

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

Факультет електроенерготехніки та автоматики

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Сергій КОВБАСА
(підпис)

“ _____ ” _____ 2023 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Електромеханічні системи
автоматизації, електропривод та електромобільність»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

на тему: Автоматизований електропривод стругального верстату

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕП-91
(шифр групи)

_____ Остапенко Андрій Іванович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник доцент, к.т.н. Теряєв Віталій Іванович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Консультант _____ _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Рецензент _____ ст. викладач Дубчак Євген Михайлович _____
ч (посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2023 р.

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	141.9109.009.БР	Пояснювальна записка	67	
3	A1	141.9109.009.БР	Креслення загального виду установки з габаритними та установчими розмірами	1	
4	A1	141.9109.009.БР	Схема електрична принципова силової частини електроприводу	1	
5	A1	141.9109.009.БР	Результати моделювання	1	

				141.9109.009.БР		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Остапенко А.І.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Теряєв В. І.				2	
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМС-ЕП Гр. ЕП-91	
Н. контр.	Теряєв. В.І					
Зав.каф.	Ковбаса С. М.					

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: Автоматизований електропривод стругального верстату

Київ – 2023 р.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет електроенерготехніки та автоматики
(повна назва)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва)

Освітньо-професійна програма – Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Сергій КОВБАСА
(підпис)

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Остапенко Андрій Іванович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Автоматизований електропривод стругального верстату,
керівник проекту _____ Теряєв Віталій Іванович _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Термін подання студентом проекту 14.06.2023

3. Вихідні дані до проекту маса деталі 1.5т, маса стола 2.5т, довжина оброблюваної поверхні 1м, швидкість робочого ходу 0.7 м/с, швидкість зворотнього ходу 0.8 м/с, понижена швидкість 0.25м/с, максимальне зусилля різання $F_z=36$ кН, коефіцієнт тертя в напрямних 0.065, радіус приведення $r=u/w=0.0055$, номінальний передачі 0,98.

4. Зміст пояснювальної записки Вступ. Аналітичний огляд в області електроприводів стругальних верстатів. Визначення потрібної потужності та попередній вибір двигуна. Розрахунок параметрів двигуна та вибір силового обладнання. Розробка математичної моделі електроприводу. Дослідження статичних та динамічних режимів електромеханічної системи. Автоматизація

електроприводу стругального верстату. Розробка електричної принципової схеми автоматизованого електроприводу. Висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Креслення загального виду установки (формат А1). Схема електрична принципова силової частини електроприводу (формат А1). Результати моделювання електромеханічної системи (формат А1).

6. Консультанти розділів проекту*

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

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

7. Дата видачі завдання 1.04.23

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналітичний огляд в області стругальних верстатів	30.04.23	
2	Визначення потрібної потужності та попередній вибір електродвигуна	10.05.23	
3	Розрахунок параметрів номінального режиму і схеми заміщення двигуна та вибір силового обладнання	22.05.23	
4	Розробка математичної моделі електроприводу та розрахунок векторної системи керування	25.05.23	
5	Дослідження статичних та динамічних режимів електромеханічної системи	31.05.23	
6	Автоматизація електроприводу стругального верстату	05.06.23	
7	Розробка схеми електричної принципової силової частини електроприводу	07.06.23	
8	Оформлення пояснювальної записки і графічної частини проекту	10.06.23	

Студент

(підпис)

Андрій ОСТАПЕНКО

Керівник проекту

(підпис)

Віталій ТЕРЯЄВ

РЕФЕРАТ

Дипломний проект виконаний на 67 сторінках, вміщує 35 рисунків, 11 таблиць, а також графічний матеріал виконаний на аркушах А1.

Мета дипломного проекту полягає в розробці та дослідженні системи автоматизації електроприводу стругального верстату та модернізації системи електроприводу шляхом впровадження регульованого асинхронного електроприводу. Головним завданням є вивчення особливостей функціонування та параметрів асинхронного електроприводу, розробка необхідних керуючих алгоритмів та налагодження системи з метою досягнення кращої продуктивності, енергоефективності та зниження витрат на обслуговування. Дипломний проект передбачає моделювання роботи розробленої системи та аналіз отриманих результатів для підтвердження досягнення поставлених цілей.

Розрахунок та реалізація даного дипломного проекту виконані з використанням програмних пакетів: Microsoft Office Word, Microsoft Office Visio, Simon, MATLAB.

ПОВЖДОВЖНЬО-СТРУГАЛЬНИЙ ВЕРСТАТ, ПРОМИСЛОВІСТЬ,
ЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, АСИНХРОННИЙ, ВИБІР,
ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, СИЛОВА ЧАСТИНА, МАТЕМАТИЧНА
МОДЕЛЬ, ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ

					141.9109.009.БР			
		№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Остапенко А.І.				Автоматизований електропривод стругального верстату	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Теряєв В.І.						6	67
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н. Контр.	Теряєв В.І.					Каф. АЕМС-ЕП		
Зав. каф..	Ковбаса СМ.					Гр. ЕП-91		

ABSTRACT

The diploma project is executed on 67 pages, contains 35 figures, 11 tables, and graphic material is executed on A1 sheets.

The purpose of the thesis is to research and develop an automation system for the electric drive of a planing machine and to modernise the electric drive system by installing an induction motor. The main task is to study the features of the functioning and parameters of the induction motor, develop the necessary control algorithms and debug the system in order to achieve better performance, energy efficiency and reduce maintenance costs. The thesis involves modelling the operation of the developed system and analysing the results to confirm that the objectives have been achieved.

The calculation and implementation of this thesis project was carried out using the following software packages: Microsoft Office Word, Microsoft Office Visio, Simon, MATLAB.

LONGITUDINAL PLANING MACHINE, INDUSTRY, EFFICIENCY,
POWER PART OF THE ELECTRIC DRIVE, INDUCTION MOTOR,
FREQUENCY CONVERTER, MATHEMATICAL MODEL, VECTOR
CONTROL, AUTOMATION, SYSTEM, GRAPH TRANSITION

					141.9109.009.BW			
		№ of document	Sign	Date				
Devel.	A. Ostapenko				Automated electric drive of planing machine	L.	Page	Pages
Checked	V. Teryayev					7	67	
Recension						NTUU "I. Sikorskiy KPI", FEA Department AEMS-ED gr. EP91		
N. Contr.	V. Teryayev							
Approved	S. Kovbasa							

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД В ОБЛАСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ СТРУГАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ	11
1.1. Галузі використання та типові технічні рішення електроприводів стругальних верстатів.....	11
1.2.Опис конкретного верстату та його системи електроприводу..	12
1.3.Формулювання вимог до електроприводу, системи автоматичного керування та автоматизації	17
1.4.Висновки до розділу 1	20
РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРІБНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ПОПЕРЕДНІЙ ВИБІР ЕЛЕКТРОДИВГУНА	21
2.1.Розрахунок часу роботи верстату на окремих ділянках діаграми швидкості	21
2.2 Розрахунок зусиль та побудова діаграм швидкості і навантаження	24
2.3 Попередній вибір двигуна.....	28
2.4.Висновки до розділу 2	29
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНА ТА ВИБІР СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ.....	30
3.1 Розрахунок номінальних даних двигуна	30
3.2 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення.....	32
3.4.Висновки до розділу 3	35

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	36
4.1 Загальний алгоритм векторного керування АД	36
4.2 Складання алгоритму прямого векторного керування АД	39
4.3.Висновки до розділу 4.....	42
РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ	43
5.1 Дослідження статичних та динамічних характеристик системи при номінальній кутовій швидкості.....	43
5.2 Дослідження статичних та динамічних характеристик системи при кутовій швидкості 10% від номінальної.....	48
5.2.Висновки до розділу 5.....	51
РОЗДІЛ 6. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СТРУГАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ	52
6.1 Вибір ПЛК.....	52
6.2 Написання програми автоматизації.....	53
6.3 Висновки до розділу 6.....	57
РОЗДІЛ 7 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	58
7.1 Вибір елементів схеми електричної принципової	58
7.2 Опис схеми електричної принципової. Вибір елементів схеми електричної принципової.....	61
7.2 Висновки до розділу 7.....	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	66

ВСТУП

Одним із ключових аспектів автоматизації є використання електроприводів, що забезпечують ефективну роботу різних верстатів та машин. Важкі металообробні верстати є незамінними в промисловості та вимагають спеціалізованих умов для їх встановлення та використання. Вони мають великий ресурс та запас міцності, але в наш час прогрес рухається неймовірними темпами і верстати стають морально застарілими значно раніше, ніж вичерпується їх ресурс. Через велику вартість такого обладнання часто його заміна буде не по кишені навіть великим підприємствам, тому модернізація вже наявних верстатів є оптимальним рішенням.

Впровадження автоматизованих систем в промисловість стає все більш актуальним завданням у сучасному технологічному світі. Оптимізація роботи стругальних верстатів є важливим кроком у поліпшенні ефективності та якості обробки поверхонь матеріалів. У зв'язку з цим, заміна старого приводу на регульований асинхронний є доцільною, оскільки він володіє значною кількістю переваг, таких як надійність, висока енергоефективність та довговічність.

В результаті впровадження асинхронного електроприводу стругальний верстат може досягти більшої точності та швидкості обробки, що позитивно впливає на загальну продуктивність та якість виробів. А розробка системи автоматизації у разі підвищить ефективність роботи шляхом економії людського ресурсу, зменшення пауз між циклами роботи та виключення помилок пов'язаних з людським фактором.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД В ОБЛАСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ СТРУГАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

1.1. Галузі використання та типові технічні рішення електроприводів стругальних верстатів.

Стругання – це особливий процес, який представляє собою зріз шару металу з заготовки. Для виконання стругальних робіт використовують стругальні верстати.

Стругальний верстат - це вид металообробного верстата, який використовує зворотно-поступальний рух між заготовкою і різальним інструментом для зняття шару металу. Під час робочого ходу відбувається різання, а при зворотному ході заготовка повертається у вихідне положення. Вони використовуються в промисловості та малосерійному виробництві, так же як і фрезерні та токарні верстати.

Стругальні верстати мають низку переваг:

- універсальність. Застосовуючи додаткове оснащення можна розширити функціонал верстата. Верстати можуть обробляти вироби з будь яких металів та їх сплавів;
- регулювання швидкості різання. Оператор верстату може контролювати швидкість різання для отримання більш точних поверхонь;
- надійність. Конструкція такого роду верстатів вирізняється підвищеною міцністю і може переносити високі навантаження при роботі з особливо твердими металами;
- простота використання.

З недоліків верстату можна назвати високий рівень шуму та вібрацій під час роботи, а також неможливість зміни профілю різання під час робочого ходу.

Існує два основних види стругальних верстатів:

- поперечно-стругальний верстат, його особливістю є рухома ріжуча частина і нерухомий стіл з жорстко зафіксованою заготовкою. Перевагою є більша швидкістю різання;

- поздовжньо-стругальний верстат є протилежним за конструкцією – фіксований у супорті ріжучий інструмент та рухомий стіл до якого кріпиться заготовка. Вони використовуються для обробки довгих деталей, коли неможливо чи незручно використовувати фрезерний верстат також завдяки його конструкції можлива робота з декількома заготовками одночасно. Такий вид стругання дає можливість отримати дуже точні поверхні, які легше шабруються ніж після фрезерування.

Також існують вузькоспеціалізовані стругальні верстати: довбальні, протяжні та фасонно-стругальні.

Для промисловості найбільш важливими є поздовжньо-стругальні верстати через те, що при такій конструкції довжина стругання не впливає на характер та величину зусиль, які виникають в супортах та стійках верстату. Можливість обробки одночасно декількох деталей або обробки одної деталі декількома різцями відразу дає перевагу, коли потрібно виготовити багато однакових заготовок та при обробці великогабаритних деталей.

1.2.Опис конкретного верстату та його системи електроприводу



Рисунок 1.1 – Поздовжньо-стругальний верстат моделі 7210

Таблиця 1.1

Характеристики верстату	Значення
Довжина	9500 мм
Ширина	4500 мм
Висота	3400 мм
Найбільші розміри оброблюваних деталей	Ширина 1000 мм Висота 900 мм
Розміри робочої поверхні столу	Ширина 900 мм Довжина 3000 мм
Найбільша маса заготовки на 1м столу	1500 кг
Швидкість переміщення столу	2-80 м/хв
Швидкість подачі	Суппортів 0.5-25 мм/хв. Повзунків 0.25-12.5 мм/хв
Хід повзунків	300 мм
Найбільший кут повороту повзунків	60°
Потужність привода головного руху	40 кВт
Маса верстату	25000 кг
Клас точності	Н
Найбільший хід столу	3200 мм

Верстат моделі 7210 є дуже поширеним на території України та використовується на великій кількості промислових підприємств. Поздовжньо-стругальний двостійковий верстат 7210 призначений для стругання плоских поверхонь на деталях з чорних та кольорових металів або певних видів пластмас в умовах одиничного та малосерійного виробництва. На верстаті можна виконувати швидке чорнове, чистове, а також фінішне стругання, можуть бути оброблені горизонтальні, вертикальні та похилі площини, а також поздовжні пази різного профілю. Верстат 7210 має два

вертикальні і один бічний правий супорти. За спеціальним замовленням верстат міг бути поставлений з лівим боковим супортом, напрямними столу, одна з яких V-подібна, а інша плоска, а також нижні підтискні планки столу оснащені пластмасовими накладками.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд верстату 7210

Першочергове значення при виконанні операцій з верстатом є забезпечення раціонального режиму роботи. Основними критеріями є економічна та технологічна ефективність, опираючись на які потрібно вибрати найефективніше відношення подачі, глибини різання та швидкості різання. Співвідношення цих умов має забезпечити найбільшу продуктивність процесу та найменшу вартість.

Характеристики процесу задаються за такою послідовністю:

- задається подача, глибина та число проходів;
- задається швидкість різання, яка залежить від характеристик ріжучого інструменту, тягова сила та потужність;
- режим металообробки корегується відповідно до паспортних даних верстату.

Глибина та число проходів визначаються необхідною точністю обробки деталі та потужністю верстату. При чорновому струганні потрібно виконати

роботу за мінімальну кількість проходів. При струганні більшої точності з наступним шліфуванням потрібно встановлювати глибину стругання не більше ніж 3 мм. При використанні широких різців глибина варіюється від 0.2 до 0.5 мм. Залежно від ширини інструменту.

Від величини подачі залежить ефективність роботи верстату. Факторами що обмежують величину подачі є тягова сила та потужність верстату, міцність державки різця та його ріжучої поверхні, а також чистота оброблюваної поверхні.

Заготовка закріплюється на робочому столі, який переміщується по направляючим. Цикл руху робочої поверхні з заготовкою автоматично повторюється, включаючи зворотно-поступальний рух, подачу супортів на початку робочого ходу, відведення різця в кінці робочого ходу і повернення різця в початкове положення на початку робочого ходу столу. Рух столу в напрямку різців називається робочим ходом верстату, а рух в протилежному напрямку - зворотнім ходом.

Ріжучий інструмент кріпиться на супортах і може бути налаштований під будь-яким кутом до оброблюваної поверхні шляхом повороту супорта, різцетримача на супорті або самого різця на різцетримачі. Кут налаштування становить 90 градусів відносно напрямку руху робочої поверхні столу. На передній частині столу розташований захисний екран, який запобігає потраплянню стружки на направляючі, які в свою чергу захищені спеціальними скребками.

В залежності від типу оброблюваних деталей, таких як вертикальні, горизонтальні та похилі, можна варіювати кут налаштування ріжучого інструменту і отримувати різні поздовжні пази на цих поверхнях, а також фасонні поверхні з прямолінійними поздовжніми виробничими елементами.

Привод столу здійснюється за допомогою двигуна постійного струму та дводіапазонної коробки передач. Керування верстатом, включаючи налаштування довжини ходу столу, здійснюється зі навісного пульта. За допомогою сельсинів, що знаходяться на підвісному пульті керування,

здійснюється вибір довжини ходу столу та положень точок реверсу столу відносно леза ріжучого інструмента. Направляючі станини забезпечують стійкий прямолінійний зворотно-поступальний рух столу, запобігаючи можливим боковим зсувам під час процесу різання. Механізми подачі дозволяють забезпечити широкий спектр періодичних подач супортів, а також незалежні налаштування переміщення кожного з них. Вибір напрямку руху кожного супорта здійснюється однорукоятково.

Кінематична схема верстату зображена на рисунку 1.3

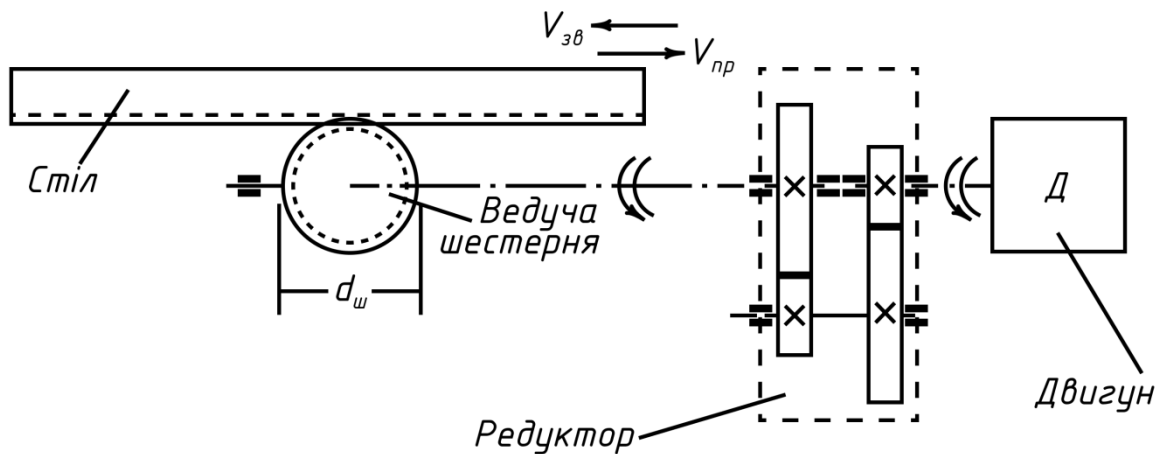


Рисунок 1.3 – Кінематична схема поздовжньо-стругального верстату

На рис. 1.4 зображено спрощену силову схему головного приводу стругального верстата 7210. Використовується реверсивний тиристорний електропривод постійного струму. Оскільки застосовано двигун постійного струму з незалежним збудженням, в силовій схемі наявні коло якоря та коло збудження.

Коло збудження живиться від напруги 380 В. Для захисту схеми від перевищення струму використовується автоматичний вимикач. Також наявні струмообмежувальні реактори, які являють собою індуктивний опір і слугують для обмеження ударного струму короткого замикання. Коло

збудження живиться від мережі змінної напруги. Для її випрямлення використовується випрямляч на основі тріодних тиристорів.

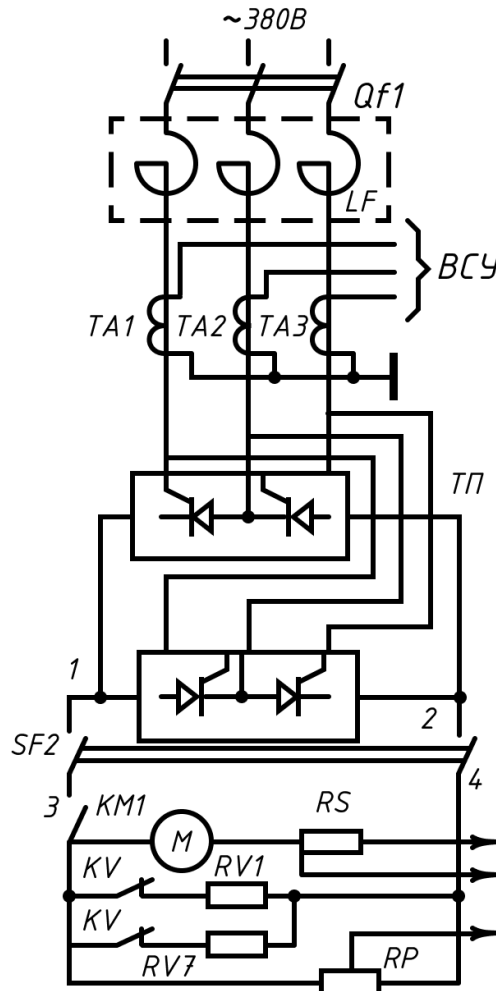


Рисунок 1.4 – Спрощена електрична схема силової частини головного електроприводу

1.3.Формулювання вимог до електроприводу, системи автоматичного керування та автоматизації

Вимоги до електроприводу головного руху поздовжньо-стругального верстату обумовлюються сучасними стандартами виробництва, розвитком технологій, особливостями застосування верстату та функціонування електроприводу головного руху, яким є електропривод стола.

Електропривод головного руху має забезпечувати необхідні зусилля та швидкість різання відповідно до технічних даних, наведених у п. 1.2.

Електроприводом головного руху повинно здійснюватись переміщення столу у відповідності до вимог виробництва та лінійних розмірів заготовок.

Електропривод має бути розрахованим на роботу з живленням від промислової трифазної електромережі. Напруга мережі становить 380 В. Частота мережі становить 50 Гц.

Електрична частина система повинна мати електричний захист, який виконує функції попередження псування обладнання внаслідок виникнення струмів із завищеними значеннями. Повинні бути наявними захисти від самозапуску, коротких замикань і перевантажень.

Швидкість руху робочого органу усталена, точність підтримання швидкості 5%. Перерегулювання не допускається.

Електропривод забезпечує автоматичний зворотно-поступальний рух механізму циклічної дії в режимі S3.

Зупинка електроприводу повинна відбуватись відповідно до вимог технологічного процесу і здійснюватись у крайніх точках заданої траєкторії головного руху.

Пуск і гальмування робочого органу верстату повинні відбуватись плавно, з прискоренням не більше 10 м/с^2 .

Верстат повинен забезпечувати належну обробку поверхні, створюючи необхідну шорсткість не нижче 5 класу.

Модернізований електропривод повздовжньо-стругального верстату повинен мати покращення відповідно до сучасних тенденцій розвитку електроприводів.

Однією з вимог, зумовлених призначенням верстату є висока надійність та простота обслуговування. З огляду на це має сенс використання асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Ним в процесі модернізації промислового обладнання можна замінити двигун постійного струму, оскільки останній має суттєві недоліки у порівнянні з асинхронним

двигуном. Зокрема, наявність ковзного контакту, який призводить до ускладнення обслуговування та зменшення надійності в наслідок механічного зносу. Також двигун постійного струму має більшу вартість, масу та габарити, ніж асинхронний двигун. Розвиток технологій на сьогоднішній день дозволяє здійснювати керування асинхронним двигуном із короткозамкненим ротором з характеристиками, еквівалентними тим, що отримуються при керуванні двигунами постійного струму. Тому сучасні електроприводи є переважно асинхронними і доцільною є розробка саме асинхронного електроприводу в рамках модернізації повздовжньо-стругального верстату.

Також до сучасних електроприводів висуваються вимоги стосовно автоматизації технологічних процесів. Системи керування повинні забезпечувати автоматичне відпрацювання заданої програми руху. Система автоматизації повздовжньо-стругального верстату має здійснювати автоматизоване керування електроприводом, забезпечувати відпрацювання заданої траєкторії руху та створення необхідної шорсткості оброблюваної поверхні.

Діапазон регулювання швидкості двигуна електроприводу головного руху є невеликим. У випадку даного верстату діапазон регулювання швидкості становить 25:1. Повинне забезпечуватись плавне регулювання швидкості електродвигуна в діапазоні від 60 об/хв до 1500 об/хв. Задана швидкість обертання електродвигуна у всьому діапазоні регулювання повинна підтримуватись із точністю 5%.

1.4 Висновки до розділу 1

1. Описано особливості процесу роботи стругального верстату та галузі їх використання. Розглянуто види стругальних верстатів та їх переваги і недоліки. Для модернізації зроблено вибір повздовжньо-стругального типу верстату, як найбільш цінного для виробництва.

2. Описано повздовжньо-стругальний верстат моделі 7210. Наведені характеристики та описана будова верстату. Показані спрощена кінематична та електрична схеми електроприводу стола.

3. Сформовані вимоги до параметрів електроприводу головного руху та до системи його автоматизації, відповідно до технічних даних верстату.

РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРІБНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ПОПЕРЕДНІЙ ВИБІР ЕЛЕКТРОДИВГУНА

2.1. Розрахунок часу роботи верстату на окремих ділянках діаграми швидкості

Вихідні дані:

1. Маса деталі $= 1.5\text{т}$;
2. Маса стола $= 2.5\text{т}$;
3. Довжина оброблюваної поверхні $= 1\text{м}$;
4. Швидкість робочого ходу $U_{\text{пр}}=0.7\text{ м/с}$;
5. Швидкість зворотнього ходу $U_{\text{зв}}=0.8\text{ м/с}$;
6. Понижена швидкість $U_{\text{пон}}=0.25\text{м/с}$;
7. Максимальне зусилля різання $F_z=36\text{ кН}$;
8. Коефіцієнт тертя в напрямних $\mu=0.065$;
9. Радіус приведення $r=u/w=0.0055$;
10. Номінальний ККД передачі $\eta_{\text{ном}} = 0.86$.

Для поздовжно-стругального верстату характерні чотири відрізка циклограми:

1. Рух на пониженій швидкості (початок врізання різця);
2. Різання деталі зі швидкістю основного ходу;
3. Рух на пониженій швидкості (вихід різця з заготовки);
4. Зворотній хід.

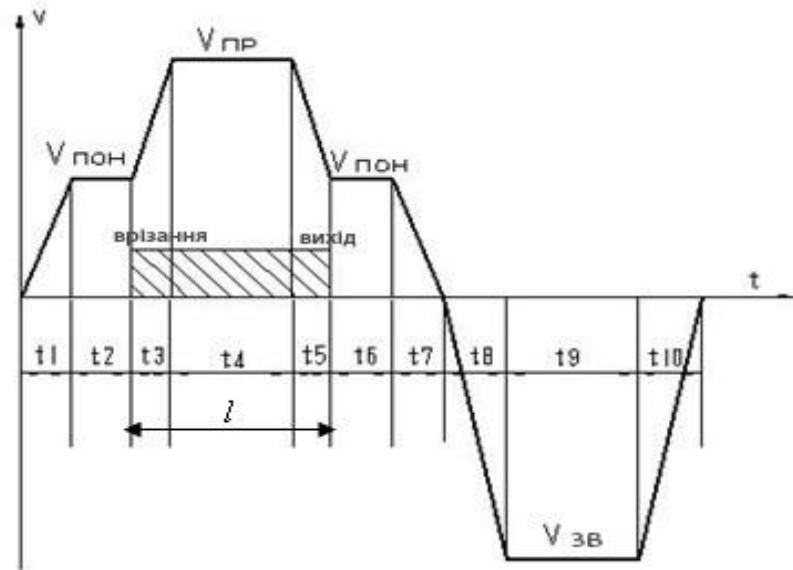


Рисунок 2.1 – Діаграма швидкості

На рисунку 2.1. представлена діаграма швидкості механізму подачі для поздовжно-стругального верстату. Робочий цикл розділений на 10 інтервалів.

Перший інтервал включає перехід від нульової швидкості до зниженої швидкості.

$$t_1 = \frac{v_{\text{пон}}}{a_{\text{сер}}} = \frac{0.25}{1} = 0.25 \text{с}, \quad (2.1)$$

де $a_{\text{сер}}$ - середнє прискорення, $a_{\text{сер}} = 1 \text{м/с}^2$.

Шлях, пройдений за перший інтервал часу:

$$S_1 = \frac{a_{\text{сер}} \times t_1^2}{2} = \frac{1 \times 0.25^2}{2} = 0.03 \text{м}. \quad (2.2)$$

Візьмемо шлях, пройдений на пониженій швидкості, зі стандартного ряду та приймемо значення $S_2 = 0,01 \text{м}$ тоді час руху на пониженій швидкості буде дорівнювати:

$$t_2 = \frac{S_2}{v_{\text{пони}}} = \frac{0.01}{0.25} = 0.04 \text{с.} \quad (2.3)$$

Проміжок часу, за який верстат переходить з пониженої швидкості до швидкості основного руху буде дорівнювати:

$$t_3 = \frac{v_{\text{пр}} - v_{\text{пони}}}{a_{\text{сеп}}} = \frac{0.7 - 0.25}{1} = 0.45 \text{с.} \quad (2.4)$$

Шлях, який різець проходить за третій інтервал часу:

$$S_3 = v_{\text{пони}} \times t_3 + \frac{a_{\text{сеп}} \times t_3^2}{2} = 0.25 \times 0.45 + \frac{1 \times 0.45^2}{2} = 0.214 \text{м.} \quad (2.5)$$

Використовуючи симетрію діаграми можемо зробити висновки, що на відповідних ділянках значення часу та шляху будуть однаковими:

$$\begin{aligned} t_3 = t_5 = 0.45 \text{с,} \quad S_3 = S_5 = 0.214 \text{м,} \\ t_1 = t_7 = 0.25 \text{с,} \quad S_1 = S_7 = 0.03 \text{м,} \\ t_2 = t_6 = 0.04 \text{с,} \quad S_2 = S_6 = 0.01 \text{м.} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Знайдемо повний шлях руху стола:

$$S_{\text{пр}} = S_1 + S_2 + 1 + S_6 + S_7 = 2 \times S_1 + 2 \times S_2 + 1 = 2 \times 0.03 + 2 \times 0.01 + 1 = 1.08 \text{м.} \quad (2.7)$$

Використовуючи рис. 2.1 отримаємо шлях пройдений на швидкості основного ходу:

$$S_4 = 1 - S_3 - S_5 = 1 - 2 \times 0.214 = 0.573 \text{м.} \quad (2.8)$$

Тоді четвертий інтервал часу буде дорівнювати:

$$t_4 = \frac{S_4}{v_{\text{пр}}} = \frac{0.573}{0.7} = 0.82 \text{с.} \quad (2.9)$$

Час прискореного руху стола до швидкості зворотного ходу і шлях, пройдений за цей інтервал часу:

$$t_8 = \frac{v_{зв}}{a_{сеп}} = \frac{0.83}{1} = 0.83 \text{ с.} \quad (2.10)$$

$$S_8 = \frac{a_{сеп} \times t_8^2}{2} = \frac{1 \times 0.83^2}{2} = 0.344 \text{ м.} \quad (2.11)$$

Відносно симетрії:

$$t_8 = t_{10} = 0.83 \text{ с,} \quad S_8 = S_{10} = 0.344 \text{ м.} \quad (2.12)$$

Шлях столу при швидкості зворотного ходу і час роботи з цією швидкістю:

$$S_9 = S_{пр} - 2S_8 = 1.08 - 2 \times 0.344 = 0.393 \text{ м,} \quad (2.13)$$

$$t_9 = \frac{S_9}{v_{зв}} = \frac{0.392}{0.83} = 0.47 \text{ с.} \quad (2.14)$$

Загальний час:

$$t_{ц} = \sum_{i=1}^{10} t_i = 2 \times 0.25 + 2 \times 0.04 + 2 \times 0.45 + 0.82 + 2 \times 0.83 + 0.47 = 4.43 \text{ с.} \quad (2.15)$$

2.2 Розрахунок зусиль та побудова діаграм швидкості і навантаження

Визначення зусиль, які діють на механізм під час кожного інтервалу часу.

Статичне зусилля при прямому ході:

$$F_{с.п} = \left[F_z + F_v + (m_d + m_{ст}) \times g \times \mu \right] \frac{1}{\eta_{п.ном}}. \quad (2.16)$$

де F_z – зусилля різання, Н,

F_v – вертикальна складова сили при різанні, Н,

$m_d, m_{ст}$ - маса деталі та маса стола, кг,

μ - коефіцієнт тертя направляючих,

$\eta_{п.ном}$ - номінальний ККД передачі.

Статичне зусилля стола при зворотному ході:

$$F_{c.o} = \frac{(m_d + m_{ct}) \times g \times \mu}{\eta_{п}}, \quad (2.17)$$

де $\eta_{п}$ - ККД передачі при зворотному ході:

$$\eta_{п} = \left(\frac{1}{\eta_{п.ном}} + \frac{\alpha}{K_3} - \alpha \right)^{-1}, \quad (2.18)$$

α – коефіцієнт втрат в передачі, $\alpha=0.1$.

$\eta_{п.ном}$ - номінальний ККД передачі, $\eta_{п.ном}=86\%$;

k_3 - коефіцієнт загрузки:

$$k_3 = \frac{(m_d + m_{ct}) \times g \times \mu}{F_z + F_v + g \times \mu \times (m_d + m_{ct})}, \quad (2.19)$$

F_z - зусилля різання, $F_z=36кН$.

F_v - вертикальна складова зусилля при різанні:

$$F_v = 0.4 \times F_z = 0.4 \times 36000 = 14400Н, \quad (2.20)$$

Тоді:

$$k_3 = \frac{(1500+2500) \times 9.81 \times 0.065}{36000+14000+9.81 \times 0.065 \times (1500+2500)} = 0.05. \quad (2.21)$$

ККД передачі на зворотному ході:

$$\eta_{п} = \left(\frac{1}{0.86} + \frac{0.1}{0.048} - 0.1 \right)^{-1} = 0.31, \quad (2.22)$$

$$F_{c.o} = \frac{(1500+2500) \times 9.81 \times 0.065}{0.32} = 8кН. \quad (2.23)$$

Тягові зусилля на столі при різанні металу:

$$F_{c.п} = \frac{F_Z + F_v + (m_d + m_{ct}) \times g \times \mu}{\eta_{п.ном}} =$$

$$= \frac{36000 + 14400 + (1500 + 2500) \times 9.81 \times 0.065}{0.86} = 61.570 \text{ кН.} \quad (2.24)$$

Динамічне зусилля:

$$F_{дин} = m \times a = (m_d + m_{ct}) \times a = (1500 + 2500) \times 1 = 4 \text{ кН.} \quad (2.25)$$

Для кожного відрізка діаграми швидкості визначимо тягові зусилля:

$F_i = F_c + F_{дин}$, де $i = 1 \div 10$,

$$F_1 = F_{c.o} + F_{дин} = 8.006 + 4 = 12.006 \text{ кН,} \quad (2.26)$$

$$F_2 = F_{c.o} = 8.006 \text{ кН,} \quad (2.27)$$

$$F_3 = F_{c.п} + F_{дин} = 61.57 + 4 = 65.570 \text{ кН,} \quad (2.28)$$

$$F_4 = F_{c.п} = 61.570 \text{ кН,} \quad (2.29)$$

$$F_5 = F_{c.п} - F_{дин} = 61.57 - 4 = 57.570 \text{ кН,} \quad (2.30)$$

$$F_6 = F_{c.o} = 8.006 \text{ кН,} \quad (2.31)$$

$$F_7 = F_{c.o} - F_{дин} = 8.006 - 4 = 4.006 \text{ кН,} \quad (2.32)$$

$$F_8 = -(F_{c.o} + F_{дин}) = -(8.006 + 4) = -12.006 \text{ кН,} \quad (2.33)$$

$$F_9 = -F_{c.o} = -8.006 \text{ кН,} \quad (2.34)$$

$$F_{10} = -(F_{c.o} - F_{дин}) = -(8.006 - 4) = -4.005 \text{ кН.} \quad (2.35)$$

За отриманими даними побудуємо діаграму швидкості та навантажувальну діаграму

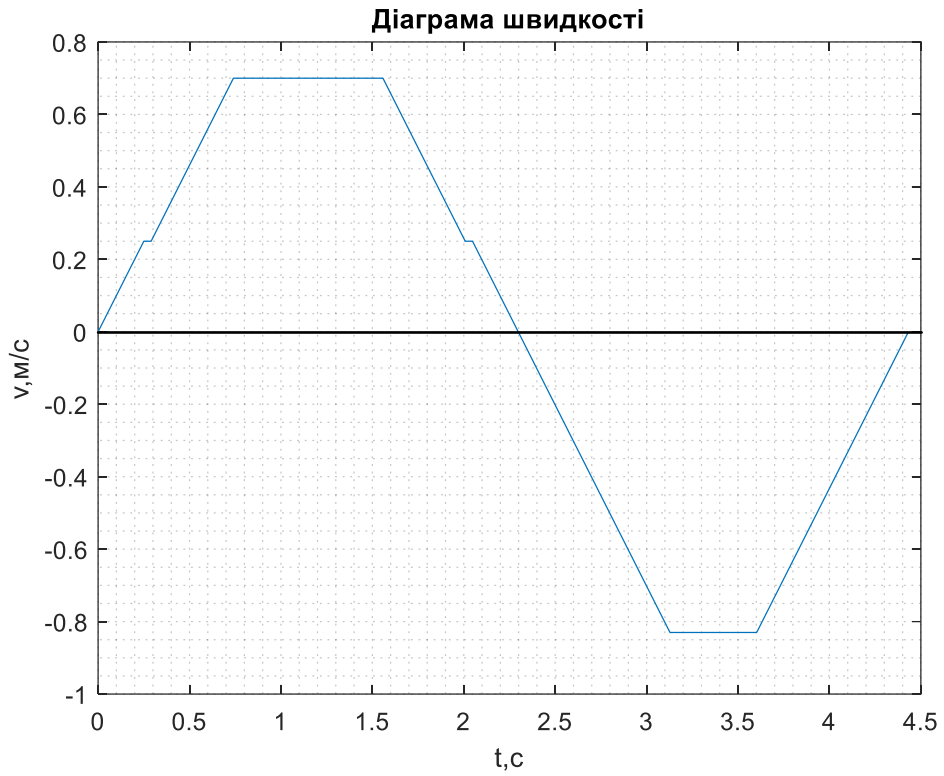


Рисунок 2.2 – Побудована діаграма швидкості

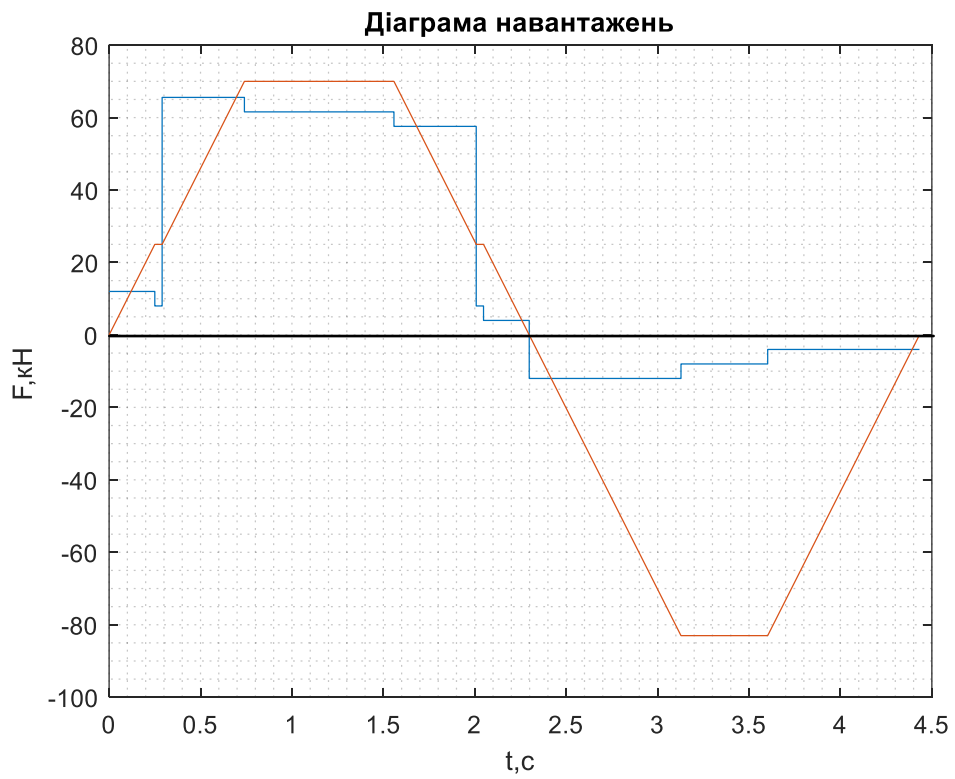


Рисунок 2.3 – Діаграма навантажень

2.3 Попередній вибір двигуна

Розрахуємо еквівалентну силу:

$$F_e = \sqrt{\frac{1}{t_{ц}} \times \sum_{i=1}^{10} F_i^2 \times t_i} = \sqrt{\frac{1}{4.43} \times \left((12006^2 + 4006^2) \times 1.08 + 8006^2 \times 0.55 + \right.} \quad (2.36)$$

$$\left. + (65570^2 + 57570^2) \times 0.45 + 61570^2 \times 0.82 \right) = 38.983 \text{ кН},$$

Використавши значення еквівалентної сили та номінальної швидкості двигуна, розрахуємо його еквівалентну потужність. За номінальну швидкість приймається максимальна, тобто швидкість зворотного ходу:

$$v_{\text{ном}} = v_{\text{зв}} = 0.83 \text{ м/с}. \quad (2.37)$$

Еквівалентна потужність двигуна:

$$P_e = F_e \times v_{\text{ном}} = 32.356 \text{ кВт}. \quad (2.38)$$

Розрахункова потужність:

$$P_{\text{роз}} = k_{\text{зап}} \times P_e, \quad (2.39)$$

де $k_{\text{зап}}$ - коефіцієнт запасу, який враховує наявність динамічних моментів в двигуні. Візьмемо $k_{\text{зап}} = 1,2$:

$$P_{\text{роз}} = k_{\text{зап}} \times P_e = 1.2 \times 32.356 = 38.827 \text{ кВт}. \quad (2.40)$$

Візьмемо значення зі стандартного ряду: $P_{\text{ном}} = 45 \text{ кВт}$.

Розрахуємо номінальну кутову швидкість, використовуючи даний вираз:

$$\rho = \frac{v}{\omega} = 0.0055 \text{ м/рад}, \quad (2.41)$$

де ρ – радіус приведення.

Тоді отримаємо:

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{v_{\text{ном}}}{\rho} = \frac{0.83}{0.0055} = 150.9 \text{ рад/с}, \quad (2.42)$$

$$n_{\text{ном}} = \frac{30 \times \omega_{\text{ном}}}{\pi} = \frac{30 \times 150.9}{\pi} = 1441.72 \text{ об/хв.} \quad (2.43)$$

Візьмемо значення з стандартно ряду: $n_{\text{хх}} = 1500 \text{ об/хв.}$

Вибираємо асинхронний двигун 4АН200М4У3

2.4 Висновки до розділу 2

1. Наведено діаграму швидкості та розраховано час роботи верстату на окремих ділянках діаграми.
2. Розраховано зусилля, які діють на механізм під час кожного інтервалу часу. Побудовано діаграми швидкості та навантаження.
3. Виконано попередній вибір електродвигуна.

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНА ТА ВИБІР СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1 Розрахунок номінальних даних двигуна

Технічні характеристики двигуна 4АН200М4У3 наведені в табл. 3.1 [6].

Таблиця 3.1. Технічні характеристики двигуна 4АН200М4У3

Номінальна потужність	$P_{2n} = 45(\text{кВт})$
Номінальна лінійна напруга статора	$U_{1n} = 380(\text{В})$
Число пар полюсів	$p_n = 2$
Момент інерції	$J_d = 0.345(\text{кг} \cdot \text{м}^2)$
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = 0,91$
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi = 0.89$
Перевантажувальна здатність	$\lambda = 2.5$
Номінальне ковзання	$s_n = 0.017$
Номінальна частота напруги статора	$f = 50(\text{Гц})$
Індуктивний опір розсіювання статора	$\bar{x}_1' = 0.096$
Активний опір статора	$\bar{R}_1' = 0.42$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$\bar{x}_2'' = 0.16$
Приведений активний опір ротора	$\bar{R}_2'' = 0.02$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$\bar{x}_\mu = 4.0$

Кутова частота напруги статора:

$$\omega_{0n} = 2\pi f = 2 \times 3.14 \times 50 = 314 \text{ (рад/с)}. \quad (3.1)$$

Швидкість ідеального холостого ходу двигуна:

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{0n}}{p_n} = \frac{314}{2} = 157 \text{ (рад/с)}. \quad (3.2)$$

Номінальна швидкість двигуна:

$$\omega_n = \omega_{xx} (1 - s_n) = 157 \times (1 - 0.017) = 154.33 \text{ (рад/с)}. \quad (3.3)$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n} = \frac{45000}{154.33} = 291.58 \text{ (Нм)}. \quad (3.4)$$

Критичний момент двигуна (по перевантажувальній здатності λ з каталогу):

$$M_k = \lambda M_n = 2.5 \times 291.58 = 728.95 \text{ (Нм)}. \quad (3.5)$$

Номінальні діючі значення фазної напруги та струму статора:

$$U_n = \frac{U_{ln}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ (В)}; \quad (3.6)$$

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3U_n \eta \cos \varphi} = \frac{45000}{3 \times 220 \times 0.91 \times 0.89} = 84.19 \text{ (А)}. \quad (3.7)$$

Амплітудні значення фазної напруги і струму статора:

$$U_{na} = \sqrt{2} U_n = \sqrt{2} \times 220 = 310 \text{ (В)}; \quad (3.8)$$

$$I_{na} = \sqrt{2} I_n = \sqrt{2} \times 84.19 = 119.1 \text{ (А)}. \quad (3.9)$$

Амплітудне значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу при $R_l = 0$:

$$\Psi_{1XX} = \frac{U_{na}}{\omega_{0n}} = \frac{310}{314} = 0.99 \text{ (Вб)}. \quad (3.10)$$

3.2 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення

У даному випадку, математична модель асинхронного двигуна була розроблена для Т-подібної схеми заміщення (рис. 2.1), проте каталожні параметри, які були надані, відповідають Г-подібній схемі заміщення (рис. 2.2). Для перетворення цих параметрів з Г-подібної схеми на Т-подібну схему, використовується наступний метод:

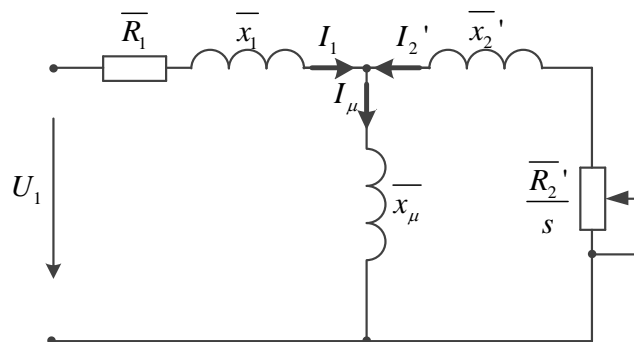


Рисунок 3.1 – Т-подібна схема заміщення АД

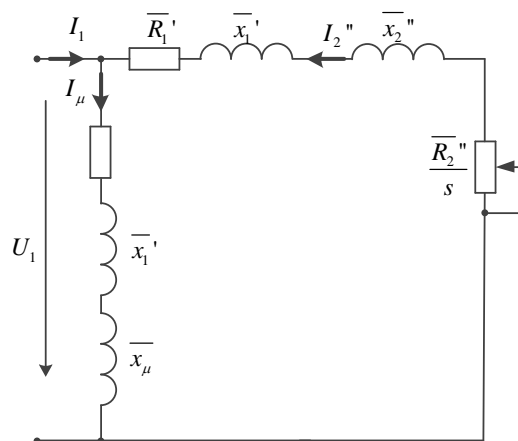


Рисунок 3.2 – Г-подібна схема заміщення АД

Коефіцієнт перерахунку між Т-подібною та Г-подібною схемами заміщення:

$$c_1 = \frac{\overline{x}_\mu + \sqrt{\overline{x}_\mu^2 + 4\overline{x}_1 \times \overline{x}_\mu}}{2\overline{x}_\mu} = \frac{4 + \sqrt{4^2 + 4 \times 0.096 \times 4}}{2 \times 4} = 4.52. \quad (3.11)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення у відносних одиницях:

$$\frac{\overline{x}_1}{c_1} = \frac{\overline{x}_1'}{c_1} = \frac{0.096}{4.52} = 0.0212; \quad (3.12)$$

$$\frac{\overline{R}_1}{c_1} = \frac{\overline{R}_1'}{c_1} = \frac{0.042}{4.52} = 0.093; \quad (3.13)$$

$$\frac{\overline{x}_2'}{c^2} = \frac{\overline{x}_2''}{c^2} = \frac{0.16}{(4.52)^2} = 0.0078; \quad (3.14)$$

$$\frac{\overline{R}_2'}{c^2} = \frac{\overline{R}_2''}{c^2} = \frac{0.02}{(4.52)^2} = 0.00098. \quad (3.15)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях запишуться:

$$x_1 = \overline{x}_1 \frac{U_n}{I_n} = 0.0212 \times \frac{220}{84.19} = 0.056 \text{ (Ом)}; \quad (3.16)$$

$$R_1 = \overline{R}_1 \frac{U_n}{I_n} = 0.093 \times \frac{220}{84.19} = 0.024 \text{ (Ом)}; \quad (3.17)$$

$$x_2' = \overline{x}_2' \frac{U_n}{I_n} = 0.0078 \times \frac{220}{84.19} = 0.0204 \text{ (Ом)}; \quad (3.18)$$

$$R_2 = \overline{R}_2 \frac{U_n}{I_n} = 0.00098 \times \frac{220}{84.19} = 0.026 \text{ (Ом)}; \quad (3.19)$$

$$x_\mu = \overline{x}_\mu \frac{U_n}{I_n} = 4 \times \frac{220}{84.19} = 10.45 \text{ (Ом)}. \quad (3.20)$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора:

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{\omega_0} = \frac{0.056}{314} = 0.0002 \text{ (Гн)}; \quad (3.21)$$

$$L_{2\sigma} = \frac{x_2'}{\omega_0} = \frac{0.0204}{314} = 0.000065 \text{ (Гн)}. \quad (3.22)$$

Індуктивність намагнічуючого контуру:

$$L_m = \frac{x_\mu}{\omega_0} = \frac{10.45}{314} = 0.033 \text{ (Гн)}. \quad (3.23)$$

Індуктивності статора і ротора:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 0.033 + 0.0002 = 0.0335 \text{ (Гн)}; \quad (3.24)$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 0.033 + 0.000065 = 0.0334 \text{ (Гн)}. \quad (3.25)$$

На основі проведених розрахунків обчислюємо значення параметрів $\alpha, \alpha_1, \beta, \gamma, \sigma, \mu_1$:

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2} = \frac{0.026}{0.0334} = 0.0766 \left(\frac{\text{Ом}}{\text{Гн}} \right); \quad (3.26)$$

$$\alpha_1 = \frac{R_1}{L_1} = \frac{0.0243}{0.0335} = 0.725 \left(\frac{\text{Ом}}{\text{Гн}} \right); \quad (3.27)$$

$$\sigma = L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} \right) = 0.0335 \times \left(1 - \frac{(0.033)^2}{0.0335 \times 0.0334} \right) = 0.00024 \text{ (Гн)}; \quad (3.28)$$

$$\beta = \frac{L_m}{L_2 \sigma} = \frac{0.033}{0.0334 \times 0.00024} = 4116.77 \left(\frac{1}{\text{Гн}} \right); \quad (3.29)$$

$$\gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha L_m \beta = \frac{0.0243}{0.00024} + 0.076 \times 0.033 \times 4116.77 = 110.97 \left(\frac{\text{Ом}}{\text{Гн}} \right); \quad (3.30)$$

$$\mu_1 = \frac{3 L_m}{2 L_2} = \frac{3}{2} \times \frac{0.033}{0.0334} = 1.5. \quad (3.31)$$

Для виконання моделювання розрахуємо сумарний приведений момент інерції:

$$J_{\Sigma}' = J_d + (m_{ct} + m_d) \times \rho^2 = 0.345 + (1500 + 2500) \times 0.0055^2 = 0.466. \quad (3.32)$$

Таблиця 3.2 – Параметри двигуна 4АН200М4У3

$P_{2n}, (\text{кВт})$	45	$R_1, (\text{Ом})$	0.0243
$\omega_{xx}, (\text{рад/с})$	157	$R_2, (\text{Ом})$	0.026
$\omega_n, (\text{рад/с})$	154.33	$L_1, (\text{Гн})$	0.0335
$M_n, (\text{Н}\times\text{м})$	291.58	$L_2, (\text{Гн})$	0.0334
$M_k, (\text{Н}\times\text{м})$	728.95	$L_m, (\text{Гн})$	0.033
λ	2.5	$\alpha, (\text{Ом/Гн})$	0.0766
$I_{na}, (\text{А})$	119.06	$\alpha_1, (\text{Ом/Гн})$	0.725
$\psi_{1xx}, (\text{Вб})$	0.99	$\sigma, (\text{Гн})$	0.00024
η	0,91	$\beta, (1/\text{Гн})$	4131.4
$\cos\varphi$	0,89	$\gamma, (\text{Ом/Гн})$	110.97
$J_d, (\text{кг}\times\text{м}^2)$	0.345	μ_1	1.5

3.4 Висновки до розділу 3

1. Розраховано номінальні дані двигуна.
2. Розраховано параметри Т-подібної схеми заміщення для подальшого моделювання статичних і динамічних режимів електроприводу.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

4.1 Загальний алгоритм векторного керування АД [7-11]

У дослідженні та моделюванні систем керування асинхронними двигунами (АД) застосовується математична модель, для опису якої використовується стаціонарна система координат (a–b):

$$\begin{aligned}
 \dot{\omega} &= \frac{1}{J}(M - M_c) - v\omega \\
 M &= \mu(\psi_{2a}i_{1b} - \psi_{2b}i_{1a}) \\
 \dot{i}_{1a} &= -\gamma i_{1a} + \alpha\beta\psi_{2a} - \beta p_n \omega \psi_{2b} + \frac{1}{\sigma} u_{1a} \\
 \dot{i}_{1b} &= -\gamma i_{1b} + \alpha\beta\psi_{2b} - \beta p_n \omega \psi_{2a} + \frac{1}{\sigma} u_{1b} \\
 \dot{\psi}_{2a} &= -\alpha\psi_{2a} - p_n \omega \psi_{2b} + \alpha L_m i_{1a} \\
 \dot{\psi}_{2b} &= -\alpha\psi_{2b} - p_n \omega \psi_{2a} + \alpha L_m i_{1b}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

де ω позначає кутову швидкість ротора, $(i_{1a}, i_{1b})^T$ – компоненти струму статора в системі координат (a - b), $(\psi_{2a}, \psi_{2b})^T$ – компоненти вектора потокозчеплень ротора, $(u_{1a}, u_{1b})^T$ – компоненти вектора напруги статора, M_c – момент навантаження, v – коефіцієнт в'язкого тертя. Додатні константи, що відносяться до електричних і механічних параметрів АД, визначені наступним чином:

$$\sigma = L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2}\right), \quad \beta = \frac{L_m}{L_2 \sigma}, \quad \mu = \frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{J L_2}, \quad \alpha = \frac{R_2}{L_2}, \quad \gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha L_m \beta \tag{4.2}$$

де J – повний момент інерції ротора, R_1 і R_2 – активні опори обмоток статора і ротора відповідно, L_1 і L_2 – індуктивні опори обмоток статора і ротора

відповідно, L_m – індуктивний опір взаємоіндукції обмоток статора і ротора, p – число пар полюсів. J

Алгоритми векторного керування АД, як правило, проектуються та записуються в синхронній системі координат ($d - q$), яка обертається відносно стаціонарної системи координат з швидкістю ω_0 , зображено на рис.2.1.

Перетворення координат визначаються:

$$\begin{aligned} X_{dq} &= e^{-j\varepsilon_0} X_{ab}, & e^{j\varepsilon_0} &= \begin{bmatrix} \cos\varepsilon_0 & \sin\varepsilon_0 \\ \sin\varepsilon_0 & \cos\varepsilon_0 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (4.3)$$

де X_{yz} позначає двовимірний вектор напруги, потоку і струму статора, – кутове положення системи координат ($d - q$) відносно стаціонарної ($a - b$).

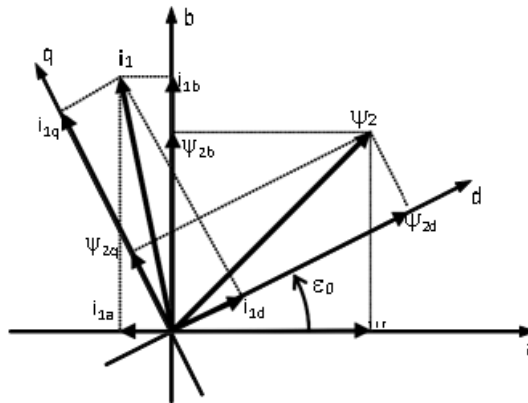


Рисунок 4.1 – Розташування векторів АД

Проблема відпрацювання заданих траєкторій кутової швидкості - потокозчеплення формується таким способом: припустимо, що у моделі асинхронного двигуна, яка позначена як (4.1), має місце така умова:

- A.1. Можна виміряти струми статора та кутову швидкість ротора;
- A.2. Параметри АД відомі і незмінні;
- A.3. Момент навантаження M_c невідомий, постійний та обмежений;
- A.4. Задані траєкторії кутової швидкості ω^* і потокозчеплення $\psi^* > 0$ є обмеженими функціями з обмеженими першою та другою похідними по часу.

В умовах цих припущень відбувається проектування алгоритмів прямого на непрямого векторного керування які забезпечують

O1. Глобальне асимптотичне відпрацювання заданих траєкторій швидкості – потокозчеплення, тобто

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\omega} = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\psi} = 0, \quad (4.4)$$

за умови обмеженості всіх внутрішніх змінних.

O2. Асимптотичне орієнтування по вектору потокозчеплення ротора

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \psi_q = 0. \quad (4.5)$$

O3. Асимптотичну лінеаризацію підсистеми швидкості до лінійної повністю керованої форми.

O4. Асимптотичну розв'язку процесів керування електромеханічними та електромагнітними координатами АД.

Синтез алгоритмів векторного керування, заснованих на вимірюваному виході, виконується у два етапи. По-перше, проводиться синтез підсистеми керування потокозчепленням, а потім синтезується підсистема керування швидкістю. Обидва цих етапи синтезу здійснюються за допомогою зворотної покрокової процедури проектування.

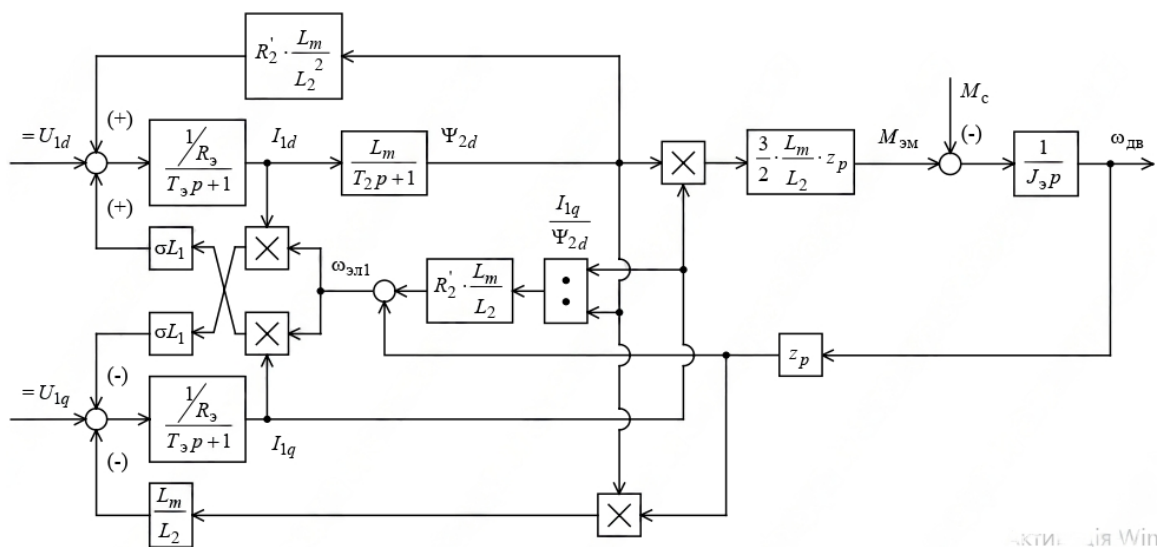


Рисунок 4.2 – Структурна схема АД з короткозамкненим ротором

4.2 Складання алгоритму прямого векторного керування АД [11]

Повний алгоритм прямого векторного керування швидкістю асинхронного двигуна, який використовує замкнений спостерігач магнітного потоку зниженого порядку, містить наступні компоненти:

– спостерігач магнітного потоку АД

$$\begin{aligned} \dot{|\hat{\Psi}_2|} &= -\alpha |\hat{\Psi}_2| + \alpha L_m i_d, \\ \dot{\varepsilon}_0 &= \omega_0 = \omega + \alpha L_m \frac{i_q}{|\hat{\Psi}_2|}, \end{aligned} \quad (4.6)$$

де $|\hat{\Psi}_2|$ – оцінене значення поточкозчеплення ротора. ω_0 – синхронна швидкість поля АД.

– регулятор потоку

$$\begin{aligned} i_d^* &= \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \psi^* + \dot{\psi}^* - k_\psi \tilde{\psi} - x_\psi), \\ \dot{x}_\psi &= k_{\psi i} \tilde{\psi}, \end{aligned} \quad (4.7)$$

де $\tilde{\psi} = |\hat{\Psi}_2| - \psi^*$ – похибка відпрацювання оціненого значення поточкозчеплення.

– регулятор струму по осі(d)

$$\begin{aligned} u_d &= \sigma \left(\gamma i_d^* - \omega_0 i_q - \alpha \beta |\hat{\Psi}_2| + \dot{i}_d^* - k_i \tilde{i}_d - x_d \right), \\ \dot{x}_d &= k_{ii} \tilde{i}_d, \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$\dot{i}_d^* = \frac{1}{\alpha L_m} \left\{ \alpha \dot{\psi}^* + \ddot{\psi}^* - k_\psi \left[-(\alpha + k_\psi) \tilde{\psi} + \alpha L_m \tilde{\dot{i}}_d + \gamma_1 \alpha \beta \tilde{i}_d - x_\psi \right] - \dot{x}_\psi \right\},$$

де $\tilde{i}_d = i_d - i_d^*$ – похибка відпрацювання струму по осі d

– регулятор швидкості

$$\begin{aligned} \dot{i}_d^* &= \frac{1}{\mu \psi^*} \left(-k_\omega \tilde{\omega} + \hat{M}_c + v \omega^* + \dot{\omega}^* \right), \\ \dot{\hat{M}}_c &= -k_{\omega i} \tilde{\omega}, \end{aligned} \quad (4.9)$$

– модифікований регулятор струму по осі (q)

$$\mathbf{u}_q = \sigma \left[\gamma \dot{\mathbf{i}}_q^* - \omega_0 \mathbf{i}_q - \beta \omega \psi^* + \dot{\mathbf{i}}_{q1}^* - k_{iq} \tilde{\mathbf{i}}_q - \frac{1}{\psi^*} (\dot{\psi}^* \tilde{\mathbf{i}}_q + \zeta) \right], \quad (4.10)$$

$$\dot{\zeta} = k_{\eta i} (\psi^* \tilde{\mathbf{i}}_q).$$

$$\dot{\mathbf{i}}_{q1}^* = \frac{1}{\mu \psi^*} \left[-k_\omega (-k_\omega \tilde{\omega} + \mu \psi^* \tilde{\mathbf{i}}_q) + \dot{M}_c + \dot{\omega} v^* + \ddot{\omega}^* \right] - \frac{\dot{\psi}^*}{\psi^*} \mathbf{i}_q^*, \quad (4.11)$$

де $\tilde{\mathbf{i}}_q = \mathbf{i}_q - \mathbf{i}_q^*$ – похибка відпрацювання струму по осі q

Реальні напруги, що прикладають до обмоток статора, дорівнюють:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{u}_a \\ \mathbf{u}_b \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_0 & -\sin \varepsilon_0 \\ \sin \varepsilon_0 & \cos \varepsilon_0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{u}_d \\ \mathbf{u}_q \end{pmatrix}. \quad (4.12)$$

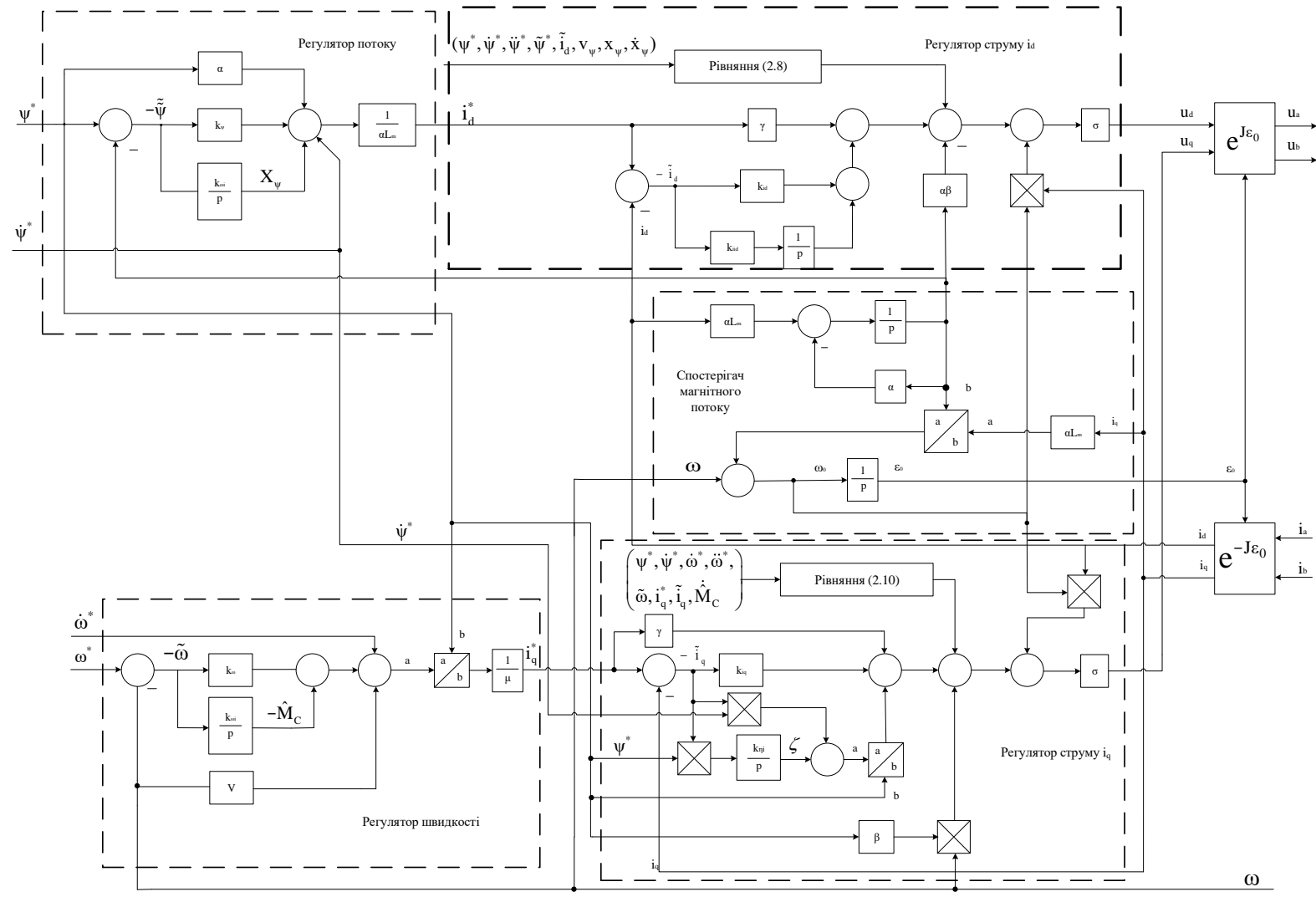


Рисунок 4.3 – Структурна схема прямого векторного керування

4.3 Висновки до розділу 4

1. Визначено загальний алгоритм векторного керування АД та наведено структурну схему АД з короткозамкненим ротором.
2. Розроблено алгоритм прямого векторного керування АД.
3. Отримані результати потребують перевірки шляхом моделювання динамічних режимів електроприводу, що буде проводитись в розділі 5.

РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

5.1 Дослідження статичних та динамічних характеристик системи при номінальній кутовій швидкості

На рис. 5.1 зображено задану траєкторію швидкості та профіль моменту навантаження. Траєкторія швидкості включає розгін, роботу на усталеній швидкості та гальмування. Коли двигун працює на усталеній швидкості, стрибком накладається і скидається момент навантаження.

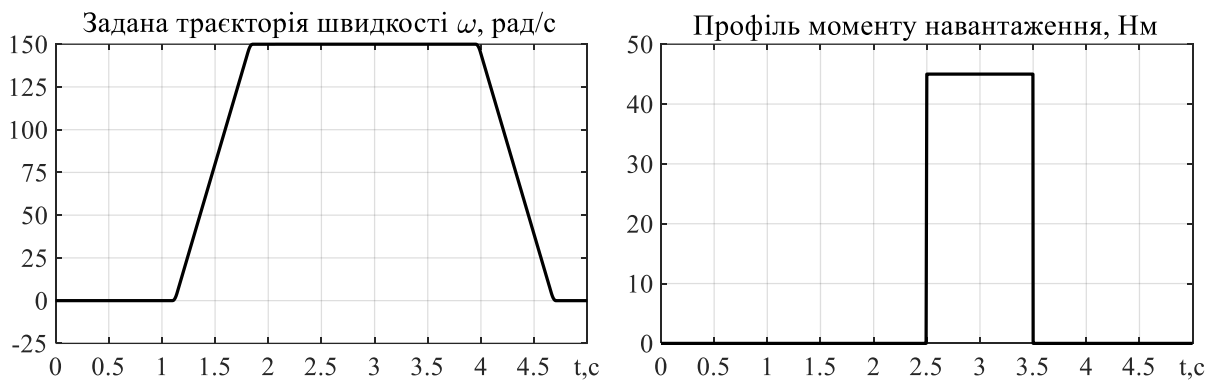


Рисунок 5.1 – Задана траєкторія швидкості та профіль моменту навантаження

На рис. 5.2 зображено графіки похибки регулювання швидкості, похибки відпрацювання потоку. Розглянувши графік похибки регулювання швидкості, можна зазначити, що траєкторія швидкості відпрацьовується. При накиданні та скиданні моменту навантаження виникають короткочасні динамічні похибки регулювання швидкості.

На початку роботи присутня похибка відпрацювання потоку, яка поступово зменшується до нуля, тому потік відпрацьовується.

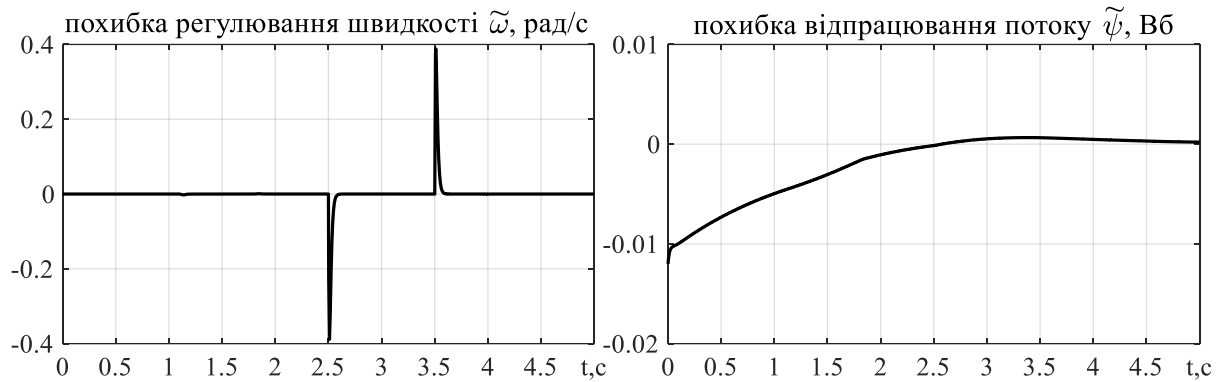


Рисунок 5.2 – Графіки похибки регулювання швидкості, похибки відпрацювання потоку

На рис. 5.3 зображено графіки моментотворюючого струму i_q^* та потокоутворюючого струму i_d^* . Потокоутворюючий струм i_d^* збільшується на початку моделювання під час збудження двигуна, потім зменшується і приймає постійне значення. Моментотворюючий струм i_q^* збільшується при розгоні, зменшується при роботі на постійній швидкості без навантаження, збільшується після накидання навантаження, зменшується після скидання навантаження, зменшується при гальмуванні, стає рівним нулю після зупинки.

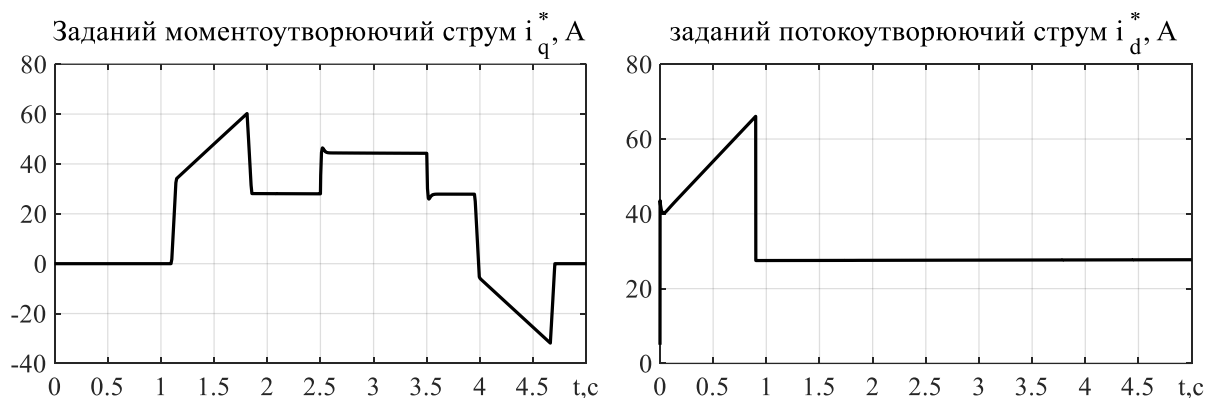


Рисунок 5.3 – Графіки моментотворюючого струму i_q^* та потокоутворюючого струму i_d^*

На рис. 5.4 зображено графіки похибок регулювання моментоутворюючого струму i_q та потокоутворюючого струму i_d . Струм i_d відпрацьовується без похибок. Усталене значення струму i_q відпрацьовується, при накиданні та скиданні моменту навантаження є короткі похибки регулювання струму i_q .

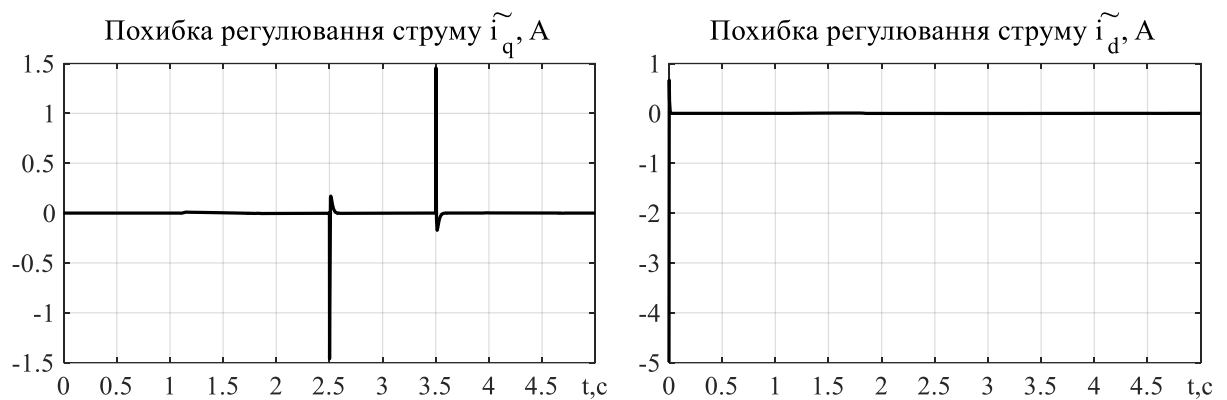


Рисунок 5.4 – Графіки похибки регулювання моментоутворюючого струму i_q та похибки регулювання потокоутворюючого струму i_d

На рис. 5.5 зображено графіки керуючих впливів u_q та u_d . Графік напруги u_q має форму графіка швидкості.

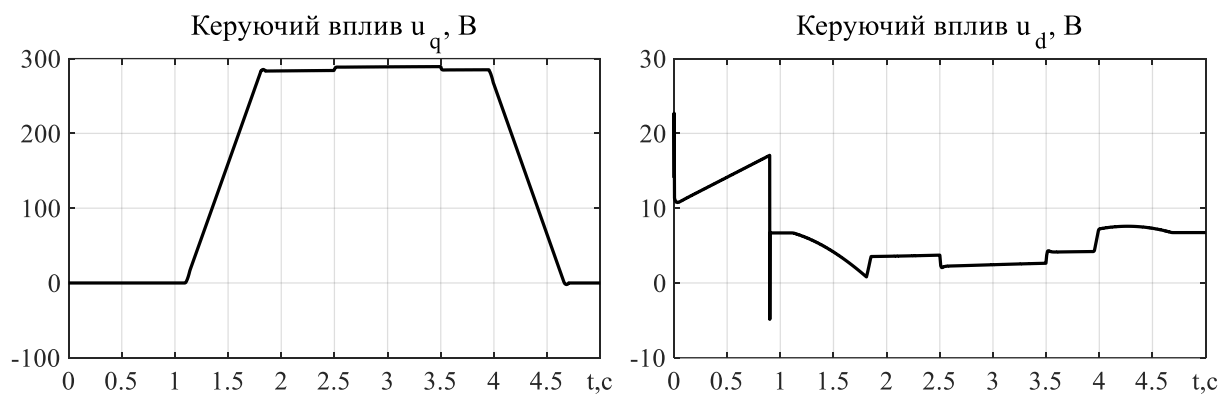


Рисунок 5.5 – Графіки керуючих впливів u_q та u_d

На рис. 5.6 зображено графіки напруги статора u_a та струму статора i_a .

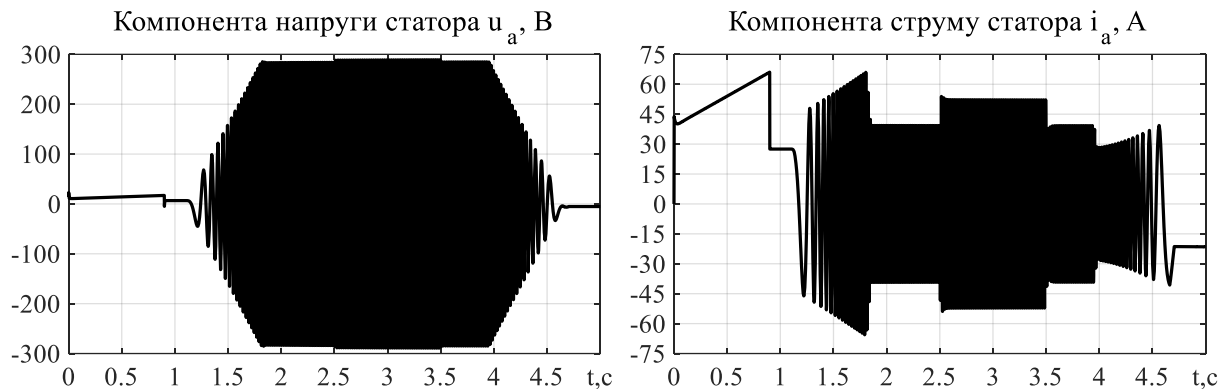


Рисунок 5.6 – Графіки напруги статора u_a та струму статора i_a

На рисунку 5.7 зображені графіки модулів напруги інвертора та струму статора. Найвищі значення модулю струму статора виникають при збудженні та розгоні і дорівнюють 65А, це не перевищує максимального струму 119.1А. Модуль напруги набуває максимального значення при роботі під накинутим моментом навантаження.

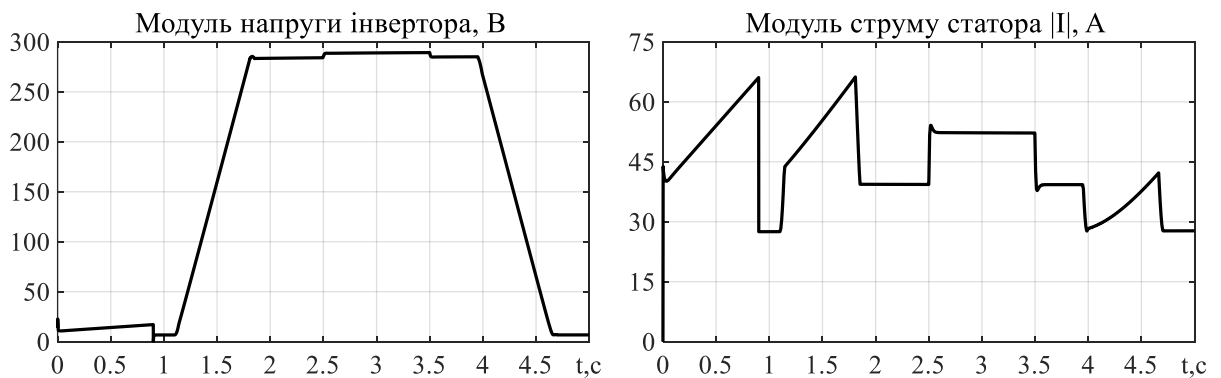


Рисунок 5.7 – Модуль напруги інвертора В та струму статора I

На рис. 5.8 зображено графіки потужності та моменту двигуна. Момент двигуна збільшується при розгоні, оскільки створюється додатний динамічний момент. Потім він зменшується при роботі на постійній швидкості без навантаження, збільшується після накидання навантаження, зменшується

після скидання навантаження. Потім момент двигуна зменшується при гальмуванні і стає рівним нулю після зупинки. Механічна потужність має максимальне значення при розгоні, а мінімальне – при гальмуванні. Накидання моменту навантаження призводить до зростання механічної потужності у порівнянні з роботою без навантаження.

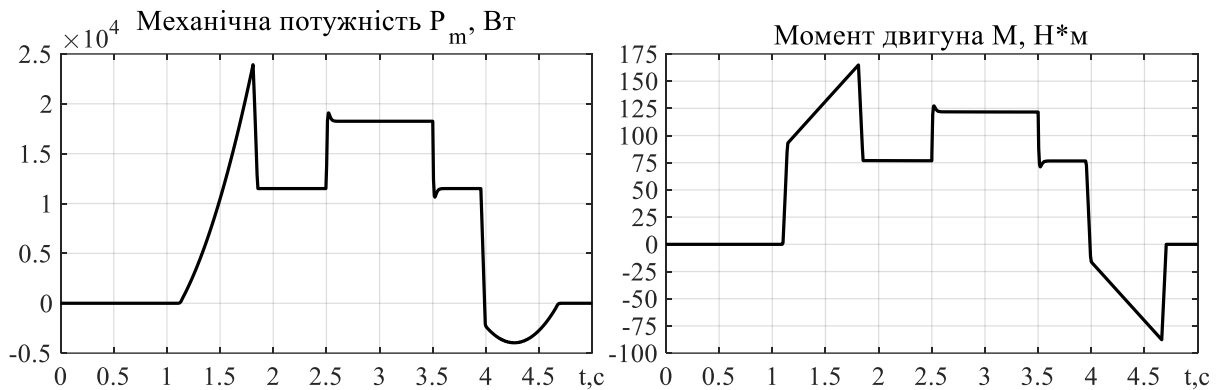


Рисунок 5.8 – Графіки механічної потужності та моменту двигуна

На рис. 5.9 зображено графіки активної та реактивної потужності двигуна. Графік активної потужності має форму графіку механічної потужності. Графік реактивної потужності має вигляд графіка керуючого впливу u_q зі знаком мінус.

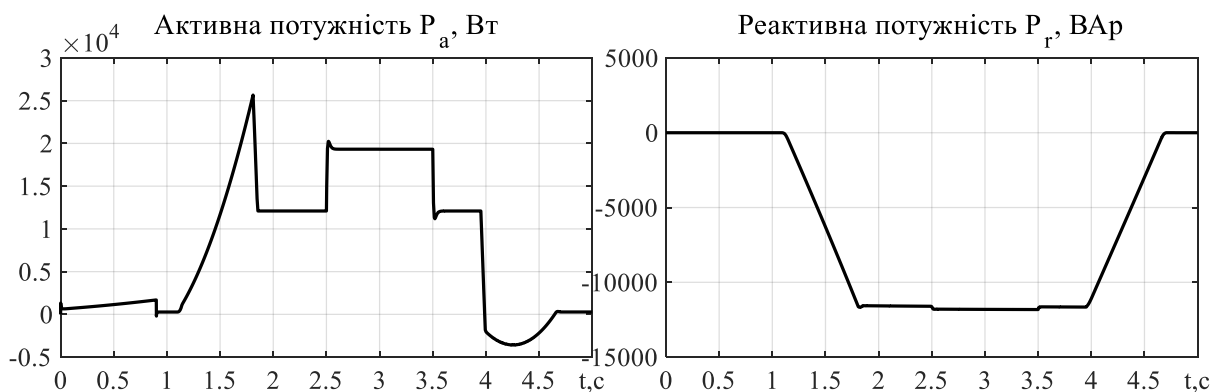


Рисунок 5.9 – Графіки активної та реактивної потужності

5.2 Дослідження статичних та динамічних характеристик системи при кутовій швидкості 10% від номінальної

Промодельюємо систему з іншою заданою траєкторією швидкості та отримаємо графіки перехідних процесів.

Зображена на рисунку 5.10 задана траєкторія швидкості та профіль моменту навантаження мають ту ж саму форму, що й у попередньому випадку. Траєкторія швидкості має постійне значення, яке становить 10% (або 0.1) від номінального значення.

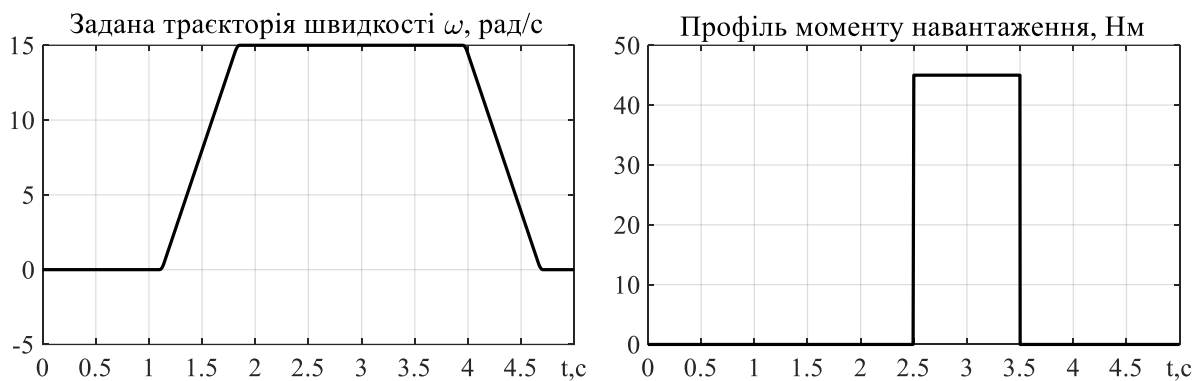


Рисунок 5.10 – Задана траєкторія швидкості та профіль моменту навантаження при швидкості 0.1 від номінальної

Перехідні процеси мають аналогічний характер. Наявні певні відмінності у значеннях величин, що пов'язано зі зміною швидкості.

Моментоутворюючий струм i_q при розгоні вийшов менше, ніж був на рис. 5.3. Моментоутворюючий струм i_q при розгоні менший, ніж після накидання моменту навантаження.

Керуючий вплив u_q став менше на всьому проміжку роботи двигуна. Зміни керуючого впливу u_d після завершення збудження менші при швидкості 0.1 від номінальної, ніж при номінальній.

Максимальне значення активної та активної потужності двигуна виникає при моменті навантаження.

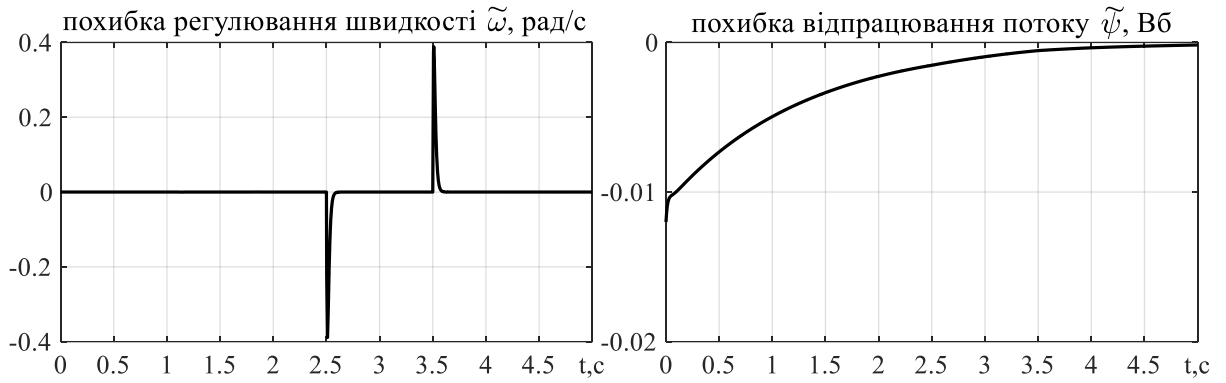


Рисунок 5.11 – Графіки похибки регулювання швидкості та похибки відпрацювання потоку при швидкості 0.1 від номінальної

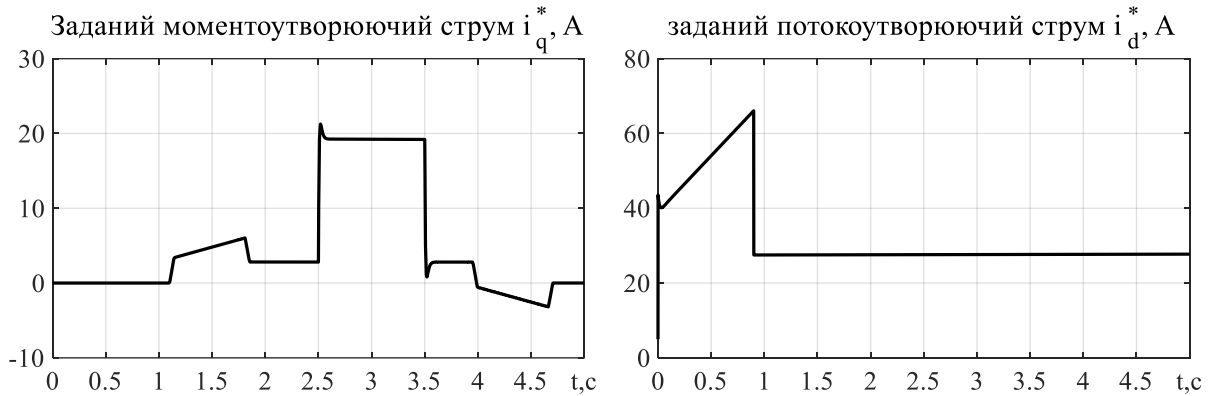


Рисунок 5.12 – Графіки моментотворюючого струму i_q^* та потокоутворюючого струму i_d^* при швидкості 0.1 від номінальної

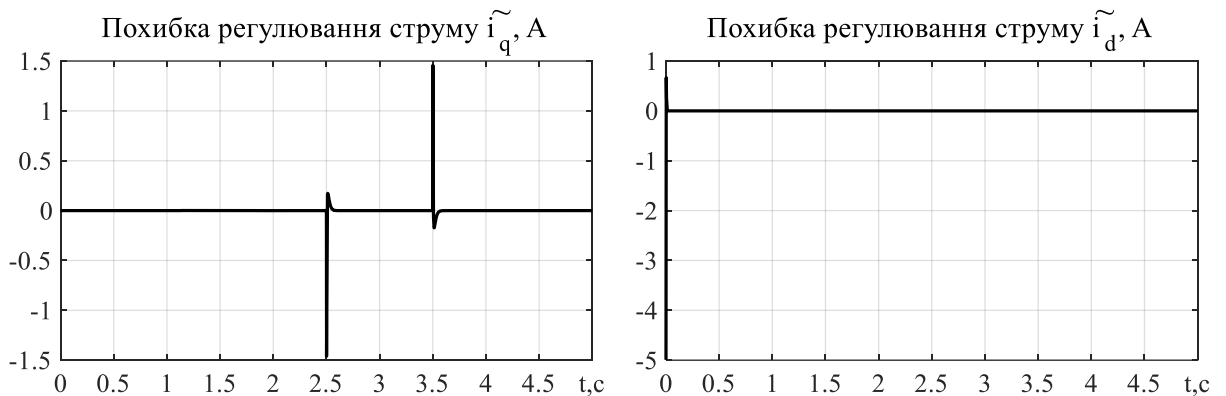


Рисунок 5.13 – Графіки похибки регулювання моментотворюючого струму i_q та похибки регулювання потокоутворюючого струму i_d при швидкості 0.1 від номінальної

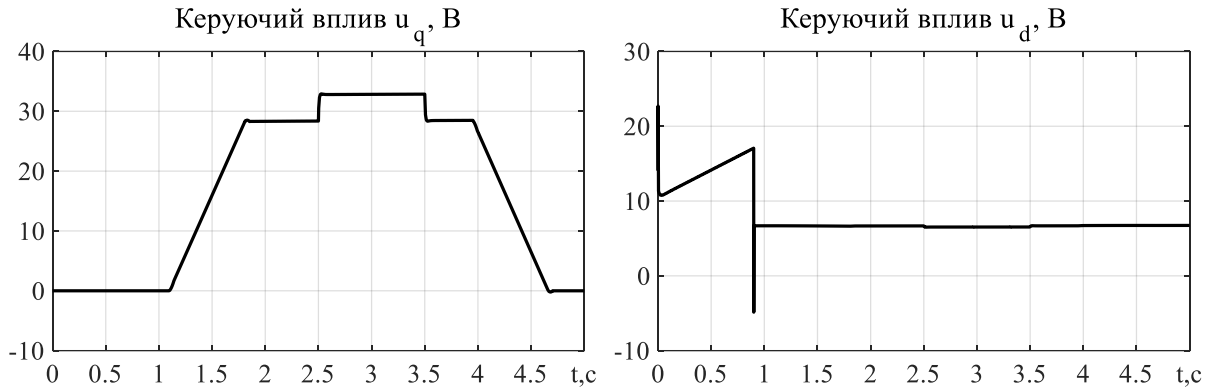


Рисунок 5.14 – Графіки керуючих впливів u_q та u_d при швидкості 0.1 від номінальної

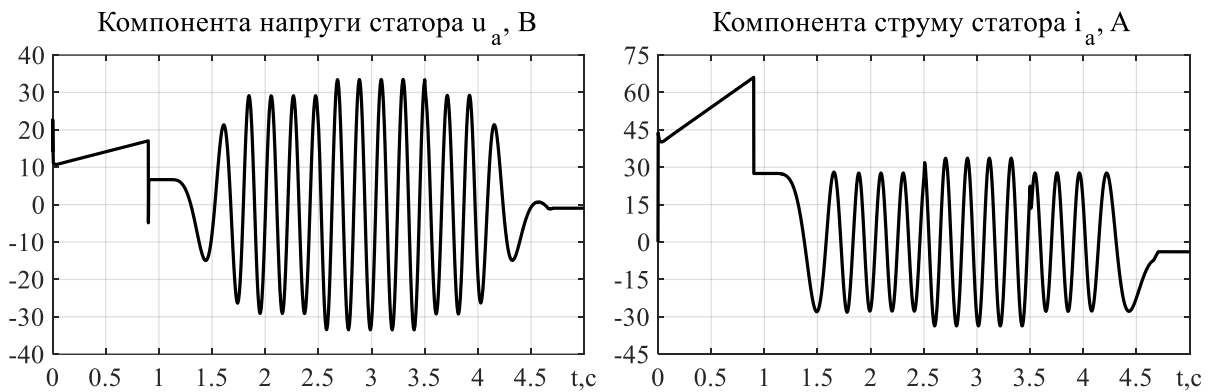


Рисунок 5.15 – Графіки напруги статора u_a та струму статора i_a при швидкості 0.1 від номінальної

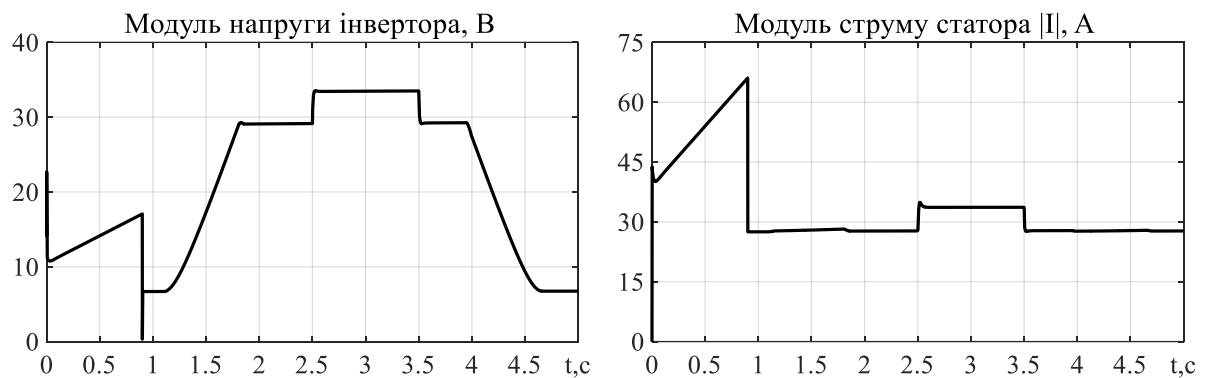


Рисунок 5.16 – Модуль напруги інвертора V та струму статора I при швидкості 0.1 від номінальної

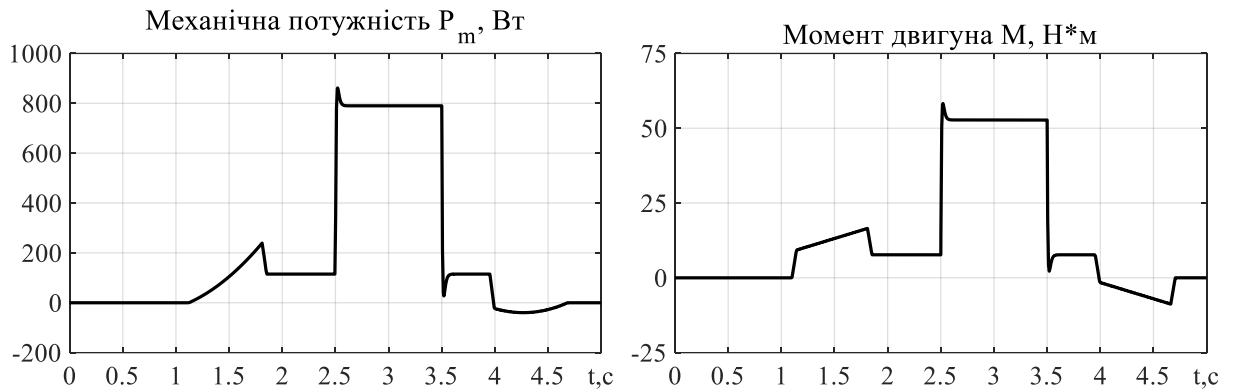


Рисунок 5.17 – Графіки механічної потужності та моменту двигуна при швидкості 0.1 від номінальної

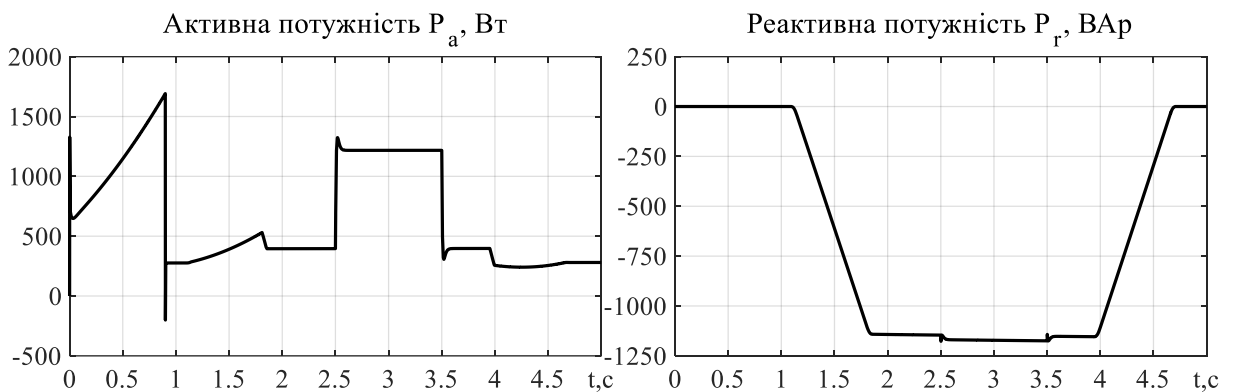


Рисунок 5.18 – Графіки активної та реактивної потужності при швидкості 0.1 від номінальної

5.2.Висновки до розділу 5

1. Проведені дослідження статичних та динамічних характеристик системи при номінальній кутовій швидкості та при швидкості 10% від номінальної показали, що перерегулювання, статична і кінематична похибки по швидкості відсутні, що задовольняє вимогам до електроприводу стола стругального верстату.
2. Отримані результати свідчать про те, алгоритми векторного керування відпрацьовуються, а параметри розробленого електроприводу відповідають завданню на проектування.

РОЗДІЛ 6. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СТРУГАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ

6.1 Вибір ПЛК

При виконанні задачі модернізації металорізальних верстатів важливим є питання автоматизації технологічного процесу. Старіші зразки верстатів потребують безпосередньої участі оператора в керуванні технологічним процесом. Перемикання режимів руху здійснюється за рахунок взаємодій оператора з елементами пульта керування. І тому на роботу верстату впливає людський фактор, що потребує більшого ступеня задіяння людських ресурсів на виробництві та має потенційно негативний вплив на якість та оптимальність виробництва. Для боротьби з цими недоліками, а також для зменшення ризику виробничого травматизму та виникнення аварійних ситуацій доцільно виконати автоматизацію керування верстатом.

Для виконання автоматизації електроприводу, обираємо контролер ОВЕН ПЛК100-24.P-L.



Рисунок 6.1 – Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК100

Даний ПЛК призначений для створення систем керування малими та середніми об'єктами та побудови систем диспетчеризації. Він живиться від напруги 24 В, має 8 дискретних входів та 6 релейних виходів. Наявні послідовні порти (RS-485, RS-232), Ethernet, USB 2.0.

6.2 Написання програми автоматизації

Для модернізованого механізму повздовжньої подачі стругального верстата розробимо автоматичний режим роботи. Для цього визначимо вхідні, проміжні та вихідні змінні системи автоматизації та запишемо рівняння, використовуючи метод графопереходів.

Позначимо змінні:

SB1 – Пуск

SB2 – Пауза

Reset – Скидання тригерів

SpeedUp – Прискорення

SetUp – Усталена швидкість

SpeedDown – Сповільнення

$v_{\text{пон}}$ – робота на пониженій швидкості

$v_{\text{пр}}$ – робота на швидкості основного руху

$v_{\text{пр}}$ – робота на швидкості зворотного ходу

$t_1 - t_{10}$ – сигнали таймерів

$T_1 - T_{10}$ – самі таймери

$p_1 - p_6$ – проміжні змінні

$Sp_1 - Sp_6$ – входи встановлення тригерів

$Rp_1 - Rp_6$ – входи скидання тригерів

Складемо графо перехід, який зображено на рис. 6.1, та складемо за ним рівняння.

Рівняння сигналу завдання на прискорення:

$$SpeedUP = p1\overline{p2}\overline{p3}\overline{p4} + \overline{p1}p2\overline{p3}\overline{p4} + \overline{p1}p2p3\overline{p4} \quad (6.1)$$

Рівняння сигналу завдання на роботу з постійною швидкістю:

$$SetUP = p1p2\overline{p3}\overline{p4} + \overline{p1}p2p3\overline{p4} + p1p3p4 \quad (6.2)$$

Рівняння сигналу завдання на сповільнення:

$$SpeedDOWN = \overline{p1}p2p3p4 + p1p3\overline{p4} \quad (6.3)$$

Рівняння сигналу завдання на роботу з пониженою швидкістю:

$$U_{non} = p1p2\overline{p3}\overline{p4} + p1p2p3p4 \quad (6.4)$$

Рівняння сигналу завдання на роботу на швидкості основного руху:

$$U_{np} = \overline{p1}p2p3\overline{p4} \quad (6.5)$$

Рівняння сигналу завдання на роботу на швидкості зворотного ходу:

$$U_{36} = p1\overline{p2}p3p4 \quad (6.6)$$

Рівняння сигналів встановлення та скидання тригерів:

$$S_{p1} = SB_1\overline{p2}\overline{p3}\overline{p4} + t_5\overline{SB_2}p2p3p4 \quad (6.7)$$

$$R_{p1} = t_2\overline{SB_2}p2\overline{p3}\overline{p4} + t_9\overline{p2}p3p4 + RESET \quad (6.8)$$

$$S_{p2} = t_1\overline{SB_2}p1\overline{p3}\overline{p4} \quad (6.9)$$

$$R_{p2} = t_7\overline{SB_2}p1p3\overline{p4} + RESET \quad (6.10)$$

$$S_{p3} = t_3\overline{SB_2}p1p2\overline{p4} \quad (6.11)$$

$$R_{p3} = \overline{p1}p2p4 + RESET \quad (6.12)$$

$$S_{p4} = t_4\overline{SB_2}p1p2p3 + t_8\overline{SB_2}p1\overline{p2}p3 \quad (6.13)$$

$$R_{p4} = t_6\overline{SB_2}p1p2p3 + t_{10}\overline{SB_2}p1\overline{p2}p3 + RESET \quad (6.14)$$

Рівняння таймерів:

$$T1 = p1\overline{p2}\overline{p3}\overline{p4} \quad (6.15)$$

$$T2 = p1p2\overline{p3}\overline{p4} \quad (6.16)$$

$$T3 = \overline{p1}p2\overline{p3}\overline{p4} \quad (6.17)$$

$$T4 = \overline{p1}p2p3\overline{p4} \quad (6.18)$$

$$T5 = \overline{p1}p2p3p4 \quad (6.19)$$

$$T6 = p1p2p3p4 \quad (6.20)$$

$$T7 = p1p2p3\overline{p4} \quad (6.21)$$

$$T8 = p1\overline{p2}p3\overline{p4} \quad (6.22)$$

$$T9 = p1\overline{p2}p3p4 \quad (6.23)$$

$$T10 = \overline{p1}\overline{p2}p3p4 \quad (6.24)$$

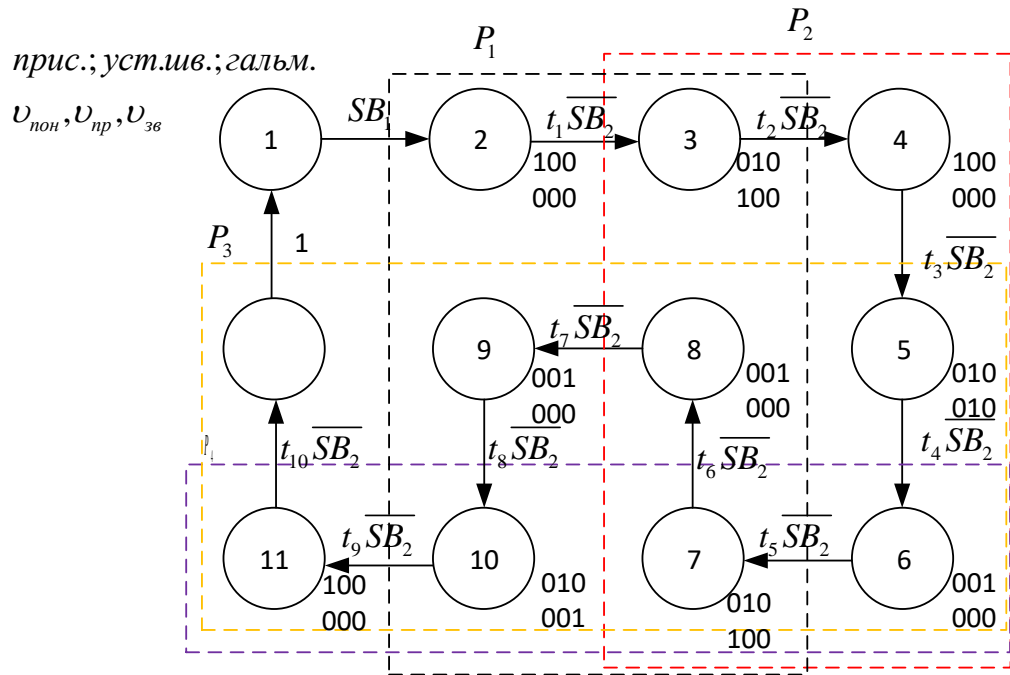


Рисунок 6.2 – Графоперехід за умовами роботи

Таблиця 6.1 – Таблиця станів системи

№ стану системи на графопереході (код тригерів р₁р₂р₃р₄)	Опис стану	Вхідні сигнали, що перемикають стан	Вихідні сигнали схеми, що =1 у даному стані
1 (0000)	Вихідний стан	Зі стану 11: T10*!(SB2)	–
2 (1000)	Прискорення руху стола перед врізання різця.	Зі стану 1: SB1	SpeedUP
3 (1100)	Врізання різця в заготовку на пониженій швидкості	Зі стану 2: T1*!(SB2)	SetUP, U _{пон}
4 (0100)	Прискорення руху стола для досягнення швидкості робочої подачі	Зі стану 3: T2*!(SB2)	SpeedUP
5 (0110)	Робота на швидкості робочої подачі	Зі стану 4: T3*!(SB2)	SetUP, U _{пр}
6 (0111)	Гальмування перед виходом різця з заготовки	Зі стану 5: T4*!(SB2)	SpeedDOWN
7 (1111)	Вихід різця з заготовки на пониженій швидкості	Зі стану 6: T5*!(SB2)	SetUP, U _{пон}
8 (1110)	Гальмування після виходу різця з заготовки	Зі стану 7: T6*!(SB2)	SpeedDOWN
9 (1010)	Початок зворотного ходу	Зі стану 8: T7*!(SB2)	SpeedDOWN
10 (1011)	Переміщення стола до початкової позиції	Зі стану 9: T8*!(SB2)	SetUP, U _{зв}
11 (0011)	Гальмуванням перед початком повторення циклу	Зі стану 10: T9*!(SB2)	SpeedUP

6.3 Висновки до розділу 6

1. Описано мету автоматизації верстату та здійснено вибір ПЛК.
2. Написано програму для ПЛК, складено графоперехід та таблицю станів, що дає змогу здійснити автоматизацію технологічного процесу стругання.

РОЗДІЛ 7 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

7.1 Вибір елементів схеми електричної принципової

Для керування двигуном потрібно обрати перетворювач частоти відповідно до параметрів двигуна. Основним критерієм при виборі ПЧ являється номінальна потужність та номінальний струм обраного нами двигуна (табл. 1.1). Номінальна потужність електродвигуна 4АН200М4У3 складає 45 кВт, а номінальний струм – 85 А.

Враховуючи дані параметри, обираємо перетворювач ACS580-01-105А-4, який розрахований на номінальний струм 105 А, номінальну потужність 45 кВт та напругу живлення — 380–415 В.

Таблиця 7.1 – Параметри перетворювача частоти ACS580-01-105А-4

Параметр	Значення
Номінальна напруга, В	220-380
Номінальна потужність, кВт	45
Номінальний струм, А	87
Висота, мм	739
Ширина, мм	265
Глибина, мм	286
Маса, кг	34

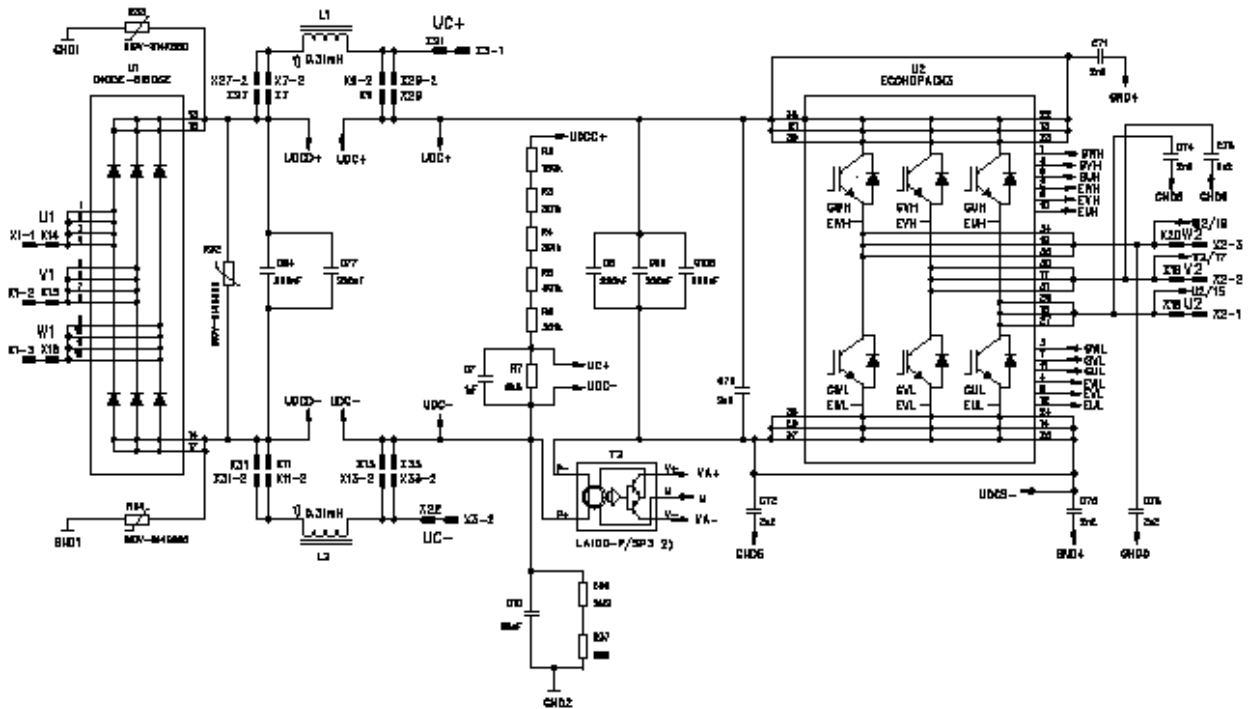


Рисунок 7.1 – Типова схема перетворювача частоти фірми АВВ

Для забезпечення безпеки роботи перетворювача частоти виберемо трьохполюсний автоматичний вимикач АВВ А1В 100А

Таблиця 7.2 – Параметри автоматичного вимикача АВВ А1В 100А

Параметр	Значення
Номінальна напруга, В	380
Номінальний струм, А	100
Маса, кг	0.7

ПЛК живиться від 24 В тому потрібно обрати блок живлення, з каталогу виберемо блок живлення ОВЕН БП60Б-Д4-24 та однополюсний автоматичний вимикач через який буде під'єднано блок живлення. За параметрами блоку живлення виберемо автоматичний вимикач АВВ ВМС411С16 1Р/16 А тип С.

Таблиця 7.3 – Параметри блоку живлення ОВЕН БП60Б-Д4-24

Параметр	Значення
Номінальна напруга, В	24
Номінальний струм, А	2.5
Номінальна потужність, Вт	60
Маса, кг	0.25

Таблиця 7.4 – Параметри автоматичного вимикача АВВ ВМS411С16 1Р/16 А тип С

Параметр	Значення
Кількість полюсів	1
Номінальна напруга, В	230
Номінальний струм, А	16
Ступінь захисту (IP)	20

Для керування виберемо кнопки з фіксацією, які відповідають параметрам схеми MP2-21L(LED) d22мм/24В.

Таблиця 7.5 – Параметри кнопки з фіксацією MP2-21L(LED) d22мм/24В

Параметр	Значення
Номінальна напруга, В	24
Номінальний струм, А	10
Мінімальний робоча напруга, В	12
Ступінь захисту (IP)	20

Та сигнальні лампи ETI LED ECLI-024C-G 24V для індикації стану системи.

Таблиця 7.6 – Параметри сигнальної лампи ETI LED ECLI-024C-G 24V

Параметр	Значення
----------	----------

Номінальна напруга, В	24
Вага, кг	0.018
Ступінь захисту (IP)	20

В якості датчика швидкості використовується енкодер. Енкодер це електромеханічний пристрій, за допомогою якого можна визначити положення обертається осі (вала).

Таблиця 7.6 – Параметри енкодера E40S6-500-6-L-24

Параметр	Значення
Максимальне значення обертів, об/хв	5000
Розподільча здатність, імп/об	500
Номінальна напруга, В	12-24
Вага, кг	120
Ступінь захисту (IP)...	20

7.2 Опис схеми електричної принципової. Вибір елементів схеми електричної принципової

Схема електрична принципова наведена в додатку А.

Опис елементів схеми:

- UZ1 – частотний перетворювач;
- U1 – блок живлення;
- U2 – ПЛК;
- M1 – асинхронний двигун;
- QF1 – однополюсний автоматичний вимикач для захисту силового кола від КЗ та перевантажень;

- QF2 – трьохполюсний автоматичний вимикач для захисту від КЗ та перевантажень кола сигналізації та захисту;
- SB1 – кнопка початку роботи;
- SB2 – кнопка паузи;
- SB3 – кнопка аварійної зупинки та повернення у вихідне положення;
- HL1-HL3 – сигнальні лампи.
- U3 – енкодер

Схема працює по такому принципу, від мережі подається напруга на автомати QF - QF2 . Живлення з QF1 йде на блок живлення U від якого живиться ПЛК U2 та цифрові входи ПЧ. Живлення з QF2 іде на ПЧ який уже в свою чергу керує приводним двигуном конвеєра M1.

Керування відбувається за допомогою трьох кнопок SB1-SB3. При натисканні SB1 верстат починає роботу та повторює цикл за циклом. При натисканні SB2 робота припиняється миттєво. Кнопка SB3 натискається при порушенні роботи верстату виконується скидання налаштувань та повернення столу в початкове положення. Відповідні сигнальні лампи індикують стан в якому знаходиться система:

- HL1 – Подано живлення;
- HL2 – Пауза;
- HL2 – Аварійне завершення роботи.

Частотний перетворювач UZ1 виконує функції захисту електродвигуна M1 від КЗ, перевантаження, обриву фаз, зникнення (нульовий захист) або зменшення напруги в мережі. Частотний перетворювач забезпечує плавний пуск, обмеження прискорення та ривка, регулювання та підтримання заданої швидкості використовуючи векторний режим керування без датчика швидкості, зупинку та реверс конвеєра. Дані про моментальну кількість обертів забезпечує енкодер U3

Перелік обраних елементів наведено в Додатку В.

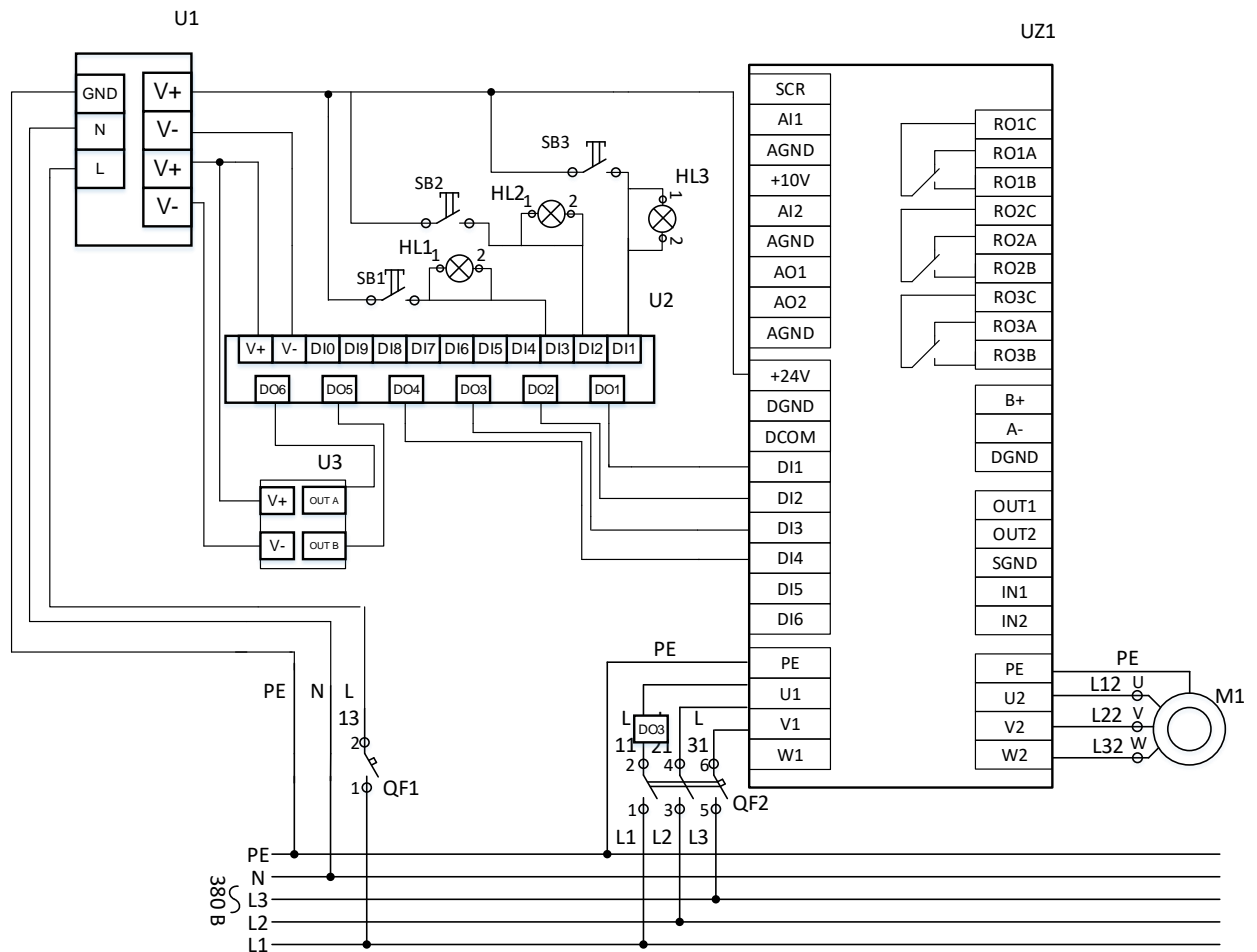


Рисунок 7.2 – Електрична принципова схема силової частини електроприводу

7.2 Висновки до розділу 7

1. Вибрано елементи схеми та наведено їх характеристики у вигляді таблиць.
2. Описано позначення елементів схеми та послідовність її роботи.
3. Складено електричну принципову схему силової частини електроприводу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В даному дипломному проекті проведено детальний аналіз роботи стругального верстату та його використання в промисловості. Описані особливості процесу роботи стругального верстату та розглянуті різні види таких верстатів, а також їх переваги і недоліки. В результаті аналізу зроблено вибір повздовжньо-стругального типу верстатів як найбільш цінного для виробництва.

2. Описано повздовжньо-стругальний верстат 7210, приведені його характеристики та детально описана будова. Для кращого розуміння показані спрощені кінематична та електрична схеми електроприводу стола верстату. Обґрунтована доцільність модернізації головного приводу верстату шляхом впровадження векторно-керованого асинхронного електроприводу.

3. Сформовано вимоги до параметрів електроприводу головного руху та системи автоматизації, враховуючи технічні дані верстату. На основі цих вимог розроблено програму для ПЛК, включаючи складання графопереходу та таблиці станів.

4. Побудовано діаграму швидкості та навантажень верстату і розраховано час роботи на різних ділянках цієї діаграми. Це дало змогу зробити вибір електродвигуна та розраховано його номінальні дані для подальшого проектування електроприводу і моделювання.

5. Розраховані параметри Т-подібної схеми заміщення і визначений загальний алгоритм векторного керування асинхронним двигуном. Наведено структурну схему системи автоматичного регулювання.

6. В дипломному проекті описано алгоритм прямого векторного керування асинхронним двигуном. Проведені дослідження статичних та динамічних характеристик системи при номінальній кутовій швидкості, а також при 10% від номінальної. Ці дослідження дозволили отримати важливі дані про поведінку системи в різних режимах роботи і підтвердили працездатність застосованих алгоритмів керування.

7. Описано мету автоматизації верстату, а також проведено вибір програмованого логічного контролера (ПЛК) для реалізації системи автоматизації. Розроблено програма для ПЛК, складено графоперехід та таблицю станів.

8. Вибрано елементи схеми автоматизованого електроприводу та наведено їх характеристики. Описано алгоритм роботи схеми.

9. Складено електричну принципову схему силової частини електроприводу, що дозволило визначити необхідні компоненти та перевірити їх працездатність.

10. Розроблена система автоматизованого електроприводу забезпечує покращення техніко-економічних показників роботи стругального верстату, більш точну та ефективну обробку деталей та підвищення продуктивності виробничого процесу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Петраков Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням: Навчальний посібник. – Київ: УкрНДІАТ, 2003. -383 с.
2. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи/ За редакцією М.Г.Поповича, О.Ю.Лозинського. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
3. Онушко В.В., Галай В.М. Передавальна функція асинхронного двигуна при частотному керуванні. Вісник КДПУ “Проблематика вищої школи. Електромеханічні системи та автоматизація. Енергетика та енергозбереження. Діагностика в електромеханічних та енергетичних системах. Моделювання та методи оптимізації”. Кременчук: 2003 (19), вип. 2, с. 131 – 135.
4. Верстати стругально протяжної групи.
URL:<https://studfile.net/preview/5083095/page:2/>
5. Металообробні верстати: види, призначення, характеристики. URL:
<https://storgom.ua/ua/novosti/hto-takoe-metalloobrabatyvayushie-stanki.html>
6. Кравчик А. Э., Шлаф М. М., Афонин В. И., Соболевская Е. А. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. М., 1982.
7. Теорія мехатронних систем – 1: Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи для студентів заочної форми навчання напряму підготовки 6.050702 – "Електромеханіка" спеціальності "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод" / Уклад: С. М. Пересада, С. М. Ковбаса. –К.: НТУУ “КПІ”, 2011 р.
8. Красношарпа Н.Д., Пижов В.М., Пушкар М. В. Теорія електроприводу і Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт – Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського 2017. – 49с.
9. М.Г.Попович, В.В.Кострицький. Електромеханічні системи автоматизації та електропривод (теорія і практика). Навчальний посібник. – К.:КНУТД, 2008. – 408 с.
10. Теорія електропривода /За ред. М.Г. Поповича. -К.: Вища школа, 1993.- 494с.

11. Пересада С. М., Ковбаса С. Н. Обобщенный алгоритм прямого векторного управления асинхронным двигателем // Техн. електродинаміка. – 2002. –№4. –С.17–22.
12. ПЛК 100. Програмований логічний контролер. URL: https://owen.ua/uploads/104/re_oven_plk100_ukr_753.pdf
13. Промислові блоки живлення ОВЕН БП15, БП30, БП60. URL: https://owen.ua/uploads/78/kr_oven_bp60b-d4-h_m01_ukr_014_a4.pdf
14. Кнопка з фіксацією МР2-21L(LED). URL: <https://tdme.com.ua/ua/p1526724241-knopka-fiksatsiej-mp2.html>
15. Перетворювач частоти ACS580-01-105А-4. URL: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AXD50000210305&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>
16. Автоматичний вимикач АВВ А1В 100А FORMULA 3P FF (1SDA066707R1) URL: https://amperok.com.ua/pdf/korpusni_avtomaty_abb_formula.pdf
17. Лампа сигнальна ЕТІ LED матова ЕСLІ-024С-Г 24V АС / DC. URL: <https://electrocontrol.com.ua/ua/montazh/4771211-lampa-signalnaya-eti-led-matovaya-ecli-024c-g-24v-ac-dc-zelenaya>
18. Енкодер Е40S6-500-6-L-24. URL: https://www.autonicsonline.com/product/product&path=1_13&product_id=17796