

Мощность	Сервопреобразователь	Серводвигатель
200W	ASD-A2-0221-□	ECMA-C10602□S (S=14mm)
400W	ASD-A2-0421-□	ECMA-C10604□S (S=14mm)
		ECMA-C10804□7 (7=14mm)
		ECMA-E11305□S (S=22mm)
		ECMA-G11303□S (S=22mm)
750W	ASD-A2-0721-□	ECMA-C10807□S (S=19mm) ECMA-G11306□S (S=22mm)
1000W	ASD-A2-1021-□	ECMA-C11010□S (S=22mm)
		ECMA-E11310□S (S=22mm)
		ECMA-G11309□S (S=22mm)
1500W	ASD-A2-1521-□	ECMA-E11315□S (S=22mm)
2000W	ASD-A2-2023-□	ECMA-C11020□S (S=22mm)
		ECMA-E11320□S (S=22mm)
		ECMA-E11820□S (S=35mm)
3000W	ASD-A2-3023-□	ECMA-E11830□S (S=35mm)
		ECMA-F11830□S (S=35mm)

Так як сервоперетворювач розроблений для спільної роботи з певними серводвигунами. Перед використанням пристроїв, потрібно обов'язково переконається в їх сумісності. Сервоперетворювач і серводвигуни повинні мати відповідний типорозмір по потужності, в іншому випадку можливий перегрів і вихід з ладу використовуваного пристрою або спрацьовування захисту. Сервоперетворювач розроблений з урахуванням можливої 3-х кратної перевантаження по струму для серводвигунів, які вказані в таблиці. Із даної таблиці можливо зробити висновок так як ми працюємо з сервоперетворювачем ASD-A2-0421-M то для точної і коректної роботи с параметрами які були наведені у минулому розділі доцільно вибрати сервопривод ECMA-C10604RS.



Рисунок 2.3 Delta ECMA-C10604RS серводвигун змінного струму

Серводвигун змінного струму 0.4 кВт, 220 В, 3000 об /хв, без гальм, з сальником, вал зі шпонкою і різьбою.

Серія ECMA об'єднує синхронні двигуни з постійними магнітами потужністю від 100Вт до 15кВт, призначені для роботи в складі комплексного приводу ASDA-A2. Серія включає серводвигуни 5-и типорозмірів з фланцями 40,60,80,100,130,180 мм. Діапазон номінальних швидкостей від 1000 до 5000 об/хв. Діапазон номінальних моментів обертання від 1,92 до 119,36 Нм. Серводвигуни додатково можуть укомплектовуватись електромагнітними гальмами і сальниками. Вал двигуна може бути зі шпонковим отвором або без нього.

					ЕП.ПД.21.21.2.АЕ	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таблиця 2.2. Характеристики двигуна ЕСМА-С10604RS

Характеристика, од. вим.	Значення
Номінальна потужність, кВт	0.4
Напруга живлення, В	220
Номінальна швидкість, об/хв	3000
Максимальна швидкість, об/хв	5000
Номінальний крутячий момент, Н.м	0.32
Максимальний крутячий момент, Н.м	0.96
Номінальний струм, А	0.90
Максимальний струм, А	2.7
Тип енкодера	20 біт
Розмір фланця, мм	40
Тип вала	Під шпонку
Наявність тормоза и сальника	Без тормоза с сальником
Ступінь вібрації, мкм	15
Вібростійкість	2.5G
Робоча температура, С	0...40
Маса, кг	0.5

## Висновок

У даному розділі був показаний стенд лабораторії опис що на ньому відображено та також показано як з'єднується серпоперетворювач с зовнішніми пристроями. Зроблено математичні розрахунки для того щоб можлива було отримати момент інерції рухомих об'єктів швидкість та моменти для передач розраховано швидкість обертання ШВП, валу двигуна, момент інерції підшипників та інерції муфти з редуктором, розраховано також потужність навантаження і потужність серводвигуна для забезпечення необхідної динаміки системи. Це було зроблено для того щоб коректно вибрати серводвигун за допомогою таблиці [2.1] був обраний серводвигун також зроблений опис його характеристик та опис цього сервоприводу і його серії ЕСМА.

					ЕП.ПД.21.21.2.АЕ	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Розділ 3

**Динаміка електромеханічної системи**

					ЕП.ПД.21.21.3.ДЕС			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лістинг налагодження систем керування ASDA	Літера.	Аркуш	Аркушів
Розробка	Стовбун						29	62
Кер.розділу	Худолій							
Керівник	Худолій							
Н. Контр.	Казачковський				НТУ «ДП» Гр.141-18СКЗ			

### 3.1.Налагодження системи керування ASDA в режимі керування за положенням

Режим управління положенням (Pt або Pr) часто використовується у завданнях точного позиціонування

механізми в різних станках і машинах. Сервопривод Delta ASDA-AB підтримує два типи джерел завдань положень. Перший тип джерела завдання - це попередня послідовність імпульсів і іншого джерела завдань - це фіксовані значення позицій, що зберігаються в параметрів сервоприводу (P6-00 ... P7-27). Зовнішня послідовність імпульсів з інформацією про напрямок обертання управляє кутовим положенням вала двигуна. максимальна частота входних імпульсів 4МГц. Друга здатність завдання положення вала - 64 фіксованих значень становищем, запрограмована и зберігаються в параметрах сервоприводу. Існують два методи завдання фіксованих положень. У першому методі фіксованих положення (64 позиції)

Попередньо задаються у відповідних параметрах і потім, використовуючи сигнали POS0 ~ POS5 на дискретних входах порту CN1, оперативно вибирається одне з попередньо встановлених положень.

За іншим методом, використовуючи послідовний інтерфейс, можливо оперативно змінювати значення восьми параметрів фіксованих положень.

Для того, щоб забезпечити плавну роботу двигуна та механізму руху, сервопривод має можливість формування характеристик кривого руху (P-крива) в режимі управління положенням. При роботі зі зворотним зв'язком по положенню необхідно встановити не лише параметри швидкості, але й параметри коефіцієнтів посилення контуру по положенню і параметри компенсації нестабільності повернення. Можливо також вибрати один із двох

способів налаштування (Ручної /Автоматичний) для оптимального підбору параметрів коефіцієнтів посилення.

					ЕП.ПД.21.21.3.ДЕС	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Джерело завдання положення в режимі Pt:

Джерелом завдання положення в режимі Pt є послідовність імпульсів, дані про зовнішні входи сервоперетворювача. Команди завдання положення в режимі Pr

Джерелом завдання положення в режимі Pr є параметри (P6-00, P6-01) ~ (P7-26, P7-27),

де задаються 64 положення. Використовуємо зовнішні сигнали на роз'єм CN1 (POS 0... POS 5 і

CTRG) можна вибрати одне з 64 заданих положень. Вибір здійснюється відповідно до таблиці [3.1]

Таблиця 3.1 Команди завдання положення в режимі Pr

Задане положення	POS5	POS4	POS3	POS2	POS1	POS0	CTRG	Параметр
P1	ON	ON	ON	ON	ON	ON	↑	P6-00
								P6-01
P2	ON	ON	ON	ON	ON	OFF	↑	P6-02
								P6-03
~								
P50	OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON	↑	P6-98
								P6-99
P51	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	↑	P7-00
								P7-01
~								
P64	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	↑	P7-26
								P6-27

Стан POS0 ~ 5: ON означає, що контакт замкнутий, а OFF - контакт розімкнений.

CTRG: момент часу, коли контакт переходить зі стану OFF (розімкнений) в стан ON(Замкнутий).

Є абсолютний і відносний спосіб переміщення в задане положення. ці способи аналогічні послідовному покрокового управління. Користуючись вищенаведеною таблицею, можливо вибрати необхідний цикл переміщень. Наприклад, значення

P1 = 10 і значення P2 = 20.

Спочатку досягається задане положення P1, потім йде переміщення в положення P2. Різниця між абсолютним і відносним способом переміщення показана на рисунку [3.1]

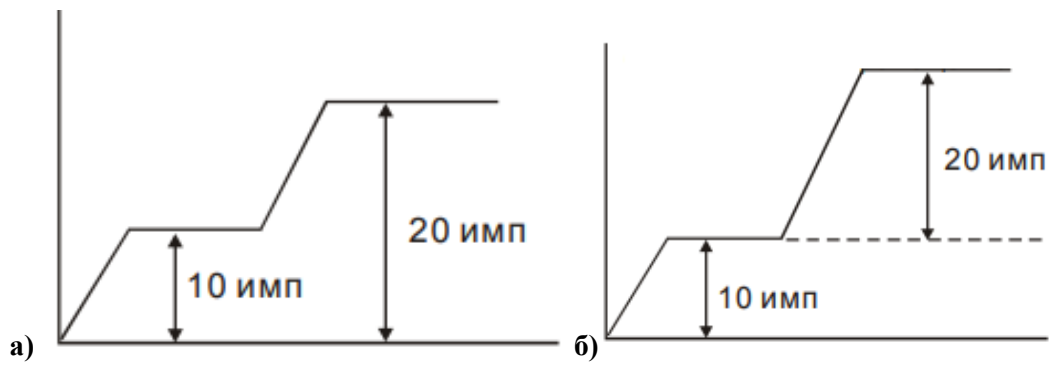


Рисунок 3.1 способи переміщення а) абсолютне переміщення ; б) відносне переміщення

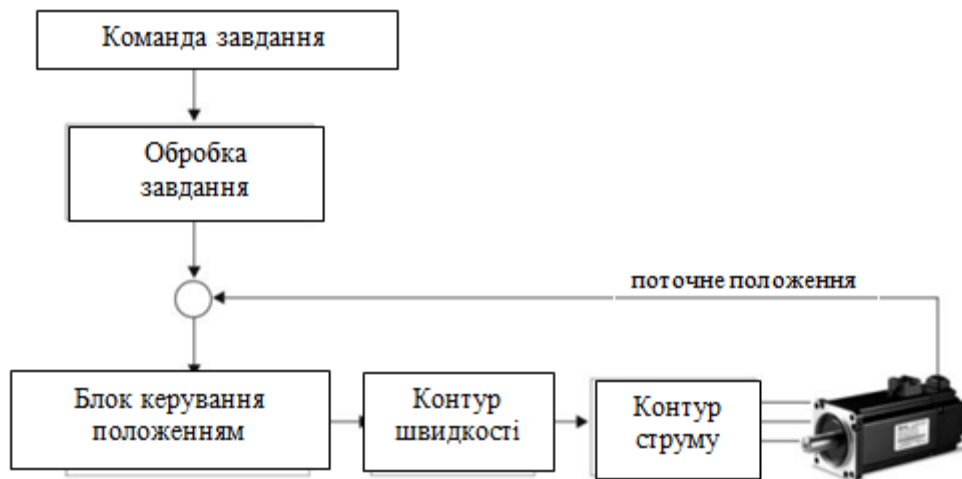


Рисунок 3.2 Структурна схема режиму управління за положенням

Для того, щоб отримати якісне управління становищем, вхідний сигнал проходить попередню обробку відповідно до схеми на рисунку [3.3]



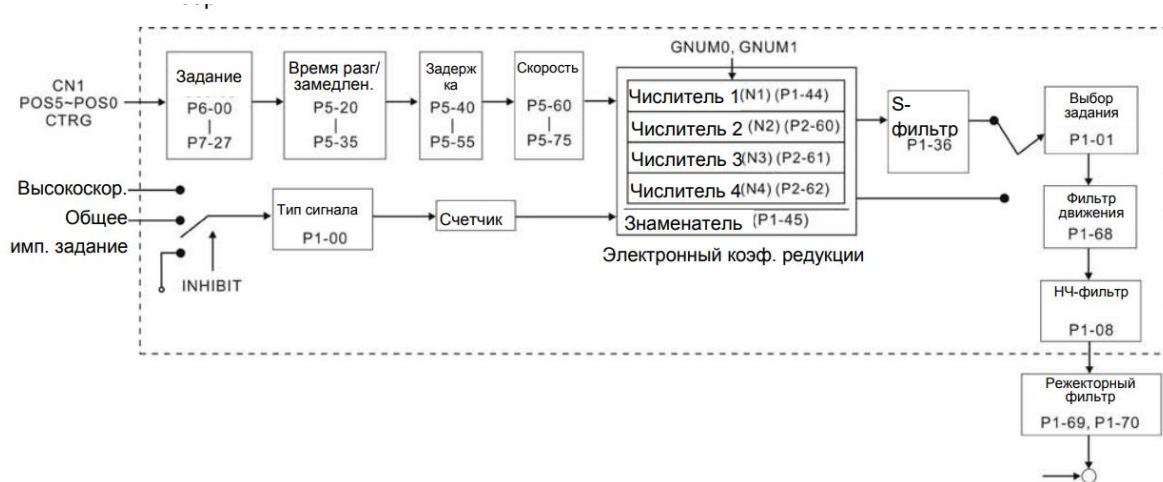


Рисунок 3.3 Попередня обробка вхідного сигналу

Використовуючи параметр P1-01, вибирають режим Pt або Pr. Електронний коефіцієнт редукції може бути встановлений в двох режимах управління для зміни роздільної здатності по положенню. Сервопривод містить налаштовані характеристики розгону, гальмування, P- і НЧ-фільтра, які підвищують плавність спільної роботи сервоприводу і механізму.

#### Функція заборони обробки імпульсів (INHIBIT)

Функція INHP активізується через цифровий вхід. Коли привод працює в режимі позиціонування, якщо функція INHP активна, зовнішня імпульсна команда перестане оброблятися сервоприводом і двигун буде зупинений.

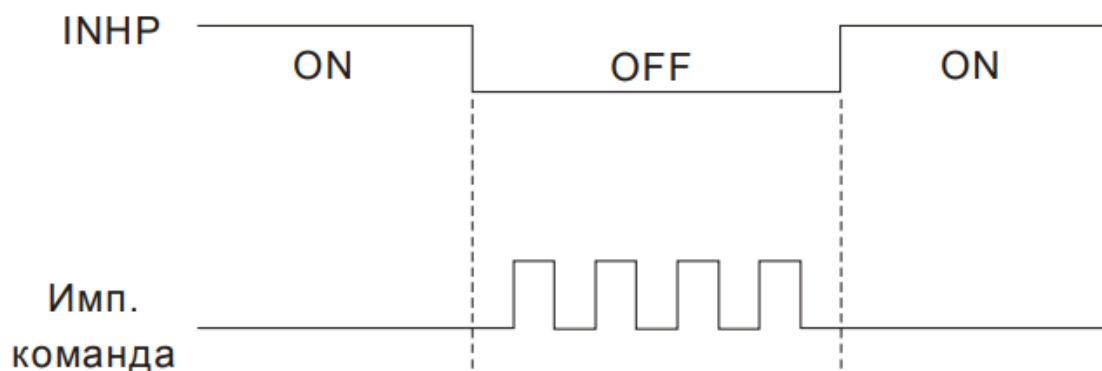


Рисунок 3.4 Діаграма роботи режиму позиціонування (P Діаграма роботи режиму позиціонування (Pr).

У режимі керування положенням (Pr), джерелом завдання є зовнішні сигнали POS0 ~ POS5 і CTRG зі входів DI роз'єму CN1. дано опису призначення вхідних сигналів і параметрів для них Рис[3.5]

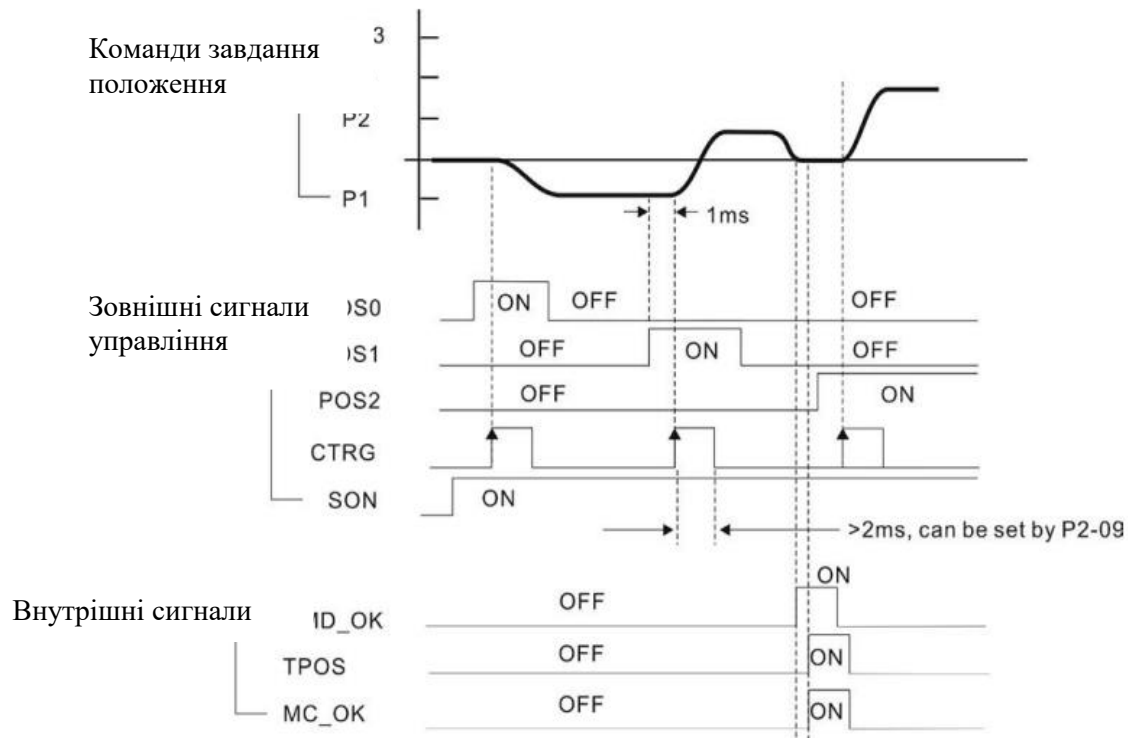


Рисунок 3.5 Тимчасова діаграма роботи режиму Pr

Сигнал CMD\_OK активізується, коли команда позиціонування повністю виконана.

Сигнал TPOS активізується, коли двигун досягне заданого положення в діапазоні від -P1-54 до +P1-54.

Сигнал MC\_OK активізується, коли обидва сигналу (CMD\_OK і TPOS) активізовані.  
коли обидва сигналу (CMD\_OK і TPOS) активізовані.

Налаштування коефіцієнтів посилення контуру положення:

Перед використанням режиму позиціонування, необхідно повністю виконати установку значень параметрів налаштування для режиму керування швидкістю (Використовуючи параметр P2-32), оскільки контур положення включає в себе контур швидкості.

Потім налаштовують пропорційний коефіцієнт контуру положення (параметр P2-00) і коефіцієнт диференціальної складової сигналу завдання (параметр P2-02).

Можливо, також провести автоматичне налаштування контурів швидкості і положення.

1) Коефіцієнт пропорційності: оптимальне налаштування дозволяє збільшити смугу пропускання контуру положення.

2) Диференціальний коефіцієнт: налаштування дозволяє зменшити запізнення по фазі до нуля при установці коефіцієнта 100%.

Смуга пропускання контуру положення не може бути більше смуги пропускання швидкісного контуру, рекомендований співвідношення  $f_p < f_v/4$ , де  $f_v$ -смуга контуру швидкості (Гц),  $f_p$  - смуга контуру положення (Гц).

$$KPP = 2 \times \pi \times f_p. \quad (3.1)$$

					ЕП.ПД.21.21.3.ДЕС	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

### 3.2. Налаштування системи керування ASDA в режимі керування за швидкістю

Режим управління швидкістю (S або Sz) використовується в задачах точної підтримки швидкості.

Сервопривод ASDA-A2 має два способи завдання швидкості в цьому режимі. У першому випадку швидкість може бути задана зовнішнім аналоговим сигналом, а також параметрами фіксованих значень швидкості. В іншому випадку швидкість задається трьома фіксованими значеннями, які зберігаються в параметрах, вибір швидкості здійснюється зовнішніми сигналами SPD0 і SPD1 з входів DI роз'єму CN1. Можливе використання послідовного інтерфейсу для зміни значень параметрів фіксованих швидкостей. Крім того, для забезпечення більш плавного руху, сервопривод має регульовану S-характеристику для режиму швидкості. Для управління контуром швидкості можна використовувати вбудовані PI або PDFF регулятори. Для полегшення процесу налаштування є ручний і автоматичний режими налаштування коефіцієнтів. Режими налаштування коефіцієнтів: ручний і автоматичний.

- Ручний режим-Коефіцієнти встановлюються користувачем. У цьому режимі всі автоматичні і додаткові функції настройки відключені
- Автоматичний режим: Налаштування коефіцієнтів відповідно до виміряним значенням інерції, з вибором 10 рівнів смуги пропускання. Цей параметр використовується як заводське налаштування.

Джерела завдання швидкості. Таблиця [3.2]

1) Зовнішній аналоговий сигнал: напруга від 10В до +10 В

2) Внутрішні параметри: від P1-09 до P1-11

					ЕП.ПД.21.21.3.ДЕС	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Таблиця 3.2 Джерела завдання швидкості

Задана швидкість	Входи DI		Джерела завдання			Значення	Діапазон
	SPD1	SPD0	Режим	S	Зовнішній аналоговий сигнал		
S1	0	0			S	Зовнішній аналоговий сигнал	Напруга між V-REF GND
			Sz		Немає	Задана швидкість = 0	0
S2	0	1	Внутрішні параметри			P1-09	-60000 ... +60000 об/хв
S3	1	0				P1-10	
S4	1	1				P1-11	

- Стан входів SPD0 ~ 1: 0: стан вимкнено (OFF); 1: стан включено (ON)
- У стані SPD0 = SPD1 = 0 (OFF) і при встановленому режимі Sz, завдання швидкості = 0. Якщо аналогове завдання швидкості не використовується, то можна задіяти режим Sz для роботи в районі нульової швидкості, виключивши тим самим можливі коливання внаслідок дрейфу аналогового завдання в районі нульових значень. Якщо обраний режим S, то завдання швидкості визначається напругою між контактами V-REF і GND роз'єму CN1. Діапазон значення напруги може бути від -10V до + 10V, де максимальне значення напруги відповідає установці максимальної швидкості згідно параметру P1-40.
- Якщо стану входів SPD0 і SPD1 не рівні 0, завдання швидкості визначається внутрішніми параметрами (P1-09 to P1-11). Команда швидкості виконується відразу після зміни стану входів SPD0 і SPD1 і не вимагає зовнішнього сигналу STRG.
- Діапазон значень завдання швидкості у внутрішніх параметрах: -60000 ~ +60000 об / хв. Заданий значення = Діапазон x (0.1 об / хв). Наприклад, якщо P1-09 = +30000, заданий значення швидкості = +30000 x 0.1 об / хв = +3000 об / хв. Наведені в даному розділі команди швидкості є не тільки завданням швидкості в режимах S і Sz, а й значеннями обмеження швидкості в режимах T і Tz

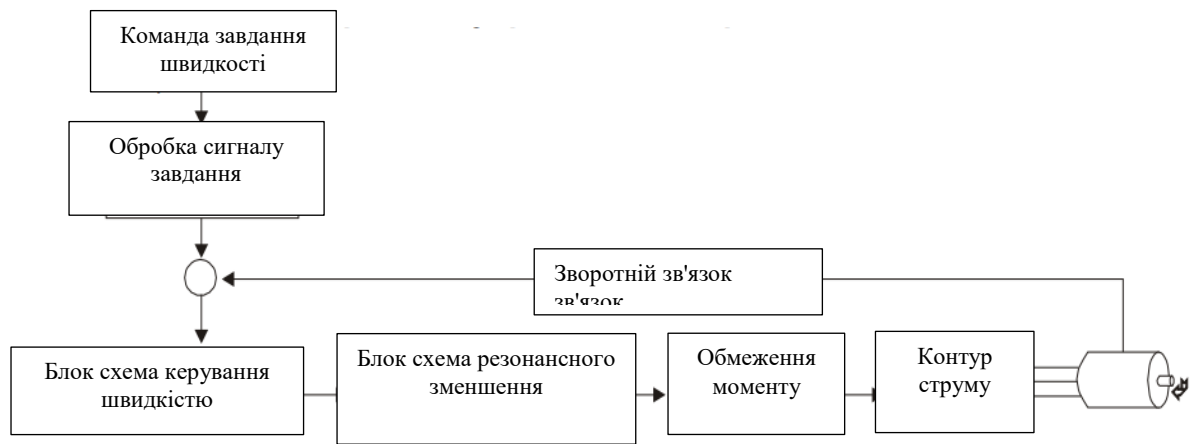


Рис3.6 Блок-схема режиму керування швидкістю

Команда завдання швидкості визначається відповідно до стану сигналів SPD0, SPD1 і параметра вибору режиму управління P1-01 (S або Sz). При необхідності отримання більш плавною швидкості рекомендується використовувати S-характеристику і НЧ-фільтр.

Методика згладжування в режимі керування швидкістю

**S-фільтр:** Згладжуючий S-фільтр для режиму керування швидкістю включає в себе 3 частини формування кривої руху під час розгону і уповільнення. Використовуючи S-фільтр можливо домогтися більш плавної реакції двигуна при різкій зміні сигналу швидкості. S-фільтр дозволяє усунути появу механічного резонансу і вібрації не тільки в процесі розгону і уповільнення двигуна, але і забезпечує плавну роботу механіки. При зміні навантаження або сил тертя, при пуску або зупинці можливі різкі поштовхи і удари. Щоб запобігти цьому, потрібно збільшити параметр постійного часу TSL S фільтра, параметри (P1-34, P1-35) часу прискорення TACC і часу уповільнення TDEC. Сервопривод має обчислювальний блок, який визначає час завершення команди швидкості.

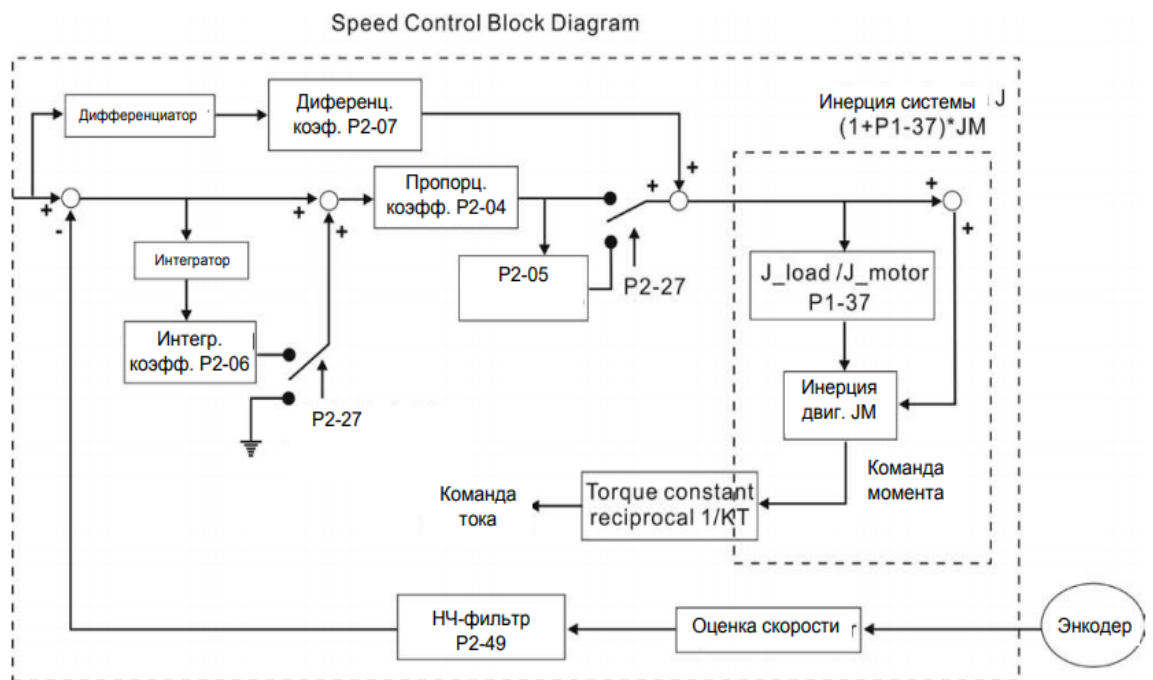
## Фільтр вхідного аналогового сигналу

Сервопривод ASDA-A2 має фільтр аналогового сигналу для згладжування різких коливань вхідного сигналу. Вхідний фільтр аналогового сигналу виконує таку ж роль, що і S-фільтр.

НЧ-фільтр команди завдання швидкості

НЧ-фільтр застосовується для очищення високочастотних приміщень і є також функцією згладжування.

Налаштування коефіцієнтів контуру швидкості



Режими налаштування коефіцієнтів контуру швидкості:

- Ручний режим: Коефіцієнти встановлюються користувачем. У цьому режимі всі автоматичні та додаткові функції налаштування відключені.
- Автоматичний режим: Безперервна настройка коефіцієнтів відповідно до вимірним значенням інерції, з вибором 10 рівнів смуги пропускання. Цей параметр використовується як заводське налаштування.

Режим налаштування коефіцієнтів вибирається параметром P2-32.

Ручний режим налаштування:

В ручному режимі настройки (P2-32 = 0) самостійно встановлюємо коефіцієнти контуру швидкості - пропорційний (P2-04), інтегральний (P2-06), диференціальний (P2-07) і відношення моменту інерції навантаження до інерції двигуна (1-37).

Необхідно пам'ятати про наступне:

- Пропорційний коефіцієнт. Налаштуванням цього коефіцієнта можна збільшити смугу пропускання контуру положення.
- Інтегральний коефіцієнт. Налаштуванням цього коефіцієнта можна підвищити жорсткість системи при роботі на низьких частотах і зменшити статичну помилку. При цьому збільшується значення зсуву фаз. Велике значення інтегрального коефіцієнта може привести до нестабільної роботи сервоприводу (нестійкість).

Диференціальний коефіцієнт ( коефіцієнт прямої подачі). Налаштуванням цього коефіцієнта можна змінювати відставання по фазі поблизу нульової помилки при 100% значенні зворотного зв'язку.

					ЕП.ПД.21.21.3.ДЕС	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



### 3.3. Налаштування системи керування ASDA в режимі керування за моментом

Режим управління моментом (Т або Tz) використовується в задачах, в яких необхідно регулювання обертального моменту - це можуть бути друковані машини, механізми для видавлювання виробів і т.д. Сервопривод має два способи завдання величини моменту. Один спосіб - це завдання моменту аналоговим сигналом і інший спосіб - це завдання фіксованих значень моменту параметрами сервоприводу. Зовнішній аналоговий сигнал подають на керуючий вхід по напрузі і безпосередньо задають потрібне значення моменту. Параметри P1-12, P1-13, P1-14 містять введені нами фіксовані значення моменту.

Джерела завдання моменту

- 1) Зовнішній аналоговий сигнал: напруга від 10В до +10 В
- 2) 2) Внутрішні параметри: від P1-12 до P1-14

Команда завдання моменту визначається станом дискретних входів DI роз'єму CN1 відповідно до таблиці [3.3]

Таблиця 3.3 Команди завдання моментів

Задана швидкість	Входи DI		Джерела завдання			Значення	Діапазон
	SPD1	SPD0	Режим	T	Зовнішній аналоговий сигнал		
T1	0	0			T	Зовнішній аналоговий сигнал	Напруга між T-REF-GND
			Tz		Немає	Задана швидкість = 0	0
T2	0	1	Внутрішні параметри			P1-12	+/- 300 %
T3	1	0				P1-13	
T4	1	1				P1-14	

- Стан входів TCM0 ~ 1. 0: стан вимкнено (OFF); 1: стан включено (ON)

- Стан входів TCM0 ~ 1. 0: стан вимкнено (OFF); 1: стан включено (ON)
- У режимі управління Tz, при стані сигналів TCM0 = TCM1 = 0 завдання моменту дорівнює «0». Якщо не використовується завдання моменту аналоговим сигналом, цей режим може бути використаний для завдання нульового моменту, виключаючи можливий дрейф аналогового сигналу поблизу нуля. Якщо встановлений режим T, то при TCM0 = TCM1 = 0 (OFF) завдання моменту визначається величиною аналогового напруги між контактами T REF and GND. Відповідність максимального моменту максимального аналоговому входного сигналу визначається параметром P1-41.
- При стані сигналів TCM0 і TCM1 не дорівнює «0» завдання моменту визначається внутрішніми параметрами. Після установки сигналів TCM0 і TCM1 відразу відбувається регулювання заданого моменту без необхідності подавати сигнал STRG.

Команди на завдання крутного моменту, які описані в цьому розділі, є не тільки завданням в режимі управління моментом (режим T або Tz), але і є командами завдання обмеження моменту в режимі регулювання частоти обертання (режим S або Sz).



Рисунок 3.8 Базова структура обробки сигналу завданням моменту

На Рисунку [3.8] показана блок схема обробки сигналу завдання моменту, включаючи обмеження завдання моменту аналоговим сигналом (P1-41) і спосіб підвищення плавності роботи в режимі управління моментом.

Сервопривод має тільки входні параметри. Джерело завдання вибирається відповідно до стану входних сигналів TCM0, TCM1 і значення параметра P1-01. Для здійснення більш плавного регулювання налаштовується пропорційний коефіцієнт посилення і підбирається параметр НЧ-фільтра.

## Висновок

В цьому розділі було розглянуто для чого використовується режими керування по положенню. Які бувають команди завдання положення в режимі Pr, описано яка різниця між абсолютним і відносним переміщенням. та описано опис роботи перед тим як почати використання режиму позиціонування, розглянуто в яких задачах використовується режим керування ASDA за швидкістю які бувають режими налаштування коефіцієнтів контурів швидкості і як він обирається, також розглянута методика згладжування в режимі керування швидкістю. Також розглянуто як відбувається налагодження системи керування по положенню, для чого його використовують, які способи величини моменту має сервопривод та чим вони відрізняються та яким чином визначити команди завдання за моментом.

					ЕП.ПД.21.21.3.ДЕС	Арк.
Изм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Розділ 4

**Охорона праці**

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕП.ПД.21.21.4.ОП		
Розробка	Стовбун				Літера.	Аркуш	Аркушів
Кер.розділу	Столбченко						
Керівник	Худолій					44	60
Н. Контр.	Казачковський				НТУ «ДП» Гр.141-18-СКЗ		

#### 4.1. Аналіз шкідливих та небезпечних чинників проектного пристрою

4.1 Сервопривод серії ASDA-A2 конструктивно виконаний зі ступенем захисту корпусу IP20 і повинні встановлюватися в спеціальні електрошафи зі ступенем захисту, необхідної місцевими стандартами безпеки. ASDA-A2 виконані з використанням сучасних силових модулів на транзисторах IGBT і мікропроцесорів. Сервопривод використовує однофазне (1x220 В) або трифазне (3x220 В) живлення електричної мережі і призначений для керування трифазними синхронними електродвигунами з постійними магнітами (PMSM) в різних промислових застосуваннях. Сервоперетворювач і серводвигун в процесі роботи нагріваються. Для ефективного відводу тепла необхідно забезпечити вільний простір навколо даних пристроїв. Також у випадку коли виникають вібрації слід приділити увагу надійності механічного кріплення і електричних з'єднань.

#### 4.2. Розрахунок штучного освітлення виробничих приміщень

Мета розрахунку: вибрати систему освітлення, джерело світла і світильник, визначити кількість світильників для забезпечення нормованої освітленості і розташувати їх на плані приміщення.

Розрахунок освітлення методом коефіцієнта використання виконується по формулі

$$\Phi = \frac{E \times S \times k \times z}{N \times \eta \times n} \quad (4.1)$$

де  $\Phi$  - необхідний світловий потік ламп у кожному світильнику, лм;  $E=400$  - нормована мінімальна освітленість, лк, обумовлена відповідно до розряду зорової роботи обирається за таблицею 4.3;  $k=1.8$  - коефіцієнт запасу вибирається в залежності від ступеня забруднення атмосфери виробничих приміщень пилом, димом, кіптявою і застосовуваним джерелом світла;  $S=110$  - освітлювана площа, м<sup>2</sup>;  $z=1.1$  - коефіцієнт мінімальної освітленості, величина якого знаходиться в межах 1,1 - 1,5 (при оптимальних відносинах відстані між світильниками до розрахункової висоти для ламп накалювання люмінесцентних ламп  $z = 1,1$ );  $N$  - число світильників у приміщенні;

					ЕП.ПД.21.21.4.ОП	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

$\eta=0.61$  - коефіцієнт використання світлового потоку(обирається в залежності від індексу приміщення, коефіцієнт відбиття) ;  $n=2$  – кількість ламп світильника.

Таблиця 4.3 Норми освітленості робочих поверхонь у виробничих приміщеннях (зі змінами №1 до СНіП II-4-79 від 15.10.2004)

1	2	3	4	5	6
IV. Середньої точності; розмір об'єкта 0,5-1 мм	а	малий	темний	750	300
	б	малий середній	середній темний	500	200
	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200
	г	середній великий великий	світлий середній світлий	300	150

При виконанні робіт IV розрядів краще застосовувати систему комбінованого освітлення, це досить економічно, а отже вибір падає на комбіноване освітлення. Тип світильників, встановлюваних у виробничих приміщеннях, вибирається по технологічних умовах з урахуванням вимог до розподілу яскравості, за умовами середовища, за економічними показниками. Вибір пав на ЛСПО6(05) кількість ламп 2 потужністю в 80 Вт. Габаритні розміри 1538x270x175 мм від пилу не захищені.

Для того щоб розрахувати кількість світильників потрібно спочатку розрахувати розрахункову висоту підвісу.

Розрахунок висоти підвісу, м:

$$h = H - h_c - h_p \quad (4.2)$$

Де,  $H=2.5$  м - висота приміщення, м;  $h_c=2.3$  м - висота звису світильника (від перекриття), м;  $h_p=0.8$  м - висота робочої поверхні над підлогою, м (приблизно 0,8 м).

$$h = 2.5 - 2.3 - 0.8=1, \text{ м} \quad (4.3)$$

Далі визначають відстань між світильниками з крапковими джерелами світла(лампами накаливання, ДРЛ і т.д.), м

$$L = \lambda \times h, \text{ м} \quad (4.4)$$

Де,  $\lambda=0.9$  для люмінесцентних ламп.

$$L = 0.9 \times 1 = 0.9, \text{ м} \quad (4.5)$$

Для визначення кількості світильників для установки в приміщенні

$$N = \frac{S}{L \times L}; \quad (4.6)$$

$$N = \frac{110}{0.9 \times 0.9} = 135, \text{ шт}; \quad (4.7)$$

Розрахунок освітлення формула (4.1)

$$\Phi = \frac{400 \times 110 \times 1,8 \times 1,1}{0,61 \times 135 \times 2} = 528, \text{ лм} \quad (4.8)$$

### 4.3. Пожежна профілактика

В основі забезпечення пожежної безпеки лежать, перш за все, організаційні заходи, які потім реалізуються технічно за чітко розробленим планом протипожежного захисту об'єкта.

Пожежна профілактика - це комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, а також створення умов для успішного гасіння пожежі. Основною метою пожежної профілактики є виключення виникнення пожежі. Ця мета вирішується системою запобігання пожежі. Пожежно-профілактичні заходи спрямовані на забезпечення пожежної безпеки:

Системи протипожежного захисту регламентує виконання заходів і досягається:

- Застосуванням установок сигналізації та пожежогасіння
- Пристроями, що забезпечують зменшення поширення пожежі і застосуванням проти димного захисту;
- Застосуванням засобів пожежогасіння та пожежної техніки;

Застосуванням матеріалів і будівельних конструкцій з нормованими значеннями пожежної небезпеки вогнезахисних фарб (складів) тощо.

					ЕП.ПД.21.21.4.ОП	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пожежна безпека - стан об'єкта, при якому із установленою ймовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі та впливу на людей небезпечних факторів пожежі, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Отже, для пожежної профілактики слід виконувати систему заходів протипожежного захисту та не нехтувати при роботі за робочим місцем правилами пожежної безпеки.

#### 4.4.Заходи ергономіки

Заходи, спрямовані на поліпшення здоров'я працюючих, забезпечення ефективної трудової діяльності, високої працездатності, на всебічне полегшення, оздоровлення умов праці, є одним з основних напрямів ергономіки.

Головним завданням педагогічної ергономіки є дослідження закономірностей і способів пристосування матеріальних засобів та умов праці до особливостей навчально-виховної діяльності вчителя і пізнавальної діяльності у студентів, з метою їх оптимізації. Практичними результатами досліджень педагогічної ергономіки повинні бути відповідні «інтер'єри студентських приміщень» раціональне оснащення їх обладнанням; пристосування до праці вчителя й учнів конструкції предметів і навчального обладнання (прилади, моделі, макети, таблиці, інструменти;, пристрої, верстатне обладнання) та аудіовізуальні засоби навчання. Важливе значення мають ергономічні вимоги до якості виробів, які виготовляють учні на практичних заняттях

Під ергономічними умовами праці студентів слід розуміти сукупність виробничих, санітарно-гігієнічних, антропометричних, психофізіологічних та естетичних факторів. Умови праці - поняття, яке пов'язує різні виробничо-технічні, ергономічні та соціально-економічні фактори. Умови праці характеризуються наступними факторами:

					ЕП.ПД.21.21.4.ОП	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- Технічна оснащеність виробництва;
- Санітарно-гігієнічний стан зовнішнього середовища;
- Рівень освітленості;
- Режим праці і відпочинку та тривалість робочого дня;
- Додержання чистоти;
- Побутове обслуговування приміщень різного призначення.
- оформлення інтер'єру;
- психофізіологічні фактори, взаємовідносини людей у процесі праці;

Виробничі вимоги обумовлені плануванням робочого місця, його технічною оснащеністю і технологічними особливостями виробничого процесу. Від впливу цих вимог залежать в основному фізичне навантаження, темп і монотонність праці, нервові напруження, необхідність використовувати спеціальні захисні пристрої та ін.

					ЕП.ПД.21.21.4.ОП	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 5  
Технічно-економічне обґрунтування

					ЕП.ПД.21.21.5.ТЕО			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробка	Стовбун				Економічні розрахунки пов'язані з сервоприводом лінійного переміщення	Літера.	Аркуш	Аркушів
Кер.розділу	Тимошенко						50	62
Керівник	Худолій					НТУ «ДП» Гр.141-18-СК3		
Н. Контр.	Казачковський							

## Вступ

В кваліфікаційній роботі сервопривід лінійного переміщення з передачею гвинт-гайка ковзання був розроблений як стенд для підвищення рівня кваліфікації студентів бакалаврів спеціальності електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Стратегічним методом необхідно визначити витрати, пов'язані з виготовленням даного стенду.

Розрахунок витрат, пов'язаних з виготовленням стенду був виконаний по розрахункам заводської собівартості елементів оскільки для проєктованого об'єкту і аналогу структура окремих елементів витрат в відомих межах зберігається.

### 4.1 Розрахунок капітальних витрат

При визначенні величини проєктних капітальних витрат можливо скористатись наступною формулою

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}} \times \left( \sum_{i=1}^k C_i \right) = Z_{\text{тзс}} + Z_{\text{м}} + Z_{\text{н}} + Z_{\text{пр}}, \quad (4.1)$$

Де

$K_{\text{об}} \times \left( \sum_{i=1}^k C_i \right)$  – вартість придбання електрообладнання (засобів автоматизації, програмного забезпечення тощо) за проєктом або сумарна вартість комплектуючих елементів  $i$ -го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення;

$k$  - кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Z_{\text{тзс}}$  – транспортно-заготівельні і складські витрати;

$Z_{\text{м}}$  – витрати на монтажні роботи;

$Z_{\text{н}}$  - витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{\text{пр}}$  – інші одноразові вкладення грошових коштів.

					ЕП.ПД.21.21.5.ТЕО	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

## Зведення капітальних витрат

№	Назва елементу	Кількість	Ціна грн./шт	Сума
1	Серводвигун DELTA ELECTRONICS ЕСМА-С10604RS	1	7 912	7 912
1	Сервоперетворювач DELTA ELECTRONICS ASD-A2-0421-M	1	11802	11 802
3	Транспортно-заготівельні і складські витрати	1	108	108
4	Виконання монтажно-налагоджувальних робіт	2	120	240
5	Інші супутні витрати			1 980
	Всього			22 030

Всі деталі замовлялись через магазин АО "Системы реального времени - Украина" м. Дніпро та були добавлені в таблицю 3

$K_{об} = 19\,714$  грн. ціна одного серводвигун DELTA ELECTRONICS ЕСМА-С10604RS та одного сервоперетворювача DELTA ELECTRONICS ASD-A2-0421-M

$Z_{тс} = 108$  грн

Розраховано на сайті <https://novaposhta.ua/ru/delivery> з урахуванням відправки адреса-адреса по м. Дніпро і упакуванням товару .

- відстані доставки обладнання від місця придбання до місця експлуатації;
- кількості, маси і габаритів устаткування;
- виду транспортних засобів;
- транспортних тарифів;
- розцінок на вантажно-розвантажувальні роботи;
- витрат на складську обробку.

$m_{ЕСМА-С10604RS} = 1.6$  кг;

					ЕП.ПД.21.21.5.ТЕО	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$m_{ASD-A2-0421-M} = 1.5 \text{ кг};$$

габарити устаткування

$$V=a \times b \times h$$

Де а- довжина; b-ширина; h-висота

$$V_{ЕСМА-C10604RS} = 16,5 \times 7 \times 12 = 1\,386 \text{ см}^3 \quad (4.2)$$

$$V_{ASD-A2-0421-M} = 19 \times 5 \times 17 = 1\,615 \text{ см}^3 \quad (4.3)$$

Витрати на монтажні ( $Z_M$ ) роботи:

$$(Z_M) = \sum (Ч_i \times a_i \times t_i) \times K_d \times K_{CM} \times K_{пр} \quad (4.4)$$

де  $Ч_i = I$  – чисельність робітників, необхідних для виконання монтажу одного, ЕСМА-C10604RS ASD-A2-0421-M комутації їх з двигунами і налагодження системи;

$a_i = 96$  (грн/год) – годинна тарифна ставка робітника, який виконує монтаж і налагодження

$t_i = 8$  (год) - час, необхідний для виконання монтажних-налагоджувальних робіт;

$K_d = 1,15$  - коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{CM} = 1,22$  - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи;

$K_{пр} = 1,05$  - коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт.

$$(Z_M) = 1 \times 96 \times 8 \times 1,15 \times 1,22 \times 1,05 = 1\,131 \text{ грн.} \quad (4.5)$$

$Z_{пр} = 1980$  грн- на придбання кабелів і монтажних ящиків.

Таким чином капітальні витрати:

$$K_{пр} = 1 * 23900 + 108 + 1131 + 1980 = 27\,119 \text{ (грн)} \quad (4.6)$$

#### 4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат електротехнічного устаткування відносяться:

					ЕП.ПД.21.21.5.ТЕО	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- амортизаційні відрахування ( $C_a$ );
- заробітна плата обслуговуючого персоналу ( $C_3$ );
- єдиний соціальний внесок ( $C_c$ );
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж ( $C_m$ );
- вартість електроенергії, що буде споживана об'єктом проектування або витрат електроенергії ( $C_9$ );
- інші експлуатаційні витрати ( $C_{np}$ ).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_3 + C_c + C_m + C_9 + C_{np}, \text{ грн.} \quad (4.7)$$

#### 4.2.1. Розрахунок амортизаційних відрахувань

Розрахунок річного фонду заробітної плати здійснюється за категоріями персоналу (робітники, КСС), що обслуговує об'єкт проектування, відповідно за їх чисельністю, режимом роботи, вартовими тарифними ставками, посадовими окладами, що застосовуються на підприємстві формами і системами оплати праці та преміювання. Так як встановлюється нами обладнання не потребує постійного втручання кваліфікованих працівників, то розрахунок річного фонду заробітної плати здійснюватися не буде.

Таблиця 4.2

Розрахунок амортизаційних відрахувань

Групи	Мінімально допустимі терміни корисного використання, років
група 4 – машини і обладнання; – електронно-обчислювальні машини, інші машини для автоматичної обробки інформації, пов'язані з ними засоби зчитування або друку інформації, комп'ютерні програми, інформаційні системи і т. д.	5

[Shpargalka\\_grypu\\_oz.pdf \(golovbukh.ua\)](#)

					ЕП.ПД.21.21.5.ТЕО	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Податковим кодексом України дозволено використовувати прямолінійний (пропорційний) метод амортизації, при якому річна сума амортизації визначається діленням вартості, яка амортизується, на строк корисного використання об'єкта основних засобів.

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом усього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$H_a = \frac{\Phi_n - Л}{\Phi_n \times T_n} \times 100\% \quad (4.8)$$

де  $\Phi_n$  – первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;

$Л$  – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів.

$T_n$  – термін корисного використання (амортизаційний період).

Тоді річні амортизаційні відрахування АО за прямолінійним методом:

$$AO = \frac{\Phi_n \cdot H_a}{100} \text{ або } AO = \frac{\Phi_n - \Phi_n}{T_n}, \quad (4.9)$$

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається за видами основних фондів і нематеріальних активів за розділами зведення капітальних витрат для проектного варіанту і за даними підприємства про балансову вартість замінного устаткування для базового варіанту

					ЕП.ПД.21.21.5.ТЕО	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Таблиця 4.3

## Розрахунок амортизаційних відрахувань

№п/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Капітальні вкладення в одиницю, грн	Капітальні вкладення всього, грн	Термін, років	Річна сума амортизаційних відрахувань, грн
1	Серводвигун DELTA ELECTRONICS ECMA-C10604RS	1	7 912	7 912	5	1 583
2	Сервоперетворювач DELTA ELECTRONICS ASD-A2-0421-M	1	11 802	11 802	5	2 360
Всього						3943

					ЕП.ПД.21.21.5.ТЕО	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



Цей стенд є елементом навчального процесу тому заробітна платня персоналу які приймають участь у цьому процесі ніяк не залежить, від наявності або ж відсутності, а тому розрахунок річного фонду заробітної плати як і розрахунок єдиного соціального внеску тут не потрібен.

#### 4.2.4. Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного обладнання включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати за формулою:

$$Z_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n \left( R_i \times t_i \times m_i \times R_{\Sigma i} + \frac{S_i \times \Pi_i}{T_{\phi}} \right) \quad (4.10)$$

де  $n = 2$  – число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту

$R_i = 85$  – годинна ставка робітників, що виконують ремонт, грн;

$t_i = 1,2$  (год)– трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту год./ од

- малого - 1,2;

- середнього - 7,0;

- капітального - 15,0

$m_i = 2$  число ремонтів за рік

$R_{\Sigma} = 1,3$  сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання (Так як наше електротехнічне обладнання обслуговує асинхронні двигуни номінальною потужністю 0,6 кВт, то прийmemo  $R_{\Sigma}$  рівним 1,3);

$S_i$  - вартість однотипних замінних елементів, грн.;

$\Pi$  – кількість однотипних замінних елементів;

$T$  – середній термін служби деталей даного типу, год.;

$T_{\phi}$  – число годин роботи апаратури на рік, год.

					ЕП.ПД.21.21.5.ТЕО	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так як встановлене обладнання не має замінних елементів, а в разі виходу з ладу замінюється цілком, проведемо розрахунок для ревізійних робіт. Тоді вихідна формула набуде вигляду:

Капітальні витрати розраховуються:

$$Z_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n R_i \times t_i \times m_i \times R_{\Sigma i} \quad (4.11)$$

$$Z_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^2 (81 \times 1,2 \times 2 \times 1,3) = 388 \text{ грн} \quad (4.12)$$

Експлуатаційні витрати:

$$C = 3\,943 + 63\,466 = 67\,409 \text{ грн} \quad (4.13)$$

#### 4.2.5. Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року, визначається виходячи з його встановленої потужності, річного фонду робочого часу об'єкта проектування, втрат електроенергії та тарифу за формулою:

$$C_{\text{э}} = P_{\text{вст}} \times t_{\text{п}} \times k_{\text{втр}} \times \text{Ц}_{\text{п}} \quad (4.14)$$

где  $t_{\text{п}}, t_{\text{пп}}, t_{\text{н}}$  – кількість спожитої в пік, напівпік і вночі за рік електроенергії, кВт\* год;

$k_{\text{втр}}$  – коефіцієнт, що враховує електричні витрати;

$\text{Ц}_{\text{п}}, \text{Ц}_{\text{пп}}, \text{Ц}_{\text{н}}$  – тариф на електроенергію станом на 01.01.2021, грн / кВт\*год.

Тариф на електроенергію станом на травень 2021 року згідно даним сайту <https://index.minfin.com.ua/tariff/electric/> : 1,68 грн/кВт\*год

Тариф полупіковий на електроенергію станом на травень 2021 року згідно даним сайту <https://index.minfin.com.ua/tariff/electric/> : 1,68 грн/кВт\*год

Привод працює:

в напівпік: 6 годин,

У рік сервопривод працює:

в напівпік: 2190 години;

Отримуємо оплата за спожиту електроенергію.

$$C_{\text{э.н.м}} = 15 \times 2190 \times 1,68 \times 1,15 = 63\,466 \text{ грн} \quad (4.15)$$

					ЕП.ПД.21.21.5.ТЕО	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

#### 4.2.6. Визначення інших витрат

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та ін. Згідно з практикою, ці витрати визначаються у розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.

$$C_{\text{інш}} = C_3 \times 4\% = 67\,409 \times 4\% = 2\,696 \text{ (грн)} \quad (4.16)$$

#### Висновок

Капітальні витрати складають 22 030 грн, річні витрати на споживання електроенергії складають 63 466 грн, річні витрати на амортизаційне відрахування складають 3943 грн.

					ЕП.ПД.21.21.5.ТЕО	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

## 7.Список використаної літератури

1. Колб А.А. Энергосберегающая система группового питания электроприводов с общим преобразователем с двухсторонней проводимостью и емкостным накопителем энергии. // Вестник. Кременчугского политехнического университета, вып. 1, 2003, с. 135-143.
2. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с. (pdf)
- 3.Руководство по эксплуатации ASDA- /rukovodstvo\_asda-a2.pdf
4. Вейнгер А.М. и др. Проектирование электроприводов. / Под ред. А.М. Венгера. Свердловск, Уральское кн. изд-во, 1980. – 160 с.

					ЕП.ПД.21.21.7.СВЛ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

**Відгук**  
на кваліфікаційну роботу  
студента гр. 141-18ск-3  
Стовбуна Олександра Владиславовича  
на здобуття ступеня «бакалавр»

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня «бакалавр» «Сервопривод лінійного переміщення з передачею гвинт-гайка ковзання» виконана з урахуванням сучасних тенденцій розвитку сервоприводу.

Актуальність роботи обумовлена широким впровадженням систем високоточного позиціювання на базі сервоприводів різних типів в промисловості.

Кваліфікаційна робота базується на використанні реального стенду в лабораторії «Сервопривода та систем керування рухом». Під час підготовки роботи студент Стовбун О.В. мав можливість опрацювати технічні можливості та режими роботи сервоприводу типу ASDA DELTA.

Під час роботи над проектом студент Стовбун О.В. використовував знання з теоретичних курсів які викладаються за спеціальністю 141 Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка.

У роботі здійснено аналіз типів сервоприводів та систем керування. Проведений аналіз різних законів керування: за положенням, за швидкістю, за моментом. Представлені розрахунки механічної системи та розрахунок параметрів системи керування.

До недоліків роботи можливо віднести наступні:

- відсутні системні посилання на використані джерела;
- зауваження стосовно оформлення пояснювальної записки;
- присутні орфографічні та пунктуаційні помилки;
- не представленні графіки перехідних процесів роботи сервоприводу для різних законів керування;
- відсутні загальні висновки.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Робота є комплексною та практичною, з поставленими задачами студент Стовбун О.В. впорався самостійно, показав знання та вміння при вирішенні цих задач.

В цілому робота заслуговує оцінки - добре, 84 бали.

Студент Стовбун Олександр Владиславович заслуговує на надання йому кваліфікації "бакалавр з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки".

Керівник роботи,  
професор кафедри електропривода, к.т.н

С.С. Худолій

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62