

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

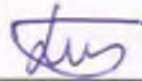
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



(підпис)

І. С. Білюк

« 15 » 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

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

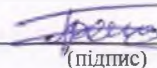
освітня програма Електротехніка та електротехнології
(назва освітньої програми)

на тему: Автоматизований електропривод зварювального обертача

Виконав: студент IV курсу, групи 4311

Грек Андрій Олександрович

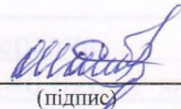
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник доц. каф. автоматики, к.е.н., доц.

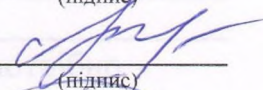
Майборода О. В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Нормоконтроль ст. викладач Савченко О. В.

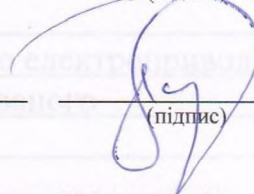
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н.,

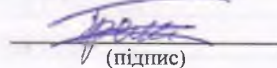
доц. Новогрецький С. М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2026 року

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра автоматики

Освітній ступінь бакалавр

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

(код і назва)

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва)

Освітня програма «Електротехніка та електротехнології»

(назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми,

к.т.н., доцент


(підпис)

О. Г. Васильєв

16

02

2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра студенту

Греку Андрію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизований електропривод зварювального обертача

керівник роботи Майборода О. В., к.е.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти

на 86-УУ від 22.04.2026

2. Строк подання студентом роботи

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики універсального обертача

M11040; привод обертання планшайби; момент інерції механізму $J_{\text{мех}}=0,026 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;
показники якості перехідного процесу: $\sigma \leq 5 \%$, $t_p \leq 2 \text{ с}$.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 4.1. Опис зварювального обертача

4.2. Функціональна схема та вибір елементів автоматизованого електропривода

4.3. Математичний опис та дослідження динаміки автоматизованого електропривода

4.4. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

5.1. Загальний вигляд універсального обертача M11040

5.2. Функціональна схема автоматизованого електропривода

5.3. Структурна схема автоматизованого електропривода

5.4. Дослідження динаміки автоматизованого електропривода

6. Консультанти розділів роботи

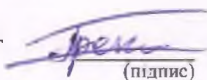
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Майборода О. В., доцент кафедри автоматики		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Обґрунтування актуальності проблеми, що розглядатиметься; визначення основної мети та завдань кваліфікаційної роботи. Вимоги до оформлення пояснювальної записки та графічної частини.		
2	Короткий огляд літератури за темою дослідження. Опис об'єкта керування.		
3	Побудова функціональної схеми автоматизованого електропривода. Розрахунок та вибір його елементів.		
4	Математичний опис автоматизованого електропривода. Налаштування контурів регулювання.		
5	Дослідження динаміки автоматизованого електропривода в MATLAB.		
6	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини. Підготування доповіді.		

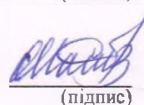
Студент


(підпис)

Грек А. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник
роботи


(підпис)

Майборода О. В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 57 с., 4 р., 23 рис., 6 табл., 1 дод., 12 джерел.

Ключові слова: автоматизований електропривод, зварювальний обертач, моделювання, перехідна характеристика, привод обертання.

Об'єкт дослідження – перехідні процеси в асинхронному електроприводі обертання планшайби зварювального обертача.

Мета роботи – синтез системи керування асинхронного електропривода обертання планшайби зварювального обертача.

Методи дослідження – моделювання перехідних процесів в асинхронному електроприводі обертання планшайби зварювального обертача з використанням сучасної теорії автоматичного керування та електропривода, імітаційне моделювання в MATLAB, обробка та аналіз отриманих результатів.

У першому розділі досліджено конструкції, основні технічні характеристики та принци дії зварювальних обертачів. У розділі 2 наведено функціональну схему автоматизованого електропривода та обґрунтовано вибір його елементів. Розділ 3 містить математичний опис автоматизованого електропривода та розрахунок параметрів його елементів. Досліджено динаміку електропривода за допомогою MATLAB. В розділі 4 розглянуті питання з охорони праці. Додаток містить слайди мультимедійної презентації.

ABSTRACT

Qualification work: 57 pages, 4 chapters, 23 figures., 6 tables, 1 appendix, 12 references.

Keywords: automated electric drive, modeling, rotation drive, transient response, welding rotator.

Object of study – transient processes in an asynchronous electric drive for faceplate rotation of a welding rotator.

Purpose of the work – synthesis of a control system for an asynchronous electric drive for faceplate rotation of a welding rotator.

Research methods – modeling of transient processes in an asynchronous electric drive for faceplate rotation of a welding rotator using the modern theory of automatic control and electric drive, simulation modeling in MATLAB, processing and analysis of the obtained results.

In the first chapter the designs, main technical characteristics, and operating principles of welding rotators are investigated.

In Chapter 2 a functional diagram of the automated electric drive is presented, and the choice of its elements is justified.

Chapter 3 contains a mathematical description of the automated electric drive and the calculation of the parameters of its elements. The dynamics of the electric drive are investigated using MATLAB.

In Chapter 4 occupational safety and health issues are addressed.

The appendix contains slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОПИС ЗВАРЮВАЛЬНОГО ОБЕРТАЧА	7
1.1 Огляд конструкцій зварювальних обертачів.....	7
1.2 Класифікація зварювальних обертачів	9
1.3 Опис зварювального обертача M11040	16
2 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ	
АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	19
2.1 Функціональна схема автоматизованого електропривода	19
2.2 Обґрунтування вибору елементів.....	21
3 МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ	
АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	28
3.1 Побудова структурної схеми	28
3.2 Розрахунок параметрів елементів структурної схеми.....	31
3.3 Побудова моделі та аналіз якості керування автоматизованого електропривода в MATLAB	37
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	44
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів.....	44
4.2 Техніка безпеки	52
ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	58
ДОДАТОК А. Мультимедійна презентація.....	59

ВСТУП

Актуальність теми. Устаткування для механізованого (напівавтомати) і автоматизованого (автомати) зварювання постійно вдосконалюється, модернізується з метою отримання швів високої якості, зниження енерго- і ресурсозатрат, полегшення умов праці операторів, ремонтного та обслуговуючого персоналу. Аналіз конструкцій обладнання, яке знаходиться в експлуатації, у виробництві і знову розробляються, показує, що його основними вузлами, поряд з джерелом зварювального струму, є електроприводи, які найбільш схильні до вдосконалення внаслідок особливостей його використання і елементної бази.

Мета і завдання роботи. Метою роботи є дослідження автоматизованого електропривода обертання планшайби зварювального обертача. Для досягнення зазначеної мети в кваліфікаційній роботі було визначено наступні завдання:

- 1) дослідити конструкції, основні технічні характеристики та принципи дії зварювальних обертачів;
- 2) скласти функціональну схему системи керування електропривода обертання планшайби та обґрунтувати вибір її елементів;
- 3) навести математичний опис об'єкта керування, елементів системи керування та виконати розрахунок їх параметрів;
- 4) дослідити динаміку системи керування.

Об'єктом дослідження є перехідні процеси в асинхронному електроприводі обертання планшайби зварювального обертача. Предмет роботи – параметри регулятора швидкості асинхронного електропривода обертання планшайби зварювального обертача, які впливають на якість керування.

1 ОПИС ЗВАРЮВАЛЬНОГО ОБЕРТАЧА

1.1 Огляд конструкцій зварювальних обертачів

Обладнання для встановлення й обертання зварних виробів застосовується при складанні, зварюванні, наплавленні, обробці, контролі та інших операціях зварювального виробництва.

Шви в зварних конструкціях можуть займати найрізноманітніше положення. Однак найбільш зручним для зварювання є нижнє положення шва, а для кутових швів – положення «у човник». У процесі зварювання необхідно неодноразово повертати виріб в просторі. Такі переміщення виробу в просторі викликали потребу в механізмах, що забезпечують швидку установку виробу у зручне для виконання зварювальних або інших операцій положення. Крім того, до таких механізмів можуть пред'являтися вимоги по забезпеченню обертання виробу зі зварювальною швидкістю. Такі механізми складають групу устаткування для установки і обертання зварних виробів. При цьому механізми, які забезпечують обертання виробу зі зварювальною швидкістю і можливість її регулювання, називають обертачами, а механізми, які мають тільки одну нерегульовану (маршову) швидкість обертання виробу – кантувачі.

Слід враховувати, що привод обертача, на відміну від кантувача, значно складніше.

Обладнання для встановлення й обертання зварних виробів може бути розцінено таким чином: одностоякові обертачі (кантувачі), двостоякові обертачі (кантувачі), ланцюгові кантувачі, важільно-домкратні кантувачі, роликові обертачі і кільцеві кантувачі.

Пристрої, що мають фізичну вісь обертання у вигляді шпинделя, затискних центрів або опорних цапф, називають центровими обертачами (кантувачами). У безцентрових кантувачів фізична вісь відсутня, вони мають лише геометричну вісь обертання. При цьому, як правило, положення такої геометричної осі обертання не фіксовано і в деяких конструкціях безцентрових кантувачів вісь обертання в

процесі кантування переміщується паралельно самій собі. Для зварювальних обертачів таке переміщення осі неприпустиме.

Найбільш прості конструкції кантувачів з фіксованою віссю обертання планшайби - вертикальна, горизонтальна або похила (як правило, на 45 градусів). Разом з тим, ряд конструкцій дозволяє виконувати нахил планшайби на певний кут, тобто обладнання має дві взаємно перпендикулярні осі обертання: для повного обертання планшайби на 360 градусів з встановленою (маршовою) або зварювальною швидкістю і для нахилу планшайби на кут від 90 до 135 градусів з встановленою швидкістю. У цьому випадку двовісні кантувачі називають позиціонерами, а двовісні обертачі - універсальними обертачами.

Зварювальні обертачі встановлюють оброблювану деталь у зручне для роботи положення. Обертання при автоматичному зварюванні кільцевих швів здійснюється зі зварювальною швидкістю, також обладнання може бути використано при наплавочних роботах. Крім цього, зварювальні обертачі застосовуються для повороту виробів з маршовою швидкістю і установки їх в положення, яке найбільш зручне для напівавтоматичного та ручного зварювання. Установка обертачів сприяє підвищенню ергономічності процесу виробництва, багато моделей забезпечені пультом дистанційного керування, а вантажопідйомність пристроїв легко досягає необхідного рівня.

Зварювальні обертачі можуть бути універсальними, роликовими і горизонтальними. Роликові обертачі призначені для обробки циліндричних виробів при зварюванні їх зовнішніх і внутрішніх швів. Конструкція зварювальних обертачів складається з різної кількості приводних і не приводних секцій. Пристрій обертачів забезпечує можливість застосування різноманітних способів зварювання швів.

Зварювальні обертачі горизонтального типу призначені для обробки зварюваного виробу під час його обертання навколо горизонтальної осі. Основні моделі горизонтальних обертачів включають в себе режим, контролюючий автоматичну зупинку механізму після закінчення зварювального циклу. Обертач призначений для обробки як кільцевих, так і поздовжніх швів оброблюваних виробів. Регульований кут нахилу осі обертання забезпечує всі умови для обробки деталей у

зручному просторовому положенні. Сучасні обертачі можуть працювати як в ручному, так і в автоматичному режимі. Для забезпечення безпеки при роботі зі зварювальним устаткуванням і для збільшення продуктивності пристроїв можуть бути використані різноманітні пульти керування, педалі і багато інших пристроїв контролю.

1.2 Класифікація зварювальних обертачів

1.2.1 Вертикальні обертачі призначені для обертання циліндричних виробів зі зварювальною швидкістю при автоматичному зварюванні. Загальний вигляд одностоякового обертача із вертикальною віссю обертання представлений на рисунку 1.1.

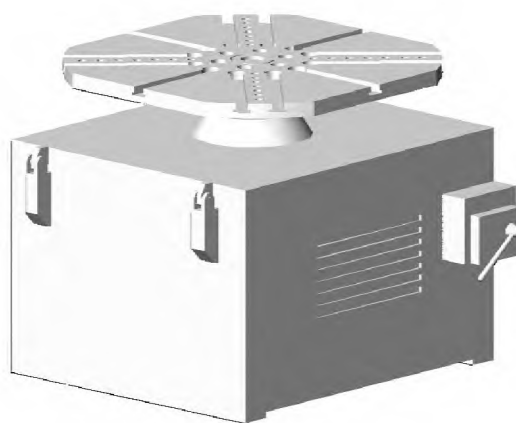


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд одностоякового обертача із вертикальною віссю обертання

Виріб під час зварювання закріплюється на планшайбі за допомогою фіксуючих пристроїв. Розташування і фіксація пристроїв на поверхні планшайби здійснюється за допомогою Т-подібних пазів, в яких кріпляться голівки болтів. Установка виробу на планшайбу і зняття його після зварювання виконується вручну.

Конструкція обертача з вертикальною віссю обертання планшайби представлена на рисунку 1.2. Він складається з корпусу 1, планшайби 2 та механізму

обертання, змонтованого в корпусі. Планшайба приводиться в обертання електродвигуном постійного струму 3 через циліндричну 4 і черв'ячну 5 передачі. Швидкість обертання планшайби плавно регулюється шляхом зміни числа обертів електродвигуна.

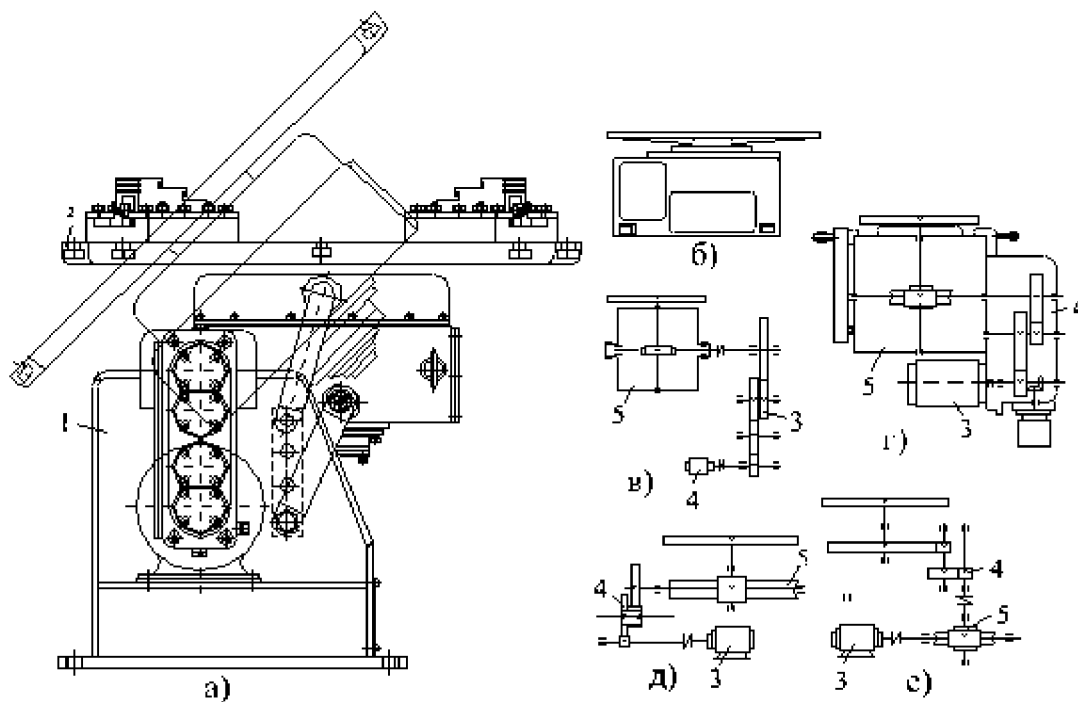


Рисунок 1.2 – Вертикальні обертачі:

а – загальний вигляд обертачів ВВ-0,25/0,5;

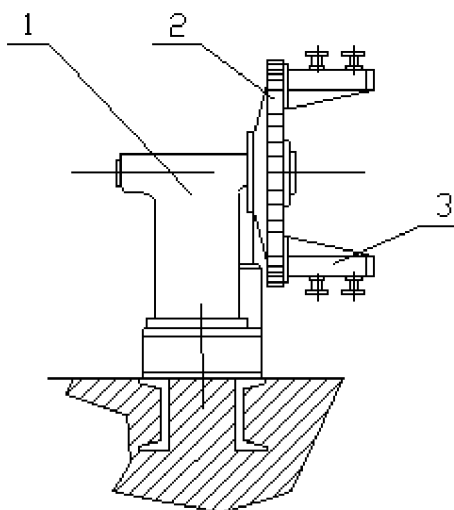
б – загальний вигляд обертачів ВВ-2/4;

в, г, д, е – кінематичні схеми обертачів ВВ-0,25, ВВ-0,5, ВВ-2 та ВВ-4 відповідно

Планшайба обертачів ВВ-0,25 і ВВ-0,5 може нахилитися на кут 45 градусів. У нахиленому положенні планшайба закріплюється важелями або болтами. У обертачів ВВ-2 і ВВ-4 планшайба нахилу не має.

1.2.2 Горизонтальні обертачі використовуються для порівняно невеликих по довжині і досить компактних зварних виробів зі швами, які можна встановити в потрібне положення обертанням тільки навколо однієї (горизонтальної) осі.

Конструкція одностоякового кантувача з горизонтальною віссю обертання представлена на рисунку 1.3.



1 – корпус обертача з механізмом привода; 2 – планшайба; 3 – кріпильні пристрої

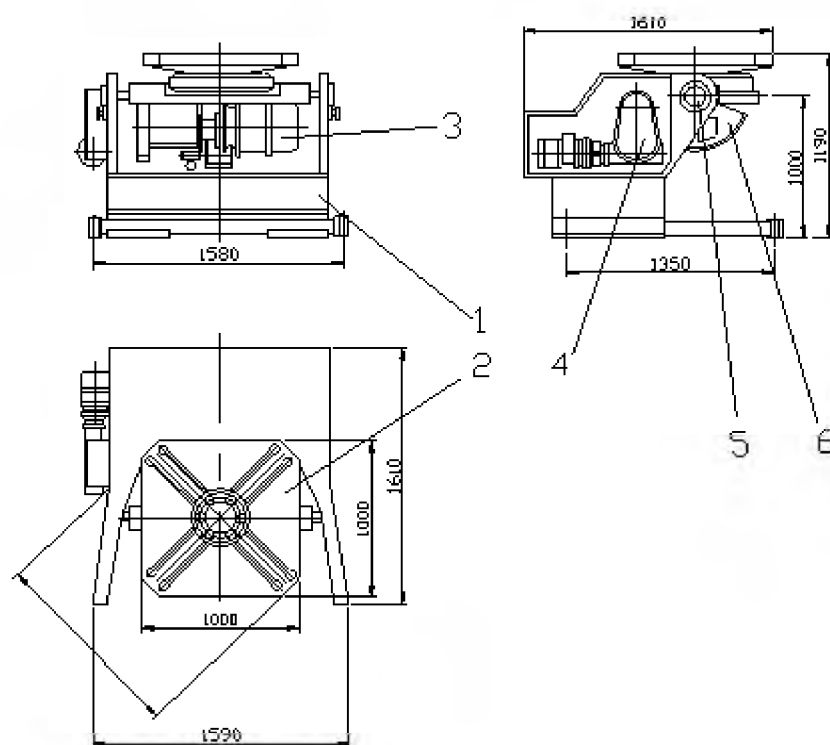
Рисунок 1.3 – Горизонтальний одностояковий обертач

Обертач складається з корпусу 1, в якому закріплений шпиндель. На консольному хвостовику шпинделя закріплена планшайба з пристосуваннями для кріплення зварюваного виробу. Шпиндель приводиться в обертання двигуном через односторонній черв'ячний редуктор і зубчасту пару, ведений вінець якої прикріплений до планшайби.

Важливими перевагами одностоякових кантувачів є їх простота і надійність, зокрема, простота конструкції приводного механізму. У таких кантувачах швидкість обертання планшайби не регулюється і вибирається в межах від 4 до 8 об/хв.

1.2.3 Універсальні обертачі

В універсальних обертачах планшайба кріпиться в опорній стійці на поворотних цапфах, що дають можливість плавно змінювати кут нахилу планшайби відносно горизонту. Конструкція універсального обертача представлена на рисунку 1.4.



- 1 – корпус (опорна стійка); 2 – планшайба; 3 – механізм привода планшайби;
 4 – механізм нахилу планшайби; 5 – обертова цапфа нахилу планшайби;
 6 – зубчастий сектор

Рисунок 1.4 – Універсальний обертач

Нахил планшайби здійснюється за допомогою окремого механізму, що рухає зубчастий сектор. Кут нахилу планшайби може плавно змінюватися від 0 до 120 градусів (рисунок 1.5).

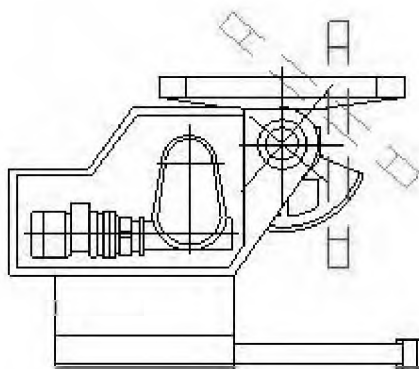


Рисунок 1.5 – Зміна кута нахилу планшайби

Останнім часом широкого поширення набули конструкції обертачів, скомпоновані з уніфікованих вузлів. Так, наприклад, на уніфікованому механізмі привода планшайби komponується гама устаткування, яке являє собою модельний ряд одно-стоякових обертачів (кантувачів).

На рисунку 1.6 зображено загальний вигляд привода обертання планшайби, що складається з електродвигуна, редуктора і опорних обертових цапф.

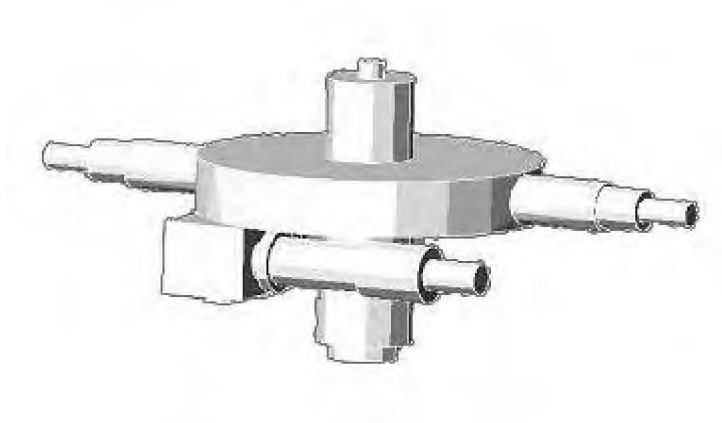


Рисунок 1.6 – Загальний вигляд привода обертання планшайби обертача

Привод змонтований на поворотних цапфах, які забезпечують нахил планшайби. При використанні привода на універсальному обертачі, необхідна установка додаткового механізму нахилу планшайби.

На рисунках 1.7-1.10 представлені приклади устаткування, які скомпоновані з уніфікованих вузлів. Обертач з фіксованою віссю обертання показаний на рисунку 1.7. Вісь обертача може бути нахилена на кут ± 45 градусів відносно горизонту і закріплена (рисунок 1.8).

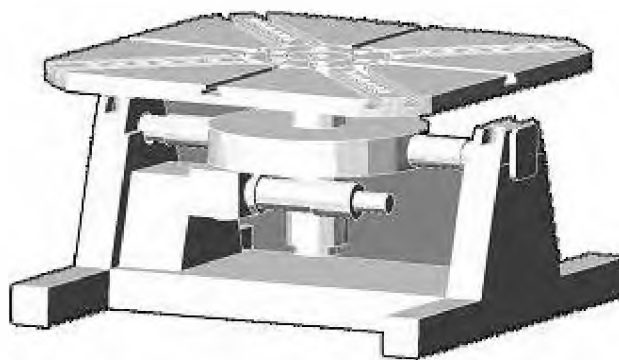


Рисунок 1.7 – Обертач з фіксованою вертикальною віссю обертання

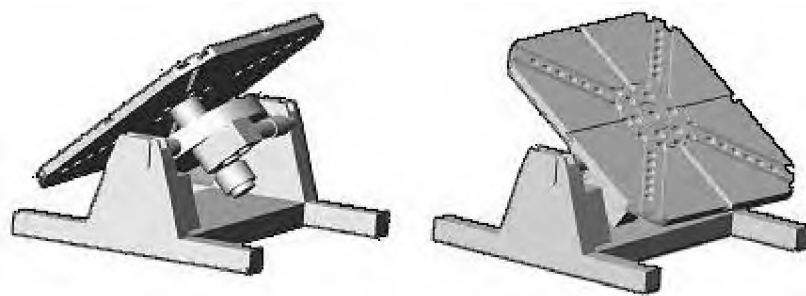


Рисунок 1.8 – Обертач з нахиленою зафіксованою віссю обертання планшайби

На рисунку 1.9 представлений загальний вигляд обертача з фіксованою горизонтальною віссю обертання планшайби, зібраного з уніфікованих вузлів. На вигляді ззаду добре видно базовий уніфікований механізм привода обертання планшайби.

На рисунку 1.10 представлений загальний вигляд універсального обертача, скомпонованого з уніфікованих вузлів.

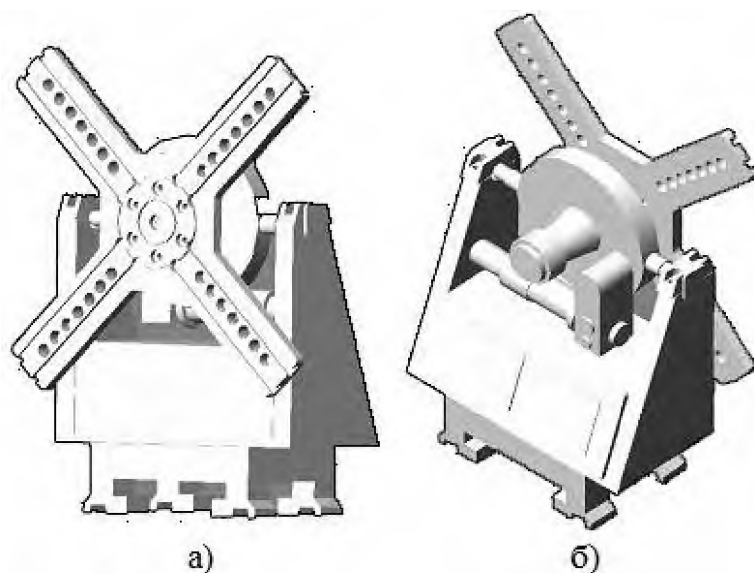


Рисунок 1.9 – Загальний вигляд горизонтального обертача:

а – вигляд спереду; б – вигляд ззаду

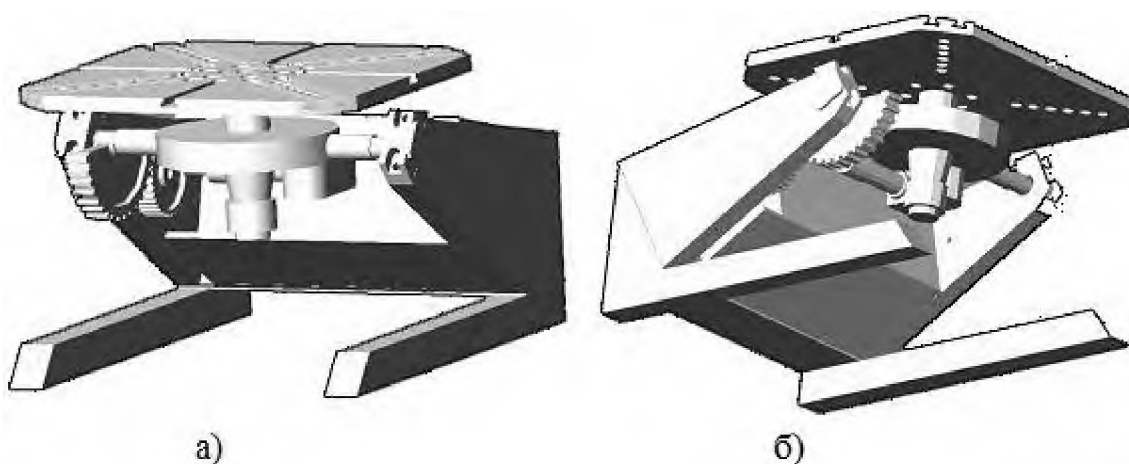


Рисунок 1.10 – Універсальний обертач:

а – загальний вигляд; б – вигляд знизу

Як видно з рисунку 1.10, на обертачі встановлений уніфікований привод обертання планшайби і, крім того, змонтований привод нахилу планшайби, який складається з черв'ячного редуктора, циліндричної шестерні і зубчастого сектора. Такий обертач дозволяє розміщувати виріб під час зварювання під будь-яким кутом до горизонту, а також обертати виріб зі зварювальною швидкістю.

1.3 Опис зварювального обертача M11040

Обертач зварювальний універсальний M11040 (ВУ-05) призначений для установки виробів у положення, зручне для зварювання й обертання зі зварювальною швидкістю при автоматичному дуговому електрозварюванні кругових швів під шаром флюсу, в середовищі захисних газів, а також при наплавочних роботах. Може бути використаний для повороту виробу на маршовій швидкості, а також нахилу і установки його в положення, зручне для напівавтоматичного та ручного електрозварювання. Обертач також застосовується для обертання, нахилу габаритних виробів при складально-монтажних роботах. Виріб кріпиться на планшайбі з Т-подібними пазами за допомогою кріпильних пристосувань. Електроапаратура керування розміщена в ніші станини обертача. Керування кнопкове з переносного пульта.

Обертач складається з наступних основних вузлів: станини, поворотного стола, приводів обертання й нахилу планшайби. На столі обертача розміщені привод обертання, шпindelний вузол із планшайбою.

Планшайба кріпиться в опорній стійці на поворотних цапфах, що дає можливість плавно змінювати кут нахилу планшайби відносно горизонту. Нахил планшайби здійснюється за допомогою окремого механізму, який приводить у рух зубчастий сектор. Кут нахилу планшайби може плавно змінюватись від 0 до 135 градусів.

Загальний вигляд універсального обертача M11040 представлено на рисунку 1.11. На обертачі встановлений уніфікований привод обертання планшайби і, крім того, змонтований привод нахилу планшайби, що складається з черв'ячного редуктора, циліндричної шестерні і зубчастого сектора. Такий обертач дозволяє розташовувати виріб під час зварювання під будь-яким кутом до горизонту, а також обертати виріб зі зварювальною швидкістю.



Рисунок 1.11 – Загальний вигляд універсального обертача М11040

Технічні характеристики універсального зварювального обертача приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики універсального зварювального обертача М11040

Найменування параметра	Значення
Вантажопідйомність, кг	400
Крутний момент, Н·м:	
– на вісі обертання планшайби	400
– відносно вісі нахилу планшайби	630
Діаметр зварюваного виробу, мм	1500
Частота обертання планшайби, хв ⁻¹ :	
– для забезпечення зварювальних швидкостей	0,63-3,15 (1:5)
– для забезпечення маршової швидкості	3,15
Кут повороту планшайби, град	±360°

Продовження таблиці 1.1

Найменування параметра	Значення
Кут нахилу планшайби, град	135°
Висота від рівня підлоги до осі обертання шпинделя при його горизонтальному положенні, мм	800
Струм мережі живлення: – рід – частота, Гц – напруга, В	змінний 50 380
Потужність електродвигуна, кВт: – привода обертання – привода нахилу	0,75 0,55
Габарити обертача (без шафи керування), мм	1500×800×810
Маса обертача (без шафи керування), кг	325
Маса загальна, кг	400

2 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

2.1 Функціональна схема автоматизованого електропривода

Для здійснення можливості регулювання моменту і швидкості в сучасних електроприводах використовуються наступні методи частотного керування, такі як векторний та скалярний.

Найбільшого поширення набули асинхронні електроприводи зі скалярним керуванням. Його використовують в приводах механізмів в яких необхідно утримувати на певному рівні або швидкість обертання валу електродвигуна (застосовується датчик швидкості), або якогось технологічного параметра. Завдяки скалярному керуванню забезпечується стала перевантажувальна здатність асинхронного двигуна, що не залежить від частоти напруги. Максимальне значення діапазону скалярного керування, при якому можливе здійснення регулювання значення швидкості обертання ротора електродвигуна, без втрати моменту опору не перевищує 1:10.

Зварювальний обертач має безступінчасте регулювання швидкості обертання. Керування електродвигунами здійснюється програмованим частотним приводом. Для забезпечення автоматичних процесів передбачена можливість сполучення зі зварювальної апаратурою.

Частотно-регульований привод представляє собою систему керування частотою обертання ротора асинхронного електродвигуна (АД), що складається з електродвигуна і перетворювача частоти (ПЧ). Функціональна схема такої системи при живленні від перетворювача частоти як джерела напруги наведена на рисунку 2.1. Тут канал негативного зворотного зв'язку за швидкістю містить у собі датчик швидкості (ДШ), вузол Σ_5 підсумовування напруг керування швидкістю АД $u_{зш}$ й зворотного негативного зв'язку за швидкістю $u_{дш}$, регулятор швидкості (РШ), блок обмеження (БО) його вихідної напруги $u_{рш}$, а також вузол Σ_4 підсумовування напруги $u_{рш}$ і результуючої напруги з виходу суматора Σ_1 .

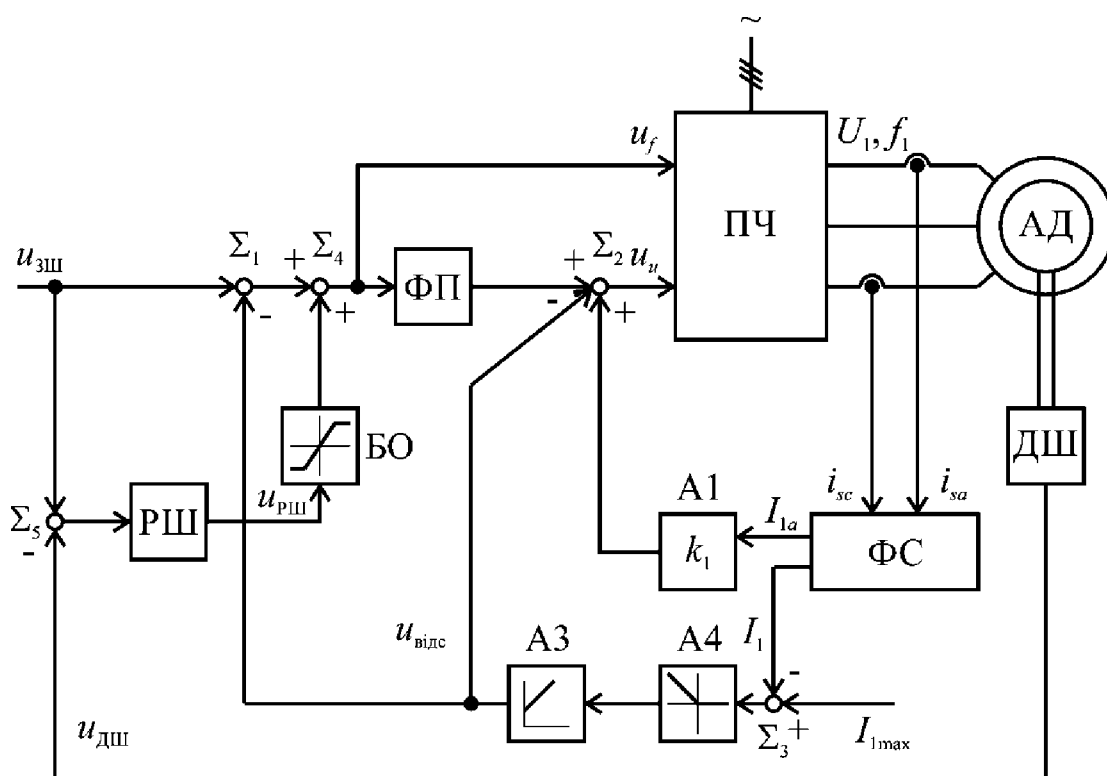


Рисунок 2.1 – Функціональна схема автоматизованого електропривода обертання планшайби

У міру збільшення навантаження на валу АД за рахунок зменшення швидкості й, отже, сигналу $u_{рш}$ збільшується сигнал неузгодженості $\delta = u_{зш} - u_{дш} \equiv \omega_{00} - \omega \equiv s_a$, пропорційний абсолютному ковзанню двигуна. Тут ω_{00} - задана швидкість ідеального холостого ходу АД, що відповідає вхідному сигналу керування $u_{зш}$; ω - реальна швидкість АД при заданому навантаженні на його валу. При $\delta \neq 0$ сигнал $u_{рш}$ на виході регулятора швидкості, підсумовуючись із сигналом $u_{зш}$ (при $I_1 < I_{1max}$), за рахунок інтегральної передавальної функції регулятора РШ забезпечує таке збільшення сигналу керування u_f перетворювачем частоти, при якому частота вихідної напруги стає рівною $f_{10}(1+s_a)$. Одночасно із зміною частоти за рахунок функціонального перетворювача струму (ФС) змінюється у порівнянні з початковою напругою U_{10} і вихідна напруга перетворювача U_1 . При цьому швидкість двигуна відновлюється до заданого значення ω_{00} , тобто забезпечується абсолютна жорсткість механічної характеристики АД.

Для захисту перетворювача частоти й двигуна від перевантажень по струму використовується режим струмової відсічки за допомогою суматора Σ_3 і пристрою

А4. При $I_1 > I_{1\max}$ на вхід регулятора струму відсічення АЗ надходить сигнал перевищення струму статора вище допустимого. Вихідний сигнал АЗ $u_{\text{відс}}$ може впливати як на зменшення вихідної напруги ПЧ (вузол Σ_2), так і одночасно на зменшення частоти живлення АД (вузол Σ_1).

При впливі тільки на вихідну напругу перетворювача, за умови, що регулятор АЗ має інтегральний канал регулювання, за рахунок негативного зворотного зв'язку за струмом перетворювач ПЧ із джерела напруги переходить у режим джерела струму. Тоді при сталому струмі статора АД за рахунок більшого коефіцієнта зворотного зв'язку регулятора АЗ (для ПІ-регулятора - нескінченно великого), ніж пристрою А1, при зниженні швидкості буде зменшуватися потік і момент двигуна, викликаючи перекидання механічної характеристики АД. Подібний режим роботи відсічки використовується лише разом з одночасним впливом на вихідну частоту перетворювача.

При перевищенні максимально припустимого струму статора АД ($I_1 > I_{1\max}$, відповідно, $M > M_{\max}$), регулятор швидкості повинен бути виключений з роботи, наприклад, шляхом обмеження його вихідного сигналу $u_{\text{РШ}}$ на рівні $u_{\text{РШ}\max}$. При цьому вступають у роботу негативні зворотні зв'язки за струмом статора з регулятором АЗ, забезпечуючи за рахунок одночасного зменшення частоти й напруги статора АД до їхніх мінімальних значень $f_{1\min}$ і $u_{1\min}$ обмеження моменту АД при $\omega=0$ на рівні $M_{\max}$. Мінімальна синхронна швидкість двигуна $\omega_{0\min}$ буде відповідати значенням $f_{1\min}$ і $u_{1\min}$. Стійкість і динамічні показники якості регулювання швидкості АД визначаються вибором параметрів пропорційної і інтегральної складової передавальної функції регуляторів РШ і АЗ.

2.2 Обґрунтування вибору елементів

2.2.1 Обертання планшайби здійснюється через черв'ячно-циліндричний мотор-редуктор Lenze GSS07-3M з асинхронним двигуном MDEIG080-32. Черв'ячно-циліндричні редуктори є малошумними компактними приводними елементами. У комбінації з трифазними асинхронними загальнопромисловими електродвигунами,

черв'ячно-циліндричні редуктори утворюють компактний приводний елемент. Вони доступні в двох- і триступеновому виконанні з обертовим вихідним моментом до 1250 Н·м і передавальним відношенням до $i_{\text{ред}}=1847$.

Всі мотори забезпечені датчиками температури, які використовуються для моніторингу температури обмоток і відповідають температурному класу F. Електродвигуни мають клас захисту IP54 (опціонально IP55). Як датчик зворотного зв'язку може використовуватися інкрементальний енкодер.

Загальний вигляд та технічні характеристики мотор-редуктора приведені на рисунку 2.2 та в таблиці 2.1.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд черв'ячно-циліндричного мотор-редуктора Lenze GSS07-3M

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики мотор-редуктора GSS07-3M/MDEIG080-32

Параметр	Значення
Номінальна потужність P_H , Вт	750
Номінальна частота обертання n_H , об/хв	1410
Номінальна напруга U_H , В	380
Частота мережі f_{1H} , Гц	50
Кількість пар полюсів p_{Π}	2
Номінальний струм I_H , А	1,9

Продовження табл. 2.1

Параметр	Значення
Кратність $I_{\text{пуск}}/I_{\text{H}}$	4,6
Номинальний момент M_{H} , Н·м	5,1
Кратність $M_{\text{пуск}}/M_{\text{H}}$	2,16
Кратність $M_{\text{max}}/M_{\text{H}} (\lambda)$	2,37
$\cos\varphi$	0,8
Момент інерції $J_{\text{дв}}$, кг·м ²	0,0026
Вихідна частота обертання n_2 , об/хв	6,2
Передавальне число $i_{\text{ред}}$	227,78
Крутний момент M_2 , Н·м	855
Момент інерції $J_{\text{ред}}$, кг·м ²	0,0036

2.2.2 Регульований асинхронний електропривод дозволяє з високою надійністю і ефективністю вирішувати різні завдання автоматизації виробництва й економії електроенергії. Для електропривода обертання планшайби використано перетворювач 8200 Motec з діапазоном потужностей 0,55-2,2 кВт, зовнішній вигляд якого приведено на рисунку 2.3. Перетворювачі цієї серії монтуються безпосередньо на клемник двигуна або поблизу на корпусі машини, що є перевагою при виборі місця розташування для монтажу перетворювачів. Змінні функціональні модулі розширення забезпечують просту інтеграцію 8200 Motec в завдання керування і автоматизації.

Перетворювачі серії 8200 Motec володіють багатьма можливостями перетворювачів серії 8200 Vector: керування, діагностика, функціональні можливості і поведінка перетворювачів ідентичні. Для керування можна використовувати на вибір або панель керування (пульт) і налаштування ПЧ, або ПК з використанням програмного забезпечення GDC easy.

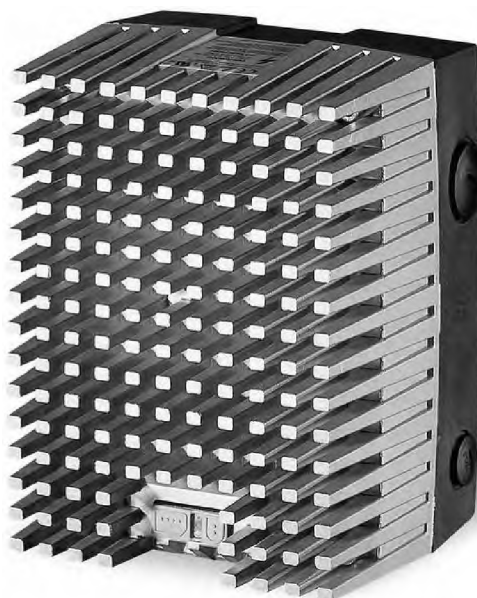


Рисунок 2.3 - Зовнішній вигляд перетворювача 8200 Motec

Технічні характеристики перетворювача 8200 Motec E82MV751-4В приведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики перетворювача 8200 Motec E82MV751-4В

Параметр	Значення
Потужність, Вт	750
Напруга мережі, В	380
Частота мережі, Гц	50
Частота комутації, кГц	2, 4, 8, 16
Вид захисту	IP65
Температура навколишнього середовища, град	-20...+ 60 °С
Режими керування	Векторне керування, U/F-керування (лінійне, квадратичне), керування моментом

Продовження таблиці 2.2

Параметр	Значення
Стандартні технічні характеристики	РТС-вхід, ПІД-регулятор, вбудований гальмівний резистор, автоналашування, програмований релейний вихід, S-ramp, активізація нулем або одиницею, заборонені частоти, фіксована швидкість, чотири набори параметрів з можливістю перемикання в режимі онлайн
Приводні характеристики	Діапазон регулювання числа обертів 1:50 з M_n (50 Гц), точність ходу/обертання $\pm 0,1$ Гц
Функціональні модулі шин зв'язку з периферією	PROFIBUS-DP, INTERBUS, CAN (системна шина), CAN-I/O (системна шина; два програмовані входи), AS-інтерфейс, LECOM-B
Опції	Потенціометр, об'єднаний з вимикачем, програмний пакет налаштування параметрів «GDC easy», пульт ручного управління з модулем керування або інтерфейсом RS-232, керуючий модуль зовнішнього гальма (випрямляч гальма), зовнішній гальмівний резистор, силовий роз'єм мережі

2.2.3 Датчик положення обертового об'єкта або по-іншому енкодер – це електромеханічний пристрій, за допомогою якого можна визначити положення осі, що обертається (вала). У цьому пристрої механічний рух перетворюється в електричні сигнали, що визначають положення об'єкта, дають інформацію про кут повороту вала, його стан і напрямок обертання. За допомогою енкодера також можна виміряти довжину і відстань або установити переміщення інструменту. Енкодери мають широку сферу застосування.

Виділяють такі типи енкодерів: інкрементальні (інкрементні) і абсолютні.

Інкрементальний енкодер – це пристрій, який визначає кут повороту обертового об'єкта, видаючи імпульсний цифровий код. Використовується для визначення швидкості обертання валу (осі), коли немає потреби зберігати абсолютне кутове положення при вимкненні живлення. Тобто, якщо вал нерухомий, передача імпульсів припиняється. Іншими словами, якщо увімкнути енкодер цього типу, то відлік повороту кута почнеться з нуля, а не з кута на який був виставлений до моменту вимкнення. Осі об'єкта і енкодера з'єднуються між собою за допомогою спеціальної гнучкої перехідної муфти або жорсткої втулки, або енкодер може міститися власне на самому валі. Основною перевагою інкрементальних енкодерів є їх простота, надійність і відносно низька вартість.

Абсолютний енкодер видає цифровий код, різний для кожного положення об'єкта, дозволяє визначати кут повороту осі навіть в разі зникнення і відновлення живлення і не вимагає повернення об'єкта в початкове положення, що є безперечною перевагою цього типу енкодерів. Так як кут повороту завжди відомий, то лічильник імпульсів в цьому випадку не потрібний. Сигнал абсолютного енкодера не піддається перешкодам і вібрації і тим самим для нього не потрібна точна установка валу. Абсолютний енкодер використовується у високоточних системах: робототехніка, верстати з числовим програмним керуванням та ін.

Всі двигуни серії MD опціонально можуть бути оснащені резольвером, інкрементальним або абсолютним енкодерами (на вибір). В якості датчика зворотного зв'язку в автоматизованому електроприводі обертання планшайби скористаємося інкрементальним енкодером IG1024-5V-T. Характеристики та схема підключення обраного енкодера наведено в таблиці 2.3 та рисунку 2.4 відповідно.

Таблиця 2.3 – Характеристики інкрементального енкодера IG1024-5V-T

Параметр	Значення
Розподільна здатність, пульс./об	1024
Тип вихідного сигналу	TTL
Точність	-2...2'
Рівень вхідної напруги, В:	
– мінімальний	4,75
– максимальний	5,25
Струм живлення, А	0,15
Максимальна частота, кГц	300

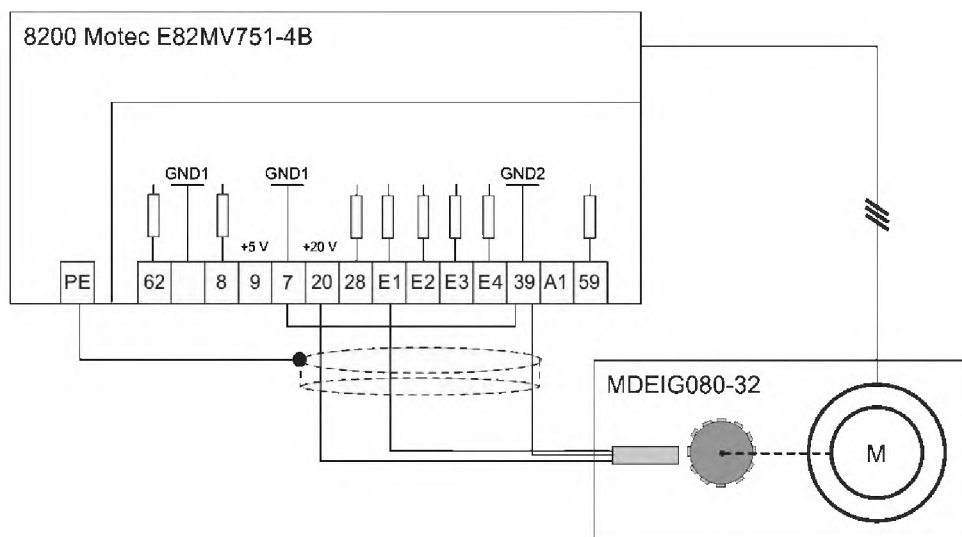


Рисунок 2.4 – Схема підключення енкодера IG1024-5V-T

3 МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Побудова структурної схеми

3.1.1 Опис асинхронного двигуна. Оскільки при стабілізації швидкості обертання планшайби система працює в малих відхиленнях щодо робочої точки стабілізації, можливе використання лінійної моделі асинхронного двигуна (рисунок 3.1).

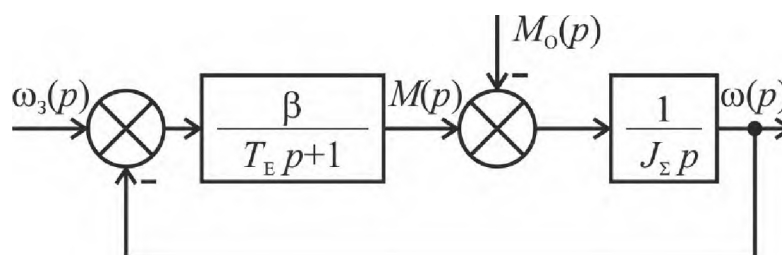


Рисунок 3.1 – Структурна схема лінеаризованої моделі асинхронного двигуна

На рисунку 3.1 прийняті наступні позначення: $\omega_z(p)$, $\omega(p)$ - задана та дійсна кутові швидкості обертання валу асинхронного двигуна, рад/с; β - модуль статичної жорсткості (жорсткість лінійної ділянки механічної характеристики асинхронного двигуна), Н·м·с; T_E - електромагнітна стала часу, с; $M(p)$, $M_0(p)$ - механічний момент двигуна і момент опору відповідно, Н·м; J_Σ - сумарний момент інерції, який приведено до валу двигуна, кг·м².

Передавальна функція лінеаризованої моделі асинхронного двигуна $W_{\text{дв}}(p)$ буде мати вигляд

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{\frac{\beta}{J_\Sigma p(T_E p + 1)}}{1 + \frac{\beta}{J_\Sigma p(T_E p + 1)}} = \frac{\beta}{J_\Sigma T_E p^2 + J_\Sigma p + \beta} = \frac{1}{T_M T_E p^2 + T_M p + 1}, \quad (3.1)$$

де T_M – електромеханічна стала часу, с.

3.1.2 Опис перетворювача частоти. Як відомо, перетворювач частоти являє собою нелінійний дискретний динамічний об'єкт з обмеженою керованістю. Однак

можна говорити, що специфіка перетворювача, як нелінійного об'єкта суттєво не позначається на роботі системи. Частота зрізу контуру регулювання в якому він знаходиться, значно нижче частот, суттєвих для динаміки самого перетворювача, при цьому час перехідних процесів у системі помітно перевищує період дискретизації системи. Найчастіше, перетворювач частоти при розрахунках систем керування електроприводів представляють у вигляді аперіодичної ланки з передавальною функцією виду

$$W_{\text{ПЧ}}(p) = \frac{k_{\text{ПЧ}}}{T_{\text{ПЧ}}p + 1}, \quad (3.2)$$

де $k_{\text{ПЧ}}$ – коефіцієнт передачі перетворювача частоти, 1/В·с;

$T_{\text{ПЧ}}$ – стала часу перетворювача частоти, $T_{\text{ПЧ}}=0,01$ с.

3.1.3 На базі математичного опису елементів функціональної схеми системи керування електропривода обертання планшайби (п. 2.1, 3.1) складено структурну схему системи (рисунок 3.2). Система являє собою одноконтурну систему керування, з одним зовнішнім контуром - контуром швидкості. На рисунку прийняті наступні позначення: $U_{\text{ЗШ}}(p)$ - напруга на виході задатчика швидкості, В; $W_{\text{РШ}}(p)$ - передавальна функція регулятора швидкості; $U_{\text{РШ}}(p)$ - напруга на виході регулятора швидкості, В; $U_{\text{ДШ}}(p)$ - напруга на виході датчика швидкості, В; $k_{\text{ДШ}}$ - коефіцієнт передачі датчика швидкості, В·с.

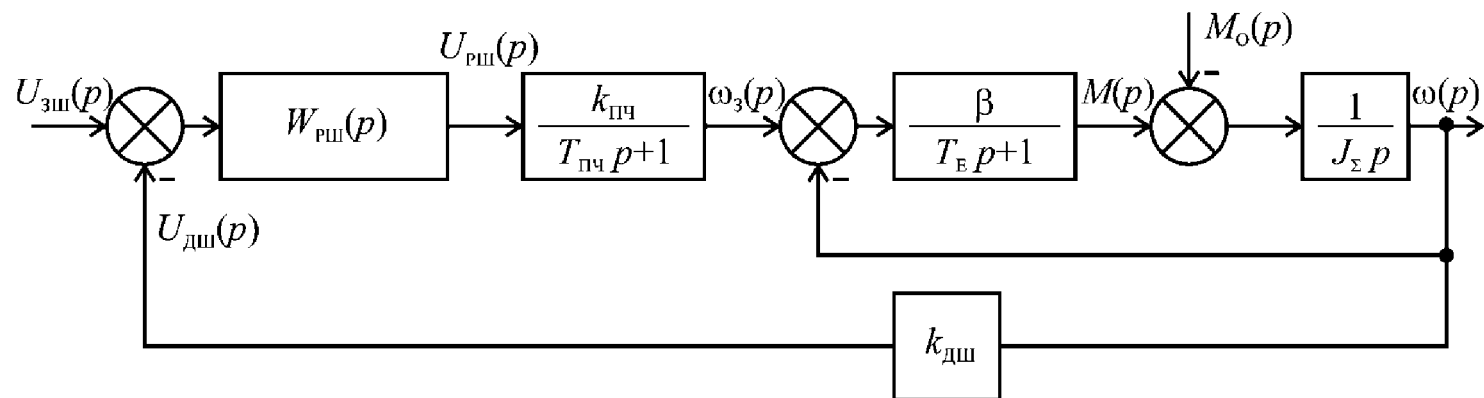


Рисунок 3.2 – Структурна схема системи керування електропривода обертання планшайби

3.2 Розрахунок параметрів елементів структурної схеми

3.2.1 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна

Модуль статичної жорсткості β , Н·м·с,

$$\beta = \frac{M_H}{\omega_0 - \omega_H}, \quad (3.3)$$

де M_H – номінальний момент асинхронного двигуна, $M_H=5,1$ Н·м;

ω_0 – кутова швидкість холостого ходу асинхронного двигуна, рад/с;

ω_H – номінальна кутова швидкість асинхронного двигуна, рад/с.

Номінальна кутова швидкість ω_H , рад/с,

$$\omega_H = \frac{2\pi n_H}{60},$$

$$\omega_H = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1410}{60} = 147,65 \text{ рад/с.}$$

Швидкість холостого ходу ω_0 , рад/с,

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_{1H}}{P_{\Pi}},$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157 \text{ рад/с.}$$

Отже знаходимо за формулою (3.3) модуль статичної жорсткості β

$$\beta = \frac{5,1}{157 - 147,65} = 0,54 \text{ Н·м·с.}$$

Електромагнітна стала часу T_E , с,

$$T_E = \frac{1}{\omega_{0\text{ел}} s_K}, \quad (3.4)$$

де $\omega_{0\text{ел}}$ – кутова швидкість електромагнітного поля АД при його номінальній частоті напруги живлення $f_{1H}=50$ Гц, $\omega_{0\text{ел}}=314$ рад/с;

s_K – критичне ковзання.

Критичне ковзання s_K

$$s_K = s_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (3.5)$$

де s_H – номінальне ковзання двигуна.

Номінальне ковзання двигуна s_H розраховуємо за формулою

$$s_H = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0},$$

$$s_H = \frac{157 - 147,65}{157} = 0,06.$$

За формулою (3.5) знаходимо s_K

$$s_K = 0,06 \cdot (2,37 + \sqrt{2,37^2 - 1}) = 0,27.$$

Далі знаходимо за формулою (3.4) електромагнітну сталу часу T_E

$$T_E = \frac{1}{314 \cdot 0,27} = 0,012 \text{ с.}$$

Електромеханічна стала часу T_M , с,

$$T_M = \frac{J_\Sigma}{\beta}, \quad (3.6)$$

де J_Σ – сумарний момент інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Сумарний момент інерції J_Σ

$$J_\Sigma = J_{\text{дв}} + J_{\text{ред}} + J_{\text{мех}},$$

де $J_{\text{мех}}$ – момент інерції механізму, $J_{\text{мех}} = 0,026 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

$$J_\Sigma = 0,0026 + 0,0036 + 0,026 = 0,032 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

За формулою (3.6) знаходимо T_M

$$T_M = \frac{0,032}{0,54} = 0,06 \text{ с.}$$

На основі результатів розрахунків параметрів асинхронного двигуна, передавальна функція двигуна (3.1) буде мати вигляд

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{1}{0,0007p^2 + 0,06p + 1}.$$

3.2.2 Розрахунок параметрів перетворювача частоти

Коефіцієнт передачі перетворювача частоти $k_{\text{ПЧ}}$, $1/\text{В} \cdot \text{с}$,

$$k_{\text{ПЧ}} = \frac{2\pi f_{\text{IH}}}{p_{\text{П}} U_{\text{РШ}}},$$

де $U_{\text{РШ}}$ – напруга на виході регулятора швидкості, $U_{\text{РШ}} = 10 \text{ В}$.

$$k_{\text{ПЧ}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2 \cdot 10} = 15,71 \text{ 1/В}\cdot\text{с}.$$

Звідси передавальна функція перетворювача частоти (3.2) буде мати вигляд

$$W_{\text{ПЧ}}(p) = \frac{15,71}{0,01p + 1}.$$

3.2.3 Розрахунок параметрів датчика швидкості

Коефіцієнт передачі датчика швидкості $k_{\text{ДШ}}$, В·с,

$$k_{\text{ДШ}} = \frac{U_{\text{ДШ}}}{\omega_{\text{Н}}},$$

Прийmemo для подальших розрахунків $U_{\text{ДШ}} = U_{\text{ЗШ}} = 10 \text{ В}$, тоді

$$k_{\text{ДШ}} = \frac{10}{147,65} = 0,068 \text{ В}\cdot\text{с}.$$

3.2.4 Синтез регулятора швидкості

При оптимізації контурів регулювання систем керування електроприводів широке поширення набули два методи стандартного налаштування: оптимум по модулю і симетричний оптимум. В процесі синтезу регулятора надаються певні динамічні властивості, тобто здійснюється вибір його параметрів.

Результуюча передатна функція асинхронного двигуна (3.1) при $T_M \geq 4T_E$ має вигляд

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{1}{(T_{01}p + 1)(T_{02}p + 1)},$$

де

$$\frac{1}{T_{01}} = \frac{1}{2T_E} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4T_E}{T_M}}\right), \quad (3.7)$$

$$\frac{1}{T_{02}} = \frac{1}{2T_E} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4T_E}{T_M}}\right). \quad (3.8)$$

Якщо віднести сталі T_{02} і $T_{\text{ПЧ}}$ до малих некомпенсованих сталих і за оцінку їхнього впливу прийняти, $T_\mu = T_{02} + T_{\text{ПЧ}}$, то при налаштуванні електропривода на модульний оптимум стала часу інтегрування й коефіцієнт передачі пропорційної складової регулятора швидкості

$$T_{\text{РШ}} = k_{\text{ДШ}} k_{\text{ПЧ}} \alpha_\mu T_\mu, \quad (3.9)$$

$$k_{\text{РШ}} = \frac{T_{01}}{T_{\text{РШ}}}. \quad (3.10)$$

Щоб звести до мінімуму вплив електромагнітних сталих часу ланцюгів статора й ротора асинхронного двигуна, які не враховано при визначенні T_μ , приймемо $\alpha_\mu = 4,5$.

Згідно (3.7) та (3.8) знайдемо T_{01} та T_{02}

$$T_{01} = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot 0,012} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 0,012}{0,06}}\right)} = 0,016,$$

$$T_{02} = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot 0,012} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 0,012}{0,06}}\right)} = 0,043.$$

Мала некомпенсована стала часу T_μ , с,

$$T_\mu = T_{02} + T_{ПЧ},$$

$$T_\mu = 0,043 + 0,01 = 0,053 \text{ с.}$$

Тоді за формулою (3.9) знайдемо сталу часу інтегрування регулятора швидкості $T_{РШ}$, с,

$$T_{РШ} = 0,068 \cdot 0,01 \cdot 4,5 \cdot 0,053 = 0,256 \text{ с.}$$

Коефіцієнт передачі пропорційної складової регулятора швидкості $k_{РШ}$ за формулою (3.10)

$$k_{РШ} = \frac{0,016}{0,256} = 0,063.$$

Передавальна функція регулятора швидкості буде мати вигляд

$$W_{РШ}(p) = k_{П} + \frac{k_I}{p}, \quad (3.11)$$

де $k_{П} = k_{РШ}$, $k_I = 1/T_{РШ}$.

Передавальна функція (3.11) є передавальною функцією пропорційно-інтегрального (ПІ-регулятора) з відповідними коефіцієнтами передачі пропорційної $k_{П}$, інтегральної k_I складових регулятора. Регулятор тиску реалізуємо за допомогою програмного універсального ПІД-регулятора, вбудованого в перетворювач частоти. Перевіркою результатів синтезу регулятора буде моделювання системи в пакеті MATLAB.

3.3 Побудова моделі та аналіз якості керування автоматизованого електропривода в MATLAB

3.3.1 Побудова моделі системи керування в MATLAB

Для аналізу динамічних характеристик системи керування електропривода насосного агрегату скористаємося моделюванням системи в програмі Simulink. Для запуску програми Simulink необхідно попередньо запустити пакет MATLAB. Після відкриття основного вікна програми MATLAB можна запустити саму програму. Для створення моделі в середовищі Simulink потрібно послідовно виконати ряд дій:

- а) створити новий файл моделі за допомогою команди File/New/Model;
- б) розташувати блоки у вікні моделі. Далі потрібно, змінити параметри блоків, які встановлені за замовчуванням;
- в) після установки на схемі всіх блоків потрібно виконати з'єднання елементів схеми;
- г) після складання розрахункової схеми необхідно зберегти її у вигляді файлу на диску, вибравши пункт меню File/Save as...;
- д) перед виконанням розрахунків необхідно попередньо задати параметри розрахунку. Завдання параметрів розрахунку виконується в панелі управління меню Simulation/Configuration Parameters. Запуск розрахунку виконується за допомогою вибору пункту меню Simulation/Start.

У відповідності зі структурною схемою системи (див. рисунок 3.2) складена модель для середовища Simulink. Модель представлена на рисунку 3.3.

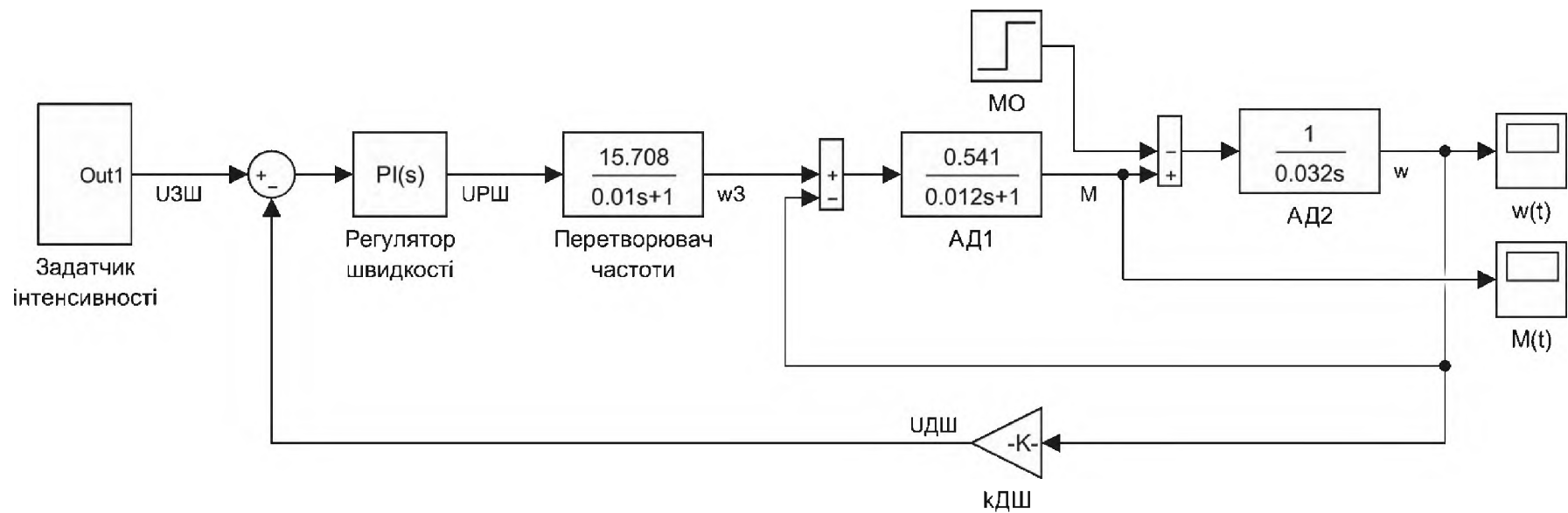


Рисунок 3.3 – Модель системи керування електропривода обертання планшайби в Simulink

Коефіцієнти, які необхідні для моделювання системи, розраховані в п. 3.2.1-3.2.3 та зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри елементів моделі системи керування

Коефіцієнт	$k_{ПЧ}$, 1/В·с	$T_{ПЧ}$, с	β , Н·м·с	T_E , с	J_{Σ} , кг·м ²	$k_{ДШ}$, В/м
Значення	15,71	0,01	0,54	0,012	0,032	0,068

Задатчик інтенсивності в розрахунковій схемі призначений для формування сигналу завдання швидкості УЗШ, що лінійно змінюється в часі з певним темпом.

Структурна схема задатчика інтенсивності представлена на рисунку 3.4. Як видно з рисунку, підсистема містить Step block (генератор ступінчастого сигналу), нелінійний елемент та інтегратор. Приймаємо величину обмеження нелінійного елемента 10 В, а сталу часу інтегратора $T_{3I}=0,25$ с.

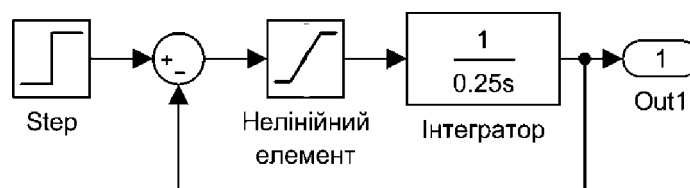


Рисунок 3.4 – Підсистема «Задатчик інтенсивності»

На рисунку 3.3 регулятор тиску представлений стандартним блоком PID(s) з бібліотеки Simulink, який дозволяє реалізувати регулятор (PID, PI, PD, P або I) в моделі з безперервним часом. Вікно налаштування параметрів регулятора представлено на рисунку 3.5.

Коефіцієнти Proportional (P) та Integral (I) у вікні налаштування параметрів регулятора відповідають коефіцієнтам передачі пропорційної k_P та інтегральної k_I складових регулятора, які було розраховано в п. 3.2.4.

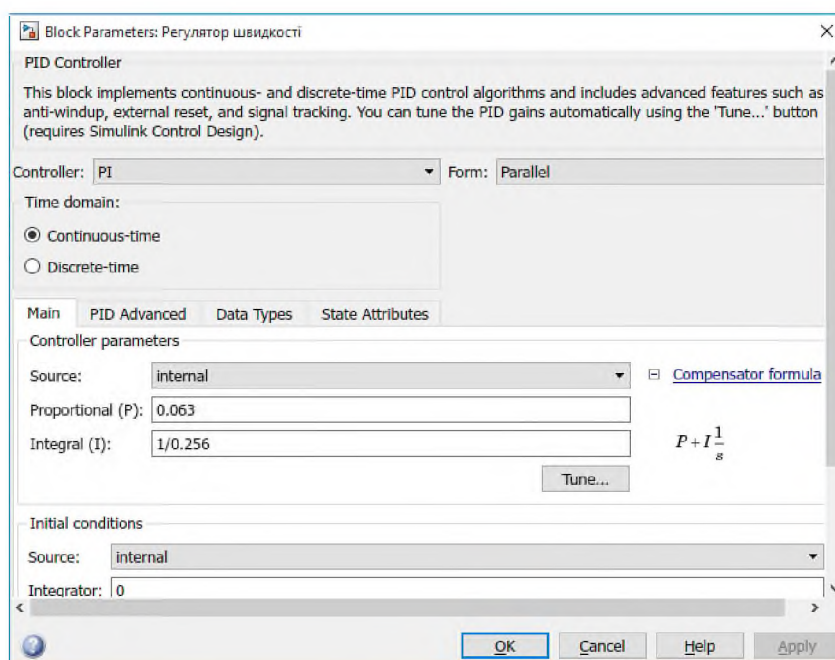


Рисунок 3.5 – Вікно налаштування параметрів блоку «Регулятор швидкості»

3.3.2 Аналіз якості системи керування

У результаті моделювання були отримані перехідні характеристики системи керування, які представлені на рисунках 3.6 та 3.7.

Для систем керування важливим є поняття якості перехідних процесів, тобто важливий сам характер протікання процесів, особливо такі фактори, як тривалість, коливальність і динамічне відхилення регульованої змінної від заданої величини.

До загальноприйнятих показників якості, які використовують для характеристики перехідного процесу, відносять відносне перерегулювання, час встановлення, час наростання, час максимуму та усталену похибку.

Швидкодія системи напряму пов'язана з часом наростання t_n та часом максимуму перехідної характеристики t_m . Для недодемпфованих систем, перехідна характеристика яких має перерегулювання, час наростання визначається як час зміни реакції від 0 до 100 % заданого значення вихідної величини. Якщо система переддемпфована, то перерегулювання відсутнє, час максимуму не має значення, а в якості часу наростання розглядається інтервал, протягом якого перехідна характеристика змінюється від 10 до 90 % її значення.

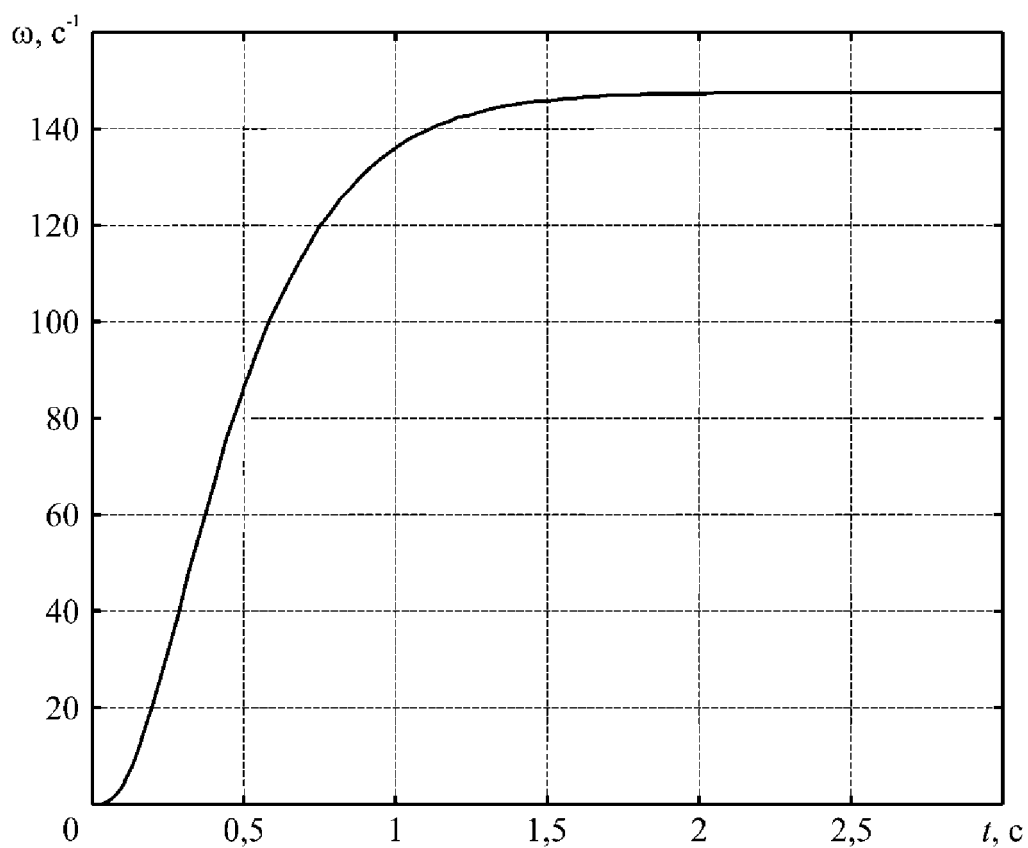


Рисунок 3.6 – Перехідна характеристика кутової швидкості електродвигуна

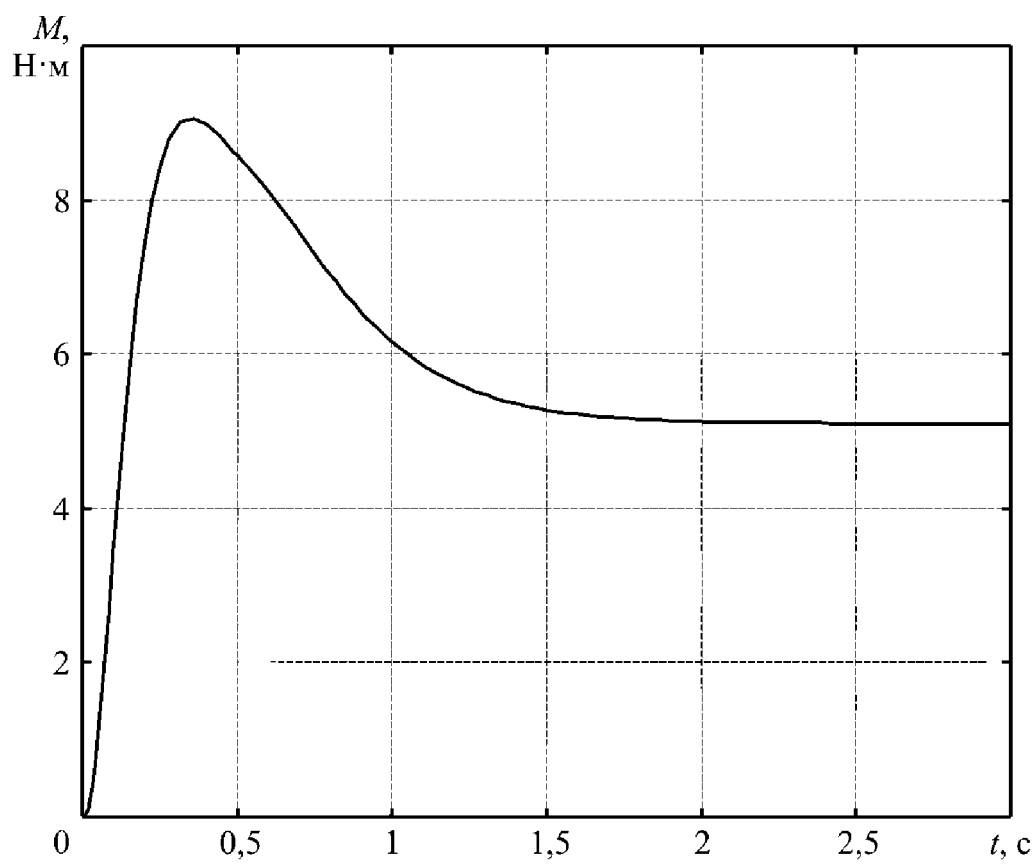


Рисунок 3.7 – Перехідна характеристика моменту електродвигуна

Наскільки добре дійсна реакція системи відповідає керуючому впливу, оцінюється по відносному перерегулюванню σ і часу встановлення t_p .

Відносне перерегулювання σ представляє собою максимальне відхилення від усталеного значення, яке виражається у відносних одиницях або процентах,

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}}} \cdot 100 \%,$$

де $h_{\max}$ – максимальне значення вихідної величини;

$h_{\text{уст}}$ – усталене значення вихідної величини.

Час встановлення t_p визначається моментом, після якого перехідна характеристика залишається повністю в межах зони, яка відрізняється від усталеного значення на $\pm\delta$.

Отже, реакцію системи на керуючий вплив можна охарактеризувати двома факторами:

- швидкодією, яка визначається часом наростання і часом максимуму;
- близькістю до бажаного вигляду, яка визначається перерегулюванням і часом встановлення.

Наведені вище показники можуть бути доповнені іншими, якщо цього вимагають специфічні технічні завдання на розробку або дослідження систем керування.

Проаналізуємо реакцію системи керування на ступінчастий сигнал (рисунок 3.8). Отримані показники якості зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Показники якості

Параметр	Відносне перерегулювання $\sigma, \%$	Час встановлення $t_p, \text{с}$	Час наростання $t_H,$ с	Усталена похибка $\varepsilon_{\text{уст}}$
Значення	0	1,31	0,76	0

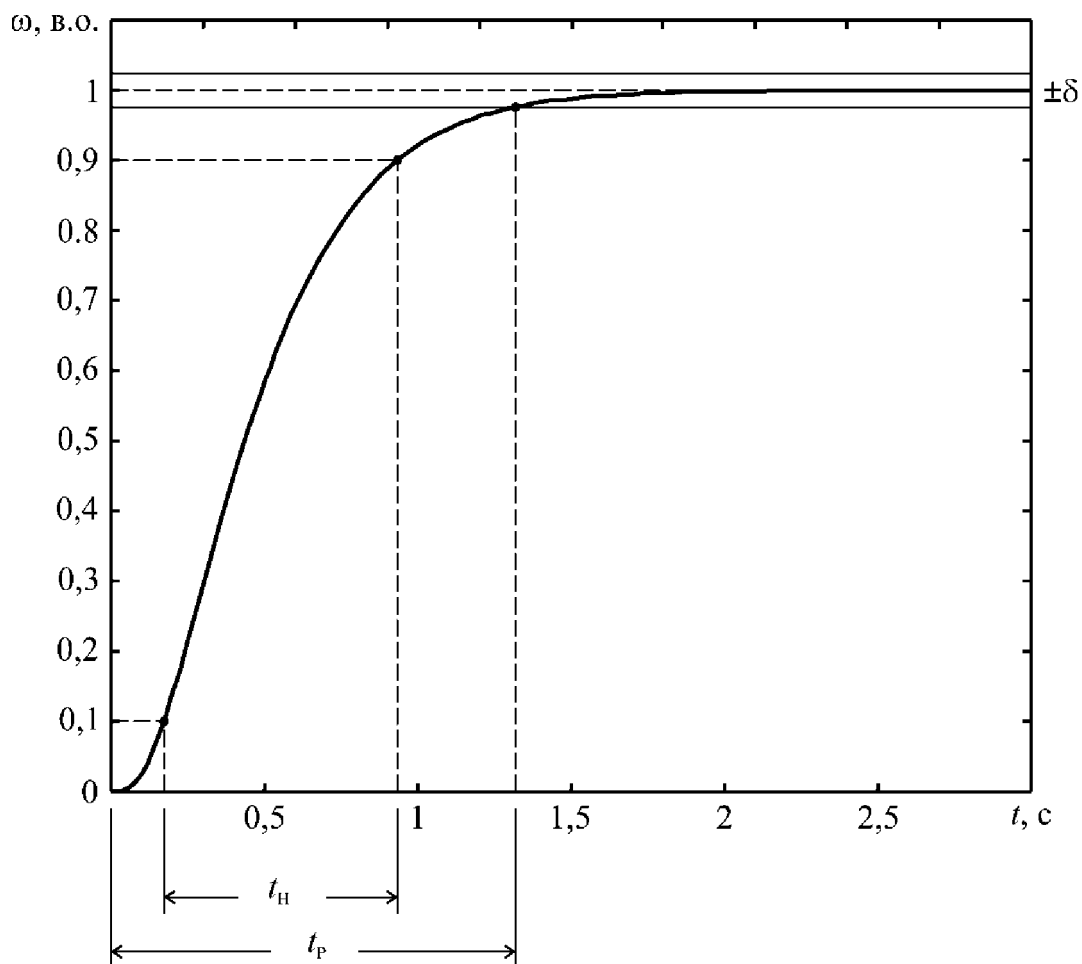


Рисунок 3.8 – Реакція системи керування на ступінчастий сигнал

Відповідно завданню до кваліфікаційної роботи перехідний процес повинен відповідати таким показникам: $\sigma \leq 5\%$, $t_p \leq 2$ с. Згідно таблиці 3.2 отримані значення не перевищують задані, отже, перехідний процес задовольняє сформульованим у завданні вимогам.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів

Небезпека – центральне поняття безпеки життєдіяльності людини, що об'єднує явища, процеси, об'єкти, здатні в певних умовах завдавати збитків здоров'ю людини. Небезпека властива всім системам, які мають енергію, хімічні, біологічні чи інші небезпечні компоненти. На здоров'я людини, її життєздатність і життєдіяльність великий вплив мають небезпечні і шкідливі фактори.

Небезпечний фактор - дія на людину, що в певних умовах призводить до травми, а в окремих випадках – до раптового погіршення здоров'я або смерті.

Шкідливий фактор – це фактор дії на людину, який в певних умовах призводить до захворювань або зниження працездатності.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за природою дії поділяються на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

До фізичних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать: рухомі машини та механізми; підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена чи понижена температура поверхонь устаткування, матеріалів чи повітря робочої зони; підвищений рівень шуму, вібрацій, статичної електрики, вологість; небезпечне значення напруги в електричному колі.

До психофізіологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать фізичні (статичні та динамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження органів чуття, монотонність праці, емоційні перевантаження).

Один і той же небезпечний і шкідливий виробничий фактор за природою своєї дії може належати одночасно до різних груп.

Залежно від наслідків впливу на працюючих шкідливих та небезпечних виробничих факторів розрізняють виробничі травми, професійні захворювання та професійні отруєння, внаслідок яких може відбутись зниження або втрата працездатності (тимчасова чи постійна, повна чи часткова), можливий і фатальний

кінець. На зниження безпеки праці при експлуатації промислових роботів можуть впливати наступні фактори: недостатнє освітлення робочого місця, вплив шуму й вібрації, вплив електричного струму й електромагнітних полів, забруднення повітря у робочому просторі.

Перелічені фактори відносяться до небезпечних та шкідливих. Вони проявляються раптово або поступово. Раптове виникнення небезпеки супроводжується травматичними наслідками – виробничими травмами. Поступовий вплив небезпечних факторів спричиняє професійні захворювання або хронічне отруєння. Але, як раптова, так і поступова дія виробничої небезпеки завжди призводить до паталогічних процесів в організмі.

Виробнича травма – порушення анатомічної цілісності організму людини або його функцій внаслідок дії виробничих факторів.

Професійне захворювання - патологічний стан людини, обумовлений роботою і пов'язаний з надмірним напруженням організму або несприятливою дією шкідливих виробничих факторів.

Розглянемо детальніше дію шкідливих факторів на людину, що присутні при експлуатації зварювального обертача.

Зварювальний обертач експлуатується оператором, в функції якого входить:

- безпосереднє керування зварювальним обертачем за допомогою задаючого пристрою;
- візуальний контроль відпрацювання зварювальним обертачем керуючих впливів;
- проведення ремонтно-профілактичних робіт;
- регулярний огляд.

До категорії небезпечних виробничих факторів відносяться:

- необгороджені частини виробничого обладнання і самого об'єкта, які обертаються або переміщуються;
- переміщення заготовки або деталі;
- підвищення напруги в електричних колах, при якому може відбутися замикання струму на землю через тіло людини;

- нагріті поверхні.

До категорії шкідливих виробничих факторів відносяться:

- підвищена запиленість і загазованість повітря в робочій зоні;
- високий рівень шуму і вібрацій;
- недостатня освітленість робочої зони і погана якість освітлення.

4.1.1 Вплив вібрації на організм людини. Вібраційна хвороба - це стійке порушення фізіологічних функцій організму, обумовлене переважно дією вібрацій на центральну нервову систему. Ці порушення проявляються у виді головного болю, запаморочення, поганого сну, пониженої працездатності, поганого самопочуття, порушення серцевої діяльності.

Загальна вібрація з частотою менше 0,7 Гц хоча і неприємна, але не викликає вібраційної хвороби. Наслідком такої вібрації є морська хвороба, що з'являється унаслідок порушення нормальної діяльності органів рівноваги через резонансні явища.

Локальна вібрація спричиняє спазми судин, які починаються з кінцевих фаланг пальців і поширюються на всю кисть, передпліччя, захоплює судини серця. Наслідком цього є погіршення постачання кінцівок кров'ю. Одночасно спостерігається вплив вібрації на нервові закінчення, м'язові і кісткові тканини, що виражається в порушенні чутливості шкіри, окостенінні сухожилів м'язів і відкладеннях солей в суглобах рук і пальців, що призводить до болів, деформацій і зменшення рухливості суглобів. При локальній вібрації спостерігаються порушення діяльності центральної нервової системи, як і при загальній вібрації.

Між певними реакціями організму й рівнем впливу вібрацій немає лінійної залежності. Причина цього лежить у резонансному ефекті. При підвищенні частоти коливань більше 0,7 Гц, можливі резонансні коливання в органах людини. Резонанс людського тіла, окремих його органів, настає під дією зовнішніх сил при зборі певних частот коливань внутрішніх органів із частотами зовнішніх сил.

Вібраційна хвороба відноситься до групи профзахворювань, ефективно лікування яких можливе лише на ранніх стадіях. Відновлення порушених функцій

проходе дуже повільно, а в особливо важких випадках у організмі настають безповоротні зміни, що приводять до інвалідності.

Розрізняють гігієнічне і технічне нормування вібрацій. В першому випадку проводять обмеження параметрів вібрації робочих місць і поверхні контакту з руками працюючих, виходячи з фізіологічних вимог, виключає можливість виникнення вібраційної хвороби. У другому випадку виконують обмеження параметрів вібрації із урахуванням не лише вказаних вимог, але й з технічно досяжного на сьогоднішній день для даного виду машин рівня вібрації. При цьому враховують умови установки й режим роботи стаціонарного віброактивного технологічного обладнання в цехах, умови експлуатації ручного механізованого інструмента.

Гігієнічне нормування вібрацій регламентує параметри виробничої вібрації й правила роботи з вібронебезпечними механізмами й устаткуванням, ГОСТ 12.1.012-90 «ССБТ. Вібраційна безпека. Загальні вимоги». Даний документ установлює класифікацію вібрацій, методи гігієнічної оцінки, нормовані параметри і їхні припустимі значення, режими роботи осіб вібронебезпечних професій, які піддаються впливу локальної вібрації, вимогам до забезпечення віробезпеки й до вібраційних характеристик машин.

4.1.2 Виробничий шум, як негативний фактор, що впливає на людину. Шум визначають як сукупність аперіодичних звуків різної інтенсивності й частоти. Виробничим шумом називається шум на робочих місцях, ділянках або територіях виробництв, що виникає під час виробничого процесу.

За спектральним складом, залежно від переваги звукової енергії у відповідному діапазоні частот, розрізняють низько-, середньо-, і високочастотні шуми, по тимчасових характеристиках - постійні й непостійні; останні, у свою чергу, діляться на коливальні, переривчасті та імпульсні; по тривалості дії – тривалі й короточасні. З гігієнічних позицій велике значення мають амплітудно-тимчасові, спектральні й імовірнісні параметри непостійних шумів, найбільш характерних для сучасного виробництва.

Інтенсивний шум на підприємстві сприяє зниженню уваги й збільшенню числа помилок при виконанні роботи, особливо сильний вплив робить шум на

швидкість реакції, збір інформації й аналітичні процеси, через шум знижується продуктивність праці й погіршується якість роботи. Шум ускладнює своєчасну реакцію працюючих на попереджуючі сигнали внутрішньо-цехового транспорту (автонавантажувачів, мостових кранів), що сприяє виникненню нещасних випадків на виробництві.

У біологічному відношенні шум є яскравим стресовим фактором, здатним викликати зрив пристосувальних реакцій. Шум впливає на весь організм людини: пригнічує центральну нервову систему, виникає зміна швидкості подиху й пульсу, сприяє порушенню обміну речовин, виникненню серцево-судинних захворювань, гіпертонічної хвороби, може привести до професійних захворювань.

Нормовані параметри шуму на робочих місцях визначені в ГОСТ 12.1.003-86. В ньому закладено принцип встановлення певних параметрів шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням для трудової діяльності різних видів. Даний документ дає класифікацію шумів по спектру на широкосмугові й тональні, а по тимчасових характеристиках - на постійні й непостійні.

У виробничих умовах часто виникає небезпека комбінованого впливу високочастотного шуму й низькочастотного ультразвуку.

Ультразвук, як пружні хвилі не відрізняється від чутного звуку, але, частота коливального процесу сприяє великому вгасанню коливань через трансформацію енергії в теплоту.

По частотному спектрі, ультразвук класифікують на: низькочастотні коливання $1,2 \cdot 10^4 \dots 1,0 \cdot 10^5$ Гц; високочастотні коливання $1,0 \cdot 10^5 \dots 1,0 \cdot 10^9$ Гц; по способу розповсюдження – на повітряний й контактний ультразвук [9].

Ультразвук шкідливо діє на організм людини, спричиняє функціональні порушення нервової системи, зміни тиску, складу і властивості крові. Часто бувають скарги на головні болі, швидку стомлюваність, втрату слухової чутливості.

Ультразвук може діяти на людину як через повітряне середовище, так і через рідку і тверду середу (контактна дія на руки).

Біологічний ефект впливу на організм залежать від інтенсивності, часу впливу й розмірів поверхні тіла, які піддаються дії ультразвуку. Гігієнічні нормативи ультразвуку позначені ГОСТ 12.1.001-89.

4.1.3 Електромагнітні поля. Джерелом електромагнітних полів (ЕМП) є: атмосферна електрика, радіовипромінювання сонця, квазістатичні, електричні та магнітні поля землі, штучні джерела (електротермічні установки з машинними генераторами, клістрони та магнетронні генератори і т.д).

Електромагнітні поля промислової частоти утворюють лінії електропередач напругою до 1150 кВ, відкриті розділові пристосування, які включають комунікаційні апарати, прилади захисту й автоматики, вимірювальні прилади.

Під впливом ЕМП та випромінювань спостерігаються загальна слабкість, підвищена втома, пітливість, сонливість, а також розлад сну, головний біль, біль в ділянці серця. З'являється роздратування, втрата уваги, зростає тривалість мовно-рухової та зорово-моторної реакцій, підвищується межа нюхової чутливості. Виникає ряд симптомів, які є свідченням порушення роботи окремих органів – шлунку, печінки, селезінки, підшлункової та інших залоз. Пригнічуються харчовий та статевий рефлекс.

Реєструються зміни артеріального тиску, частота серцевого ритму, форма електрокардіограми. Це свідчить про порушення діяльності серцево-судинної системи. Фіксуються зміни показників білкового та вуглеводного обміну, збільшується вміст азоту в крові та сечі.

Нормування електромагнітних полів промислової частоти проводять за гранично-припустимим рівнем напруги електричного й магнітного полів частотою 50 Гц залежно від часу перебування в них і регламентуються за ГОСТ 12.1.002-84 і «Санітарними нормами і правилами виконання робіт в умовах впливу електричних полів промислової частоти» № 5802-91.

Перебування в електричному полі напругою до 5 кВ/м включно допускається протягом всього робочого дня.

Магнітні поля можуть бути постійними від штучних магнітних матеріалів і систем, імпульсними, низькочастотними (із частотою до 50 Гц), змінними. Дія магнітних полів може бути постійною і змінною.

Одним з розповсюджених небезпечних виробничих факторів є електричний струм. Проходячи через організм людини, електричний струм здійснює термічний, електричний, механічний і біологічний вплив.

Термічна дія струму проявляється опіками окремих ділянок тіла, нагріванням до високої температури органів, розташованих на шляху струму, викликаючи в них значні функціональні порушення.

Електролітична дія виражається в розкладанні органічної рідини, у тому числі крові, у порушенні її фізико-хімічного состава. Механічна дія струму приводить до розшарування, розриву тканин організму в результаті електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухонебезпечного утворення газу із синовіальної рідини й крові.

Біологічна дія струму проявляється роздратуванням і порушенням живих тканин організму, а також порушенням внутрішніх біологічних процесів. В результаті можуть виникати різні порушення в організмі, в тому числі порушення або повне припинення діяльності органів дихання та кровообігу. Дратівна дія струму на тканини організму може бути прямою, коли струм проходить безпосередньо по цим тканинам, та рефлекторною, тобто через нервову систему, коли шлях струму лежить поза цих тканин.

4.1.4 Виробниче освітлення. Важливим фактором, що впливає на продуктивність праці є освітленість робочого місця. Організація раціонального освітлення робочого місця - одне з основних питань охорони праці. При незадовільному освітленні різко знижується продуктивність праці, можливі нещасні випадки, поява короткозорості, швидке стомлення.

Основним завданням виробничого освітлення є підтримка на робочому місці освітлення, що відповідає характеру здорової праці. Збільшення освітлення робочої поверхні поліпшує видимість об'єктів за рахунок підвищення їхньої яскравості,

збільшує швидкість розрізнення деталей, що виражається на рості продуктивності праці [10].

При організації виробничого освітлення, необхідно забезпечити рівномірний поділ яскравості на робочій поверхні й навколишніх предметах. Переклад погляду з яскраво освітленої на слабо освітлену поверхню змушує ока пері-адаптуватися, що приводить до стомлення очей і, відповідно, до зниження продуктивності праці. Для підвищення рівномірності природного освітлення більших цехів використовується комбіноване висвітлення. Світле фарбування стелі, стін і встаткування сприяє рівномірному поділу яскравості в поле зору працюючого.

Виробниче освітлення повинне забезпечувати відсутність у поле зору працюючих різких тіней. Наявність різких тіней спотворює розміри й форми об'єктів дозволу, і тим самим підвищує стомлюваність, знижує продуктивність праці. Особливо шкідливі рухомі тіні, які можуть привести до травм.

Для поліпшення умов видимості об'єктів у поле зору працюючого треба виключати прямий і відбитий блиск. Блесткість – це підвищена яскравість освітлених поверхонь, що викликає порушення зорових функцій (осліплення), тобто погіршення видимості об'єктів. Блесткість обмежують зменшенням яскравості джерела світла, правильним вибором типу світильника.

Коливання освітлення на робочому місці, викликано, наприклад, різкою зміною напруги в мережі, спричиняються переадаптацію ока, приводячи до значного стомлення.

Виробниче освітлення повинне забезпечувати необхідний спектральний состав світлового потоку. Ця умова особливо істотна для забезпечення правильної передачі світла, а в окремих випадках для посилення колірних контрастів. Оптимальний спектральний состав забезпечує природне освітлення.

Освітлювальні установки повинні бути зручними й простими в експлуатації, довговічними, відповідати умовам естетики, пожежної безпеки, а також не повинні бути причиною вибуху або пожежі.

Залежно від джерела світла, виробниче освітлення може бути природним, котре забезпечується прямими сонячними променями й розсіяним світлом, штучним,

яке забезпечується електричними джерелами світла, і змішаним, при якому відсутнє по нормах природне висвітлення робочих місць (загальне локалізоване висвітлення). Комбіноване освітлення складається із загального й місцевого. Місцеве освітлення забезпечується світильниками, які концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях. Використання тільки місцевого освітлення не допускається, щоб не допустити виробничий травматизм і професійні захворювання.

За функціональним призначенням штучне освітлення розділяють на наступні види: робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове.

Для створення нормальних умов виробничої діяльності необхідно забезпечити необхідну чистоту повітря. Внаслідок виробничої діяльності у повітряне середовище приміщень можуть надходити різноманітні шкідливі речовини, що використовуються в технологічних процесах. Шкідливими вважаються речовини, що при контакті з організмом людини за умов порушення вимог безпеки можуть призвести до виробничої травми, професійного захворювання або розладів у стані здоров'я, що визначаються сучасними методами як у процесі праці, так і у віддалені строки життя теперішнього та майбутнього поколінь (ГОСТ 12.1.007-76).

4.2 Техніка безпеки

4.2.1 Пристрої та технічні засоби безпеки

Для забезпечення безпеки на зварювальному обертачі застосовуються:

- аварійна кнопка «Стоп» поза небезпечної зони роботи;
- вихід маніпулятора за межі запрограмованого робочого простору обмежується жорсткими упорами;
- пристрої, що забезпечують зупинку виконавчого механізму при:
 - а) попаданні людини в запрограмовану область робочого простору;
 - б) виходу планшайби за межі робочого простору;
- пристрої блокування, що забезпечує утримання вантажу у разі несподіваного припинення подачі електроенергії;

- пристрої, що блокують роботу обертача при порушенні огороження робочого простору;
- запобіжні клапани або інші пристрої, що оберігають від підвищення тиску в системі. У вибухонебезпечних середовищах в гідроприводах застосовуються негорючі робочі рідини.

Електричні дроти, вимикачі та розподільники виконані з необхідною вимогою до ізоляції.

Для запобігання попаданню в робочий простір робочого персоналу встановлена огорожа. Робочий простір необхідно позначити суцільними лініями шириною 50-100 мм, що наносяться на площину підлоги фарбою жовтого кольору, стійкою до стирання.

Конструкція огороження відповідає функціональному призначенню і конструктивному використанню устаткування. Конструкція і кріплення огороження виключають можливість випадкового дотику працюючого персоналу з огорожувальними елементами. Огороження, які знаходяться навколо обертача, відкриваються вручну кілька разів протягом зміни, і мають відповідні блокувальні пристрої. Огорожу зафарбовується в сигнальний колір.

4.2.2 Електробезпека. На машинобудівних заводах, в цехах застосовуються електричні ланцюги з ізольованою нейтраллю, тому ємність таких мереж відносно землі незначна внаслідок малої розгалуженості такої мережі. При такій схемі мережі і режимі нейтралі застосовується захисне заземлення для усунення небезпеки ураження електричним струмом людини, яка випадково торкається до струмоведучих частини обладнання.

Для забезпечення електробезпеки експлуатації обертача використовується надійне заземлення. До заземлюючих затискачів, встановлених у шафі з електрообладнанням, проведений від заземлюючого контуру провідник, перетином не менше 4 мм. Перехідний опір між металевими частинами не вище 0,1 Ом.

4.2.3 Пожежна безпека. Організаційно-технічні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки включають:

- організацію пожежної охорони;

- паспортизацію матеріалів, технічних процесів в частині забезпечення пожежної безпеки;
- організацію навчання працівників правилам пожежної безпеки на виробництві;
- розробку і реалізацію норм і правил пожежної безпеки;
- застосування засобів наочної агітації по забезпеченню пожежної безпеки.

Пожежна техніка для захисту об'єктів відповідає вимозі ГОСТ 12.4.009-83, а саме:

- пожежне обладнання використовується тільки для боротьби з пожежами;
- на об'єкті, що захищається вивішуються плани відповідно до вимог ГОСТ 12.1.114-82 із зазначенням місць розташування пожежного обладнання;
- ділянки поверхні, на яких розташовуються ручні вогнегасники, пристрої установок пожежегасіння фарбуються в білий колір фарбою, з окантовкою шириною 20-25 мм.

Автоматичні установки об'єктного пожежегасіння, котрі мають електричну частину, призначені для захисту приміщень і людей від пожежі. Установки допускаються до введення в експлуатацію при наявності в них:

- звукового, світлового пожежних сигналів освітлення;
- пристрої перемикання пуску на ручний режим;
- установка розташовується в 5 м від технологічного комплексу.

Для гасіння пожеж на електроустановках застосовують розпилений струмінь води, оскільки електропровідність розпиленої води невелика.

Також використовуються пожежні вогнегасники порошкового типу, які розташовані на пожежному щиті у огорожі технологічного комплексу.

В якості пожежного обладнання застосовується водонапірна мережа, на якій встановлено пожежне обладнання. Вентилі з пожежними рукавами знаходяться в шафах через 20-25 м по всій протяжності водопровідної мережі. Пожежний ручний інструмент розміщується в цеху:

- ємність для піску повинна становити не менше $0,1 \text{ м}^3$ і розташовуватися у огорожі технологічного комплексу;
- бочки для зберігання води місткістю не менше $0,2 \text{ м}^3$ розташовуються в 10-15 м від технологічного комплексу;
- ломи та лопати розміщуються поблизу технологічного комплексу на пожежному щиті разом з вогнегасниками біля огорожі технологічного комплексу.

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи, згідно поставлених завдань, виявлено, що загальні особливості використання електроприводів в зварювальному обладнанні включають в себе наступне:

- для регульованих електроприводів діапазон регулювання 1:10; 1:15;
- захищеність від впливу факторів, які супроводжують горіння зварювальної дуги;
- можливість вибору номінальної частоти обертання валу 1000-5000 об/хв для стандартних електродвигунів;
- захищеність від електромагнітної перешкоди як слідства зміни в широких межах значення струму в зварювальному ланцюзі;
- малі масогабаритні показники, прийнятні для установки в мобільне зварювальне обладнання;
- показники характеристик, що визначають високі динамічні властивості.

Оскільки за своїм призначенням привод обертання планшайби зварювального обертача повинен мати безступінчасте регулювання швидкості. Отже для забезпечення на певному рівні швидкості обертання планшайби обертача в діапазоні 1:5 в роботі обрано скалярне керування. Завдяки скалярному керуванню забезпечується стала перевантажувальна здатність асинхронного двигуна, що не залежить від частоти напруги. Максимальне значення діапазону скалярного керування, при якому можливе здійснення регулювання значення швидкості обертання ротора електродвигуна, без втрати моменту опору не перевищує 1:10.

При обґрунтуванні вибору елементів автоматизованого електропривода обертання планшайби в якості приводного двигуна використано мотор-редуктор GSS07-3M. Черв'ячно-циліндричні редуктори цієї серії є малошумними компактними приводними елементами та у комбінації з асинхронними електродвигунами утворюють компактний приводний елемент. В якості перетворювача частоти обрано 8200 Motec, який володіє всіма необхідними режимами роботи: U/F-керування (лінійне, квадратичне), векторне керування, керування моментом.

Оскільки при стабілізації швидкості система працює в малих відхиленнях щодо робочої точки стабілізації, при математичному описі асинхронного двигуна в роботі використано його лінійну модель. При вирішенні завдання синтезу регулятора для автоматизованого електропривода, з умов забезпечення бажаного/необхідного перехідного процесу, в роботі виконано налаштування на модульний (технічний) оптимум, при якому передбачаються невелике перерегулювання і відносно висока швидкодія. При цьому реалізація замкненого контуру регулювання швидкості здійснюється за допомогою програмного ПІД-регулятора перетворювача частоти.

В роботі розглянуто динаміку моделі автоматизованого електропривода обертання планшайби зварювального обертача за допомогою програмного пакету MATLAB. Отримано перехідні характеристики. Аналіз результатів дослідження якості показав, що розроблена система керування має динамічні показники, які цілком задовольняють сформульованим у завданні вимогам: $\sigma=0\%$ (≤ 5), $t_p=1,31$ с (≤ 2).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гуменюк І. В. Обладнання і технологія механізованого зварювання : підручник. Київ : Грамота, 2014. 256 с.
2. Патон Б. Є., Лебедєв В. О. Обладнання для автоматичного і напіваавтоматичного зварювання. Київ : Екотехнологія, 2008. 384 с.
3. Weman K. Welding Processes Handbook. 2nd ed. Cambridge : Woodhead Publishing, 2012. 280 p.
4. Маліновський С. М. Автоматизований електропривод : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. 288 с.
5. Копилов І. П. Електричні машини : підручник. Київ : Техніка, 2010. 412 с.
6. Bose B. K. Modern Power Electronics and AC Drives. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2002. 736 p.
7. Попович М. Г., Лозинський О. Ю., Клепіков В. Б. Теорія автоматичного керування : підручник. Київ : Либідь, 2009. 640 с.
8. Черних І. В. Моделювання електротехнічних пристроїв у MATLAB, Simulink і SimPowerSystems. Харків : НТУ «ХПІ», 2013. 216 с.
9. Кузнецов Б. І., Никитіна Т. Б. Моделювання та синтез систем керування асинхронними електроприводами. Технічна електродинаміка. 2017. № 4. С. 45–53.
10. Krause P. C., Wasynczuk O., Sudhoff S. D. Analysis of Electric Machinery and Drive Systems. 3rd ed. New Jersey : Wiley-IEEE Press, 2013. 680 p.
11. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник. Львів : УАД, 2016. 352 с.
12. Геврик Є. О. Охорона праці та пожежна безпека в електроустановках : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2018. 240 с.

ДОДАТОК А
Мультимедійна презентація

Загальний вигляд універсального обертача М11040



Рисунок А.1 – Слайд 1 мультимедійної презентації

Функціональна схема автоматизованого електропривода

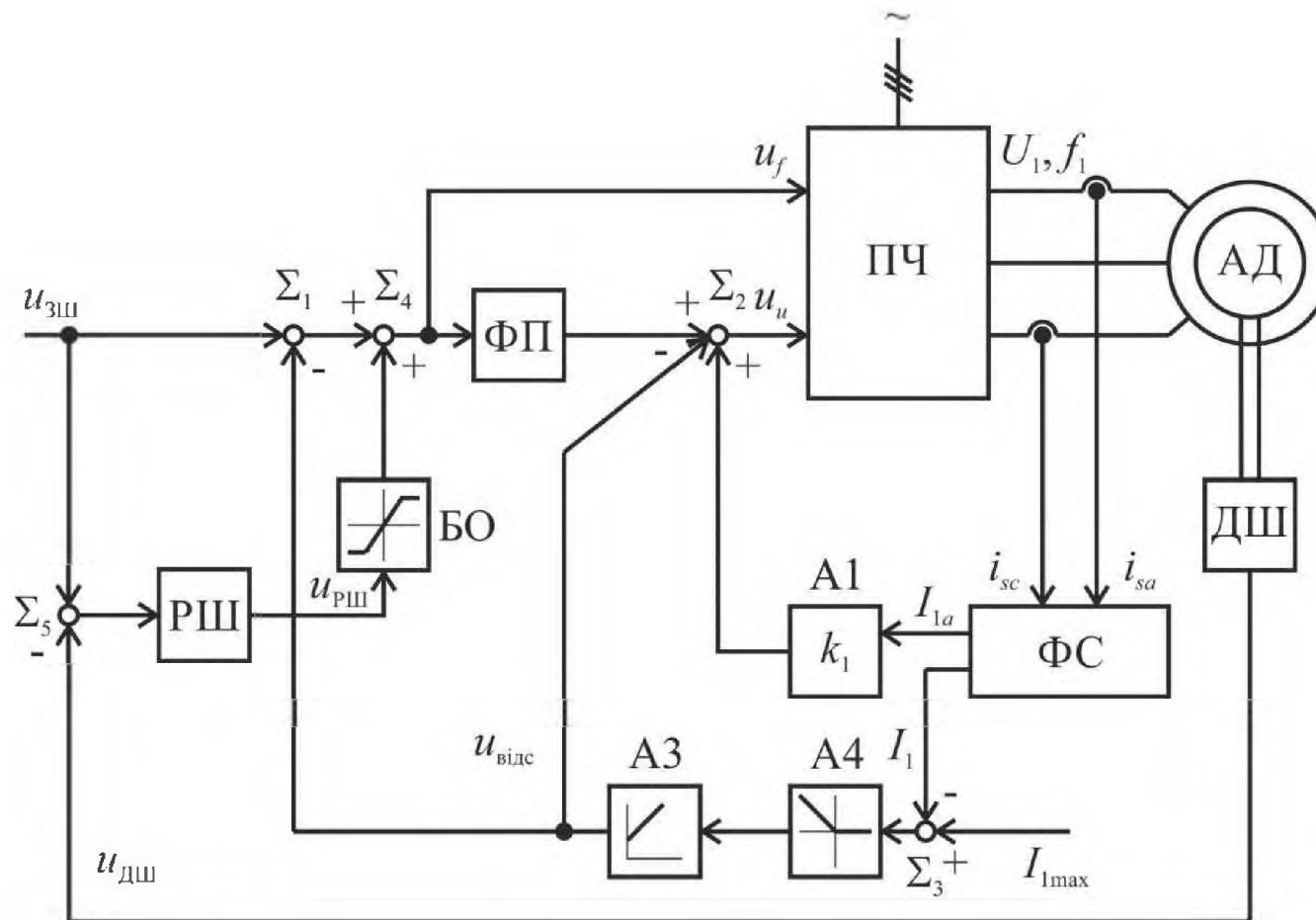


Рисунок А.2 – Слайд 2 мультимедійної презентації

Структурна схема автоматизованого електропривода

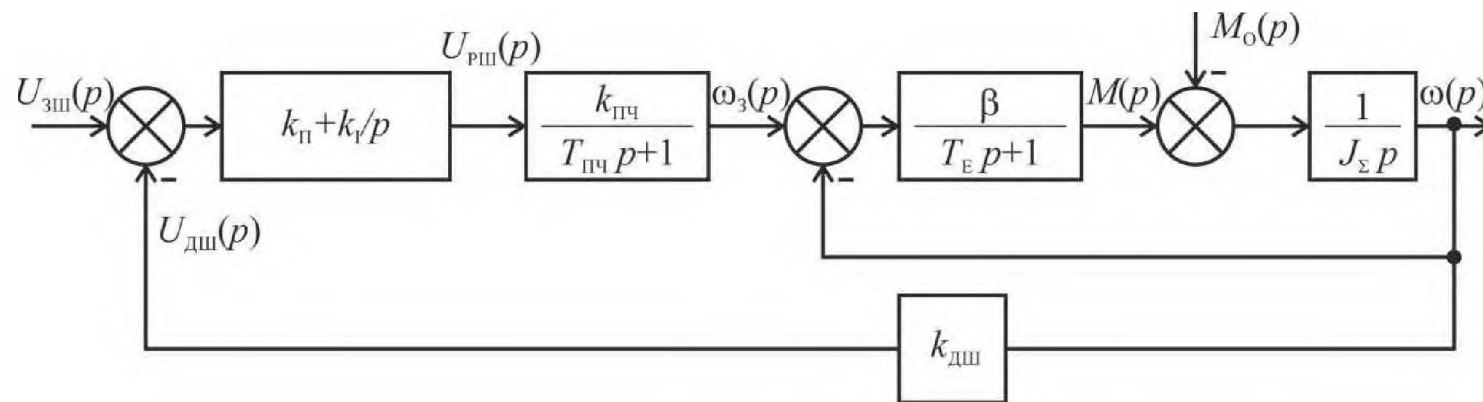
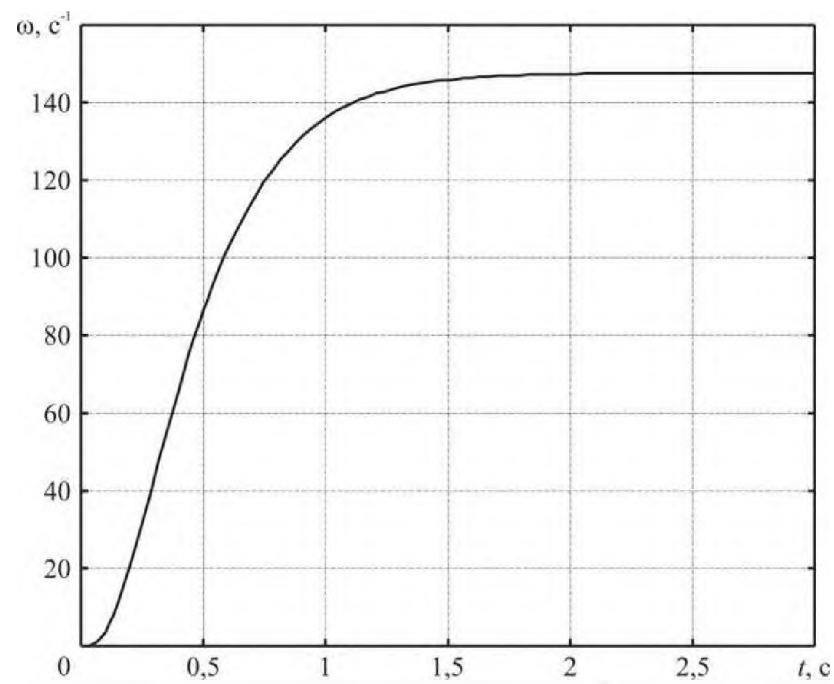
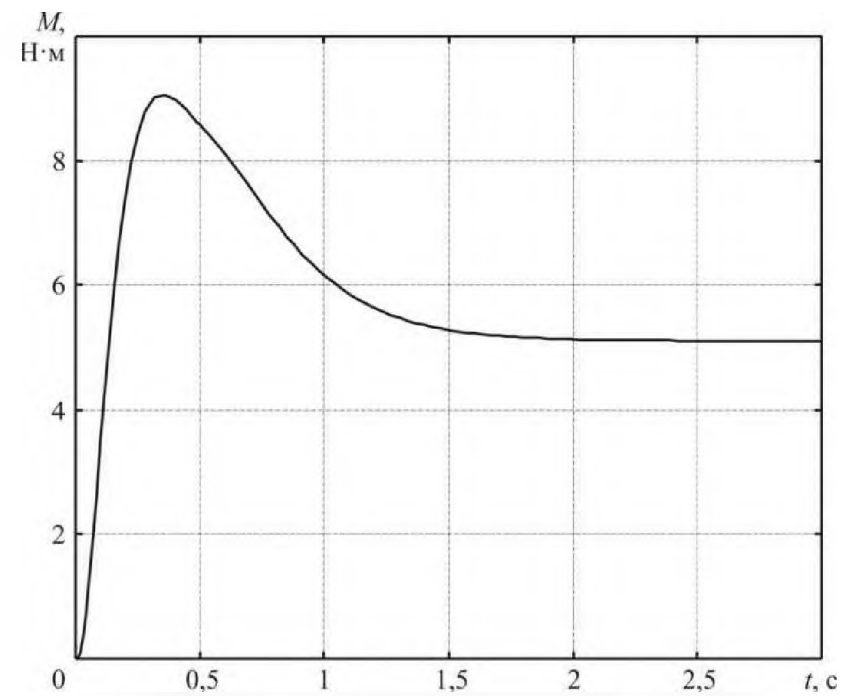


Рисунок А.3 – Слайд 3 мультимедійної презентації

Дослідження динаміки автоматизованого електропривода



Перехідна характеристика кутової швидкості електродвигуна



Перехідна характеристика моменту електродвигуна

Рисунок А.4 – Слайд 4 мультимедійної презентації