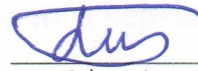


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

I. С. Білюк

« 15 » 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня магістра

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

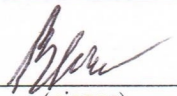
освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
(назва освітньої програми)

на тему: Система керування електропривода головного руху
механообробного верстата гнучкої виробничої системи

Виконав: студент групи 6371м

Костомаров Валерій Сергійович

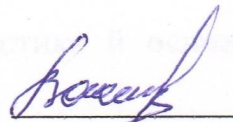
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник

доц. каф. автоматики, к.т.н.,
доцент Васильєв О.Г.

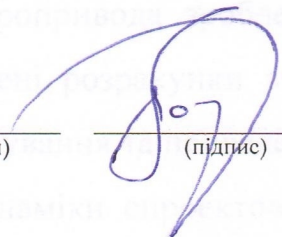
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент

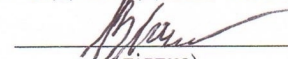
доцент кафедри СЕЕС,
к.т.н., доцент С.М.Новогорецький

(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 – 2025 року

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається з 97 сторінок: 86 сторінок пояснювальної записки, 5 розділів, 8 таблиць, 18 рисунків, 24 літературних джерел, 1 додатку на 11 сторінках.

Ключові слова: автоматизація, аналіз динаміки, верстат токарський, математична модель, методологія дослідження, система векторного керування, тиристорний електропривод

Мета роботи – удосконалення системи векторного керування електропривода головного руху металорізального верстата.

У розділі 1 наведений огляд літератури та розробок за темою наведений опис та технічні характеристики токарно-гвинторізного верстата та його існуюча схема керування.

У розділі 2 обґрунтований та вибраний метод наукового дослідження, побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження, обґрунтований метод вирішення поставленої задачі дослідження.

У розділі 3 з метою модернізації вибраний електродвигун компанії-інноватора - Lenze для привода головного руху верстата, розглянуті існуючі системи керування асинхронними двигунами.

Для керування обраним двигуном вибраний трифазний перетворювач частоти Lenze 8200 Vector, наведена його загальна характеристика й основні технічні дані.

В розділі 4 на основі функціональної схеми електропривода зроблений математичний опис елементів системи керування, проведені розрахунки по їх вибору, складені розрахункові динамічні моделі системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей. Проведений аналіз динаміки спроектованої системи керування при різних законах керування.

В розділі 5 розглянуті питання охорони праці при експлуатації електропривода токарського верстата.

Додаток містить 11 слайдів мультимедійної презентації.

ABSTRACT

The master's qualification work consists of 97 pages: 86 pages of explanatory note, 5 sections, 8 tables, 18 figures, 24 literary sources, 1 appendix on 10 pages.

Keywords: automation, dynamics analysis, lathe, mathematical model, research methodology, vector control system, thyristor electric drive

The purpose of the work is to improve the vector control system of the electric drive of the main movement of a metal-cutting machine tool.

Section 1 provides a review of the literature and developments on the topic, provides a description and technical characteristics of the lathe-screw-cutting machine tool and its existing control scheme.

Section 2 substantiates and selects the method of scientific research, builds a structural and logical scheme of the master's research, substantiates the method of solving the research problem.

In section 3, for the purpose of modernization, an electric motor from the innovator company Lenze was selected to drive the main movement of the machine, and existing control systems for asynchronous motors were considered.

A three-phase Lenze 8200 Vector frequency converter was selected to control the selected motor, its general characteristics and basic technical data are given.

In section 4, based on the functional diagram of the electric drive, a mathematical description of the elements of the control system was made, calculations were made for their selection, calculated dynamic models of the control system were compiled and its dynamic properties were analyzed. The dynamics of the designed control system was analyzed under different control laws.

In section 5, occupational safety issues during the operation of the electric drive of a lathe are considered.

The appendix contains 11 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ...	9
1.1 Огляд літератури та розробок за темою	9
1.2 Опис об'єкту дослідження. Токарський верстат у складі гнучкої автоматизованої дільниці механообробки.....	13
1.3 Електричне обладнання верстата	17
1.4 Висновки до розділу 1	20
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	21
2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження.....	21
2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження	26
2.3 Вибір методу розрахунку поставленої задачі	27
2.4 Висновки до розділу 2	29
РОЗДІЛ 3 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ГОЛОВНОГО РУХУ ВЕРСТАТА ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	30
3.1 Вибір електродвигуна головного руху верстата	30
3.2 Огляд систем керування асинхронними двигунами	34
3.3 Загальна характеристика й основні технічні дані перетворювача частоти Lenze 8200 Vector.....	42
3.4 Висновки до розділу 3	47
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	48
4.1 Розробка функціональної схеми системи керування.....	48
4.2 Математична модель асинхронного двигуна при керуванні вектором потокосцеплення ротора.....	49
4.3 Синтез регуляторів.....	60
4.4 Розрахунок параметрів динамічної структурної схеми	64
4.5 Розробка схеми моделювання та аналіз динаміки системи керування електропривода верстата	71

4.6 Висновки до розділу 4	74
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ ВЕРСТАТІВ	75
5.1 Потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори при роботі електрообладнання токарського верстата.....	75
5.2 Розробка заходів щодо підвищення безпечної роботи верстата.....	78
5.3 Висновки до розділу 5	81
ВИСНОВКИ	82
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	83
ДОДАТОК А. Мультимедійна презентація.....	86

ВСТУП

Актуальність теми. В даній кваліфікаційній роботі магістра досліджується система керування електропривода головного руху металорізального верстата.

Основні технологічні вимоги до верстатів полягають у забезпеченні: необхідних технологічних режимів обробки з використанням сучасного ріжучого інструмента; максимальної продуктивності; необхідної точності обробки; високої чистоти оброблюваної поверхні; повторюваності розмірів деталей в оброблюваній партії. Модернізація верстата з ЧПК дозволяє продовжити його експлуатацію.

Розширення технологічних режимів обробки приводить до ускладнення електроприводів: до збільшення встановленої потужності двигуна головного руху, обертаючих моментів двигунів приводів подач; розширення діапазонів регулювання швидкості привода головного руху, робочих подач і настановних переміщень; збільшення швидкодії всіх приводів при керуючих і збуджуючих впливах, жорсткості вимог до стабільності і рівномірності обертання електродвигунів усіх приводів.

Сучасний верстат з ЧПК являє собою самостійну робочу машину, органічно пов'язану з обчислювальною технікою, що працює в реальному масштабі часу, перетворюючи дискретні сигнали інформації в дискретні сигнали керування.

Для підвищення ефективності роботи електропривода необхідно забезпечувати його завантаження на рівні не менш 75%, збільшувати коефіцієнт потужності, регулювати напругу або частоту подаваного струму чи напруги.

Реалізація цих заходів, спрямованих на енергозбереження, забезпечується використанням спеціальних приладів - частотних перетворювачів, які змінюють швидкість обертання двигуна шляхом зміни частоти живлячої напруги, що дозволяє підвищити ККД електродвигуна.

Частотний перетворювач зі зворотним зв'язком дозволяє підтримувати постійну швидкість обертання при змінному навантаженні з більш високою точністю, чим перетворювач без зворотного зв'язку, тим самим підвищуючи якість технологічного процесу в замкнених системах. Такі пристрої використовуються в робототехніці, дерево- і металообробці, у системах високоточного позиціонування.

Комплектний електропривод (ЕП) забезпечує комплексний захист електродвигуна, забезпечує сумісність двигуна з живлячою мережею. Усе це в сукупності дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії машини.

Розширення області застосування АД, його простота та надійність в експлуатації, а також інтенсивний розвиток цифрових систем керування змінного струму, що виготовляються у вигляді готових компактних пристроїв, дають право стверджувати, що у найближчому майбутньому АД буде залишатися основним типом двигунів для привода промислових механізмів. При цьому, комплектний електропривод стане елементарною одиницею автоматизації, інтегрованою у систему керування більш вищого рівня (промислову мережу).

Комплектний електропривод змінного струму разом із асинхронним двигуном (АД) утворюють мехатронну систему, що і розглядається в цій роботі.

Тому оцінка динамічних властивостей та підвищення точності та енергетичної ефективності системи автоматичного керування електропривода головного руху токарського верстата є актуальною задачею при проектуванні САК.

Мета і завдання дослідження. Мета магістерської роботи полягає в оцінюванні динамічних властивостей та підвищенні точності системи енергозберігаючого електропривода головного руху універсального токарського верстата.

Для досягнення поставленої мети в роботі розглядаються й вирішуються наступні завдання:

- огляд сучасних систем керування енергозберігаючих електроприводів, умов їх роботи і методів розрахунку з метою виявити раніше не враховані фактори, які значно впливають на перехідні режими роботи електропривода;
- розрахунки параметрів системи керування електропривода для наступного моделювання;
- теоретичне і комп'ютерне дослідження значень основних показників якості роботи САК;
- моделювання в математичній програмі Simulink пакету Matlab системи керування для режиму різання при точінні;

- аналіз результатів моделювання й обґрунтування правильності вибору системи керування для привода головного руху верстата.

Для успішної реалізації мети роботи необхідно скласти адекватні математичні моделі і досліджувати фізичні процеси, що відбуваються в об'єкті, на базі сучасних комп'ютерних програм і методів розрахунку.

Об'єкт дослідження - процеси, що відбуваються у енергозберігаючому електроприводі головного руху токарського верстата.

Предмет дослідження: динамічні характеристики системи, параметри, що забезпечують підвищення точності електропривода головного руху токарського верстата.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених завдань виконуються теоретичні дослідження на основі теорії автоматичного керування, теорії електропривода, теорії лінійних електричних кіл з використанням математичного моделювання на основі диференціальних рівнянь та структурних схем.

Практичне значення одержаних результатів мають математичні та імітаційні моделі систем керування, які є зручними інструментами для дослідження характеристик енергозберігаючого електропривода головного руху верстата та аналізу алгоритмів керування.

Результати роботи впроваджено в навчальний процес кафедри автоматики Національного Університету Кораблебудування і використовуються студентами очного та заочного відділень при вивченні дисципліни "Системи керування електроприводів" та використовуються в курсовому проектуванні та випускних роботах.

РОЗДІЛ 1

ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Огляд літератури та розробок за темою

Тема магістерської роботи пов'язана із сучасною технікою, визнаним інструментом дослідження якої є математичне моделювання, тому і огляд розробок необхідно робити, спираючись на сучасну приводну техніку та літературу по моделюванню, по теорії частотного керування та перетворювальної техніки.

Математичне моделювання пройшло довгий шлях свого розвитку. Починаючи від аналогових моделей, та закінчуючи прикладними пакетами із готовими моделями того чи іншого об'єкта. Так для електромеханіків зараз є визнаним в усьому світі пакет MatLab, версії якого постійно оновлюються. При виконанні даної магістерської роботи використовується версія MatLab 6.5 [9].

Важливо робити огляд тільки новішої літератури, що пов'язано у перше з тим, що тема магістерської роботи пов'язана з технікою та технологіями, що отримали розповсюдження після чергової технічної революції середини 90-х років. Інтенсивність оновлення та удосконалення сучасної приводної техніки дуже висока, хоча і поступається інтенсивності оновлення комп'ютерної техніки.

В сучасній літературі [1,16] в якості основного типу регульованого асинхронного електроприводу з двигунами з короткозамкненим ротором розглядається частотно-регульований електропривод, який дозволяє задовольнити вимоги як по діапазону, так і по якості регулювання частоти обертання й відпрацьовувати задані закони руху.

Основними елементами частотно-регульованого електропривода є випрямляч, інвертор, асинхронний чи синхронний двигун та програмований мікроконтролер.

Проблеми автоматизації режимів роботи електроприводів змінного струму, зокрема й електроприводів на основі асинхронних двигунів з

короткозамкнутим ротором (АДКЗ), досліджуються в роботах [6,8]. В літературі наведений математичний опис (АДКЗ) у розімкненій системі керування при частотному регулюванні. Основними засобами частотного керування є: скалярне частотне регулювання; векторне поліорієнтоване керування; пряме керування моментом.

На базі цих принципів, в [7] описана побудова наступних систем регулювання швидкості:

- замкнена за швидкістю система регулювання електропривода з підтриманням постійним потокозчеплення статора;
- замкнена за швидкістю система регулювання електропривода з підтриманням постійним потокозчеплення ротора;
- векторне керування з безпосереднім виміром потоку;
- векторне керування з виміром потокозчеплення ротора за моделлю потоку.

Книга орієнтована на сучасну модель ЕП на базі дволанкового перетворювача частоти. Добре описана структура ЕП, а також інструмент, що дозволяє якісно реалізовувати векторне керування електропривода і взагалі перетворення частоти.

У літературі [13] наводяться питання енергозбереження засобами промислового електропривода.

Питання математичного моделювання електромеханічних систем наведені в [9].

По методах векторного керування написано досить багато літератури, у якій приводяться: структурні схеми, методи синтезу регуляторів, опис перетворення координат і т.п. [6,8,15]. Як показує практика реалізувати систему векторного керування в програмі моделювання досить складно, не маючи поглиблених знань у роботі асинхронного двигуна.

Найбільше повно принципи системи векторного керування викладені в [3,6,8,21]. У зазначених джерелах є відомості про сучасну побудову систем векторного керування, проблеми виникаючі при побудові таких систем, способи

реалізації моделей потоку й швидкості і т.п.

Так, у [16,17] зроблений огляд методів сучасної теорії автоматичного керування: класичне векторне керування АД; векторне керування на основі сучасної теорії керування; робастні та адаптивні системи векторного керування АД; векторне керування асинхронними двигунами при статормому полеорієнтуванні, наведений детальний аналіз літератури з даного питання.

Загальний стан розробки обраної теми показує, що вона відображена у великому масиві джерельного матеріалу.

Тенденції розвитку електроприводів.

Аналіз світового досвіду створення нового й модернізації діючого технологічного встаткування показує високу динаміку розвитку регульованих електроприводів, комп'ютерних засобів автоматизації, використання інформаційних засобів. Вона обумовлена прагненням до максимального підвищення продуктивності технологічного встаткування і якості виробленої продукції. Усі провідні електротехнічні корпорації випускають регульовані електроприводи комплектно з комп'ютерними засобами автоматизації у вигляді гнучких програмувальних систем, призначених для широкого використання. Окупність засобів, вкладених у такі системи, є найбільш швидкою. Крім застосування регульовані електроприводи разом з технологічними пристроями використовуються в якості засобів регулювання технологічних змінних - рівня, тиску, вологості, температури, дозування, продуктивності та ін. [7,20].

Можна виділити наступні загальні тенденції розвитку електроприводів, що мають сталий характер:

- застосування регульованих електроприводів у промисловому встаткуванні, транспорті, авіаційній і космічній техніці, медицині, побутовій техніці для досягнення нових якісних результатів у технології;
- заміна нерегульованих електроприводів регульованими в енергоємному встаткуванні (насоси, компресори, вентилятори та ін.) з метою енергозбереження;
- поширення блочно-модульних принципів побудови електроприводів,

інформаційних засобів, засобів керування й систем керування в цілому;

- динамічна комп'ютеризація електроприводів, механізмів, агрегатів і комплексів і нова ідеологія проектування систем;

- подальший розвиток методів каскадного (підлеглого) керування, що одержали широке розповсюдження в електроприводах і органічно застосовних до керування технологічними змінними й інтегральними показниками якості обробки, переробки й виробництва речовини.

Нині велика увага приділяється розширенню виробництва регульованих електроприводів, в першу чергу змінного струму. За даними різних джерел у промислово розвинених країнах 30- 40% усіх електроприводів є регульованими. В Україні ж їх налічується до 5% [12,14].

Регульований електропривод постійно вдосконалюється, особливо інтенсивно він розвивається після створення нових силових керованих напівпровідникових приладів та інформаційних технологій.

Світові лідери у виробництві частотних перетворювачів: ABB, Allen Bradley, Danfoss, Mitsubishi Electric, Schneider Electric, Siemens, Yaskawa.

Більш скромну нішу займають такі фірми як, наприклад, Control Techniques, Emotron, Lenze та ін. Їхня продукція по якості практично не поступається лідерам.

Німецька компанія Lenze - один з лідерів в області технології ПЧ й комплектних систем керування. Основний напрямок діяльності Lenze - виробництво універсальних систем електропривода. ПЧ Lenze має декілька серій, які спеціалізуються для різних задач автоматизації технологічних процесів: від керуванням насосами і вентиляторами (серія Lenze 8200 SMD) до задач з підвищеною динамікою та точністю регулювання (серія Lenze 9300 Vector).

Сучасні, високоефективні комплектні електроприводи нового покоління відомих виробників Delta Electronics сериї VFD-C2000, Danfoss VLT Automation Drive FC, SED2. Micromaster 440 від Siemens, серії Altivar від Shneider Electric, OMRON Varispeed F7, Toshiba AS3, Elettronica Santerno SINUS K та багато інших

насамперед виділяються своєю надійністю, зручністю та універсальністю. Вони широко використовуються в різних застосуваннях по усьому світу.

1.2 Опис об'єкту дослідження. Токарський верстат у складі гнучкої автоматизованої дільниці механообробки

Автоматизація виробничого процесу характеризується створенням комплексно-автоматизованих дільниць, цехів і заводів у цілому з використанням електронно-обчислювальної техніки та комп'ютерних систем.

Гнучкими виробничими системами (ГВС) називають сукупність металообробного і допоміжного обладнання, що працює в автоматичному режимі і з єдиною системою керування.

Сучасна ГВС являє собою складну сукупність різного основного і допоміжного технологічного обладнання, транспортно-складської системи, ріжучого, допоміжного та вимірювального інструменту, автоматизованих систем керування та систем забезпечення функціонування. Для вирішення різних технологічних завдань ГВС може комплектуватися різним обладнанням, наприклад, однотипними взаємозамінними багатоцільовими верстатами з ЧПК, різнотипними спеціалізованими верстатами з ЧПК (фрезерними, розточувальними верстатами, верстатами для зняття задирок і т.п.) [19].

Залежно від схеми розташування обладнання в ГВС переміщення заготовок і інших компонентів матеріального потоку може бути організовано по жорсткому маршруту, що характерно для гнучких автоматизованих ліній (ГАЛ) або по змінюваному (гнучкому) маршруту у гнучких автоматизованих дільницях (ГАД).

Гнучкий виробничий модуль (ГВМ) — елементарний компонент ГАД.

ГВМ - це одиниця технологічного обладнання, яка автономно функціонує, автоматично здійснює весь цикл роботи, пов'язаний з виготовленням виробів і має можливість бути вбудованою в ГВС.

В типовий механообробний ГВМ входить верстат з ЧПК і робот, керовані від ЕОМ, накопичувач заготовок і оброблених деталей і допоміжні пристрої (пристрої для видалення стружки з базових поверхонь, пристрої для контролю зносу інструменту та ін.).

ГАД охоплює кілька ГВМ, об'єднаних АСУ та автоматизованою транспортно-складською системою, що автономно функціонують протягом заданого часу.

Гнучкий виробничий модуль (ГВМ) механообробки наведений на рисунку 1.1.

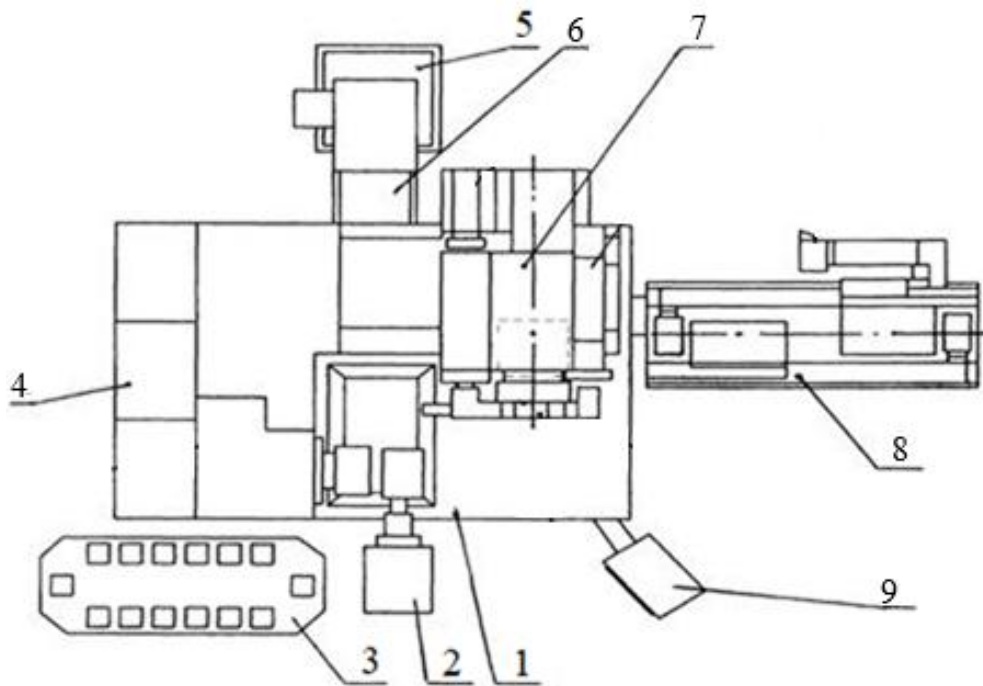


Рисунок 1.1- Гнучкий виробничий модуль

До складу ГВМ входять: 1 - верстат механообробки; 2 - промисловий маніпулятор; 3 – накопичувач деталей; 4 - шафа електроустаткування; 5 – тара для стружки; 6 – транспортер; 7 - повзун із вбудованою револьверною головкою; 8 - накопичувач змінних інструментальних барабанів; 9 - пульт пристрою ЧПК.

У загальному випадку ГВМ можуть включати: накопичувачі, супутники, палети, пристрої завантаження-вивантаження, заміни технологічного оснащення, автоматизованого контролю (в тому числі діагностики), переналагодження та ін.

Розширення сфери застосування верстатів із ЧПК, підвищення їх надійності і продуктивності здійснюється на основі об'єднання верстатів із ЧПК й ЕОМ у єдину комплексну систему.

В даній роботі в якості об'єкту дослідження розглядається універсальний токарський верстат з ЧПК INDUSTRIE 2000/250 HD [23].

Опис та технічні характеристики токарського верстата.

Загальний вид верстата наведений на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 - Універсальний токарський верстат INDUSTRIE 2000/250 HD

Цей верстат дозволяє виконувати токарну обробку деталей найбільш широкої номенклатури і найбільш типових розмірів.

Верстат відноситься до групи токарно-лоботокарних, підгрупи токарно-гвинторізних.

Універсальний токарський верстат моделі INDUSTRIE 2000/250 є моделлю підвищеної точності і для уникнення втрати точності не слід використовувати його для чорнової обробки.

Універсальний токарно-гвинторізний верстат призначений для виконання різноманітних токарських робіт, а саме, для обробки циліндричних, конічних і складних поверхонь - як внутрішніх, так і зовнішніх, а також для нарізування різьб та обточування і розточування конічних і циліндричних поверхонь.

Основними вузлами прийнятого верстата є:

- станина, на якій монтуються всі механізми верстата;
- передня (шпиндельна) бабка, в якій розміщуються коробка передач, шпиндель і інші елементи;
- коробка подач, передавальна з необхідним співвідношенням рух від шпинделя до супорта (за допомогою ходового гвинта при нарізуванні різьби або ходового валика при обробці інших поверхонь);
- фартух, в якому перетворюється обертання гвинта або валика в поступальний рух супорта з інструментом;
- в пінолі задньої бабки може бути встановлений центр для підтримки оброблюваної деталі або стрижневий інструмент (свердло, розгортка тощо) для обробки центрального отвору в деталі, закріпленої в патроні;
- супорт служить для закріплення різального інструменту та повідомлення йому рухів подачі.

Для обробки торцевих поверхонь заготовок застосовуються різноманітні різці, свердла, зенкери, а так само плашки і мітчики, у тому числі для нарізування різьб: метричної, дюймової, модульної, пітчевої і архімедної спіралі. Верстат має потужний привод шпинделя і дозволяє обробляти заготовки довжиною до 1500 мм і діаметром до 400 мм, оснащений приводом швидких переміщень супорта, а також фрикційним механізмом механічного типу. Шпиндель має прохідний отвір діаметром 80 мм.

Основні технічні характеристики верстата наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики верстата INDUSTRIE 2000/250 HD

Параметр	Значення
Діаметр обробки над станиною	500 мм
Відстань між центрами	2000 мм
Висота центру	250 мм
Діаметр ходового гвинта	12 мм
Напруга мережі	380 В
Отвір шпинделя	80 мм
Хід шпинделя	150 мм
Швидкий хід уздовж/поперек	4,5/1,9 м/хв.
Метричний розмір різі (М.)	1-224 мм
Швидкість обертання	9 - 1600 об/хв
Кількість ступенів частот зворотного обертання шпинделя	24
Межі частот прямого обертання шпинделя	12,5 -2000хв ⁻¹
Межі частот зворотного обертання шпинделя	19-2420 хв ⁻¹
Межі робочих подач - поздовжніх	0,063–2,52 мм/об
Межі робочих подач - поперечних	0,027–1,07 мм/об
Потужність електродвигуна головного привода	10 кВт

1.3 Електричне обладнання верстата

Електроапаратура верстата винесена в окремий щит керування, закріплений на задній стінці передньої бабки [23].

Високі технічні характеристики верстата INDUSTRIE 2000/250 забезпечуються потужним двигуном головного приводу. Двигун розвиває потужність до 10 кВт при частоті обертання валу 1600 об./хв.

Для забезпечення високої надійності в роботі та обслуговування електроустаткування верстата фахівцями середньої кваліфікації вся релейно-контакторна апаратура та інші електроапарати мають просту конструкцію і випробувані багаторічною експлуатацією в різних умовах. Електроапаратура (за

винятком кількох апаратів) змонтована в шафі керування, розташованому з заднього боку верстата. Електрообладнання верстата призначене для підключення до трифазної мережі змінного струму з глухозаземленим або ізолюваним нейтральним дротом.

Електрична принципова схема верстата наведена на рисунку 1.3.

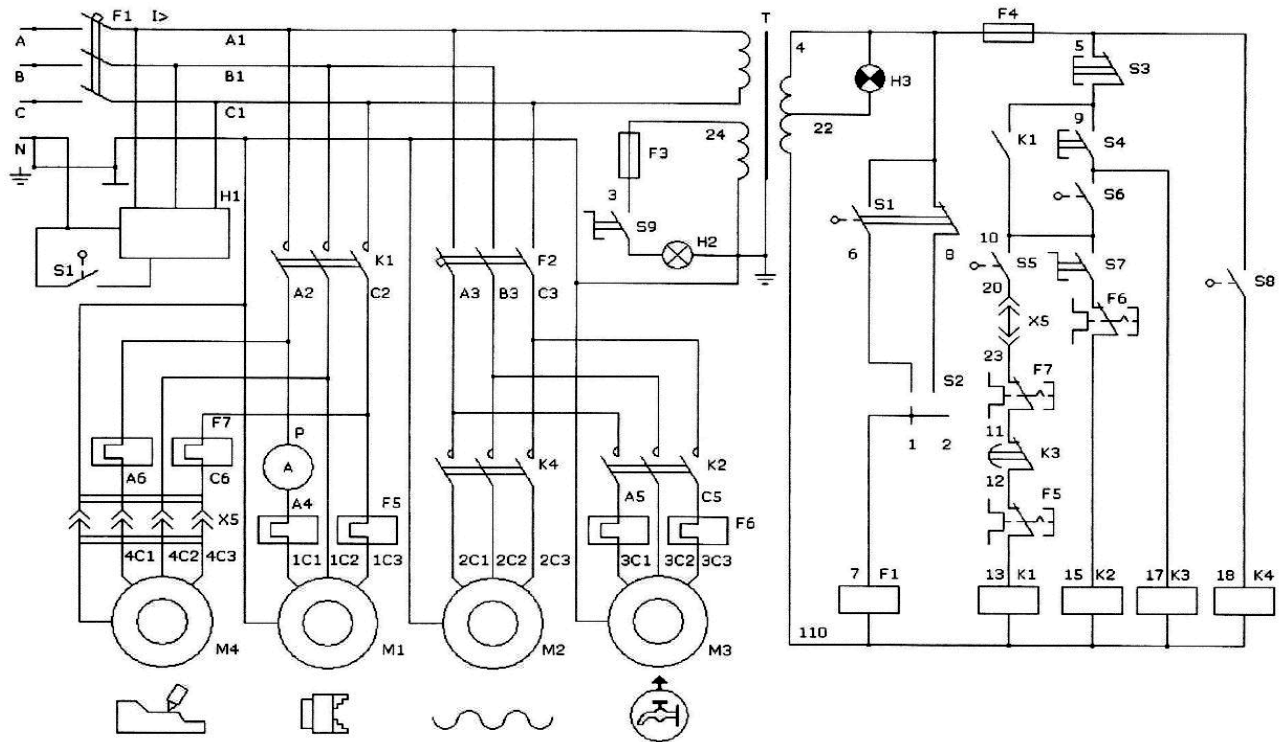


Рисунок 1.3 - Схема електрична принципова верстата INDUSTRIE 2000

Пуск електродвигуна головного приводу *M1* і гідростанції *M4* здійснюється натисканням кнопки *S4*, яка замикає ланцюг котушки контактора *K1*, переводячи його на саможивлення. Останов електродвигуна головного приводу *M1* здійснюється натисканням кнопки *S3*. Керування електродвигуном швидкого переміщення каретки і супорта *M2* здійснюється натисканням толчкової кнопки, вбудованої в рукоятку фартуха і впливає на кінцевий вимикач *S8*. Пуск і зупинка електронасоса охолодження *M3* виробляються перемикачем *S7*. Робота електронасоса заблокована з електродвигуном головного приводу *M1*, і включення його можливо тільки після замикання контактів пускача *K1*. Для обмеження холостого ходу електродвигуна головного приводу в схемі є реле часу *K3*. У середніх (нейтральних) положеннях рукояток включення фрикційної

муфти головного приводу замикається нормально закритий контакт кінцевого вимикача *S6* і включається реле часу *K3*, яке через встановлену витримку часу відключить своїм контактом електродвигун головного приводу. Захист електродвигунів головного приводу, приводу швидкого переміщення каретки і супорта, електронасоса охолодження і трансформатора від струмів коротких замикань проводиться автоматичними вимикачами і плавкими запобіжниками. Захист електродвигунів (крім електродвигуна *M2*) від тривалих перевантажень здійснюється тепловими реле. Робити перебудову витримки часу в робочому стані реле категорично забороняється.

Блокувальні пристрої. У електросхемі передбачено блокування, що відключає вступний автоматичний вимикач при відкриванні дверей шафи керування.

При включеному ввідному автоматичному вимикачі відкривання дверей шафи призводить до спрацьовування колійного вимикача *S1*, який збуджує катушку дистанційного роздільника *F1* і автоматичний вимикач відключає електрообладнання верстата від мережі.

При відкриванні кожуха змінних шестерень спрацьовує мікроперемикач *S5*, відключаючи електродвигун головного приводу. Подорожній вимикач *S1* змонтований у шафі керування, мікроперемикач *S5* - на корпусі коробки подачі.

Для огляду та налагодження електроапаратури під напругою (при відкритій двері шафи) в схемі передбачено деблокуючого перемикач *S2*, встановлений в шафі керування. Перемикач *S2* слід встановити в положення 1, після чого можна включити вступний автоматичний вимикач і приступити до налагоджувальних робіт. По закінченні пуско-налагоджувальних або ремонтних робіт перемикач *S2* поставити в початкове положення 2, інакше закривання дверей шафи викликає мимовільне відключення ввідного автоматичного вимикача.

У даному верстаті реалізована релейно-контакторна система керування (РКСК). Безпосереднім об'єктом керування для РКСК є двигун, що живиться від мережі. Електропривод, виконаний на такій основі, являє собою простий нерегульований електропривод, в основному загальнопромислового

застосування. Під керуванням електроприводом розуміється пуск його в роботу, регулювання швидкості, реверсування, гальмування, а також підтримання сталості заданої швидкості, моменту, потужності або іншої якої-небудь величини, що забезпечує технологічний процес робочої машини. РКСК електропривода здійснюється релейно-контакторною апаратурою, вона виконує першу основну функцію автоматичного керування електроприводом: автоматичний розгін, гальмування, реверсування і зупинку двигунів.

Недоліки РКСК:

- апарати керування мають рухомі частини та рухливі прикінцеві і розмикаючі контакти. Контакти і рухливі частини досить швидко зношуються, що призводить до порушення з'єднання між контактами і виходу з ладу деяких апаратів і всієї схеми керування;
- висока матеріаломісткість;
- контактна комутація, що вимагає відповідного догляду за апаратурою і що обмежує термін її служби;
- обмежена швидкодія та низька точність регулювання;
- підвищені масогабаритні показники і енергоспоживання.

Тому РКСК, як вже застарілу систему на даному етапі, варто вдосконалювати та модернізовувати, тобто впроваджувати більш нову та досконалу систему керування.

1.4 Висновки до розділу 1:

- наведений огляд літератури та розробок за темою;
- наведений опис та технічні характеристики токарського верстата у складі гнучкої автоматизованої дільниці механообробки;
- наведені дані про електричне обладнання верстата.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження

Кожний вид людської діяльності передбачає використання певних прийомів, способів, операцій з метою досягнення мети. Специфічними прийомами, способами послуговується і наука як один із видів діяльності людини. Сукупність цих прийомів позначають поняттям "метод". Метод з грецької означає шлях пізнання [4].

Метод – спосіб досягнення мети, розв’язання конкретної задачі; сукупність прийомів (операцій) практичного впливу чи теоретичного освоєння об’єктивної дійсності з метою її пізнання.

Методика дослідження – це система правил використання методів, прийомів та способів для проведення будь якого дослідження. Свідоме застосування науково обґрунтованих методів слід розглядати як найсуттєвішу умову отримання нових знань. Дослідник, який добре знає методи дослідження і можливості їх застосування, витрачає менше зусиль і працює успішніше, ніж той, хто у своєму дослідженні спирається лише на інтуїцію або діє за принципом «спроб і помилок».

Методологія – це концептуальний виклад мети, змісту, методів дослідження, які забезпечують отримання максимально об’єктивної, точної, систематизованої інформації про процеси та явища.

Вирізняють методи загальні (або загально-філософські), загальнонаукові, які застосовують у дослідницькому процесі різних наук, і часткові - при розв'язанні прикладних наукових задач.

Загальнонаукові методи дослідження умовно поділяють на три групи:

- теоретичні методи, це методи, що використовуються на теоретичному рівні дослідження. Особливість теоретичного дослідження полягає у використанні абстрактних уявлень, ідей, положень, концепцій, які мають безпосереднє відношення до процесу практичного пізнання. Найчастіше у процесі теоретичного

пізнання наука послуговується методом сходження від абстрактного до конкретного, гіпотетико-дедуктивним, системним методами.

- емпірико-теоретичні – методи, що використовуються як на теоретичному, так і на емпіричному рівнях дослідження (аналіз і синтез, індукція та дедукція, аналогія, моделювання). Сутність їх полягає у зорієнтованості на безпосередню дійсність й одночасному використанні абстрактних пізнавальних образів (уявлень, ідей, понять, концепцій), які стосуються цієї дійсності.

Емпіричні – методи емпіричного дослідження (спостереження, експеримент, вимірювання, порівняння). Найхарактерніша їх особливість полягає у пізнанні феноменів, їх зв'язків і відношень завдяки безпосередньому з'ясуванню їх параметрів.

Загальнонаукові методи використовуються в теоретичних і емпіричних дослідженнях. До них належать аналіз і синтез, індукція і дедукція, аналогія і моделювання, абстрагування і конкретизація, системний аналіз.

Аналіз – метод дослідження, який включає в себе вивчення предмета за допомогою практичного розчленування його на складові елементи (частини об'єкта, його ознаки, властивості, відношення). Кожна із виділених частин аналізується окремо у межах єдиного цілого.

Синтез (від грец. synthesis – поєднання, з'єднання, складання) – метод вивчення об'єкта у його цілісності, у єдиному і взаємному зв'язку його частин.

У процесі наукових досліджень синтез пов'язаний з аналізом, оскільки дає змогу поєднати частини предмета, розчленованого у процесі аналізу, встановити їх зв'язок і пізнати предмет як єдине ціле.

Індукція (від лат.induction – наведення) – метод дослідження, при якому загальний висновок про ознаки множини елементів виводиться на основі вивчення цих ознак у частини елементів однієї множини.

Дедукція (від лат. deduction - виведення) – метод логічного висновку від загального до окремого, тобто спочатку досліджують стан об'єкту в цілому, а потім його складових елементів.

Дедукція та індукція – взаємо протилежні методи пізнання.

Аналогія – метод наукового дослідження, завдяки якому досягається пізнання одних предметів і явищ на основі їх подібності з іншими. Він ґрунтується на подібності деяких сторін різних предметів і явищ.

Моделювання – метод, який ґрунтується на використанні моделі як засобу дослідження явищ і процесів природи. Під моделями розуміють системи, що замінюють об'єкт пізнання і служать джерелом інформації стосовно нього.

Моделі – це такі аналоги, подібність яких до оригіналу суттєва, а розбіжність – несуттєва. Моделі поділяють на два види: матеріальні та ідеальні. Матеріальні моделі втілюються у певному матеріалі – дереві, металі, склі і т. ін. ідеальні моделі фіксуються в таких наочних елементах, як креслення, рисунок, схема, комп'ютерна програма і т. ін.

Методи дослідження – це спосіб дослідження явищ і процесів, інструментарій отримання фактичного матеріалу, необхідна умова досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі.

Основні методи дослідження

Метод – це сукупність прийомів чи операцій практичного або теоретичного освоєння дійсності, підпорядкованих розв'язанню конкретного завдання.

Загальні методи пізнання поділяються на три групи:

- методи емпіричного дослідження;
- методи теоретичного дослідження;
- універсальні методи.

Методи емпіричного дослідження: спостереження; порівняння; вимірювання; - експеримент.

Методи теоретичного дослідження: ідеалізація; аксіоматичний; гіпотеза та припущення; історичний метод; системний підхід.

Універсальні методи:

- абстрагування – відхід у думці від несуттєвих властивостей і виділення кількох рис, які цікавлять дослідника (види абстракцій: ототожнення, ізолювання, конструктивізація і т.п.);

- аналіз – метод, який дає змогу поділяти предмети на складові частини;

- синтез – припускає з'єднання окремих частин, або рис предмета в єдине ціле;
- індукція – перехід від часткового до загального, коли на підставі знання про частину предметів або класів робиться висновок про клас загалом;
- дедукція – висновок щодо якогось елементу множини робиться на підставі знання загальних властивостей всієї множини;
- моделювання – ґрунтується на використанні моделі, як засобу дослідження явищ і процесів природи та суспільства. Під моделями розуміють системи, що замінюють об'єкт пізнання.

Модель (від лат. *modulus* – «міра») – це певний умовний образ об'єкта дослідження, котрий замінює останній і перебуває з ним у такій відповідності, яка дозволяє отримати нове знання. Модель будується для того, щоб відобразити характеристики об'єкта (елементи, взаємозв'язки, структурні та функціональні властивості), суттєві з точки зору мети дослідження. Отже, моделювання пов'язане зі спрощенням узагальненням прототипу, абстрагуванням від низки його властивостей, ознак, сторін. Схема органу державного управління, наприклад, є її графічною моделлю, що відображує її структуру.

Метод моделювання передбачає, що об'єкт вивчається не безпосередньо, а шляхом дослідження іншого об'єкта, який в певному відношенні є аналогом першого. Під математичним моделюванням розуміється, зазвичай, вивчення явища за допомогою його математичної моделі.

Отже, моделювання з точки зору наукового дослідження – це метод опосередкованого пізнання за допомогою штучних або природних систем, які зберігають певні особливості об'єкта і таким чином, замінюючи його, дають змогу отримати нове знання про оригінал. У системному аналізі моделі є дуже важливим компонентом дослідження та проектування нових систем. Не менш важливий і прагматичний аспект моделювання, при якому модель розглядається як засіб керування системою, засіб організації практичних дій, спосіб представлення цілей діяльності.

Модель є цільовим відображенням об'єкта-оригіналу, що виявляється у множинності моделей одного й того ж об'єкта, тобто для різних цілей або завдань дослідження можна будувати різні моделі, тому ціль або завдання дослідження визначають, які саме ознаки системи мають бути відображені в моделі. Отже, питання про якість такого відображення – адекватність моделі реальності – правомірно вирішувати лише стосовно поставленої мети. Процес дослідження реальних систем, що охоплює побудову моделі, дослідження її властивостей і перенесення одержаних відомостей на реальну систему, називають моделюванням.

Вибір методів дослідження.

Серед відомих методів дослідження складних електромеханічних систем можна виділити фізичне, імітаційне, аналогове та математичне моделювання.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, яка відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні та функціональні характеристики та властивості оригіналу (але не обов'язково всі властивості) та має великі можливості з визначення різноманітних якостей електромеханічних систем ті їх елементів.

Метод математичного моделювання ґрунтується на здатності математично описувати рівняннями різні за природою явища (процеси) та виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

При математичному моделюванні застосовуються аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число факторів, завжди потребують деяких припущень та спрощень. Проте вони більше пристосовані для пошуку оптимальних рішень.

Статистичні моделі у порівнянні з аналітичними більш точні, але громіздкі та погано доступні для огляду.

В цій роботі проводиться дослідження системи керування електропривода головного руху верстата. Тому для моделювання перехідних процесів використовується комп'ютерна модель.

Комп'ютерна модель (або чисельна) – комп'ютерна програма, яка реалізує абстрактну модель деякої системи. Комп'ютерні моделі використовуються для

отримання нових знань про об'єкт, що моделюється або для приблизної оцінки поведінки математичних систем, які досить складні для аналітичного дослідження. Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення складних систем. Комп'ютерні моделі простіші та їх зручніше досліджувати в силу можливості проводити обчислювальні експерименти в тих випадках, коли реальні експерименти немає можливості проводити через фінансові труднощі або фізичні перешкоди. Для підтримки математичного моделювання розроблені системи комп'ютерної математики, наприклад, Maple, Mathematica, Mathcad, MATLAB, VisSim та інші. В даній роботі використовується пакет Simulink програми MATLAB.

2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження

Методологія - це система базисних принципів, методів, методик, способів і засобів їх реалізації в організації та побудові науково-практичної діяльності. Вона включає в себе методи теоретичного та емпіричного пізнання і являє собою алгоритм пошуку і досягнення мети.

Основне призначення методики дослідження полягає у тому, щоб на основі відповідних принципів (вимог, умов, обмежень тощо) забезпечити успішне вирішення визначених мети і завдань наукового дослідження.

Алгоритм магістерського дослідження представлений структурно-логічною схемою у вигляді табличної інформаційної моделі (таблиця 2.1) [5].

Данна схема складена на підставі головних завдань магістерського дослідження і наочно відображає його послідовність: мотивацію; формулювання проблеми дослідження; пошук теоретичної основи розв'язання проблеми; розв'язання проблеми. Вона показує процедуру (алгоритм) дослідження і установлює логічну послідовність виконання структурних розділів і підрозділів магістерської роботи .

Таблиця 2.1 – Структурно-логічна схема магістерського дослідження

Обрання теми дослідження: Дослідження електропривода головного руху токарського верстата	
Складання індивідуального календарного плану роботи	
Пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини	Аналіз існуючих тенденцій в сучасному автоматизованому електроприводі, які націлені на ресурсозбереження в системі "електропривод-верстат"
Опис об'єкту дослідження	Розгляд будови та особливостей роботи токарських верстатів
	Аналіз існуючих типів електродвигунів, обґрунтований вибір двигуна
	Аналіз та вибір системи керування обраним двигуном
Опис процесу дослідження	Розгляд методу векторного керування
	Моделювання перехідних процесів та аналіз результатів
Узагальнення результатів моделювання	Інтерпретація отриманих результатів дослідження
	Формулювання висновків
Узагальнення науково-теоретичних результатів	
Розробка заходів з охорони праці	
Реалізація отриманих результатів у навчальний процес	

2.3 Вибір методу розрахунку поставленої задачі

Дана магістерська робота не передбачає проведення експериментальних досліджень, має теоретичний характер, тому основним методом для відображення отриманих результатів є моделювання.

Модель (від лат. *modulus* – міра) – це певний умовний образ об'єкта дослідження, котрий замінює останній і перебуває з ним у такій відповідності, яка дозволяє отримати нове знання. Модель будується для того, щоб відобразити

характеристики об'єкта (елементи, взаємозв'язки, структурні та функціональні властивості), суттєві з точки зору мети дослідження. Отже, моделювання пов'язане зі спрощенням, огрубленням прототипу, абстрагуванням від ряду його властивостей, ознак, сторін.

Для детальнішого опису систем використовують моделі складу та моделі структури. Модель складу системи відображає, з яких елементів і підсистем складається система, а модель структури застосовується для відображення відношень між елементами та зв'язків між ними.

Модель структури описує суттєві зв'язки між елементами та підсистемами. При використанні графічних моделей будову систем подають у вигляді так званих структурних схем. Структурні схеми наглядні та містять інформацію про велику кількість властивостей системи.

Залежно від форми подання об'єкта моделювання поділяють на реальне та абстрактне.

При реальному моделюванні використовують можливість дослідження характеристик на реальному об'єкті чи на його частині, а при натурному – проводять дослідження на реальному об'єкті з подальшим обробленням результатів експерименту на основі теорії подібності.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, що відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні і функціональні властивості "оригіналу" і володіє великими можливостями по визначенню різних якостей електромеханічних систем та їх елементів.

Метод математичного моделювання заснований на здатності математично описувати рівняннями різноманітні за природою явища (процеси) і виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

Дослідження математичної моделі дає змогу отримати характеристики реального об'єкта чи системи. Вигляд математичної моделі залежить як від природи системи, так і від завдань дослідження. Математична модель системи містить, як правило, опис множини можливих станів системи та закон переходу з

одного стану в інший. Математичне моделювання охоплює імітаційне, інформаційне, структурне, ситуаційне тощо.

На етапі вибору математичної моделі встановлюються: лінійність і не лінійність об'єкта, процесу або системи, динамічність або статичність, стаціонарність або не стаціонарність, а також ступінь детермінованості досліджуваного об'єкта чи процесу. При математичному моделюванні свідомо відволікаються від конкретної фізичної природи об'єктів, процесів або систем і, в основному, зосереджуються на вивченні кількісних залежностей між величинами, що описують ці процеси.

Розрахунок задач магістерського дослідження проводиться за допомогою електронної обчислювальної техніки за допомогою програми Mathcad. На базі складених диференціальних рівнянь проводиться математичне моделювання системи керування електропривода. За допомогою програми Simulink досліджуються перехідні характеристики системи при зміні задаючих параметрів.

Слід зазначити, що метод моделювання – вивчення явищ за допомогою моделей – сьогодні має особливе значення для вирішення складних фізичних завдань, чому значною мірою сприяє зростанню продуктивності комп'ютерної техніки. Саме тому в цьому магістерському дослідженні як основа використаний метод математичного моделювання.

2.4 Висновки по розділу 2

- вибраний та обґрунтований метод наукового дослідження.;
- побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження;
- обґрунтовано вибір методу розрахунку задачі і показано, що метод математичного моделювання дозволяє досліджувати перехідні режими в енергозберігаючому електроприводі головного руху токарського верстата.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ГОЛОВНОГО РУХУ ВЕРСТАТА ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Вибір електродвигуна головного руху верстата

Вимоги, що пред'являються до електроприводів головного руху. Вимоги до електроприводів і систем керування верстатами визначаються технологією обробки, конструктивними можливостями верстата і ріжучого інструменту.

Основними технологічними вимогами згідно [24] є забезпечення:

- найширшого кола технологічних режимів обробки з використанням сучасного різального інструменту;
- максимальної продуктивності;
- найбільшої точності обробки;
- високої чистоти оброблюваної поверхні.

Відповідність всім цим і іншим вимогам залежить від характеристик верстата і різального інструменту, потужності головного приводу, і електромеханічних властивостей приводів подач і системи керування.

У сучасних верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) функції, виконувані електроприводом головного руху, значно ускладнені. Крім стабілізації частоти обертання, при силових режимах різання потрібні забезпечення режимів позиціонування супортів, що неминуче веде до збільшення необхідного діапазону регулювання частоти обертання.

Стабільність роботи приводу характеризується перепадом частоти обертання при зміні навантаження, напруги живлячої мережі, температури навколишнього повітря і тому подібних.

Погрішність частоти обертання для головного приводу верстата повинна складати не більш: сумарна похибка — 5%; похибка при зміні навантаження — 2%; погрішність при зміні напрямку обертання — 2%.

Коефіцієнт нерівномірності, що розраховується як відношення різниці

максимальної і мінімальної миттєвих частот до середньої частоти обертання при холостому ході приводу, повинен бути не більше 0,1.

У сучасних верстатах динамічні характеристики приводів головного руху по керуванню прямим чином визначають продуктивність. При цьому час пуску і гальмування по не повинні перевищувати 2,0 — 4,0 с. За наявності зазорів в кінематичному ланцюзі головного приводу перерегулювання приводить до додаткових витрат часу на позиціонування, тому з'являється необхідність забезпечення монотонного аперіодичного характеру зміни швидкості.

Динамічні характеристики електропривода по навантаженню практично визначають точність і чистоту обробки виробу, а також стійкість інструменту. Стійкий процес різання при необхідній точності і чистоті поверхні можливий, якщо параметри настройки приводу забезпечують при накиді номінального моменту навантаження максимальний провал швидкості не більше 40% при часі відновлення, не перевищуючому 0,25с.

Відмінною особливістю приводу головного руху верстатів з ЧПК є необхідність застосування реверсивного приводу навіть в тих випадках, коли за технологією обробки не потрібен реверс. Вимога забезпечення ефективного гальмування і пригальмовування при зниженні частоти обертання і режимів підтримки постійної швидкості різання приводить до необхідності застосування реверсивного приводу з метою отримання потрібної якості перехідних процесів.

У приводах головного руху швидкість регулюється при постійній потужності, тому в механізмах головного руху переважали нерегульовані асинхронні двигуни навіть у верстатах із ЧПК. Регулювання швидкості по програмі здійснювалося електричним або гідравлічним перемикуванням ступенів у коробці швидкостей. Однак зараз усе ширше застосовуються регульовані приводи постійного і 3
мінного струму. Багатоступінчасті коробки швидкостей замінюються на 2-х і 3-х ступінчасті, а в деяких випадках застосовується безступінчасте, чисто електричне регулювання швидкості виконавчого механізму головного руху, що стало можливим завдяки використанню двигунів із широким діапазоном регулювання.

Особливість високоавтоматизованих верстатів з ЧПК - необхідність застосування реверсивного привода навіть у тих випадках, коли за технологією обробки реверс не потрібен. Забезпечення ефективного гальмування й підгальмування при зниженні швидкості й режимів підтримки постійної швидкості різання обумовлює використання реверсивного привода з метою одержання потрібної якості перехідних процесів.

Результати досліджень і розробок перспективних серій приводів головного руху металорізальних верстатів показують, що в найближчі роки приводи будуть удосконалюватися у напрямку використання асинхронних частотнорегульованих двигунів спеціальних конструкцій.

Виходячи з аналізу технічних характеристик верстата моделі INDUSTRIE 2000/250 HD, вихідними даними для вибору двигуна є :

- потужність електродвигуна - 10 кВт;
- швидкість обертання - до 1600 об./хв.

При виборі електродвигуна для верстата INDUSTRIE 2000/250 HD треба звернути увагу на потужність та частоту обертання електродвигуна прототипу, тобто ту потужність та частоту, на яку спочатку спроектований верстат.

Підібрати електродвигун треба приблизно з однаковими характеристиками. Для реалізації векторної системи керування підійдуть будь-які електродвигуни загального промислового призначення [24].

Тому як альтернативний варіант заміни існуючого електродвигуна обраний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором з найбільш високими технічними характеристиками.

Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором має ряд таких переваг: простота конструкції; простота пуску і легкість автоматизації; приблизно постійна швидкість при різних навантаженнях; можливість короточасних механічних перевантажень; більш високі $\cos\phi$ і ККД, ніж у електродвигунів з фазним ротором

В стандартній комплектації верстата був встановлений асинхронний електродвигун потужністю 10 кВт застарілого типу.

З метою модернізації обраний двигун компанії-інноватора - Lenze.

Lenze — це один з провідних промислових інноваторів в Німеччині. Продукти Lenze це зокрема перетворювачі частоти, сервоприводи, передачі, двигуни, гальма і муфти. Крім того, Lenze надає технічні, рішення у сфері автоматизації з інтегрованим програмним забезпеченням, візуалізацією і контролем, а також системотехніці, сполучну техніку та інші послуги.

Технологія Lenze пропонує комплексне рішення для цієї сфери застосувань. Асинхронні електродвигуни можливо укомплектувати перетворювачами частоти або редукторами, які надає марка Lenze.

Трифазні перетворювачі частоти Lenze 8200 Motec змонтовані на клемній коробці двигуна - вдале рішення комплектного електропривода.

Отже, обираємо трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором марки Lenze MDXMA160-22 з технічними характеристиками, які наведені в таблиці 3.1 [2].

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики асинхронного електродвигуна Lenze MDXMA160-22

Значення	Параметр
Номінальна потужність $P_{ном}$, кВт	11
Номінальна частота обертання n_H , об/хв.	1460
Синхронна частота обертання $n_{син}$, об/хв.	5000
Номінальний момент M_H , Н·м	71,9
Номінальний струм I_H , А	21,0/36,5
Номінальна напруга $U_{ном}$, В	400/320
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$	0,85
ККД η , %.	89
Кратність максимального моменту M_{max} / M_H	2,9
Пусковий момент $M_{пуск}$, Н·м	150
Кратність пускового струму $I_{пуск} / I_H$	7
Момент інерції ротора $J_{\partial в}$, кг·м ²	0,061

Структура умовного позначення Lenze MDXMA160-22:

MD - модульний 3 - фазний двигун змінного струму;

X - метод охолодження, вентиляції;

MA - дизайн кожуха;

A - асинхронний;

1 - тип машини;

6 - вбудовані аксесуари;

0 - розмір рамки;

2 - загальна довжина;

2 - число пар полюсів.

3.2 Огляд систем керування асинхронними двигунами

Характеристика систем керування асинхронними двигунами. Завданнями керування АД є: здійснення пуску, регулювання швидкості, гальмування, реверсування робочої машини, підтримка її режиму роботи відповідно до вимог технологічного процесу, керування становищем робочого органу машини. При цьому повинні бути забезпечені найбільша продуктивність машини або механізму, найменші капітальні витрати і витрата електроенергії. Тому вибір, проектування і дослідження системи керування електроприводом повинні здійснюватися з урахуванням конструкції робочої машини, її призначення, особливостей та умов роботи [24].

В данній роботі для розрахунку обираємо за базову систему підпорядкованого регулювання (СПР), зважаючи на те, що лише для цієї системи розроблена математична модель розрахунку та налагодження контурів.

Далі опишемо основні СПР та виберемо одну із цих систем для подальшої її реалізації.

Система тиристорний регулятор напруги — асинхронний двигун (ТРН-АД). В цій системі ТРН змінює амплітуду напруги, що підводиться до статора без зміни частоти, і використовується головним чином для керування пуском (м'які

пускарі) та здійснення ряду інших корисних функцій.

Переваги системи за первинними витратами на 30-40% дешевше, ніж електропривод з частотним перетворювачем; на 20-50% знижені витрати на тех. Обслуговування за рахунок простоти конструкції.

Недоліками системи є низькі енергетичні показники та низький діапазон регулювання $D=2 \div 1$, що пов'язано зі збільшенням напруги і швидкості, а також з перехідними електромагнітними процесами, викликаними включенням вимиканням обмоток статора двигуна. Такі електроприводи можуть працювати тільки в тривалому режимі, тому що не забезпечують короткочасного запуску і зупинки двигуна.

Система скалярного керування. Перетворювач частоти - асинхронний двигун (ПЧ-АД). Скалярне керування (частотне) - метод керування електродвигуном, який полягає в тому, щоб підтримувати постійним відношення напруга/частота (В/Гц) у всьому робочому діапазоні швидкостей, при цьому контролюється тільки величина і частота живлячої напруги. В системі ПЧ-АД живлення обмотки статора двигуна здійснюється від керованого перетворювача частоти. Як було встановлено, можливості регулювання, аналогічні можливостям зміни напруги на якорі двигуна постійного струму з незалежним збудженням, в асинхронному електроприводі забезпечуються шляхом зміни частоти напруги і струму обмотки статора [7].

Переваги системи:

- висока точність регулювання (відхилення $\pm 10\%$);
- економія електроенергії у разі змінного навантаження (тобто роботи двигуна з неповним навантаженням);
- рівний максимальному пусковий момент;
- розпізнавання випадіння фази для вхідний і вихідний ланцюгів;
- підвищений ресурс обладнання;
- плавний пуск двигуна, що значно зменшує його знос;
- частотно-регульований привод (ЧРП) як правило містить в собі ПД-

регулятор і може підключатися безпосередньо до датчика регульованої величини;

- кероване гальмування і автоматичний перезапуск при пропажі напруги;
- підхоплення обертового електродвигуна;
- стабілізація швидкості обертання при зміні навантаження;
- додаткова економія електроенергії від оптимізації збудження двигуна;
- дозволяють замінити собою автоматичний вимикач.

Недоліки системи:

- більшість моделей ЧРП є джерелом поміх;
- порівняно висока вартість для ЧРП великої потужності (окупність мінімум 1-2 роки);
- старіння конденсаторів головного ланцюга.

Система векторного керування. Векторне керування є методом керування синхронними (СД) і асинхронними двигунами (АД), не тільки формує гармонійні струми (напруги) фаз (скалярне керування), а й забезпечує керування магнітним потоком ротора. Перші реалізації принципу векторного керування та алгоритми підвищеної точності потребують застосування датчиків положення (швидкості) ротора. У загальному випадку під векторним керуванням розуміється взаємодія керуючого пристрою з так званим "просторовим вектором", який обертається з частотою поля двигуна. Векторне керування в порівнянні зі скалярним володіє вищою продуктивністю. Векторне керування позбавляє практично від усіх недоліків скалярного керування. Головна ідея векторного керування полягає в тому, щоб контролювати не тільки величину і частоту напруги живлення, але і фазу. Іншими словами контролюється величина і кут просторового вектора. Векторне керування дозволяє незалежно і практично безінерційний регулювати швидкість обертання і момент на валу [3,8,15,24].

На даний час векторне керування широко застосовується для керування асинхронними та синхронними (вентильними) двигунами. У порівнянні з синусоїдальною комутацією воно більш ефективне на високих швидкостях, тому що не обмежує максимальну швидкість і не вимагає для цього зсуву фази (Phase

Advance). Векторне керування дуже корисне, коли потрібен високий момент при низьких швидкостях. Наприклад на металообробних верстатах, на екструдерах, реакторах (момент створюваний навантаженням змінюється, а швидкість підтримувати треба з достатньою точністю

Система векторного керування з опорним вектором потокозчеплення (рисунок 3.1) ψ_μ повинна мати два канали керування - модулем ψ_μ і кутовою швидкістю ротора АД.

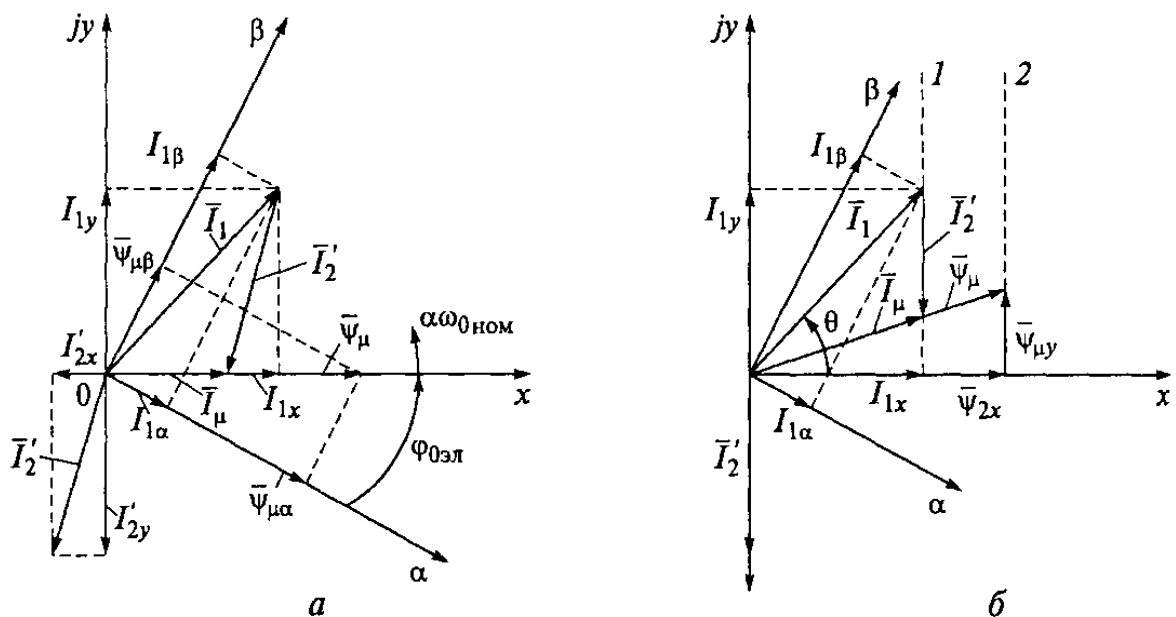


Рисунок 3.1 - Векторні діаграми змінних АД при орієнтації системи координат x, y за основним потокозчепленням (а) і по потокозчепленню ротора (б)

За аналогією з двигуном постійного струму (ДПС) канал керування швидкістю повинен містити внутрішній контур керування складової струму статора I_{1y} , еквівалентній струму якоря ДПС, і зовнішній контур керування кутовою швидкістю ротора. Канал керування модулем потокозчеплення ψ_μ повинен містити контур керування складової струму статора I_{1x} , еквівалентній струму збудження ДПС. Хоча за своєю функцією цей канал і подібний до каналу керування магнітним потоком ДПС, він складніший, оскільки взаємозв'язок модуля ψ_μ , складових струму і напруги статора по осі x характеризується диференціальним рівнянням другого порядку. На цей канал впливає і складова струму статора I_{1y} у

вигляді трансформаторних ЕРС, пропорційних розсіюванню статора і ротора.

Система керування з опорним вектором потокозчеплення ψ_2 має більш просту структуру керування, ніж при опорному векторі ψ_μ . Відповідно до рисунку 3.1,б вона повинна мати два канали керування - потокозчеплення ψ_2 і швидкістю двигуна. Канал керування ψ_2 двоконтурний: внутрішній контур керує складовою I_{1x} струму статора, зовнішній - модулем потокозчеплення ротора. Двоконтурним може бути і канал керування швидкістю АД: внутрішній контур керує складовою I_{1y} струму статора, зовнішній - кутовою швидкістю ротора.

Вихідною інформацією для побудови системи векторного керування є інформація про миттєві значення і просторове положення вектору потокозчеплення в повітряному зазорі, миттєвих значеннях струмів чи напруги статора й швидкості ротора двигуна. Обертова система координат приймається певним чином орієнтованою щодо вектору потокозчеплення двигуна. Зручні алгоритми керування мають місце при орієнтації координатної системи щодо вектора потокозчеплення ротора.

На рисунку 3.2 зображена функціональна схема системи регулювання швидкості АД з керуванням по вектору потокозчеплення статора.

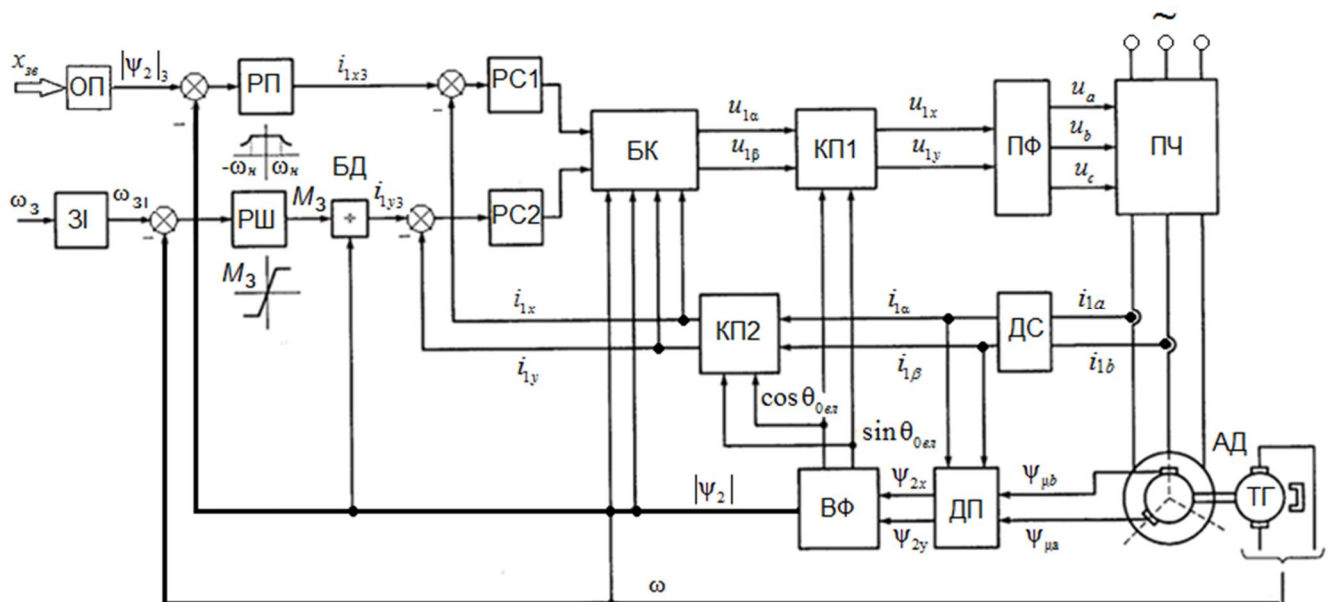


Рисунок 3.2 - Функціональна схема системи регулювання швидкості АД з керуванням по вектору потокозчеплення статора

На рисунку 3.2 позначені: ПЧ - перетворювач частоти (ввідний пристрій); ОП - обчислювальний пристрій; ЗІ - задатчик інтенсивності; РП - регулятор потоку; РШ - регулятор швидкості; БД - блок ділення; РС1 (PC_x), РС2 (PC_y) - регулятори струму; БК - блок компенсації; КП1, КП2 - блоки координатних перетворювачів; ПФ - перетворювач фаз; ВФ - вектор-фільтр; ДС - датчик струму; ДП - датчик потоку; ТГ - тахогенератор (датчик швидкості); АД - асинхронний двигун. $X_{вн}$ - сукупність зовнішніх сигналів (параметрів двигуна); $|\psi_2|_3$ - сигнал завдання потокозчеплення ротора; ω_3 - сигнал завдання керування (завдання швидкості двигуна); ω_{31} - сигнал темпу зміни швидкості двигуна; I_{1x3} , I_{1y3} - сигнали завдання складових струму статора по осях x , y ; U_{1x3} , U_{1y3} - сигнали завдання складових напруг статора по осях x , y ; I_{1x} , I_{1y} - поточні значення складових струму статора; U_{1x} , U_{1y} - поточні значення складових напруг статора; I_{1a} , I_{1b} - миттєві значення фазних струмів; $I_{1\alpha}$, $I_{1\beta}$ - перетворенні в фазну систему змінні I_{1a} , I_{1b} ; U_{1a} , $U_{1\beta}$ перетворені змінні складових напруг статора; U_{1a} , U_{1b} , U_{1c} - трифазні синусоїдальні сигнали; U_A , U_B , U_C - напруги живлення обмотки статора; ω - реальне значення частоти обертання двигуна; $|\psi_2|$ - вектор потокозчеплення ротора; ψ_{2a} , ψ_2 - миттєві значення потокозчеплень у повітряному зазорі перетворені в складові потоку $\psi_{\mu a}$, $\psi_{\mu b}$ в осях α , β ортогональної системи координат.

Опис роботи функціональної схеми векторного регулювання швидкості АД з керуванням по потокозчепленню ротора.

Система має два канали керування: модулем вектора потокозчеплення ротора і кутовою швидкістю ротора. Двоканальна система керування дає можливість здійснити незалежне регулювання модуля вектора потокозчеплення ротора й швидкості ротора при збереженні прямої пропорційності між моментом, що розвивається двигуном, і складовою намагнічувальної сили статора, що знаходиться в квадратурі з хвилею потокозчеплення ротора [22,24,].

Сигнал завдання потокозчеплення ротора $|\psi_2|_3$ формується в спеціальному обчислювальному пристрої ОП, що використовує математичну модель АД і реальні параметри двигуна, що нього вводяться: активні і реактивні опори кіл статора і

ротора, число пар полюсів, номінальні значення потужності, швидкості, напруга та струму статора, їх частоти, ККД і потужності.

ДС вимірює миттєві значення струмів у трьох фазах статора i_{1a} , i_{1b} , i_{1c} і перетворює їх у двofазну систему перемінних i_{1x} , i_{1y} .

Для перерахування перемінних з нерухомої системи координат у систему координат, зв'язану із потокозчепленням ротора, використаний координатний перетворювач КП2. Координатний перетворювач КП2 являє собою матрицю з чотирьох блоків добутку і здійснює ортогональне перетворення - поворот вектора намагнічуючої сили статора на кут, рівний миттєвій фазі вектора потокозчеплення ротора в осях α - β щодо нерухомих осей - відповідно до формул, записаних через струми статора:

$$i_{1\alpha} = i_{1x} \cos \theta + i_{1y} \sin \theta ;$$

$$i_{1\beta} = -i_{1x} \sin \theta + i_{1y} \cos \theta .$$

Перетворення складових напруг статора u_{1a} , і u_{1b} (представлених в осях, жорстко зв'язаних із вектором потокозчеплення ротора) у складові u_{1x} и u_{1y} , нерухомих осей здійснюється відповідно до формул:

$$u_{1x} = u_{1\alpha} \cos \theta - u_{1\beta} \sin \theta ;$$

$$u_{1y} = u_{1\alpha} \sin \theta_{0el} + u_{1\beta} \cos \theta_{0el} .$$

Ці перетворення виконуються в координатному перетворювачі КП1 (рисунок 3.2). Далі напруги u_{1x} и u_{1y} , перетворюються за допомогою перетворювача фаз (ПФ) у трифазну систему перемінних напруг u_a , u_b , u_c , використовуваних для керування амплітудою і частотою вихідної напруги перетворювача частоти (ПЧ).

Блок компенсацій (БК) здійснює розв'язку каналів керування потокозчепленням і кутовою швидкістю двигуна, це забезпечує умову автономності каналів [3,24].

У системі застосована аналогова система ідентифікації складових потокозчеплень, що використовує модель статора двигуна [8]

$$\frac{d}{dt}\dot{\psi}_0 = \dot{U}_s + R_s \dot{I}_s + L_s \frac{d}{dt} \dot{I}_s. \quad (2.3)$$

Вимірюються миттєві значення модуля вектора напруги статора U_s і вектора струму статора I_s . Складові головного потокозчеплення $\psi_{0\alpha}$ і $\psi_{0\beta}$ виходять на виході аналогового інтегратора. Векторні перетворення, обчислення складових потокозчеплень ротора ($\psi_{2\alpha}$ і $\psi_{2\beta}$) і регулятори каналів керування кутовою швидкістю й модулем потокозчеплення ротора можуть бути реалізовані як на мікропроцесорах так і з використанням операційних підсилювачів.

Недоліки векторного керування:

- необхідність знання багатьох параметрів електродвигуна;
- велика обчислювальна складність

Переваги векторного регулювання:

- точне відпрацьовування швидкості з компенсацією ковзання (навіть без зворотного зв'язка по швидкості);
- глибокий діапазон регулювання;
- в області малих частот двигун працює плавно й зберігає момент аж до нульової швидкості;
- швидка реакція на перегони навантаження;
- при різких стрибках навантаження практично не відбувається стрибків швидкості, внаслідок високої динаміки регулювання;
- оптимізація ККД двигуна на низьких частотах;
- за рахунок регулювання струму намагнічування здійснюється оптимізація режиму роботи двигуна й зниження втрат.

Розглянувши способи керування асинхронним двигуном, вибираємо векторний спосіб керування. При векторному регулюванні, на відміну від частотного, керування швидкістю обертання двигуна здійснюється за допомогою регулювання амплітуди й фази вектора поля двигуна. Таке керування є найбільш точним у динаміці й статиці, а також більш економічним.

Для універсального токарського верстата INDUSTRIE 2000/250 HD доцільно використати перетворювач, який рекомендується для двигунів фірми Lenze - а саме ПЧ фірми Lenze 8200 Vector, який бездоганно та точно забезпечує роботу системи керування навіть без датчика зворотного зв'язку по швидкості.

3.3 Загальна характеристика й основні технічні дані перетворювача частоти Lenze 8200 Vector

Векторно-частотні перетворювачі Lenze 8200 Vector можуть застосовуватися у верстатобудуванні, роторних і шнекових системах, які подаються, стрічкових транспортерах, екструдерах, що вимагають підтримки оптимальних параметрів в певному діапазоні. Крім того, вони можуть застосовуватися в силових установках самого різного призначення, де потрібне оперативне керування роботою електродвигунів. Завдяки розширеному діапазону входних напруг, інвертори цієї серії не прив'язані до стандартів, що дозволяє використовувати їх в ненормованих умовах або при нестабільному живленні. Діапазон входних напруг охоплює більшість стандартів електроживлення різних країн і спрощує адаптацію обладнання під різні вимоги.

Характеристики привода [18]:

- діапазон потужностей: 0.25 ... 7.5 кВт, 230 ... 240В (+10 %); 0.55 ... 90 кВт, 400/500 В (+10%);
- перевантажувальна здатність: 180 % від номінального моменту протягом 60 секунд від 15 кВт і додатково 210 % - протягом 3 секунд;
- робочі режими: закон керування - U/f лінійне або квадратичне, векторне керування; керування моментом без датчика зворотного зв'язку моменту;
- глибина регулювання швидкості: 1:50 (без датчика зворотного зв'язку); частота інвертора: 1, 2, 4, 8, 16 кГц;
- вихідна частота: до 650 Гц.

Lenze 8200 vector перетворювачі частоти призначені для роботи в діапазоні потужності від 0,25 до 90 кВт.

Базові Lenze inverter 8200 vector підтримують входні напруги:

- 1 фаза ~ 230 В / без альтернативного живлення;
- 1 або 3 фази ~ 230 В / альтернативне живлення - 140 ... 370 В;
- 3 фази ~ 230 В / альтернативне живлення - 140 ... 370 В;
- 3 фази ~ 400 В / альтернативне живлення - 450 ... 750 В;
- 3 фази ~ 500 В / альтернативне живлення - 450 ... 750 В;

Функції:

- вибір налаштувань інкрементального енкодера;
- зв'язок з периферійним устаткуванням через зовнішні плагіни - інтерфейси rs232/485 (LECOM a/v), волоконнооптична зв'язок (LECOM li), а також через інші модулі для поширених систем зв'язку (CAN, PROFIBUS, INTERBUS, DEVICENET, CANOPEN);
- захист від короткого замикання і замикання на землю в навантаженні під час роботи;
- регульоване обмеження струму двигуна, інформація про перевантаження по струму і індикація аварійної ситуації;
- захист від перенапруги і зниженої напруги живильної мережі;
- перегрів перетворювача частоти з висновком повідомлення і індикацією аварійної ситуації;
- позистор (РТС) для відстеження перегріву двигуна;
- визначення обриву фази двигуна;
- вбудований гальмівний транзистор в приводах до 11 квт;
- вбудований захист від радіоперешкод;
- PID-регулятор;
- автопідхват швидкості обертання електродвигуна;
- компенсація ковзання і напруги живлення двигуна;
- моніторинг втрати навантаження/обриву ременя;
- плавна s-образна характеристика розгону і гальмування для запобігання ривків;
- гальмування постійним струмом;

- мотор-потенціометр;
- 4 перемикаються набору параметрів, які можуть бути обрані в тому числі і дистанційно;
- керування і робота від модуля клавіатури x1 з плоским текстовим дисплеєм і структурованим меню;
- функція копіювання параметрів інвертора з клавіатури.
- функціональні здібності:
- несуча частота: 2, 4, 8, 16 кГц - для 0,25 ... 11,0 кВт; 1, 2, 4, 8, 16 кГц для 15 ... 90 кВт;
- максимальна довжина кабелю мотора: екранований – 50 м, неекранований – 100 м;
- температура навколишнього середовища: -25°С ... +70 °С транспортування - 25 °С ... +60°С; - зберігання -10 °С ... +55 °С; - робота (40 °С... +55 °С зі зниженням споживаної потужності на 2.5 %/°С).

Переваги:

- захист від короткого замикання і замикання на корпус;
- регульоване обмеження на величину робочого струму. Наявність індикації перевантаження;
- захист від перенапруги і недостатньо високої напруги живлення;
- контроль перегріву пристрою та наявність індикації температурної аварійної зупинки;
- можливість підключення датчика температури керованого двигуна;
- реалізація контролю перегріву електромотора;
- пусковий момент 210% від номіналу на 3 секунди;
- перевантажувальна здатність 180% від номіналу на 60 секунд.
- Входи та виходи:
- аналогові входи/виходи: з модулем Standart 1 вхід, додатковий біполярний 1 вихід; з модулем Application 2 входи, додаткові біполярні 2 виходи;
- дискретні входи/виходи: з модулем Standart 4 входи, 1 частотний вхід одноканальний 0 ... 10 кГц; двоканальний 0 ... 1 кГц (опція) 1 вхід "старт/стоп" 1

вихід; з модулем Application 6 входів, 1 частотний вхід одно/двоканальний 0 ... 100 кГц (опція) 1 вхід "старт/стоп", 2 виходи 1 частотний вихід 50 Гц ... 10 кГц;

- час опитування: дискретні входи - 1 мс; дискретні виходи - 4 мс; аналогові входи - 2 мс; аналогові виходи - 4 мс;

- релейний вихід: 0,25 ... 11 кВт 1 релейний вихід ~ 250 В/3 А, - 24 В/2 А ... 240 В/0,16 А перекидний контакт; 15 ... 90 кВт 2 релейних виходу ~ 250 В/3 А, - 24 В/2 А ... 240 В/0,22 А, перекидний контакт;

- генераторний режим: 0,25 ... 11 кВт вбудований гальмівний транзистор; 15 ... 90 кВт з гальмівним модулем EMB9352-E.

Отже обираємо ПЧ потужністю 30 кВт - Lenze 8200 Vector E82EV303K4B201 з такими основними параметрами [18]:

$P_{ПЧ.ном} = 30 \text{ кВт}$ - номінальна потужність ПЧ;

$I_{ПЧ.ном} = 55 \text{ А}$ - номінальний струм ПЧ;

$I_{ПЧ.пуск} = 59 \text{ А}$ – вихідний струм ПЧ.

Технічні характеристики частотного перетворювача Lenze E82EV303K4B201 наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики Lenze E82EV303K4B201

Потужність		30 кВт
Електроживлення	Напруга	3/PE 400/480 В (320 В ... 528 В)
	Частота	50/60 Гц (48 Гц, ..62 Гц)
	Струм	55/-А
Вих. струм	I_r	59 А
	I_{max}	89 А
Запобіжник	Струм	80 А
	Тип Ferraz	Q217180
Розміри (fl×LU×B)		250 x 350 x 250

Спрощена схема силової частини ПЧ (рисунок 3.3) містить некерований випрямляч, фільтр ланки постійного струму і інвертор на IGBT-транзисторах зі зворотними захисними діодами.

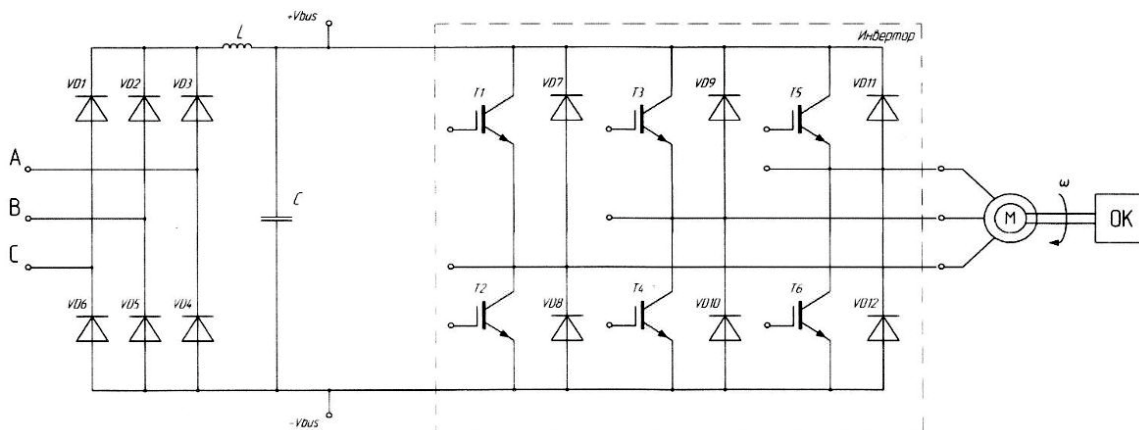


Рисунок 3.3 - Спрощена схема силовій частини перетворювача частоти

Від двигуна в перетворювач частоти енергія надходить через зворотні діоди в ланку постійного струму. Зворотні діоди в цьому режимі виступають в ролі некерованого випрямляча. При цьому не важливо, чи відкриті в цей момент IGBT-транзистори інвертора чи ні. Оскільки через вхідний некерований випрямляч в ланку надходить випрямлена напруга мережі, то електролітичні конденсатори ланки постійного струму вже заряджені, а енергія гальмування, у свою чергу, не передається в мережу живлення через вхідний некерований випрямляч. У таких режимах викид енергії від двигуна призводить до перенапруження на ланці постійного струму і на трифазному інверторі і відмови їх елементів. Також шкідливим чинником такого режиму є те, що до ключів інвертора прикладається підвищена напруга, яке призводить до підвищення в них тепловиділення, їх часткового руйнування і подальшого відмови.

На рисунку 3.4 представлена схема підключення перетворювача частоти Lenze 8200 Vector.

На схемі підключення перетворювача частоти Lenze 8200 Vector - 9352 - гальмівні переривники, для забезпечення роботи електропривода в механізмах з великими інерційними масами в тих випадках, коли необхідно виробляти швидке гальмування АД.

При гальмуванні електропривода гальмівний переривач підключає до шини постійного струму всередині перетворювача частоти гальмівний резистор, на якому розсіюється енергія від електродвигуна.

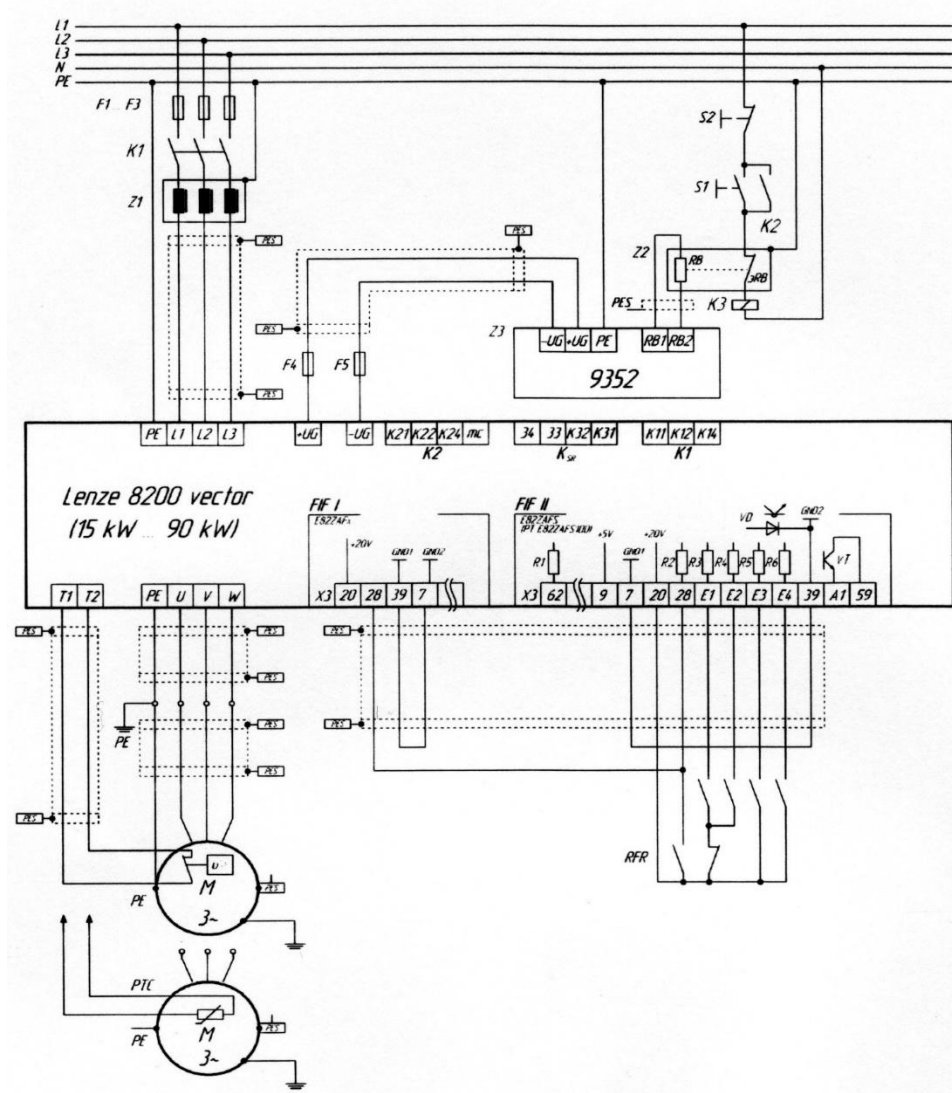


Рисунок 3.4 - Схема підключення перетворювача частоти Lenze 8200 Vector

3.4 Висновки до розділу 3:

- вибраний більш досконалий електродвигун для електропривода головного руху верстата;
- проведений аналіз існуючих систем керування двигунами перемінного струму вибраний векторний спосіб керування;
- для керування обраним двигуном типу Lenze вибраний векторно-частотний перетворювач Lenze 8200 Vector наведена його загальна характеристика й основні технічні дані.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

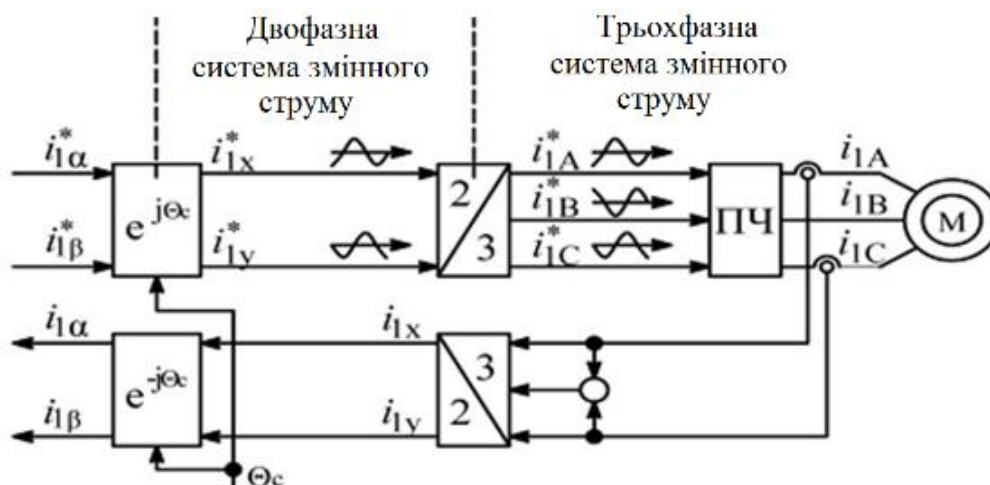
4.1 Розробка функціональної схеми системи керування

Щоб оцінити показники якості системи керування, реалізованої пристроєм серії Lenze E82EV для автоматизації керування електропривода головного руху токарно-гвинторізного верстата, проведемо побудову й розрахунок математичної моделі векторної системи керування асинхронним двигуном.

Векторне керування є методом керування синхронними (СД) і асинхронними двигунами (АД), не тільки формує гармонійні струми (напруги) фаз (скалярне керування), а й забезпечує керування магнітним потоком ротора.

Векторне керування позбавляє практично від усіх недоліків скалярного керування. Головна ідея векторного керування полягає в тому, щоб контролювати не тільки величину і частоту напруги живлення, але і фазу [8].

На рисунку 4.1 наведена функціональна схема векторної системи керування, з якої видно, що керовані величини проходять певні перетворення координат, які звуться: "Перетворення Кларка й Парка".



i_{α}, i_{β} - струми в обертовій із частотою Θ_c системі координат; i_x, i_y - струми в системі координат жорстко зв'язаної зі статором; i_A, i_B, i_C - фазні струми статора

Рисунок 4.1 - Функціональна схема векторної системи керування

Перетворення відбувається в кілька етапів:

- з обертової системи координат α - β , яка обертається із частотою Θ_c , в нерухливу жорстко зв'язану зі статором систему координат x - y ;
- перетворення із системи координат x - y у трифазну систему координат АВС.

Перетворення Кларка використовує трифазні струми i_A , i_B , i_C для того, щоб обчислити струми у двофазній ортогональній системі координат статора в осях i_x і i_y . Отримані два струми в нерухливій системі координат статора перетворюються до i_α , i_β складових струмів у системі координат α - β відповідно до перетворення Парка.

Моделювання системи керування заключає в собі реакцію системи (моделі) на одиничний скачок ступеневого сигналу. По отриманим перехідним процесам видно, як система реагує на цей скачок.

4.2 Математична модель асинхронного двигуна при керуванні вектором потокозчеплення ротора

При дослідженні перехідних процесів у трифазних асинхронних електродвигунах доцільно прийняти наступні допущення, що дозволяють спростити вирази основних параметрів і координат електродвигуна:

- сили обмоток двигуна розподілені синусоїдально уздовж окружності повітряного зазору;
- втрати в сталі статора і ротора відсутні;
- обмотки статора і ротора строго симетричні зі зрушенням осей обмоток на 120° ;
- насичення магнітного ланцюга відсутнє.

Рівняння рівноваги напруг для обмоток трьох фаз статора мають вигляд [8].

$$\left. \begin{aligned} u_{1a} &= i_{1a} \cdot R_1 + \frac{d}{dt} \psi_{1a} \\ u_{1b} &= i_{1b} \cdot R_1 + \frac{d}{dt} \psi_{1b} \\ u_{1c} &= i_{1c} \cdot R_1 + \frac{d}{dt} \psi_{1c} \end{aligned} \right\}, \quad (4.1)$$

відповідно для обмоток трьох фаз ротора

$$\left. \begin{aligned} u'_{2a} &= i'_{2a} \cdot R'_2 + \frac{d}{dt} \psi_{2a} \\ u'_{2b} &= i'_{2b} \cdot R'_2 + \frac{d}{dt} \psi_{2b} \\ u'_{2c} &= i'_{2c} \cdot R'_2 + \frac{d}{dt} \psi_{2c} \end{aligned} \right\}. \quad (4.2)$$

Асинхронний електродвигун являє собою систему магніто-зв'язаних обмоток, розташованих на статорі й роторі. При обертанні ротора взаємне положення обмоток статора і ротора безупинно змінюється, відповідно змінюється і взаємна індуктивність між ними. З урахуванням прийнятих допущень можна вважати, що взаємна індуктивність пропорційна косинусу поточного кута між осями обмоток ротора і статора.

Повна система рівнянь потокозчеплень в обмотках статора і ротора визначається рівняннями (4.3) [22].

Рівняння (4.3) містить гармонійні коефіцієнти, що створює значних труднощів при дослідженні перехідних процесів. Для того щоб виключити гармонійні коефіцієнти, використовують перетворення координат. З цією метою реальні перемінні статора і ротора замінюються їхніми проекціями на взаємно перпендикулярні осі координат, що обертаються з довільною швидкістю ω_k . Таке перетворення координат відповідає приведенню трифазного електродвигуна до еквівалентного двофазного.

$$\begin{bmatrix} \psi_{1a} \\ \psi_{1b} \\ \psi_{1c} \\ \psi_{2a} \\ \psi_{2b} \\ \psi_{2c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 & 0 & 0 \\ 0 & L_1 & 0 \\ 0 & 0 & L_1 \\ L_{12} \cdot \cos \theta_2 & L_{12} \cdot \cos(\theta_2 - 2\frac{\pi}{3}) & L_{12} \cdot \cos(\theta_2 - 4\frac{\pi}{3}) \\ L_{12} \cdot \cos(\theta_2 - 4\frac{\pi}{3}) & L_{12} \cdot \cos \theta_2 & L_{12} \cdot \cos(\theta_2 - 2\frac{\pi}{3}) \\ L_{12} \cdot \cos(\theta_2 - 2\frac{\pi}{3}) & L_{12} \cdot \cos(\theta_2 - 4\frac{\pi}{3}) & L_{12} \cdot \cos \theta_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{1a} \\ i_{1b} \\ i_{1c} \\ i_{2a} \\ i_{2b} \\ i_{2c} \end{bmatrix}, \quad (4.3)$$

де $L_1 = L_{1\sigma} + L_m$, $L'_2 = L'_{2\sigma} + L_m$ - повні еквівалентні індуктивності фаз статора і ротора, що складаються з індуктивностей від полів розсіювання ($L_{1\sigma}$, $L'_{2\sigma}$) і головного потоку ($L_m = 3/2 L_{12}$;

L_{12} — максимальна взаємна індуктивність між будь-якою обмоткою статора і будь-якою обмоткою ротора, яка має місце при збігу їхніх осей;

θ_2 — поточний кут між осями обмоток фаз ротора і статора.

При математичному описі трифазних асинхронних електродвигунів зручно оперувати не миттєвими значеннями координат, а їхній результуючими векторами. Якщо, наприклад, миттєві значення струмів рівні i_a , i_b , i_c то результуючий вектор струму визначається рівнянням.

$$i = \frac{2}{3} \cdot (a^0 \cdot i_a + a \cdot i_b + a^2 \cdot i_c) = \frac{2}{3} \cdot (i_a + a \cdot i_b + a^2 \cdot i_c), \quad (4.4)$$

де $a^0 = e^{j0} = 1$; $a = e^{j2\pi/3}$; $a^2 = e^{j4\pi/3}$.

Аналогічно визначаються результуючі вектори напруги і потокозчеплення

$$u = \frac{2}{3} \cdot (u_a + a \cdot u_b + a^2 \cdot u_c), \quad \psi = \frac{2}{3} \cdot (\psi_a + a \cdot \psi_b + a^2 \cdot \psi_c). \quad (4.5)$$

Використовуючи вираз результуючих векторів, рівняння (4.1) можна записати у вигляді одного диференційного рівняння у векторній формі. Для цього перше рівняння з (4.1) збільшується на $2/3a^0$, друге на $2/3a$, третє на $2/3a^2$. Підсумовуючи отримані добутки, одержимо

$$\frac{2}{3} \cdot (u_{1a} + a \cdot u_{1b} + a^2 \cdot u_{1c}) = \frac{2}{3} \cdot (i_{1a} + i_{1b} + i_{1c}) \cdot R_1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{d}{dt} \cdot (\psi_a + a \cdot \psi_b + a^2 \cdot \psi_c), \quad (4.6)$$

чи у векторній формі

$$u_1 = i_1 \cdot R_1 + \frac{d}{dt} \cdot \psi_1. \quad (4.7)$$

Аналогічно векторне рівняння напруг ротора

$$u'_2 = i'_2 \cdot R'_2 + \frac{d}{dt} \cdot \psi_2. \quad (4.8)$$

У цих рівняннях вектори записані відповідно в системах координат статора й ротора. Для спільного рішення рівнянь їх необхідно привести до однієї системи координат.

При дослідженні перехідних процесів в електродвигунах перемінного струму застосовують різні ортогональні системи координат, що відрізняються кутовою швидкістю обертання координатних осей ω_k , наприклад системи, осі яких нерухомі щодо ротора, чи нерухомі щодо статора, чи обертаються із синхронною швидкістю.

Рівняння асинхронного електродвигуна в системі координат, що обертається з довільною швидкістю ω_k , мають вигляд

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= i_1 \cdot R_1 + \frac{d}{dt} \cdot \psi_1 + j\omega_k \cdot \psi_k \\ u'_2 &= i'_2 \cdot R'_2 + \frac{d}{dt} \cdot \psi_2 + j(\omega_k - p_n \cdot \omega) \cdot \psi_1 \end{aligned} \right\}, \quad (4.9)$$

де ω — кутова швидкість обертання ротора;

p_n — число пар полюсів.

Потокозчеплення зв'язані зі струмами через індуктивності

$$\left. \begin{aligned} \psi_1 &= i_1 \cdot L_1 + i'_2 \cdot L_m \\ \psi_2 &= i_1 \cdot L_m + i'_2 \cdot L_2 \end{aligned} \right\} . \quad (4.10)$$

Звідси можливо одержати значення струму ротора

$$i'_2 = \frac{1}{L'_2} \cdot \psi_2 - \frac{L_m}{L'_2} \cdot i_1 . \quad (4.11)$$

Підставивши його в друге рівняння системи (4.9), і виконавши необхідні перетворення з урахуванням того, що для електродвигуна з короткозамкнутим ротором $u'_2 = 0$, а $L_m / L'_2 = k_2$, одержимо

$$\frac{d}{dt} \cdot \psi_2 = \frac{R'_2}{L'_2} \cdot \psi_2 + k_2 \cdot R'_2 \cdot i_1 - j(\omega_k - p_n \cdot \omega) . \quad (4.12)$$

Підставивши в рівняння

$$u_1 = i_1 \cdot R_1 + \frac{d}{dt} \cdot \psi_1 + j\omega_k \cdot \psi_2 \quad (4.13)$$

значення потокозчеплення статора $\psi_1 = i_1 \cdot L_1 + i'_2 \cdot L_m$ і виконавши необхідні перетворення з урахуванням рівнянь (4.11) і (4.12), одержимо

$$\frac{d}{dt} \cdot i_1 = \frac{R_1 + k_2^2 \cdot R'_2}{L''_1} \cdot i_1 - j\omega_k \cdot i_1 + \frac{k_2^2 \cdot R'_2}{L'_2 \cdot L''_1} \cdot \psi_2 - jp_n \cdot \omega \cdot \frac{k_2}{L''_1} \cdot \psi_2 + \frac{1}{L''} \cdot u_1 , \quad (4.14)$$

де $L''_1 = L_1 - (L_m^2 / L'_2) = L_{1\sigma} + L_{2\sigma}$.

Виразивши результуючі вектори через їх дійсні і мнимі частини, а також з огляду на формули (3.10) ортогональних перетворень, можна записати рівняння (3.11) і (3.12) у системі координат, що обертається зі швидкістю ω_k , рівної кутовій швидкості обертання вектора потокозчеплення ротора $\omega_{\psi 2}$ приведеної до дво полюсного електродвигуна, у наступному вигляді

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \cdot |\psi_2| + \frac{R'_2}{L'_2} \cdot |\psi_2| &= k_2 \cdot R'_2 \cdot i_{1a} \\ (\omega'_{\psi 2} - p_n \cdot \omega) \cdot |\psi_2| &= k_2 \cdot R'_2 \cdot i_{1b} \\ \frac{d}{dt} i_{1a} + \frac{R_1 + k_2^2 \cdot R'_2}{L''_1} \cdot i_{1a} &= \omega'_{\psi 2} \cdot i_{1b} + \frac{k_2^2 \cdot R'_2}{L'_2 \cdot L''_1} \cdot |\psi_2| + \frac{1}{L''_1} \cdot u_{1a} \\ \frac{d}{dt} i_{1b} + \frac{R_1 + k_2^2 \cdot R'_2}{L''_1} \cdot i_{1b} &= \omega'_{\psi 2} \cdot i_{1a} + p_n \cdot \omega \left(\frac{k_2}{L''_1} \cdot |\psi_2| \right) + \frac{1}{L''_1} \cdot u_{1b} \end{aligned} \right\} , \quad (4.15)$$

де $|\psi_2| = \psi_{2\alpha}$, $\psi_{2\beta} = 0$, тому що вектор потокозчеплення ротора сполучений з дійсною віссю координатної системи.

Електромагнітний момент двигуна може бути визначений по формулі

$$M = \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot k_2 \cdot |\psi_2| \cdot i_{1b} . \quad (4.16)$$

Додавши до рівнянь (4.15) і (4.16) рівняння рівноваги моментів електропривода,

$$M - M_c = J \cdot \frac{d}{dt} \omega , \quad (4.17)$$

одержимо систему рівнянь, що цілком характеризує перехідні процеси в електроприводі при векторному керуванні.

З аналізу рівнянь (4.15) і (4.16) можна установити однозначні залежності модуля вектора потокозчеплення ротора $|\psi_2|$ від струму $i_{1\alpha}$, моменту двигуна від струму $i_{1\beta}$, а також струмів $i_{1\alpha}$ і $i_{1\beta}$ від напруг $u_{1\alpha}$ і $u_{1\beta}$, якщо компенсувати наступні складові в правих частинах рівнянь (4.15) (попередньо помноживши їх на L_1''

$$L_1'' \cdot \omega'_{\psi_2} \cdot i_{1b} , \quad \frac{k_2 \cdot R_2'}{L_2'} \cdot |\psi_2| - L_1'' \cdot \omega'_{\psi_2} \cdot i_{1b} \quad (4.18)$$

і зневажити внутрішнім зворотним зв'язком по ЕРС двигуна, що враховується членом $p_n \omega k_2 \psi_2$, аналогічно тому, як це робиться в електроприводі постійного струму.

У системі керування ця компенсація технічно реалізується шляхом застосування блоку компенсації (БК), у який вводяться координати $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$, $|\psi_2|$, ω і виконуються відповідні алгебраїчні перетворення.

Кутова швидкість ω_{ψ_2} дорівнює кутовій швидкості ω'_0 . Однак для простоти виконання алгебраїчних перетворень можна вважати, що $\omega_k = \omega_{\psi_2} \approx p_n \cdot \omega$.

З урахуванням компенсації складових правої частини рівняння (4.15) записуються в наступному простому вигляді

$$\left. \begin{aligned} \frac{L'_2}{R'_2} \cdot \frac{d}{dt} \cdot |\psi_2| + |\psi_2| &= k_2 \cdot L'_2 \cdot i_{1a} \\ \frac{L''_1}{R_1 + k_2^2 \cdot R'_2} \cdot \left(\frac{d}{dt} i_{1a} \right) + i_{1a} &= \frac{1}{R_1 + k_2^2 \cdot R'_2} \cdot u_{1a} \\ \frac{L''_1}{R_1 + k_2^2 \cdot R'_2} \cdot \left(\frac{d}{dt} i_{1b} \right) + i_{1b} &= \frac{1}{R_1 + k_2^2 \cdot R'_2} \cdot u_{1b} \end{aligned} \right\} . \quad (4.19)$$

Перетворення складових напруги статора $u_{1\alpha}$, i $u_{1\beta}$ (представлених в осях, жорстко зв'язаних з вектором потокозчеплення ротора) у складові u_{1x} і u_{1y} , нерухомих осей здійснюється відповідно до формули

$$\begin{aligned} u_{1x} &= u_{1a} \cdot \cos \theta - u_{1b} \cdot \sin \theta ; \\ u_{1y} &= u_{1a} \cdot \sin \theta + u_{1b} \cdot \cos \theta . \end{aligned} \quad (4.20)$$

Позначивши $R_1 + k_2^2 \cdot R'_2 = R_\Sigma$, $(L'' / R_\Sigma) = T_{el1}$, $L'_2 / R' = T_{el2}$, і переходячи до операторної форми рівнянь (4.16), (4.19), одержимо (4.21) передатні функції, що характеризують динамічні процеси в асинхронному двигуні при векторному керуванні.

$$\left. \begin{aligned} \frac{|\psi_2|(p)}{i_{1a}(p)} &= \frac{k_2 \cdot L'_2}{T_{el2} \cdot p + 1} \\ \frac{i_{1a}(p)}{u_{1a}(p)} &= \frac{1 / R_\Sigma}{T_{el1} \cdot p + 1} \\ \frac{i_{1b}(p)}{u_{1b}(p)} &= \frac{1 / R_\Sigma}{T_{el1} \cdot p + 1} \\ M &= \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot k_2 \cdot |\psi_2|(p) \cdot i_{1b}(p) \\ \frac{\omega(p)}{M(p) - M_c(p)} &= \frac{1}{J \cdot p} \end{aligned} \right\} \quad (4.21)$$

Структурна схема математичної моделі асинхронного двигуна, складена по рівняннях (4.21), показана на рисунку 4.2.

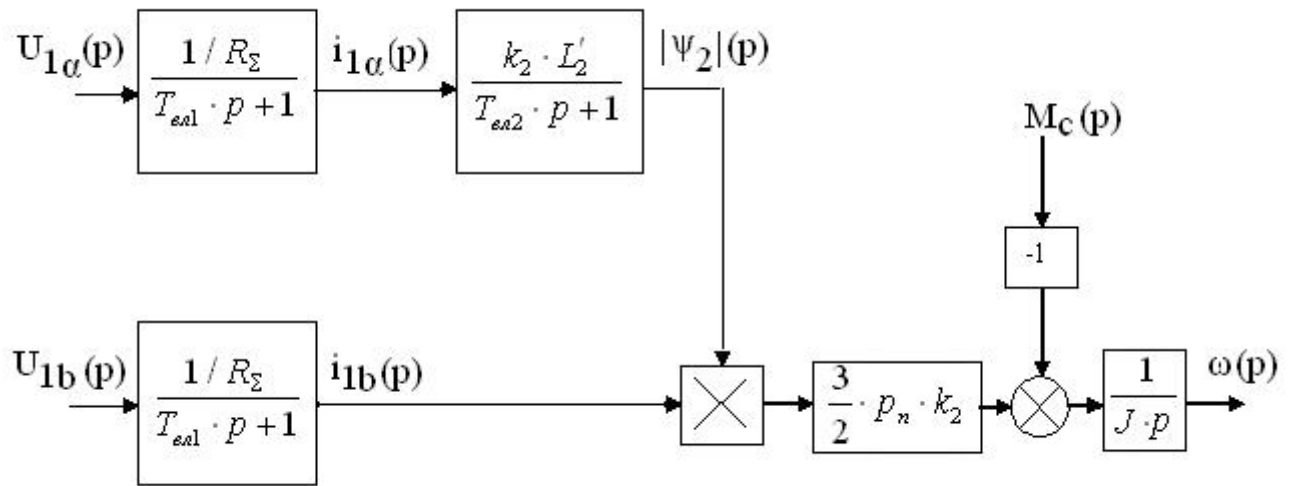


Рисунок 4.2 - Математична модель асинхронного двигуна при керуванні вектором потокозчеплення ротора

Параметри зображених на схемі ланок

$$R_{\Sigma} = R_1 + k_2^2 \cdot R_2';$$

$$T_{эл1} = L_1'' / R_{\Sigma};$$

$$T_{эл2} = L_2' / R_2';$$

де $k_2 = \frac{L_m}{L_2};$

$$L_1'' = L_1 - (L_m^2 / L_2').$$

У незмінну частину системи також входять перетворювач частоти й блоки виміру і перетворення координат, динамічні властивості яких можуть бути спрощено, враховані введенням еквівалентної інерційної ланки з передатною функцією

$$W_{\text{ПР}}(p) = k_{\text{пр}} / (T_{\text{ПР}}p + 1), \quad (4.22)$$

де $k_{\text{ПР}}$ — еквівалентний передатний коефіцієнт перетворювача;

$T_{\text{ПР}}$ — еквівалентна постійна часу перетворювача.

Параметри перетворювача частоти $k_{\text{ПР}} = 1000$, $T_{\text{ПР}} = 0,005$ с.

Підставивши в систему диференціальних рівнянь (4.21) рівняння (4.22) запишемо систему рівнянь, що описує незмінну частину розрахованої системи керування.

$$\left. \begin{aligned} \frac{|\psi_2|(p)}{i_{1a}(p)} &= \frac{k_2 \cdot L'_2}{T_{e12} \cdot p + 1} \\ \frac{i_{1a}(p)}{u_{1a}(p)} &= \frac{k_{np}}{T_{np} \cdot p + 1} \cdot \frac{1/R_\Sigma}{T_{e11} \cdot p + 1} \\ \frac{i_{1b}(p)}{u_{1b}(p)} &= \frac{k_{np}}{T_{np} \cdot p + 1} \cdot \frac{1/R_\Sigma}{T_{e11} \cdot p + 1} \\ M &= \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot k_2 \cdot |\psi_2|(p) \cdot i_{1b}(p) \\ \frac{\omega(p)}{M(p) - M_c(p)} &= \frac{1}{J \cdot p} \end{aligned} \right\}. \quad (4.23)$$

Спираючись на систему диференціальних рівнянь (4.23), розглянемо структуру, що дозволяє здійснити керування модулем потокозчеплення ротора і кутовою швидкістю ротора.

Система векторного керування з опорним вектором потокозчеплення ротора будується у виді двоканальної системи керування і містить канал керування кутовою швидкістю ротора і канал керування потокозчепленням ротора. Система побудована за принципом підлеглого регулювання [8,16,17].

Потокозчеплення ротора безпосередньо не залежить від складової $u_{1\alpha}$, тому канал керування $|\psi_2|$ можна будувати двоконтурним – із внутрішнім контуром керування по струму статора $i_{1\alpha}$ і з зовнішнім по модулю потокозчеплення ротора.

Канал керування кутовою швидкістю ротора також може містити два контури керування – внутрішній, по струму статора $i_{1\beta}$, і зовнішній, по кутовій швидкості ротора.

Канал потокозчеплення ротора складається з регулятора потоку W_{PI} , регулятора струму W_{PC} і перетворювача частоти у вигляді аперіодичної ланки 1-го порядку, p - оператор Лапласа.

Об'єкти регулювання зведемо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 - Об'єкти регулювання і ланки в каналі потоку

Контур	Об'єкт регулювання для контуру	Опис об'єкта регулювання
Контур струму	$\frac{k_{\text{ПР}}}{T_{\text{ПР}}p + 1}$	Перетворювач частоти, аперіодична ланка 1 -го порядку
	$\frac{1 / R_{\Sigma}}{T_{\text{ел1}}p + 1}$	Обмотка статора, аперіодична ланка 1 -го порядку
Контур швидкості	$\frac{k_2 L_2'}{T_{\text{ел2}}p + 1}$	Обмотка ротора, аперіодична ланка 1 -го порядку

Канал регулювання швидкості ротора складається з регулятора швидкості $W_{\text{РШ}}$, регулятора струму $W_{\text{РС}}$ і перетворювача частоти у вигляді аперіодичної ланки 1-го порядку, p - оператор Лапласа. Об'єкти регулювання зведемо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Об'єкти регулювання і ланки в каналі швидкості

Контур	Об'єкт регулювання для контуру	Опис об'єкта регулювання
Контур струму	$\frac{k_{\text{ПР}}}{T_{\text{ПР}}p + 1}$	Перетворювач частоти, аперіодична ланка 1 -го порядку
	$\frac{1 / R_{\Sigma}}{T_{\text{ел1}}p + 1}$	Обмотка статора, аперіодична ланка 1 -го порядку
Контур швидкості	$\frac{3}{2} \cdot p_n k_2$	Конструктивний коефіцієнт, пропорційна ланка
	$\frac{1}{Jp}$	Механічна частина електроприводу, інтегруюча ланка

Для отримання бажаних перехідних процесів необхідно виконати синтез регуляторів векторної системи керування.

Структурна схема системи керування представлена на рисунку 4.3.

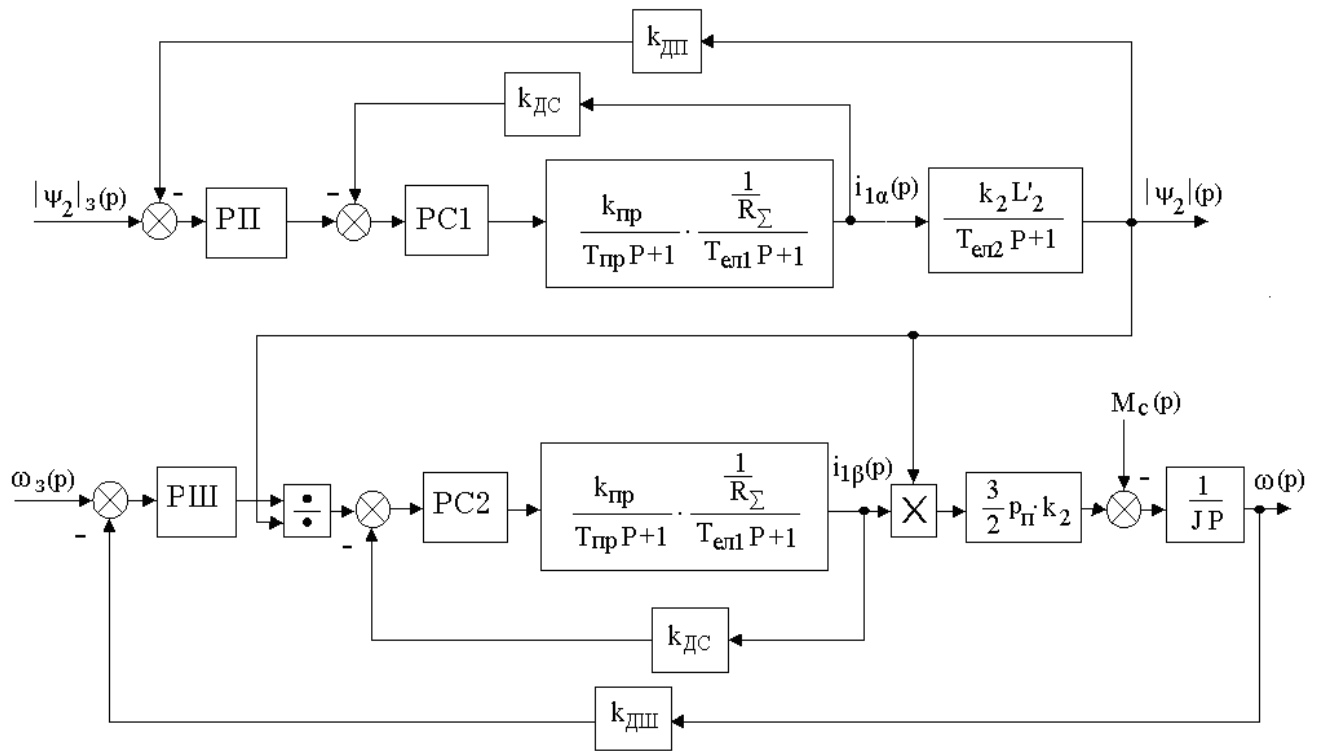


Рисунок 4.3 - Структурна схема системи керування

У системі регулювання швидкості асинхронного електродвигуна з підлеглим зворотним зв'язком по струму $i_{1\beta}$ розглянута локальна система стабілізації поточкозчеплення ротора, у якій застосований підлеглий зворотний зв'язок по струму $i_{1\alpha}$. Використанням компенсаційних зв'язків, що на структурній схемі не показані, в системі стабілізації поточкозчеплення ротора забезпечується умова автономності. Ця умова дає можливість виконати синтез регуляторів потоку (РП) і струму $i_{1\alpha}$ (РС1) з передатними функціями $W_{p.n}(p)$ і $W_{p.c1}(p)$ незалежно від координат системи стабілізації швидкості. Аналогічна умова автономності застосована і при синтезі регуляторів швидкості (РШ) і струму $i_{1\beta}$ (РС2) з передатними функціями $W_{p.w}(p)$ і $W_{p.c2}(p)$.

Контури регулювання струмів $i_{1\alpha}$ та $i_{1\beta}$ є однаковими. Малою некомпенсуємою постійною часу є постійна $T_{пр}$. Регулятори РС1 і РС2 доцільно вибрати пропорційно-інтегральними. Як пропорційно-інтегральний регулятор доцільно вибрати і РП. Синтез РС у системі векторного керування виконується аналогічно тому, як це робиться в системах керування електроприводом постійного струму при двозонному регулюванні швидкості. Послідовно з РС

установлюється блок розподілу, що компенсує вплив вузла добутку при формуванні електромагнітного моменту. Тим самим забезпечується сталість передатного коефіцієнта розімкнутої по швидкості системи при зміні потокозчеплення ротора.

4.3 Синтез регуляторів

Зробимо настроювання регуляторів на оптимум по модулю [20].

Контур керування струмом намагнічування статора $i_{1\alpha}$, визначимо передатну функцію регулятора струму $W_{PC}(p)$. Передатна функція розімкнутого контуру буде мати вигляд

$$W(p) = W_{PC}(p) \cdot W_{нч}(p), \quad (4.24)$$

$$\text{де} \quad W_{нч}(p) = \frac{k_{np}}{T_{np}p + 1} \cdot \frac{\frac{1}{R_{\Sigma}}}{T_{el2}p + 1} \cdot \dots \quad (4.25)$$

У розглянутому контурі передатна функція об'єкта регулювання має вигляд

$$W_o(p) = \frac{\frac{1}{R_{\Sigma}}}{T_{el1} \cdot p + 1}, \quad (4.26)$$

тому для реалізації настроювання на оптимум по модулю необхідно використовувати пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор з передатною функцією

$$W_p(p) = \beta_p \cdot \frac{\tau_p p + 1}{\tau_p p}, \quad (4.27)$$

вибираючи передатний коефіцієнт регулятора по формулі

$$\beta_p = \frac{T_{el1}}{2 \cdot T_{ПР} \cdot \frac{1}{R_{\Sigma}} \cdot k_{ПР} \cdot k_{ДС}}, \quad (4.28)$$

а постійну часу $\tau_p = T_{el1}$, можна одержати передатну функцію розімкнутого контуру у вигляді

$$W_t(P) = \frac{1}{2 \cdot T_{ПР} \cdot p(T_{ПР} \cdot p + 1)}. \quad (4.29)$$

Передатна функція замкнутого контуру відповідно до виразу

$$W_z(p) = W(p)/\{[1 + W(p)] W_{z.з}(p)\} \quad (4.30)$$

виходить у вигляді

$$W_{tz}(P) = \frac{\frac{1}{k_{ДС}}}{2 \cdot T_{ПР} \cdot p(T_{ПР} \cdot p + 1) + 1} = \frac{\frac{1}{k_{ДС}}}{2 \cdot (T_{ПР})^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T_{ПР} \cdot p + 1} . \quad (4.31)$$

Таким чином, вибір регулятора відповідно до вищевикладеного приводить до того, що розглянутий контур описується передатною функцією коливальної ланки з коефіцієнтом демпфіювання $\xi = \sqrt{2/2}$.

Настроювання регулятора потоку.

Передатна функція $W_n(p)$ представляє розімкнутий контур керування по потоку.

$$W_n(p) = W_{РП}(p) \cdot W_{нчп}(p), \quad (4.32)$$

де $W_{нчп}(p)$ - передатна функція незмінної частини по контуру керування поточозчепленням

$$W_{нчп}(p) = \frac{k_2 \cdot L'_2}{T_{ел1} p + 1}. \quad (4.33)$$

Розглядаючи замкнутий внутрішній контур $W_{tz}(p)$ як ланку з еквівалентною малою постійною часу, параметри регулятора потрібно вибирати так, щоб виключити вплив на динаміку зовнішнього контуру еквівалентної постійної часу T_{1e} . При розрахунку параметрів регулятора зовнішнього контуру внутрішній замкнутий контур відповідно до викладеного вище можна замінити аперіодичною ланкою з передатною функцією

$$W_{tz}(p) \approx (1/k_{ДС})/(T_{1e} p + 1). \quad (4.34)$$

При настроюванні внутрішнього контуру на ОМ приймають $T_{1e} = 2T_{np}$. Тобто передатна функція $W_{tz}(p)$ буде мати вигляд

$$W_{tz}(p) = (1/k_{ДС})/(2 \cdot T_{np} p + 1). \quad (4.35)$$

У даному випадку $2 \cdot T_{np}$ – мала некомпенсуєма постійна часу.

Для настроювання контуру на оптимум по модулю передатна функція регулятора потоку буде мати вигляд

$$W_{PI}(p) = \beta_p \cdot \frac{\tau_p p + 1}{\tau_p p}, \quad (4.36)$$

де

$$\beta_p = \frac{T_{el2}}{2 \cdot 2 \cdot T_{IP} \cdot \frac{1}{k_{ДС}} \cdot k_{ДП} \cdot k_2 \cdot L'_2}, \quad (4.37)$$

а $\tau_p = T_{el2}$.

Якщо вибрати регулятор із зазначеними параметрами, то передатна функція розімкнутого контуру керування поточозчепленням ротора буде мати вигляд

$$W_t(p) = \frac{1}{4 \cdot T_{IP} \cdot p(2T_{IP} \cdot p + 1)}, \quad (4.38)$$

передатну функцію замкнутого каналу керування поточозчепленням ротора асинхронного двигуна запишемо у вигляді

$$W_{iz}(p) = \frac{\frac{1}{k_{ДП}}}{4 \cdot T_{IP} \cdot p(2T_{IP} \cdot p + 1)} = \frac{\frac{1}{k_{ДП}}}{8 \cdot (T_{IP})^2 \cdot p^2 + 4 \cdot T_{IP} \cdot p + 1}. \quad (4.39)$$

Канал керування швидкістю двигуна.

Контур струму цього каналу також настроєний на оптимум по модулю, а так як незмінні частини контурів керування струмами $i_{1\beta}$ і $i_{1\alpha}$ - ідентичні, то і передатні функції регуляторів будуть виглядати однаково

$$W_{PT2}(p) = \frac{T_{el1}}{2 \cdot T_{IP} \cdot \frac{1}{R_{\Sigma}} \cdot k_{np} \cdot k_{ДС}} \cdot \frac{T_{el1} \cdot p + 1}{T_{el1} \cdot p}. \quad (4.40)$$

Відповідно передатна функція замкнутого контуру керування струмом $i_{1\beta}$ має вигляд

$$W_{iz}(p) = \frac{\frac{1}{k_{ДС}}}{2 \cdot T_{IP} \cdot p(T_{IP} \cdot p + 1) + 1} = \frac{\frac{1}{k_{ДС}}}{2 \cdot (T_{IP})^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T_{IP} \cdot p + 1}. \quad (4.41)$$

Відповідно до вищевикладеного передатну функцію замкнутого контуру можна представити у вигляді

$$W_{tz}(p) = (1/k_{ДС}) / (2 \cdot T_{np} \cdot p + 1). \quad (4.42)$$

У контурі керування швидкістю двигуна передатну функцію

$$W_{нч}(p) = W_{tz}(p) \cdot \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot k_2 \cdot \frac{1}{Jp}. \quad (4.43)$$

можна розглядати як передатну функцію незмінної частини зовнішнього контуру, замкнутого через власний регулятор РС, з передатною функцією $W_{РС}(p)$.

Запишемо передатну функцію розімкнутого контуру

$$W_{ш}(p) = W_{рш}(p) \cdot \frac{1}{2 \cdot T_{пп} \cdot p + 1} \cdot \frac{k_{ДШ}}{2 \cdot J \cdot p} \cdot \frac{3 \cdot p_n \cdot k_2}{p}. \quad (4.44)$$

Розглянута система є стабілізуючою, то щоб уникнути статичної помилки по швидкості в контурі з об'єктом у виді інтегруючої ланки замість пропорційного регулятора потрібно застосувати ПІ-регулятор [2].

Вибираючи β_p відповідно до звичайного настроювання, але при цьому поклавши

$$\tau_p = 4T_{e2}, \quad (4.45)$$

де $T_{e2} = 2 \cdot T_{пп}$,

можна одержати передатну функцію розімкнутого контуру, настроєного на симетричний оптимум (СО)

$$W_{ш}(p) = \frac{8T_{пп} + 1}{32 \cdot T_{пп}^2 \cdot p^2 (2 \cdot T_{пп} + 1)}. \quad (4.46)$$

Передатна функція регулятора швидкості

$$W_{рш}(p) = \frac{J}{4T_{пп} \cdot \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot k_2 \cdot \frac{1}{k_{ДС}}} \cdot \frac{8T_{пп} \cdot p + 1}{8T_{пп} \cdot p}. \quad (4.47)$$

Застосування такого регулятора забезпечить підвищення астатизму каналу, це приводить до того, що статична помилка дорівнює нулю, однак при настроюванні на симетричний оптимум перерегулювання при реакції системи на

східчастий вхідний вплив може скласти 43 %, що неприпустимо, тому, для зменшення перерегулювання застосуємо задатчик інтенсивності з передатною функцією [20,22]

$$W_{ZI}(p) = \frac{1}{8T_{np} \cdot p + 1} \quad (4.48)$$

Застосування такого задатчика приведе до зменшення перерегулювання і до незначного збільшення часу перехідного процесу.

Більш наглядна структурна схема отриманої математичної моделі показана на рисунку 4.4.

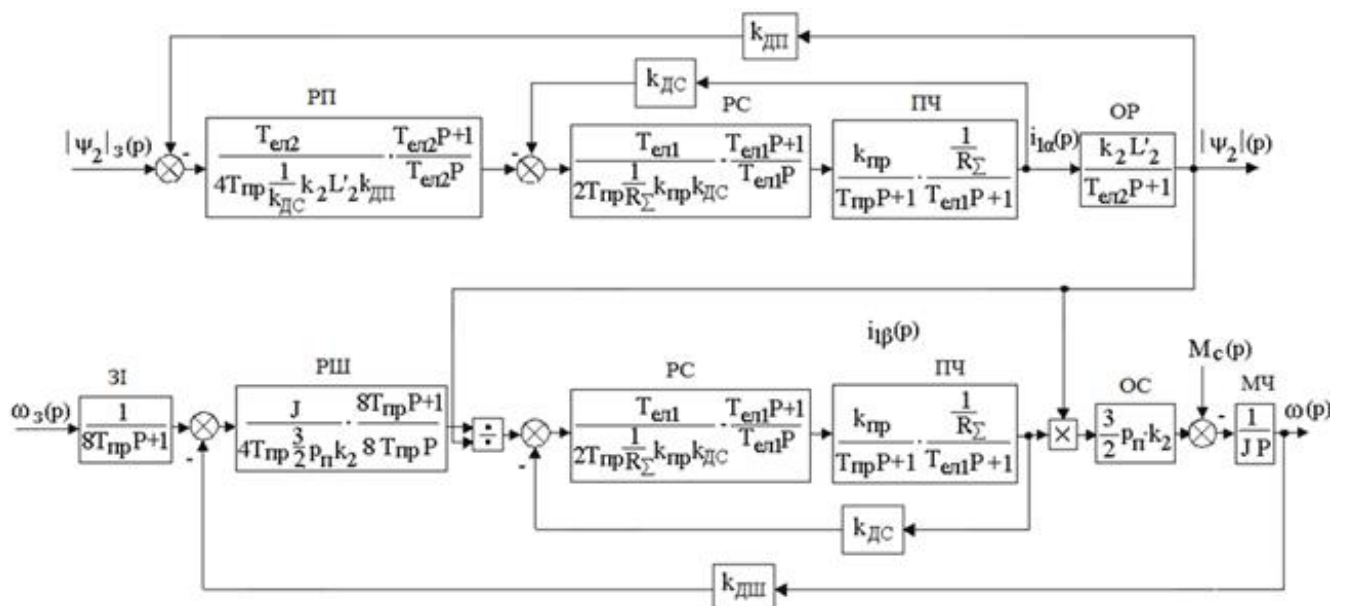


Рисунок 4.4 - Структурна схема математичної моделі системи керування

На схемі РП, РС, РШ - регулятори потоку, струму та швидкості відповідно; ОС, ОР - обмотки статора і ротора відповідно, ЗІ - задатчик інтенсивності, КК - конструктивний коефіцієнт, МЧ - механічна частина електропривода.

4.4 Розрахунок параметрів динамічної структурної схеми

Параметри для розрахунку, взяті з довідкової літератури [20], наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Технічні характеристики електродвигуна типу Lenze MDXMA160-22

Параметр	Значення
Потужність, кВт	11
Частота обертання валу n , об./хв.	1460
ККД, %	89
Коефіцієнт потужності, $\cos\phi$	0,85
Струм I_H , А (при $U=380V$)	21,0
Число пар полюсів, p_n	2
Ковзання S_H , %	4,4
Критичне ковзання $S_{кр}$, %	33
Кратність $I_{пуск} / I_H$	7
Кратність максимального моменту M_{max} / M_H	2,9
Кратність пускового моменту $M_{пуск} / M_H$	2,1
Момент інерції J , кг·м ²	0,061
Індуктивний опір статора X_1 , Ом	21,8
Індуктивний опір ротора X_2' , Ом	22,1
Активний опір статора R_s , Ом	0,552
Активний опір ротора R_r , Ом	0,356
Індуктивний опір контуру намагнічування (опір взаємоіндукції), X_m , Ом	20,9
Максимальна напруга сигналу керування СІФК, В	10
Повна індуктивність статора $L_s (L_1)$, Гн	0,139
Повна індуктивність ротора $L_r (L_2')$, Гн	0,14
Індуктивність контуру намагнічування (взаємна індуктивність статора та ротора) L_m , Гн	0,133
Коефіцієнт магнітного зв'язку статора, $k_s (k_2)$	0,956
Коефіцієнт магнітного зв'язку ротора, k_r	0,95
Коефіцієнт розсіювання машини σ	0,92
Номінальне потокозчеплення ротора, $\psi_{ном}$, В	0,995

Кутова швидкість електромагнітного поля статора ω_c , рад/с,

$$\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot f_c,$$

$$\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314,16 \text{ рад/с}.$$

Номінальна кутова швидкість ротора двигуна ω_H , рад/с,

$$\omega_H = \frac{\omega_c \cdot (1 - S_H)}{p},$$

де $p_n = 2$. Число пар полюсів 2;

$$\omega_H = \frac{314,16 \cdot (1 - 0,044)}{2} = 150,2 \text{ рад/с}.$$

Синхронна кутова швидкість двигуна $\omega_{0ном}$, рад/с

$$\omega_{0ном} = \frac{2\pi \cdot f}{p_n}; \quad \omega_{0ном} = \frac{2\pi \cdot 50}{2} = 157 \text{ рад/с}.$$

Конструктивний коефіцієнт двигуна $C_{\partial в}$

$$C_{\partial в} = \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot k_2,$$

де k_2 - коефіцієнт магнітного зв'язку статора, $k_2 = 0,956$;

$$C_{\partial в} = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 0,956 = 2,868.$$

Номінальний момент двигуна M_H , Н·м,

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}, \quad M_H = \frac{11000}{150,2} = 73,3 \text{ Н·м}.$$

Пусковий момент двигуна M_{II} , Н·м,

$$M_{пуск} = (M_{пуск} / M_H) \cdot M_H,$$

$$T_{ел1} = \frac{0,14}{0,356} = 153,9 \text{ Н·м}.$$

Максимальний момент двигуна M_{max} , Н·м,

$$M_{max} = \frac{M_{max}}{M_H} M_H,$$

$$M_{max} = 2,9 \cdot 73,3 = 212,6 \text{ Н·м}.$$

Момент статичного навантаження M_c , Н·м

$$M_c = \frac{M_{\max}}{M_H} \cdot \frac{P_H}{\omega_c}; \quad M_c = 2,9 \cdot \frac{11000}{314,16} = 102 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Сумарний момент інерції електропривода J_{Σ} , $\text{кг} \cdot \text{м}^2$,

$$J_{\Sigma} = J_H + 0,6 \cdot J_H,$$

$$J_{\Sigma} = 0,061 + 0,6 \cdot 0,061 = 0,098 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Індуктивність статора L_s , Гн

$$L_s = \frac{X_1}{\omega_{\text{ном}}}; \quad L_s = \frac{21,8}{157} = 0,139 \text{ Гн}.$$

Індуктивність ротора L_r , Гн

$$L_r = \frac{X_2}{\omega_{\text{ном}}}; \quad L_r = \frac{22,1}{157} = 0,14 \text{ Гн}$$

Величина сумарного опору двигуна

$$R_{\Sigma} = R_s + k_2^2 + R_r.$$

$$R_{\Sigma} = 0,552 + 0,956^2 + 0,356 = 1,82 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт розсіювання σ

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s \cdot L_r}; \quad \sigma = 1 - \frac{0,133^2}{0,139 \cdot 0,14} = 0,92.$$

Коефіцієнт магнітного зв'язку статора k_2

$$k_s = \frac{L_m}{L_s}; \quad k_s = \frac{0,133}{0,139} = 0,956.$$

Коефіцієнт магнітного зв'язку ротора k_r

$$k_r = \frac{L_m}{L_r}; \quad k_r = \frac{0,133}{0,14} = 0,95.$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за швидкістю $k_{\text{дш}}$, $\text{В} \cdot \text{с}$,

$$k_{\text{дш}} = \frac{U}{\omega_n},$$

де $u_{\text{з.з.ш.ном}}$ – напруга зворотного зв'язку за швидкістю, $u_{\text{з.з.ш.ном}} = 10 \text{ В}$.

$$k_{\text{дш}} = \frac{10}{150,2} = 0,066 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом $k_{ДС}$, В/А,

$$k_{ДС} = \frac{U_{3H}}{I_H}, \quad k_{ДС} = \frac{10}{21} = 0,476 \text{ В/А.}$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку по потоку $k_{ДП}$, В/Вб,

$$k_{ДП} = \frac{U_{3.3.}}{\psi_{ном}} \quad k_{ДП} = \frac{10}{0,995} = 10,05 \text{ В/Вб.}$$

Електромагнітна постійна часу ротора $T_{ел2}$, с

$$T_{ел2} = \frac{L_r}{R_r}, \quad T_{ел2} = \frac{0,14}{0,356} = 0,393 \text{ с.}$$

Електромагнітна постійна часу обмотки статора $T_{ел1}$, с

$$T_{ел1} = \sigma \frac{L_s}{R_\Sigma},$$

$$T_{ел1} = 0,92 \frac{0,139}{0,89} = 0,143 \text{ с.}$$

Постійна часу регулятора потоку $T_{П}$, с

$$T_{П} = \frac{k_{ДП} \cdot 2 \cdot T_{ПП} \cdot L_m}{k_{ДС}};$$

$$T_{П} = \frac{10,5 \cdot 2 \cdot 0,005 \cdot 0,133}{0,476} = 0,029 \text{ с.}$$

Реальний коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача частоти по напрузі ($k_{ПЧ}$) знаходиться як відношення номінальної вихідної напруги перетворювача до вхідної напруги керування

$$k_{ПЧ} = \sqrt{2} \frac{380}{\sqrt{3}} / 10 = 31,03.$$

Вихідні параметри для розрахунку наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Конструктивний коефіцієнт $C_{\partial\delta}$	-	2,868
Приведений момент інерції J_{np}	кг·м ²	0,098
Постійна часу перетворювача $T_{\text{ПР}}$	с	0,005
Передатний коефіцієнт перетворювача $k_{\text{ПР}}$	—	31,03
Передатний коефіцієнт по швидкості $k_{\text{ДШ}}$	В·с	0,066
Передатний коефіцієнт по струму $k_{\text{ДС}}$	В/А	0,476
Передатний коефіцієнт по потоку $k_{\text{ДП}}$	В/Вб	10,05
Число пар полюсів p_n	-	2
Електромагнітна постійна часу ротора $T_{\text{ел2}}$	с	0,393
Електромагнітна постійна часу обмотки статора $T_{\text{ел1}}$	с	0,143
Сумарний опір двигуна R_{Σ}	Ом	1,82
Коефіцієнт магнітного зв'язку статора, k_2	-	0,956
Постійна часу регулятора потоку $T_{\text{П}}$	с	0,029

Зробимо підстановку коефіцієнтів в отримані формули для передатних функцій елементів, наведених на структурній схемі рисунок 4.4.

Передатні функції ПІ-регулятора струму в каналі потоку та в каналі швидкості

$$W_{\text{PC1}}(P) = W_{\text{PC2}}(P) = \frac{T_{\text{ел1}}}{2 \cdot T_{\text{ПР}} \cdot \frac{1}{R_{\Sigma}} \cdot k_{\text{ПР}} \cdot k_{\text{ДС}}} \cdot \frac{T_{\text{ел1}} \cdot p + 1}{T_{\text{ел1}} \cdot p};$$

$$W_{\text{PC1}}(P) = W_{\text{PC2}}(P) = \frac{0,143}{2 \cdot 0,005 \cdot \frac{1}{1,82} \cdot 31,03 \cdot 0,476} \cdot \frac{0,143 \cdot p + 1}{0,143 \cdot p} = 1,76 \cdot \frac{0,143 \cdot p + 1}{0,143 \cdot p};$$

$$W_{\text{PC1}}(P) = W_{\text{PC2}}(P) = \frac{0,251 \cdot p + 1,76}{0,143 \cdot p}.$$

Передатна функція ПІ-регулятора потоку

$$W_{PI}(P) = \frac{T_{el2}}{2 \cdot T_{IP} \cdot \frac{1}{k_{DC}} \cdot k_{ДП} \cdot k_2 \cdot L'_2} \cdot \frac{T_{el2} \cdot p + 1}{T_{el2} \cdot p},$$

$$W_{PI}(P) = \frac{0,393}{2 \cdot 0,005 \cdot \frac{1}{0,476} \cdot 10,05 \cdot 0,956 \cdot 0,14} \cdot \frac{0,393 \cdot p + 1}{0,393 \cdot p} = 13,3 \cdot \frac{0,393 \cdot p + 1}{0,393 \cdot p},$$

$$W_{PI}(P) = \frac{5,226 \cdot p + 13,3}{0,393 \cdot p}.$$

Передатна функція ПІ-регулятора швидкості

$$W_{PI}(p) = \frac{J_{\Sigma}}{4T_{IP} \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot k_2 \frac{1}{k_{DC}} \cdot k_{ДШ}} \cdot \frac{8T_{IP} \cdot p + 1}{8T_{IP} \cdot p};$$

$$W_{PI}(p) = \frac{0,098}{4 \cdot 0,005 \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 0,956 \frac{1}{0,476} \cdot 0,066} \cdot \frac{8 \cdot 0,005 \cdot p + 1}{8 \cdot 0,005 \cdot p} = 12,3 \cdot \frac{0,04p + 1}{0,04p};$$

$$W_{PI}(p) = \frac{0,492 \cdot p + 12,3}{0,04 \cdot p}.$$

Передатна функція задатчика інтенсивності для каналу швидкості

$$W_{ZI}(p) = \frac{1}{8T_{IP} \cdot p + 1} = k_{zi}; \quad W_{ZI}(p) = \frac{1}{8 \cdot 0,005p + 1} = \frac{1}{0,04p + 1}.$$

Передатна функція перетворювача частоти

$$W_{IP}(p) = \frac{k_{IP}}{T_{IP}p + 1}; \quad W_{np}(p) = \frac{31,03}{0,005p + 1}.$$

Передатна функція обмотки статора

$$W_{OC}(p) = \frac{R_{\Sigma}}{T_{el1}p + 1}; \quad W_{OC}(p) = \frac{1,82}{0,143p + 1}.$$

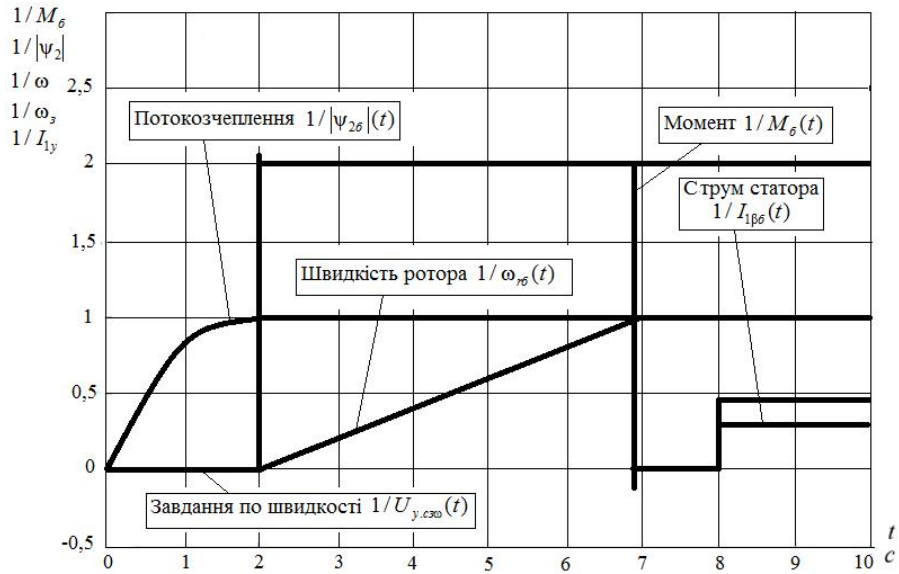


Рисунок 4.6 – Зведений графік перехідних процесів при векторному пуску двигуна

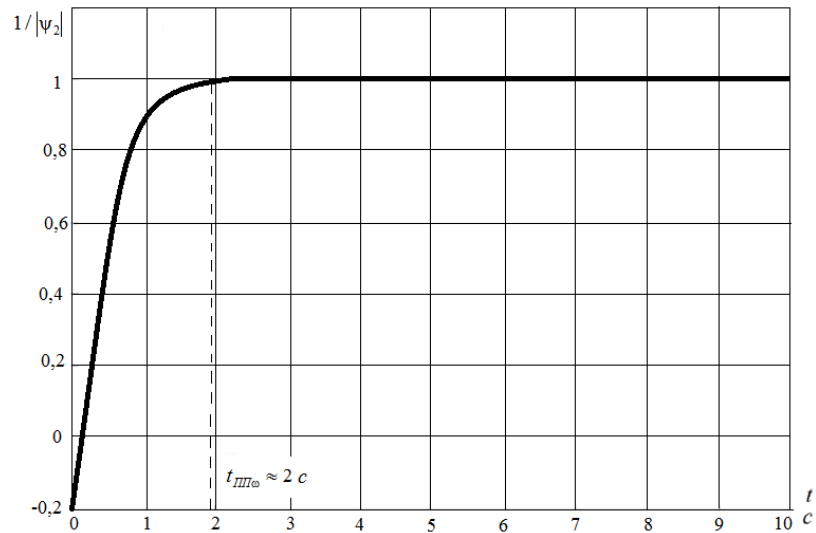


Рисунок 4.7 - Графік перехідного процесу потокосцеплення $1/|\psi_2|(t)$

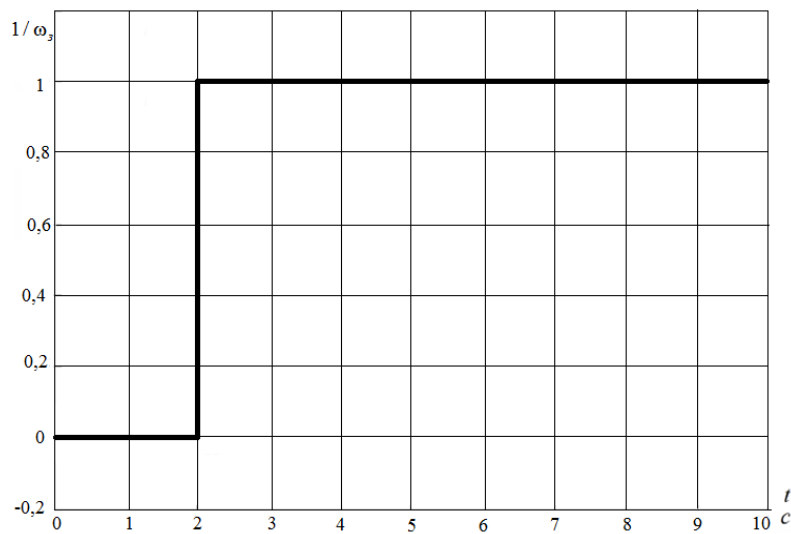


Рисунок 4.8 - Графік перехідного процесу завдання по швидкості $1/\omega_3(t)$

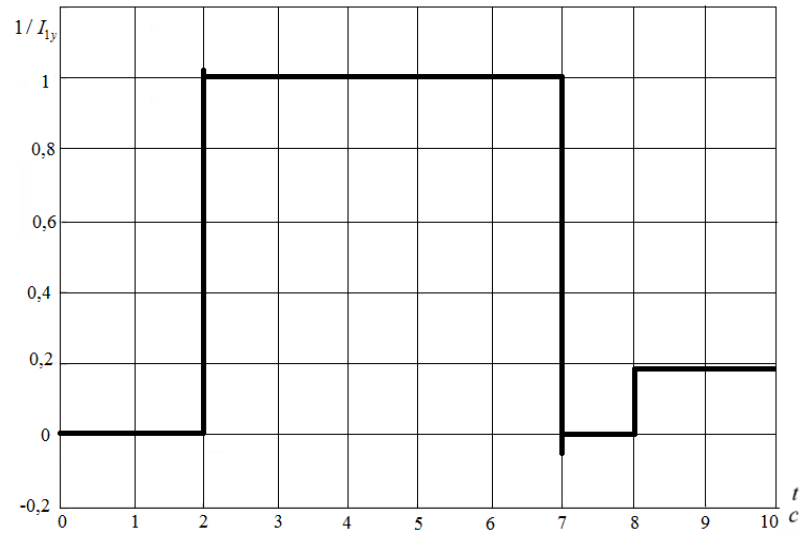


Рисунок 4.9 - Графік перехідного процесу струму статора $1/I_{1y}(t)$

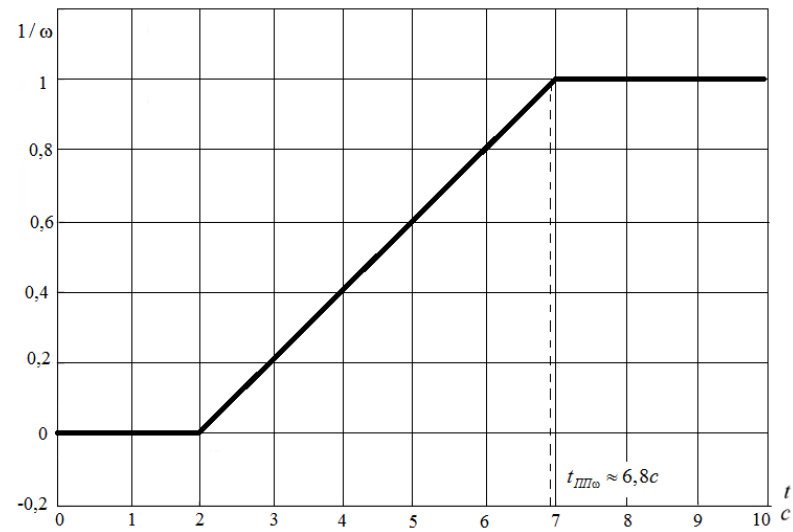


Рисунок 4.10 - Графік перехідного процесу швидкості ротора $1/\omega(t)$

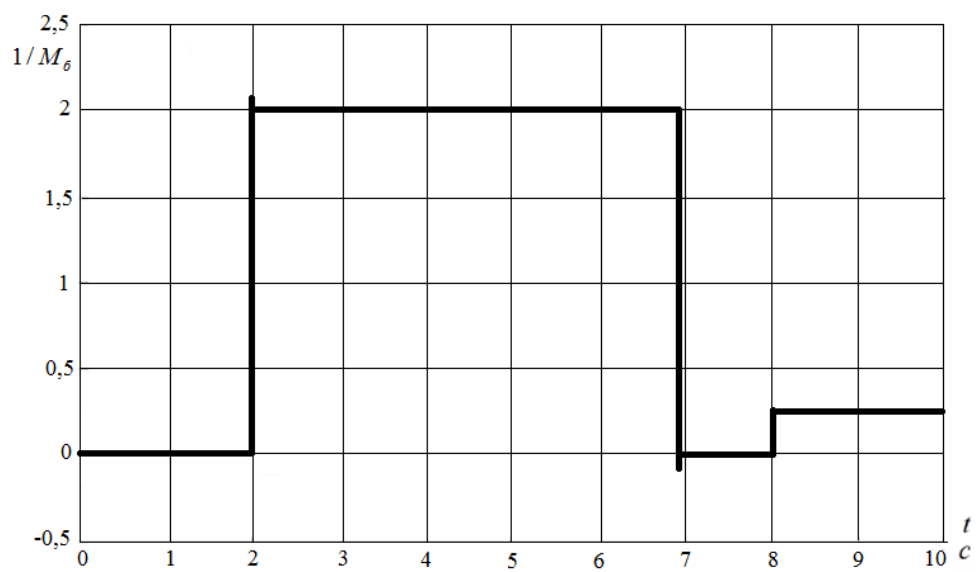


Рисунок 4.11 - Графік перехідного процесу моменту $1/M_6(t)$

В оптимізованій моделі векторної системи керування з графіків перехідних процесів видно, що потокозчеплення досягає режиму, що встановився приблизно за 2 с. З 2 с починається розгін двигуна та режим, що встановився настає приблизно на 6,8 с. Графік перехідного процесу завдання по швидкості (керуючий вплив) являє собою одиничний скачок з висотою ступеня 10.

Швидкість ротора має аперіодичний характер з мізерним незначним перерегулюванням. яке помітно лише при великому масштабуванню картини в середовищі Simulink, тобто цим перерегулюванням можна цілком знехтувати. Коли двигун та виконавчий механізм є розігнаними, приблизно через 6,8 с, подається навантаження на привод. Такий великий час перехідного процесу швидкості ротора (6,8 с) досягає через те, що має місце велика інерційність механічної частини електропривода за рахунок великої маси виконавчого механізму, а саме болванки, що оброблятиметься, так як, в розрахунках задаємося максимальними вагою та розмірами болванки, яка може оброблятися на верстаті. На 8 с, коли швидкість остаточно встановилася, подається момент статичного навантаження, який являє собою мізерний скачок, який не видно на графіку швидкості, але помітно на графіку перехідного процесу струму статора, струм декілька збільшився з незначними коливаннями.

Перехідний процес струму статора знаходиться в межах норми (визначається за паспортною кратністю пускового струму K_i). Перехідний процес моменту також знаходиться в межах норми (визначається за паспортною кратністю пускового моменту K_M). Струм зростає при подачі керуючого впливу на 2 с, та не доходячи до 6,8 с падає за рахунок того, що система керування разом з електроприводом увійшла до режиму, що встановився.

4.6 Висновки до розділу 4:

- розроблена функціональна схема системи векторного керування;
- проведений математичний опис структурної схеми електропривода з векторним керуванням;
- складена структурна схема та розраховані її параметри;
- проведений аналіз динамічних властивостей структурної схеми.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ ВЕРСТАТІВ

Охорона праці - це зведення законодавчих актів і правил, та відповідних їм гігієнічних, організаційних, технічних, і соціально-економічних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я й працездатність людини в процесі праці.

Задачами охорони праці є безпека праці, попередження травматизму, професійних захворювань і отруєнь, пожеж і вибухів на виробництві, правової охорони праці, інженерної психології й організації праці.

Закон України "Про охорону праці", дія якого поширюється на всі підприємства, незалежно від форм власності і принципів господарювання, закріплює право громадян на охорону праці і здоров'я. У законодавстві відображені правила організації охорони праці на підприємствах, планування і фінансування заходів щодо охорони праці; правила техніки безпеки і виробничої санітарії; правила і норми по спеціальній охороні праці жінок, молоді і людей зі зниженою працездатністю; правила, що регулюють діяльність державного нагляду і цивільного контролю в сфері охорони праці, а також правові норми, у яких передбачається відповідальність за порушення законодавства "Про охорону праці".

У даному розділі приводяться організаційні і технічні заходи для безпечної роботи персоналу, що обслуговує систему керування електроприводом верстата.

5.1 Потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори при роботі електрообладнання токарського верстата

До шкідливих і небезпечних факторів відносяться ті фактори, вплив яких на працюючого у визначених умовах приводить до захворювань, зниженню працездатності а також до травм або інших раптових погіршень здоров'я. Зведення до мінімуму ймовірності захворювань працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній ефективності праці є першочерговим завданням

охорони праці. (ДСТ12.0.003-74 Небезпечні й шкідливі виробничі фактори. Класифікація).

На людину в процесі її трудової діяльності можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Небезпечні фактори – це такі, внаслідок яких з працюючою людиною може трапитись нещасний випадок і різке погіршення здоров'я. Шкідливі фактори – це такі, які можуть викликати професійне захворювання [11].

Теплове випромінювання. Мікроклімат виробничих приміщень визначається сукупністю параметрів температури, вологості та рухливості повітря, температури поверхонь та їх тепловим випромінюванням та поглинанням.

Температура в виробничих приміщеннях є одним з головних факторів, що визначають метеорологічні умови виробничого середовища. Високі температури здійснюють негативний вплив на здоров'я людини.

Виробниче освітлення. Правильно спроектоване та виконане виробниче освітлення покращує умови зорової праці, знижує втомлюваність, сприяє підвищенню продуктивності праці, благотворно впливає на виробниче середовище, здійснюючи позитивний психологічний вплив на працюючого, підвищує безпеку праці й знижує виробничий травматизм.

Дія шуму на організм людини. Одним із шкідливих факторів при роботі з ЕОМ виступає шум. Шумом є всякий небажаний для людини звук. Рівень шуму вимірюється в одиницях, що виражають ступінь звукового тиску – децибелах (дБ). В залежності від рівня та характеру шуму, його тривалості, а також від індивідуальних особливостей людини, шум може по-різному впливати на неї. Шум у 20 – 30 дБ практично нешкідливий для людини і являє собою природний звуковий фон, без якого неможливе життя.

Але при високих рівнях шуму (більше 130 дБ) слухова чутливість падає вже через 1 – 2 роки. Тому особливо важливо заздалегідь уживати відповідних заходів захисту від шуму. В даний час майже кожна людина, що піддається на роботі впливові шуму, ризикує стати глухою.

Статична електрика. Процес виникнення та накопичення електричних зарядів у речовинах та матеріалах називають електризацією.

Розряд статичної електрики відбувається тоді, коли напруженість електростатичного поля над поверхнею діелектрика або провідника, обумовлена накопиченням на них зарядів, досягає критичної (пробивної) величини. Для повітря пробивна напруга дорівнює 30 кВ/см.

Допустимі рівні напруженості електростатичних полів регламентовані Держстандартом “Електростатичні поля. Допустимі рівні на робочих місцях та вимоги до здійснення контролю” і “Санітарно-гігієнічними нормами допустимої напруженості електростатичного поля”.

У людей, працюючих в зоні впливу електростатичного поля, зустрічаються різноманітні скарги на дратівливість, головний біль, порушення сну, зниження апетиту і т. ін.

Електронебезпека. Аналіз травматизму серед працівників, професійна діяльність яких пов’язана з експлуатацією комп’ютерної та оргтехніки, показує, що значне місце посідають нещасні випадки, які пов’язані з впливом електричного струму. Електричні установки, до яких відноситься практично все устаткування ЕОМ, представляють для людини велику потенційну небезпеку, адже в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт людина може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічною небезпекою електроустановок є і те, що струмоведучі провідники, корпуси стійок ЕОМ та іншого устаткування, що опинилося під напругою в результаті ушкодження (пробою) ізоляції, не подають ніяких сигналів, котрі б попереджали людину про небезпеки. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останнього через тіло людини.

Проходячи через тіло людини, електричний струм виконує наступні дії: термічну, електролітичну. Внаслідок цього можуть виникнути різні порушення в організмі – до повної зупинки роботи серця і легень.

Причина смерті від поразки електричним струмом – припинення роботи серця, легень, електричний шок.

Організаційні заходи і засоби щодо попередження електротравм регламентуються НПАОП 40.1-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів".

5.2 Розробка заходів щодо підвищення безпечної роботи верстата

Робота на стругальних верстатах повинна виконуватись з урахуванням наступних стандартів системи безпеки праці:

ДСТ 12.1. 004-91 "Пожежна безпека. Загальні вимоги";

ДСТ 12.3. 002-75 "Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки";

ДСТ 12.3. 025-80 "Обробка металів різанням. Вимоги безпеки й ін."

У виробничому приміщенні повинні підтримуватись відповідні параметри температури, освітлення, чистоти повітря, забезпечення ізоляції від виробничих шумів і т.п.

Боротьба зі шкідливим впливом виробничого мікроклімату здійснюється з використанням технологічних, санітарно-технічних та медико-профілактичних заходів. В профілактиці шкідливого впливу високих температур інфрачервоного випромінювання значна роль належить технологічним заходам – таким, як: заміна старих та впровадження нових технологічних процесів і обладнання, автоматизація й механізація процесів, дистанційне керування.

До групи санітарно-технічних заходів відносяться засоби локалізації тепловиділень і теплоізоляції.

Ефективними засобами зниження тепловиділень є: покриття поверхонь, що нагріваються, теплоізоляційними матеріалами (скловата, азбестова мастика, азботерміт та ін.); герметизація обладнання; застосування відбивальних, теплопоглинальних та тепловідводних екранів; устрій вентиляційних систем; використання індивідуальних засобів захисту.

До медико-профілактичних заходів належать: організація раціонального режиму праці та відпочинку; проходження попередніх обстежень при влаштуванні на роботу і періодичних медичних оглядів.

Методи і засоби захисту від шуму. Захист від шуму досягається розробкою шумобезпечної техніки, застосуванням методів та засобів індивідуального й колективного захисту, будівельно-акустичними методами, активною формою захисту.

Засоби колективного захисту поділяються стосовно джерела шуму на такі, що знижують шум у джерелі виникнення (найбільше ефективно) та такі, що знижують шум на шляхах його поширення.

Засоби індивідуально захисту: навушники, вушні вклади, шлемофони, каски.

За способом реалізації способи захисту від шуму поділяються на:

- акустичні способи (звукоізоляція, звукопоглинання, віброізоляція, демпфірування, застосування глушителів шуму);
- будівельно-акустичні – застосовують: екрани, звукоізоляцію, кабінні спостереження, дистанційне керування, кожухи, ущільнення і т.д. Найбільше ефективні звукоізолюючі матеріали: трипласт (композиційний матеріал); пласто-бетони з наповненням з опилок деревини, соломи і т. п. Звукопоглинаючі матеріали: мармур, бетон, граніт, цеглина, ДВП, ДСП, войлок, мінераловата, матеріали з щільною перфорацією;
- архітектурно-планувальні – раціональне розміщення робочих місць.

Активна форма захисту – генерація шуму в протифазі до джерела.

Не менш важливим для зниження шуму в процесі експлуатації є питання правильного і своєчасного регулювання, змащування і заміни механічних вузлів шумливого устаткування.

Засоби захисту від статичної електрики спрямовані на попередження виникнення й накопичення зарядів статичної електрики, створення умов для розсіювання зарядів і усунення небезпеки їх шкідливого впливу.

До основних засобів захисту відносять:

- відвернення можливості накопичування зарядів на електропровідних частинах обладнання, що досягається заземленням обладнання і комунікацій, на яких можуть з'явитися заряди);
- зниження інтенсивності зарядів статичної електрики – досягається відповідними підбором швидкості руху речовин, виключенням розбризкування, дроблення та розпилення речовин, відводом електростатичного заряду, підбором поверхонь тертя, очищенням горючих газів і рідин від домішок;

– відведення зарядів статичної електрики, накопичуваних на людях – дозволяє виключити небезпеку електричних розрядів, котрі можуть викликати спалахування або вибухання вибухо- і пожежонебезпечних сумішей, а також шкідливий вплив статичної електрики на людину.

Органи керування технічними засобами ПЕОМ, пристрої вводу-виводу, засоби діагностики та контролю повинні передбачувати накопичення статичної електрики в небезпечній кількості. Окремі блоки ЕОМ припускається експлуатувати сумісно з пристроями зняття електричного заряду.

Для попередження утворення та захисту персоналу від статичної електрики в комп'ютеризованих приміщеннях необхідно використовувати нейтралізатори та зволожувачі повітря, а підлога повинна мати антистатичне покриття. Припустимий рівень напруженості електричного поля не повинен перевищувати 20 кВ/м.

Засоби захисту від поразки електричним струмом. Винятково важливе значення для запобігання електротравматизму має правильна організація обслуговування діючих електроустановок, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт.

При цьому під правильною організацією розуміється строге виконання ряду організаційних і технічних заходів і засобів, установлених діючими "Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів", "Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів" (ПТЕ і ПТБ споживачів) і "Правилами установки електроустановок" (ПУЕ).

Основними засобами захисту від поразки електричним струмом є:

– забезпечення неприступності струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, з метою виключення випадкового дотику зі струмоведучими частинами або наближення до них на небезпечну відстань, усунення небезпеки поразки з появою напруг на корпусах, кожухах;

– захисне заземлення, занулення, захисне відключення;

– використання низьких напруг, застосування подвійної ізоляції.

Захисне заземлення – це навмисне з'єднання з землею металевих частин електроустаткування, що нормально не знаходяться під напругою, але можуть виявитися під напругою при випадковому з'єднанні зі струмоведучими частинами.

Устаткування, що підлягає заземленню – це металеві не струмоведучі металеві частини електроустаткування, при цьому в приміщеннях з підвищеною небезпекою або особливо небезпечних заземлюють установки вище 12 В змінного або 110 В постійного струму.

Принцип дії захисного заземлення – зняття напруги між корпусом, що виявився під напругою, до безпечного значення. Так, різниця при захисному заземленні і без нього по струму буде приблизно в 150 разів.

Зануленням називається приєднання до неодноразово заземленого нульового проводу живильної мережі корпусів та інших металевих частин електроустаткування, що нормально не знаходяться під напругою. Задача занулення – та ж, що і захисного заземлення. Принцип занулення – перетворення пробою на корпус в однофазне коротке замикання з метою викликати великий струм, здатний забезпечити спрацювання захисту, тобто відключити установки від мережі живлення. Таким захистом виступають: плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі.

Ізоляція струмоведучих частин забезпечує нормальну роботу електроустановок і захист від поразки струмом. Робоча ізоляція передбачається для захисту на випадок ушкодження робочої ізоляції. Вимірюється опір ізоляції мегометрами. Найменше припустиме значення опору ізоляції нормується правилами устрою електроустановок:

- для котушок, контактів, пускачів, силових щитів та освітлювальних установок ПДУ – не менше 0,5 МОм;
- для повторних кіл – не менше 1 МОм.

5.3 Висновки до розділу 5:

- проведений аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при роботі електропривода верстата;
- наведені заходи щодо їх усунення або зниження відповідно до нормативних вимог.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі магістра розглянута система керування електропривода головного руху металорізального верстата.

В роботі в якості об'єкту дослідження розглядається універсальний токарський верстат INDUSTRIE 2000/250 HD, його будова та електричне обладнання.

З метою модернізації верстата вирішена задача заміни існуючої релейно-контакторної системи керування на більш нову та досконалу.

Для цього виконаний огляд сучасних систем керування електроприводів, проведений аналіз існуючих засобів та систем керування електродвигунами перемінного струму.

На базі цього аналізу вибраний спосіб векторного керування системи ПЧ - АД, який широко використовується в галузях, де необхідне плавне регулювання координат виконавчих механізмів (струму, моменту, швидкості та ін.).

З метою модернізації замість асинхронного електродвигуна потужністю 11 кВт застарілого типу був обраний трифазний асинхронний електродвигун з короткозамкнутим ротором потужністю 11 кВт марки Lenze MDXMA160-22 компанії-інноватора - Lenze.

Для керування двигуном був обраний тиристорний перетворювач частоти з векторною системою керування Lenze 8200 Vector.

Для вдосконалення динаміки системи керування проведена побудова й розрахунок математичної моделі векторної системи керування асинхронним двигуном за допомогою програми Simulink пакету Matlab v6.5 та проведений аналіз її динамічних властивостей.

Одержані наступні результати дослідження:

- з графіків перехідних процесів видно, що потокозчеплення досягає режиму, що встановився приблизно за 2 с. З другої секунди починається розгін двигуна та режим, що встановився, настає приблизно на 6,8 с. Графік перехідного процесу завдання по швидкості (керуючий вплив) являє собою стрибок з висотою ступеня 10.

Швидкість ротора має аперіодичний характер з мізерним незначним перерегулюванням, яке помітно лише при великому масштабуванні картини в середовищі Simulink, тобто цим перерегулюванням можна цілком знехтувати. Коли двигун та виконавчий механізм є розігнаними, приблизно через 6,8 с, подається навантаження на привод. Такий великий час перехідного процесу швидкості ротора (6,8 с) пояснюється тим, що має місце велика інерційність механічної частини електропривода (для заготівки максимального розміру, яка може оброблятися на верстаті).

На 8 с, коли швидкість остаточно встановилася, подається момент статичного навантаження, який являє собою мізерний скачок, який не видно на графіку швидкості, але помітно на графіку перехідного процесу струму статора, струм декілька збільшився з незначними коливаннями.

Перехідний процес струму статора знаходиться в межах норми (визначається за паспортною кратністю пускового струму K_i). Перехідний процес моменту також знаходиться в межах норми (визначається за паспортною кратністю пускового моменту K_M). Струм зростає при подачі керуючого впливу на 2 с, та не доходячи до 6,8 с падає за рахунок того, що система керування разом з електроприводом ввійшла до режиму, що встановився.

З графіків перехідних процесів видно, що розгін АД має аперіодичний характер, отже розроблена система векторного керування АД від обраного перетворювача частоти задовольняє заданим вимогам.

В роботі проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації електрообладнання верстата, наведені заходи щодо їх усунення або зниження відповідно до нормативних вимог.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. **Автоматизований електропривод ч. 2** [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів освітньої програми «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / В.І. Теряєв. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 204 с.

2. Асинхронные общепромышленные двигатели Lenze MDXMAXX. Инструкция по эксплуатации. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.lenze.org.ua/pdf/ac_motors_manual.pdf.

3. **Баховець Б. О.** Автоматизований електропривод. Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2010. – 238 с.

4. **Бірта Г. О.** Методологія і організація наукових досліджень. навч. посіб. / Г. О. Бірта, Ю. Г. Бургу – К. : «Центр учбової літератури», 2014. – 142 с.

5. **Бутенко Л. Л.** Структурно-логічні схеми. Таблиці. Опорні конспекти. Есе. Навчальні презентації: рекомендації до складання : метод. посіб. для студ. / уклад. : Л. Л. Бутенко, О. Г. Ігнатович, В. М. Швирка. – Старобільськ, 2015.–112 с.

6. **Векторне керування асинхронними двигунами з максимізацією співвідношення момент-струм статора.** Монографія / Пересада С. М., Ковбаса С. М., Ніконенко Є. О., Димко С. С. –Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023, –139 с.

7. **Видмиш А. А.** Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.

8. **Виноградов А.Б.** Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет».- Иваново, 2008. 298 с.

9. **Гераїмчук М. Д.** Моделювання систем у середовищі MATLAB-SIMULINK: Комп'ютерний практикум / М.Д. Гераїмчук, Ю.Ф. Лазарєв, Т.О. Толочко. – К.:, 2006. – 175с.

10. **Грабко В.В.** Експериментальні дослідження електричних машин.

Частина III. Асинхронні машини. Навчальний посібник. / В.В. Грабко, М.П. Розводюк, С.М. Левицький, М.О. Казак – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 197 с.

11. **Жидецький В. Ц.** Основи охорони праці [Текст] : підручник / В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников — Вид. 2-е, стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.

12. **Загірняк М.В., Коренькова Т.В.** Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода : навч. Посібник. Харків: Видавництво «Точка», 2017. 206 с. URL: http://www.kdu.edu.ua/new/PHD_vid/syfasni%20peretvor.pdf

13. **Закладной А. Н.** Энергосбережение средствами промышленного электропривода / А. Н. Закладной, А. В. Праховник, А. И. Соловей. – К. : «ДИЯ», 2001. – 343 с.

14. **Казачковський М. М.** Комплектні електроприводи: Навч.посібник/ М. М. Казачковський. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. 226 с.

15. **Панкратов А.І.** Системи керування електроприводами. Видання 2: Навч. посібник з дисципліни «Системи керування електроприводами» / – Краматорськ: ДДМА, 2018. – 225 с.

16. **Пересада С. М.** Керування електроприводами – посібник / С. М. Пересада, Є. О. Ніконенко КПІ імені Ігоря Сікорського, Київ, 2022, 396 с.

17. **Пересада С. М.** Курсовий проект з керування електроприводами [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С.М. Пересада, Є.О. Ніконенко – Електронні текстові дані (1 файл: 2,6 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 57 с.

18. **Преобразователи частоты** серии 8200 Vector 0,25...45 кВт. Инструкция по эксплуатации. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.lenze.org.ua/pdf/manual_smvector_rus.pdf .

19. **Пуховський Є. С.** Проектування гнучких виробничих систем машинобудування / Є.С. Пуховський, Ю. М. Малафєєв. Навч. посібник. Частина I – К.: НТУУ «КПІ», 2017. – 286 с.

20. **Регульований електропривод:** Підручник / І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, Д.А. Абдураманов, А.В. Торопов, О.В. Санченко; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.: іл.

21. **Розвиток асинхронного електроприводу з векторним керуванням.** Освітній сайт КНУБА. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://org2.knuba.edu.ua/mod/book/view.php?id=36026> (Текст з екрану).

22. **Садовой О.В.** Конспект лекцій з дисципліни Оптимізація електромеханічних систем (частина 2). [Електронний ресурс] / О. В. Садовой – Дніпро: Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2021. – 158 с.

23. Універсальний токарний верстат INDUSTRIE 2000/250 HD. Паспорт.

24. **Шульга, А.А.** Автоматизований електропривод металорізальних верстатів: навчальний посібник: для студентів спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» / А. А. Шульга, І. І. Полупан, А.А. Ткаченко. - Краматорськ: ДДМА 2010. - 124 с.

ДОДАТОК А
Мультимедійна презентація

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Костомаров Валерій Сергійович

Кваліфікаційна робота магістра на тему:

"Система керування електропривода головного руху механообробного
верстата гнучкої виробничої системи"

Керівник роботи – Васильєв О.Г.

АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

Актуальність теми. В даній кваліфікаційній роботі магістра досліджується система керування електропривода головного руху металорізального верстата.

Для підвищення ефективності роботи електропривода, для забезпечення необхідних технологічних режимів обробки використовуються частотні перетворювачі, які змінюють швидкість обертання двигуна і в цілому дозволяють підвищити коефіцієнт корисної дії верстата.

Застосування перетворювачів з векторним принципом керування дозволить покращити динамічні властивості та підвищити точність системи автоматичного керування електропривода головного руху токарського верстата, що є актуальним завданням для сучасних верстатів з ЧПК.

Мета і завдання дослідження. Мета магістерської роботи полягає в оцінюванні динамічних властивостей та підвищенні точності системи енергозберігаючого електропривода головного руху токарно-гвинторізного верстата.

Для досягнення мети вирішені наступні **завдання дослідження**:

- проведений аналіз існуючих засобів та систем керування електродвигунами перемінного струму і на базі цього аналізу обраний найбільш підходящий тип електродвигуна марки Lenze, а для керування ним вибраний векторно-частотний перетворювач Lenze 8200;
- розроблена функціональна схема системи векторного керування;
- складений математичний опис векторної системи керування і розроблена її структурна схема та розраховані її параметри;
- по отриманій структурній схемі проведений аналіз динамічних властивостей розрахункової системи керування;
- проведено теоретичне і комп'ютерне дослідження значень основних показників якості роботи САК;
- в математичній програмі Simulink пакету Matlab проведено моделювання системи керування для режиму різання при точінні;
- одержані графіки перехідних процесів при векторному пуску двигуна;
- визначені заходи щодо безпечної експлуатації електрообладнання верстатів.

Об'єкт дослідження - процеси, що відбуваються у енергозберігаючому електроприводі головного руху токарського верстата.

Слайд 2 мультимедійної презентації

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ТОКАРСЬКИЙ ВЕРСТАТ INDUSTRIE 2000/250 HD



Загальний вид верстата

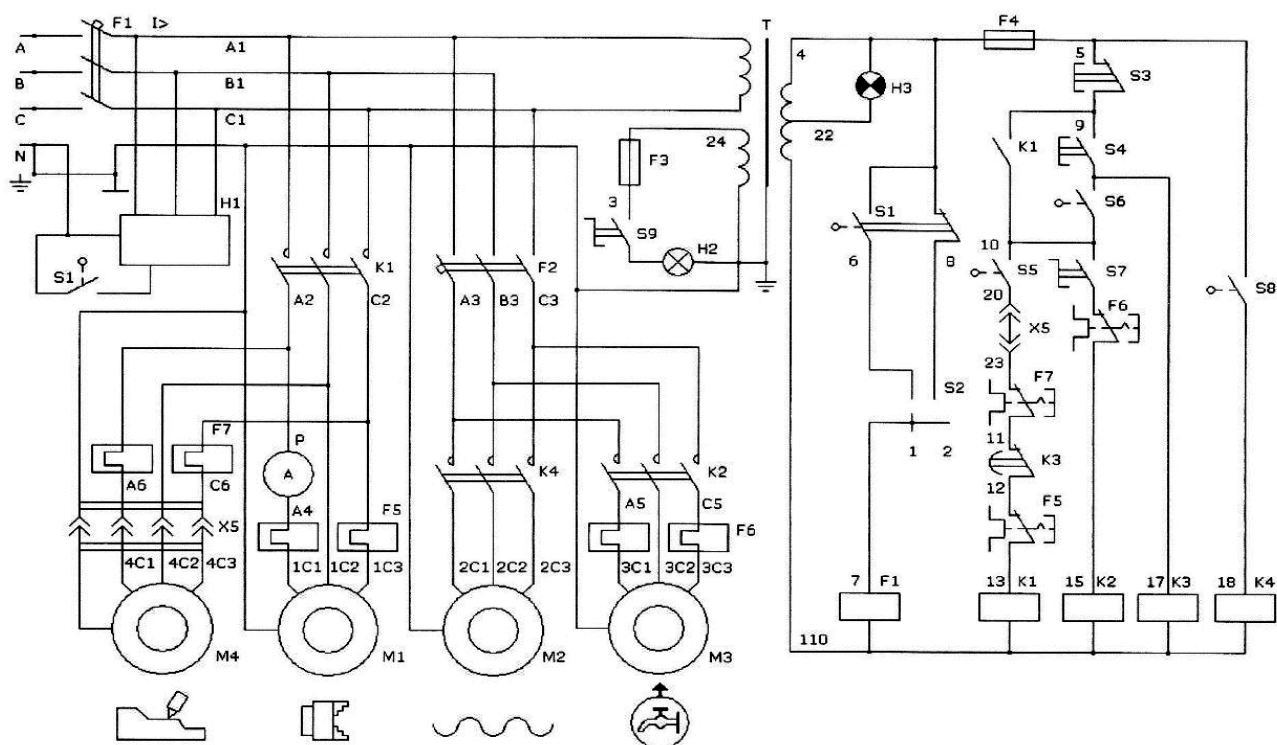


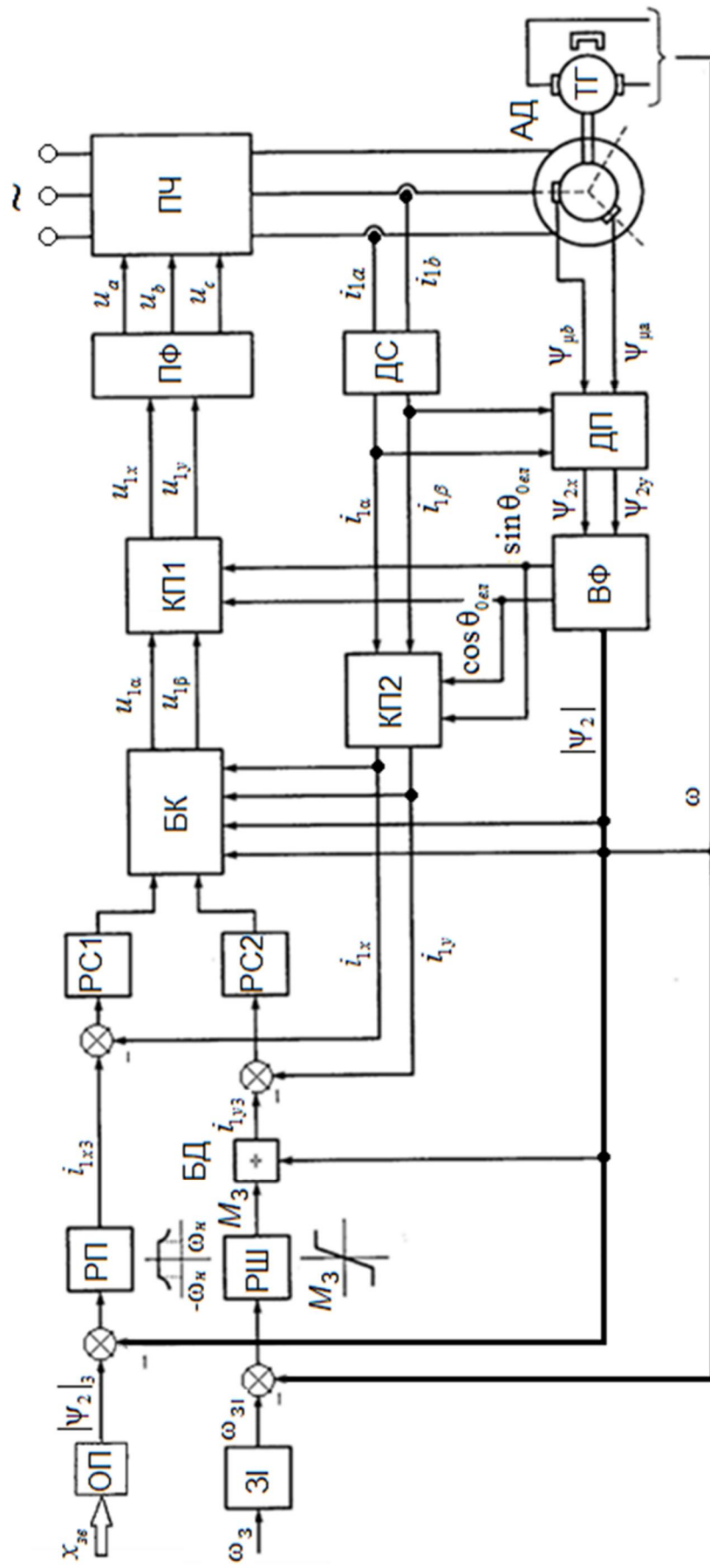
Схема електрична принципова верстата

СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Обрання теми дослідження: Дослідження електропривода головного руху токарського верстата	
Складання індивідуального календарного плану роботи	
Пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини	Аналіз існуючих тенденцій в сучасному автоматизованому електроприводі, які націлені на ресурсозбереження в системі "електропривод-верстат"
Опис об'єкту дослідження	Розгляд будови та особливостей роботи токарських верстатів
	Аналіз існуючих типів електродвигунів, обґрунтований вибір двигуна
	Аналіз та вибір системи керування обраним двигуном
Опис процесу дослідження	Розгляд методу векторного керування
	Моделювання перехідних процесів та аналіз результатів
Узагальнення результатів моделювання	Інтерпретація отриманих результатів дослідження
	Формулювання висновків
Узагальнення науково-теоретичних результатів	
Розробка заходів з охорони праці	
Реалізація отриманих результатів у навчальний процес	

Слайд 4 мультимедійної презентації

ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ АД З КЕРУВАННЯМ ПО ВЕКТОРУ ПОТОКОЗЧЕПЛЕННЯ СТАТОРА



СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

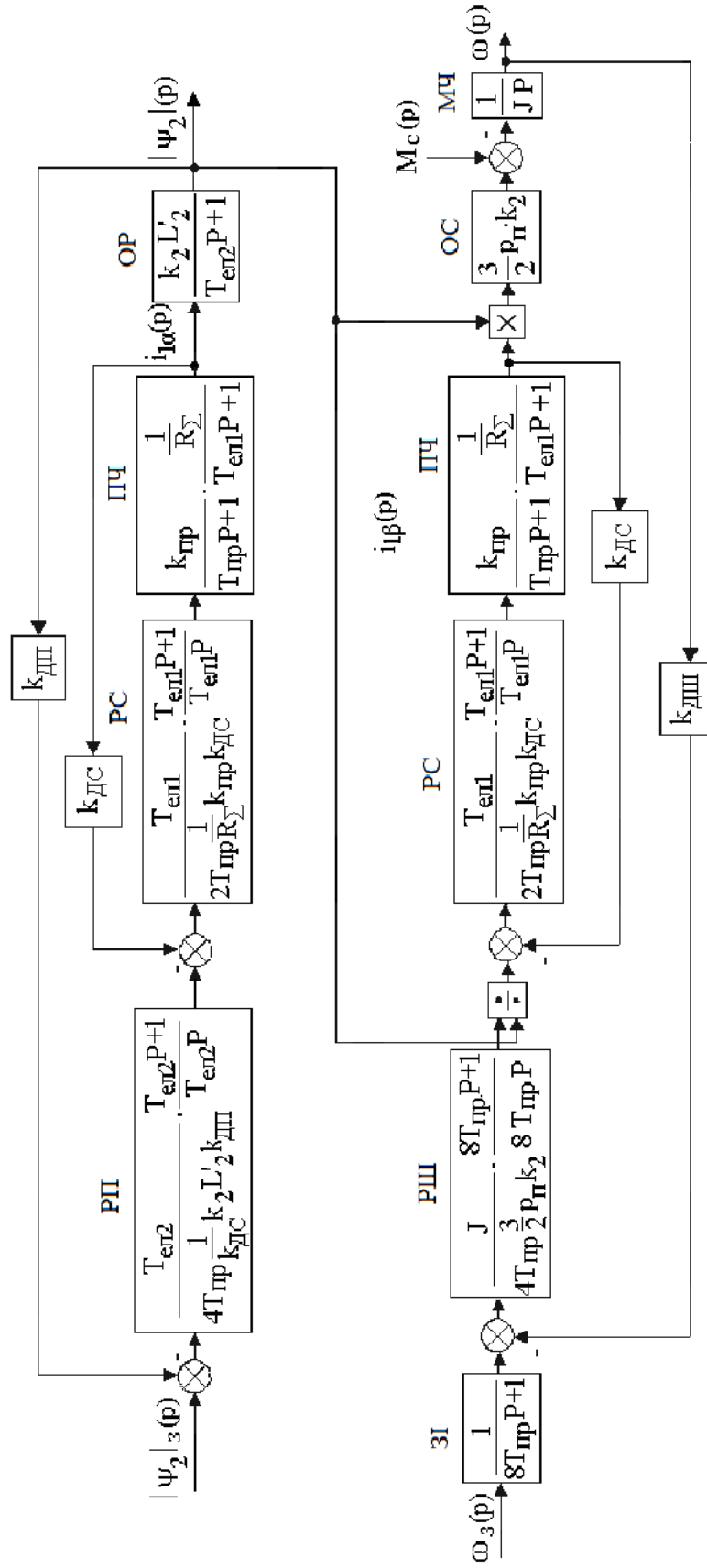
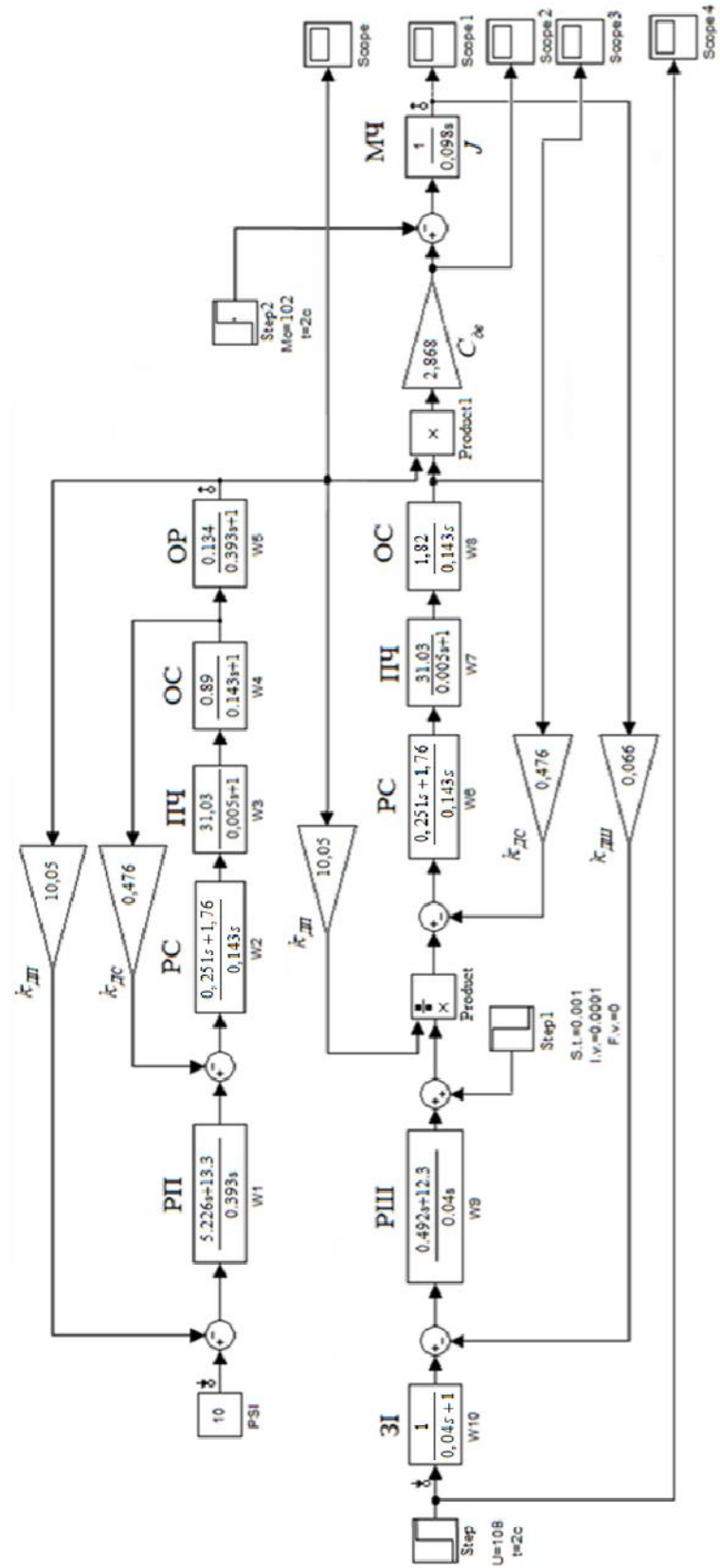
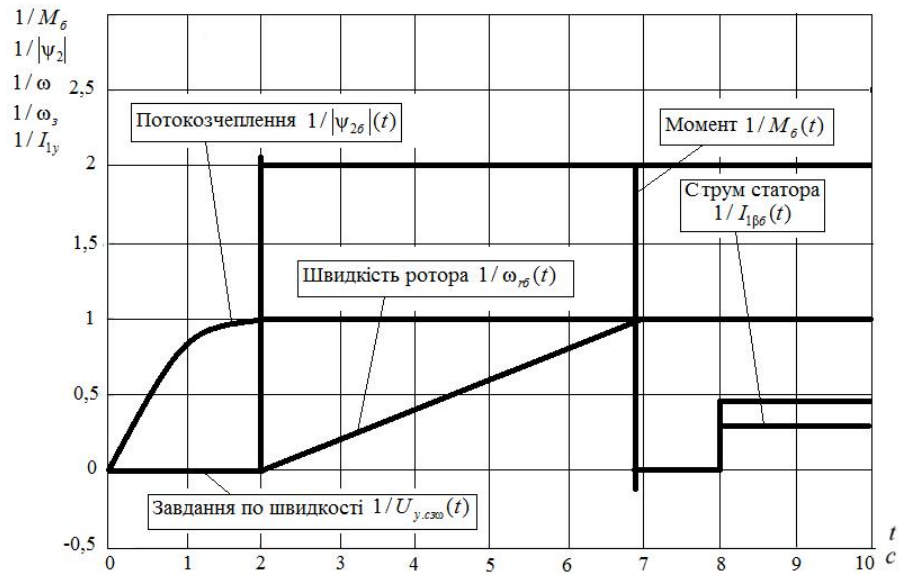


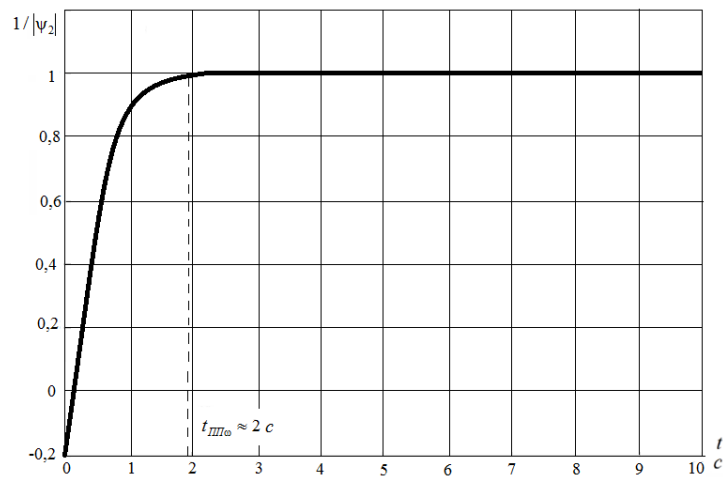
Схема моделювання перехідних процесів системи керування



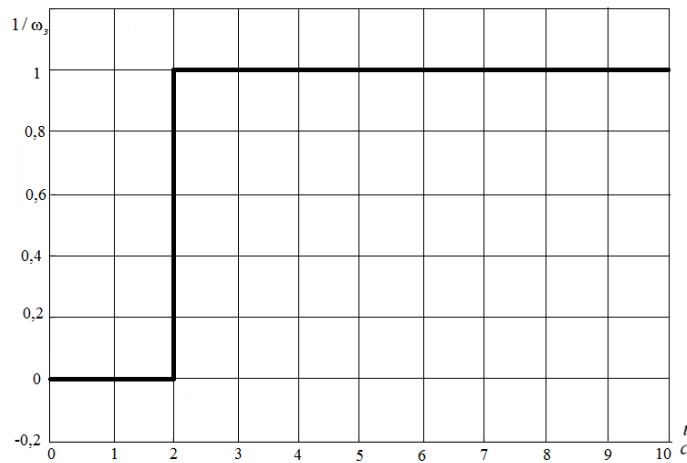
АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



– Зведений графік перехідних процесів при векторному пуску двигуна

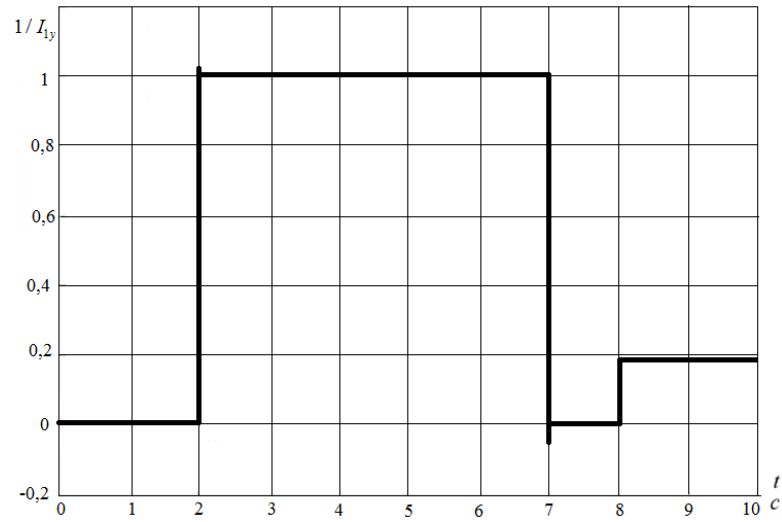


Графік перехідного процесу потокосцеплення $1/|\Psi_2|(t)$

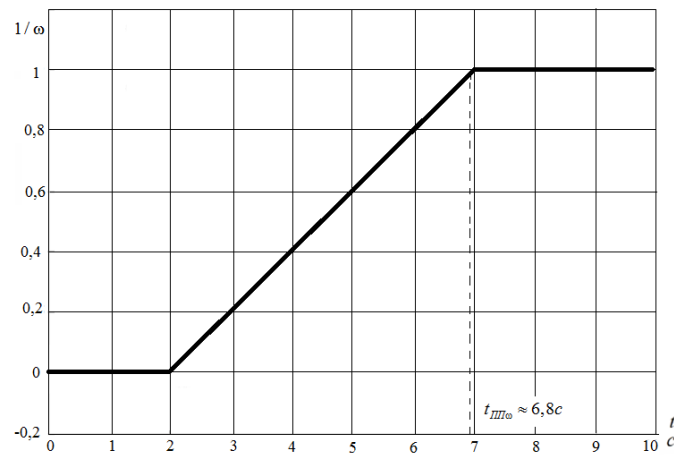


Графік перехідного процесу завдання по швидкості $1/\omega_s(t)$

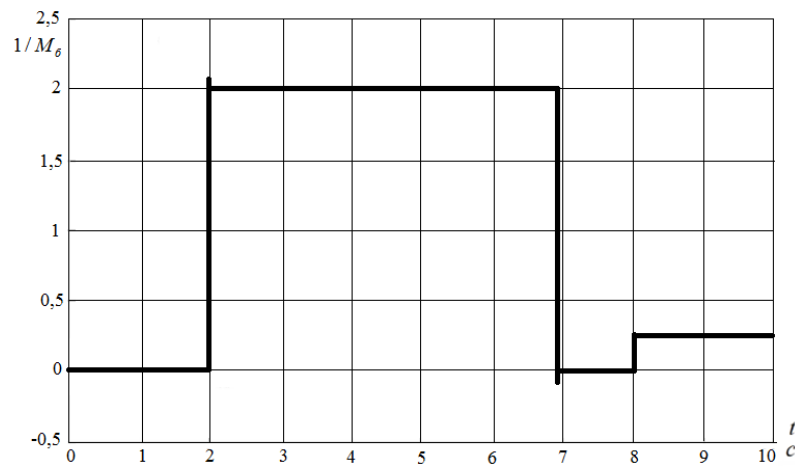
АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



Графік перехідного процесу струму статора $1/I_{1y}(t)$



Графік перехідного процесу швидкості ротора $1/\omega(t)$



Графік перехідного процесу моменту $1/M_{\theta}(t)$

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі магістра розглянута система векторного керування електропривода головного руху універсального токарського верстата INDUSTRIE 2000/250.

Одержані наступні результати дослідження:

- з графіків перехідних процесів видно, що потокозчеплення досягає режиму, що встановився приблизно за 2 с. З другої секунди починається розгін двигуна та режим, що встановився, наступає приблизно на 6,8 с. Графік перехідного процесу завдання по швидкості (керуючий вплив) являє собою стрибок з висотою ступеня 10.

Швидкість ротора має аперіодичний характер з мізерним незначним перерегулюванням, яке помітно лише при великому масштабуванні картини в середовищі Simulink, тобто цим перерегулюванням можна цілком знехтувати. Коли двигун та виконавчий механізм є розігнаними, приблизно через 6,8 с, подається навантаження на привод. Такий великий час перехідного процесу швидкості ротора (6,8 с) пояснюється тим, що має місце велика інерційність механічної частини електропривода (для заготівки максимального розміру, яка може оброблятися на верстаті).

На 8 с, коли швидкість остаточно встановилася, подається момент статичного навантаження, який являє собою мізерний скачок, який не видно на графіку швидкості, але помітно на графіку перехідного процесу струму статора, струм декілька збільшився з незначними коливаннями.

Перехідний процес струму статора знаходиться в межах норми (визначається за паспортною кратністю пускового струму K_i). Перехідний процес моменту також знаходиться в межах норми (визначається за паспортною кратністю пускового моменту K_M). Струм зростає при подачі керуючого впливу на 2 с, та не доходячи до 6,8 с падає за рахунок того, що система керування разом з електроприводом ввійшла до режиму, що встановився.

З графіків перехідних процесів видно, що розгін АД має аперіодичний характер, отже розроблена система векторного керування АД від обраного перетворювача частоти задовольняє заданим вимогам.

В роботі проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації електрообладнання верстата, наведені заходи щодо їх усунення або зниження відповідно до нормативних вимог