

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

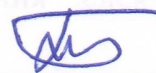
(повна назва інституту/факультету)

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

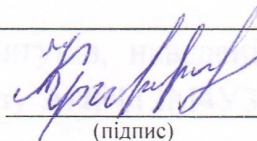
(назва освітньої програми)

на тему: Модернізація автоматизованого електропривода зернової норії

Виконав: студент групи 6371м

Крилевський Максим Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)



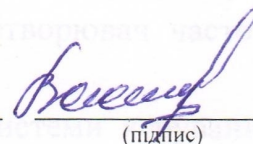
(підпис)

Керівник

доц. каф. автоматики, к.т.н.,

доцент Васильєв О.Г.

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



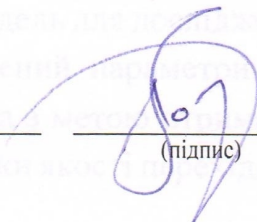
(підпис)

Рецензент

доцент кафедри СЕЕС,

к.т.н., доцент С.М.Новогрецький

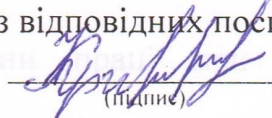
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)



(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 із 106 сторінок: 94 сторінок пояснювальної записки, 5 розділів, 9 таблиць, 26 рисунків, 21 літературне джерело, 1 додатку на 12 сторінках.

Ключові слова: автоматизація, аналіз динаміки, електропривод, математична модель, методологія дослідження, норія ківшева, система керування

Об'єкт дослідження – система керування електропривода конвеєра завантаження зерна (ківшевої норії).

Мета роботи – удосконалення системи керування електропривода ківшевої норії на основі застосування регульованих асинхронних двигунів.

У першому розділі наведений аналіз сучасного стану перетворювальної приводної техніки, проведений літературний огляд джерел з дослідження систем регулювання швидкості автоматизованого електропривода, обґрунтована актуальність модернізації системи керування роботою норії. В якості об'єкту дослідження вибрана норія типу НКЗ-50, наведені її технічні дані та відомості про електричне обладнання.

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

У розділі 3 виконаний аналіз існуючих видів електродвигунів, наведені основні вимоги до електроприводів; вибраний електродвигун типу АІР112М4УЗ для привода норії, розглянуті способи керування швидкістю асинхронного двигуна. Для керування обраним двигуном вибраний трифазний перетворювач частоти Siemens MICROMASTER 440, наведені його технічні дані.

В розділі 4 зроблений математичний опис елементів системи керування, проведені розрахунки по їх вибору, складена розрахункова модель для дослідження динаміки системи керування електропривода норії, проведений параметричний синтез при варіації параметрами налагодження ПІ-регулятора з метою отримання таких параметрів, які будуть забезпечувати необхідні показники якості перехідного процесу.

Отримані результати підтверджують вирішення задач по вдосконаленню динамічних якостей системи керування норії. Таким чином, основна мета роботи виконана.

В розділі 5 розглянуті питання охорони праці при експлуатації електропривода норії.

Додатки містять 12 слайдів мультимедійної презентації.

ABSTRACT

The master's qualification work consists of 106 pages: 94 pages of explanatory note, 5 sections, 9 tables, 26 figures, 21 literature sources, 1 appendix on 12 pages.

Keywords: automation, dynamics analysis, electric drive, mathematical model, research methodology, bucket elevator, control system

The object of the study is the control system of the electric drive of the grain loading conveyor (bucket elevator).

The purpose of the work is to improve the control system of the electric drive of the bucket elevator based on the use of regulated asynchronous motors.

The first section provides an analysis of the current state of converter drive technology, a literature review of sources on the study of automated electric drive speed control systems, and substantiates the relevance of modernizing the elevator operation control system. The NZ-50 type elevator was selected as the object of the study, its technical data and information on electrical equipment are given.

In section 2, the scientific research method is justified and selected, the structural and logical scheme of the master's research is built, the method for solving the research problem is justified.

In section 3, an analysis of existing types of electric motors is performed, the main requirements for electric drives are given; an electric motor of the AИP112M4Y3 type is selected for the crane drive, methods for controlling the speed of an asynchronous motor are considered. To control the selected motor, a three-phase Siemens MICROMASTER 440 frequency converter is selected, its technical data are given.

In section 4, a mathematical description of the elements of the control system is made, calculations are made on their selection, a calculation model is compiled for studying the dynamics of the control system of the electric drive of the hoist, parametric synthesis is carried out when varying the tuning parameters of the PI controller in order to obtain such parameters that will provide the necessary indicators of the quality of the transient process.

The results obtained confirm the solution of the problems of improving the dynamic qualities of the hoist control system. Thus, the main goal of the work is achieved.

Section 5 discusses labor protection issues during the operation of the electric drive of the elevator.

The appendices contain 12 slides of a multimedia presentation

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 НОРІЯ ЗЕРНОВА ТИПУ НКЗ-50 ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ.....	9
1.1 Аналіз останніх досліджень та публікацій.....	9
1.2 Опис об'єкту дослідження. Норія НКЗ-50	14
1.2.1. Загальні відомості, класифікація транспортуючих машин.....	14
1.2.2 Конструкція і основні вузли ківшевої норії типу НКЗ-50	17
1.3 Електричне обладнання норії	22
1.4 Висновки до розділу 1	25
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	26
2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження.....	26
2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження	31
2.3 Вибір методу вирішення поставленої задачі.....	33
2.4 Висновки до розділу 2	34
РОЗДІЛ 3. ВИБІР ТИПУ ДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА	35
3.1 Аналіз існуючих видів електродвигунів	35
3.2 Основні вимоги до електроприводів та вибір типу електродвигуна.....	36
3.3 Аналіз існуючих систем керування двигунами перемінного струму....	38
3.4 Загальні технічні характеристики комплектного електропривода Siemens MICROMASTER 440.....	46
3.5 Висновки до розділу 3	50
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НОРІЇ	51
4.1 Розробка функціональної схеми системи керування.....	51
4.1.1 Розрахунок механічних характеристик електродвигуна та вибір основних елементів системи частотного керування електропривода.....	54
4.2 Визначення параметрів регуляторів системи	

керування електропривода	65
4.2.1 Структурна схема електропривода з частотним керуванням	65
4.2.2 Формування та розрахунок параметрів елементів структурної схеми	69
4.3 Аналіз динамічних властивостей системи керування	
електропривода норії.....	72
4.4 Висновки до розділу 4	82
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	
НОРІЇ	83
5.1 Аналіз небезпек і шкідливих виробничих факторів,	
що впливають на людину при роботі ківшевої норії.....	84
5.2 Заходи щодо безпечної експлуатації електрообладнання	
при роботі на ківшевих норіях	87
5.3 Висновки до розділу 5	89
ВИСНОВКИ	90
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	92
Додаток А. Мультимедійна презентація.....	95

ВСТУП

Актуальність теми. В даній кваліфікаційній роботі магістра досліджується система керування електропривода зернової норії.

В умовах діючої військової агресії для аграрних підприємств України є дуже важливим розвиток та підвищення продуктивності портових елеваторів, розташованих у Херсонській, Миколаївській, а також Одеській областях.

В перекладі з англійської elevator — ліфт, підіймач, і цими ліфтами, які підіймають зерно на потрібну висоту, є норії.

Норія - спеціальний пристрій, який використовується для підйому рідин, а також сипучих матеріалів.

Норія служить для переміщення неопрацьованого й обробленого зерна пшениці, соняшника, сої, шроту на різних стадіях їх переробки.

В наші дні принцип норії широко використовується в сучасних елеваторах. Це пристрій ще називають ківшевим елеватором. Являє собою вертикальний конвеєр, до якого прикріплені ківші. За рахунок їх постійного переміщення відбувається підйом сипучого вантажу.

Основним вузлом, що визначає нормальну роботу норії, є її електропривод, моделювання процесу роботи якого надалі дозволить досліджувати й модернізувати конвеєрну установку з метою оптимізації її роботи, особливо в перехідних режимах.

До конвеєрів пред'являється ряд вимог щодо їхньої продуктивності, плавності руху, точності підтримки швидкості.

З метою забезпечення безупинної роботи привода конвеєра, що піддається короткочасним або тривалим перевантаженням, та підвищення за рахунок цього продуктивності норії, доцільно застосувати пристрої чи систему керування, чутливі до зміни навантаження на робочому органі, а саме частотно-керовані електроприводи.

Таким чином, застосування частотно-регульованого електропривода конвеєра, що забезпечує плавне регулювання лінійної швидкості стрічки, дозволяє

отримати максимальну економію електроенергії транспортування вантажу при змінному вантажопотоці.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є удосконалення системи керування електропривода вертикального конвеєра завантаження зерна (ківшевої норії) на основі застосування регульованого асинхронного двигуна (АД).

Робота спрямована на підвищення надійності функціонування норій за рахунок використання найбільш ефективних системи керування.

Предметом дослідження є система керування електропривода норії ківшевої.

Режим роботи норії характеризується:

- тривалою роботою протягом значного проміжку часу, тому що завантаження, транспортування та розвантаження здійснюються безперервно без зупинок;
- нечастими пусками і остановами, що пояснюється тривалим режимом роботи конвеєра, тобто тривалість пуску і гальмування не впливають на продуктивність конвеєра;
- постійністю напрямку руху тягового органу конвеєра, що зумовлює застосування нереверсивної схеми керування електродвигуном;
- нерівномірністю завантаження;
- порівняно важкими умовами пуску.

На сьогоднішній день одним з актуальних завдань є завдання автоматичного регулювання продуктивності конвеєрів для стабілізації вантажопотоку й оптимізації режимів їх експлуатації.

При автоматизації конвеєрного транспорту, для забезпечення його ефективної роботи, необхідно вирішити завдання керування пуском і зупинкою конвеєра, зниження витрат електроенергії, забезпечення безпечного режиму роботи норії.

Отже, метою даної роботи є забезпечення ефективної роботи конвеєра за рахунок ефективного регулювання частоти обертання вихідного валу приводного електродвигуна.

Для успішної реалізації мети роботи необхідно скласти адекватні математичні моделі для дослідження фізичних процесів, що відбуваються в об'єкті, на базі сучасних комп'ютерних програм і методів розрахунку.

Об'єкт дослідження - процеси, що відбуваються у електроприводі норії.

Предмет дослідження: динамічні характеристики системи керування, параметри, що забезпечують підвищення точності системи керування електропривода ківшевої норії.

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

За допомогою програмного забезпечення для персональних комп'ютерів Simulink пакету MathLab були змодельовані математичні моделі системи керування, які досліджувалися.

Практичне значення одержаних результатів мають математичні та імітаційні моделі систем керування, які є зручними інструментами для дослідження характеристик електропривода стрічкового конвеєра та аналізу алгоритмів керування.

Результати роботи впроваджено в навчальний процес кафедри автоматики Національного Університету Кораблебудування і використовуються студентами очного та заочного відділень при викладанні дисципліни "Системи керування електроприводами".

РОЗДІЛ 1

НОРІЯ ЗЕРНОВА ТИПУ НКЗ-50 ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Аналіз останніх досліджень та публікацій

Сучасний стан досліджень транспортно-технологічних механізмів.

Тема кваліфікаційної роботи магістра пов'язана із сучасною технікою, тому і огляд розробок необхідно робити, спираючись на сучасну приводну техніку та літературу по моделюванню, по теорії частотного керування та перетворювальної техніки.

Важливою умовою поліпшення забезпечення населення України продовольчими продуктами є розвиток технічної бази зберігання і переробки сільськогосподарської продукції. У сфері переробної галузі агропромислового комплексу (АПК) формується до 70% загального товарообігу країни. Впровадження сучасних технологій, механізованих і автоматизованих ліній, високопродуктивних і надійних агрегатів у переробній галузі АПК, переобладнання переробної галузі АПК відповідно до європейських стандартів – єдиний спосіб залишитися на світовому ринку і випускати конкурентоспроможну продукцію [19].

Проблеми і тенденції елеваторного ринку.

Сьогодні в Україні спостерігається бум будівництва зерносховищ.

Розширенню елеваторних потужностей сприяють, зокрема, проблеми з зерновою логістикою. Останнім часом ринок лихоманить від дефіциту вагонів-зерновозів та локомотивів. А якщо немає можливості везти зерно в порт, отже його треба десь зберігати.

В минулі роки було побудовано кілька нових портових терміналів.

Компанія «Вібо-транс» відкрила в морському порту «Ольвія» новий зерновий термінал із об'ємом одночасного зберігання 35 тис. тонн.

«НІБУЛОН» увів в експлуатацію новий елеваторний комплекс у складі перевантажувального терміналу в Миколаєві з об'ємом одночасного зберігання 43

тисячі тонн. Тепер загальна ємність зерносховищ, що розташовані на території перевантажувального терміналу компанії в Миколаєві, становить 173 тисячі тонн.

Масштабне будівництво в порту «Південний» у 2018 році завершив термінал М.В. Карго, що належить компанії Cargill та ін. [20].

В умовах діючої військової агресії Росії суттєву роль для успішної економічної діяльності аграрних підприємств України та підтримки світової продовольчої безпеки є розвиток та підвищення продуктивності портових елеваторів, розташованих у Херсонській, Миколаївській, а також Одеській областях. З подальшим звільненням територій виникне потреба у відновленні чи будівництві нових елеваторів у портах Бердянська, Маріуполя, Севастополя, Керчі. Спеціалізовані машинобудівні заводи України випускають повний перелік необхідного технологічного обладнання для елеваторів, а крім того, на ринку присутні й зарубіжні виробники, такі як GSI, Araj, Petkus, Neuero, Law і багато інших. Будь-яке обладнання, у тому числі, і для портових елеваторів, вимагає ефективного керування, яке на сьогодні неможливе без використання інформаційних та кіберфізичних систем різного рівня впливу – від окремого обладнання до керування ресурсами і підприємством. Одна з необхідних складових елеватора чи зерносховища будь-якого призначення – транспортно-технологічне обладнання із відповідними системами керування окремим устаткуванням [18].

Тенденції розвитку стрічкових ківшових елеваторів та конвеєрного транспорту в цілому направлені на підвищення їх продуктивності, висоти транспортування, надійності, безпечності, зниження металоємності, збільшення потужності привода, водночас дотримуючись політики енергозбереження та якості продукції. Так, наприклад, продуктивність сучасних стрічкових ківшових елеваторів досягає 1800 т/г, висота транспортування – 80 м, а потужність привода – кількасот кіловат [10].

Три основні напрямки подальшого розвитку:

- вдосконалення конструкції стрічкових ківшових елеваторів як в цілому, так і окремих складальних одиниць, модулів тощо;
- розробка та вдосконалення систем автоматичного контролю та сигналізації;
- розробка та впровадження систем оптимального керування роботою

ківшового елеватора.

Сучасні систем автоматичного контролю та сигналізації представляють собою мікропроцесорні системи моніторингу, які збирають та обробляють дані з датчиків: швидкості, вібрації, температури, сходу стрічки, рівня транспортованого матеріалу, які встановлюють на конвеєр. Розробка програмного забезпечення для таких систем також базується на динамічному аналізі роботи стрічкових ківшових елеваторів.

Математичне моделювання конвеєрних систем використовується для знаходження оптимальних законів керування приводом стрічкових ківшових елеваторів відповідно до вибраних критеріїв оптимізації, які орієнтовані на обмеження приводного зусилля, зниження пошкодження транспортованого матеріалу та експлуатаційних затрат на роботу як конвеєра, так і конвеєрних ліній в цілому. Питання математичного моделювання електромеханічних систем наведені в [5].

Сучасний стан досліджень транспортно-технологічних механізмів (ТТМ) машин і обладнання вичерпно представлений в [10]. В роботі представлено математичні та динамічні моделі процесів об'єднаних транспортно-технологічних операцій, що виконуються на горизонтальних, похилих і вертикальних трасах відповідними машинами та обладнанням. Запропоновано нові методики для проведення експериментальних досліджень, з метою підвищення ефективності практичного застосування розроблених і модернізованих машин.

Значний вклад в оптимізацію піднімально-транспортних машин, динамічний синтез перехідних режимів руху механізмів і машин, режимів роботи конвеєрів вніс В.С. Ловейкін.

Базові теоретичні та експериментальні дослідження ТТМ, а також методики, рекомендації та аналітичні залежності для проведення інженерних розрахунків з метою вибору раціональних параметрів робочих органів і режимів роботи наведено в працях Б.М. Гевка, Р.М. Рогатинського, О.Л. Ляшука, В.С. Ловейкіна, О.Р. Рогатинської та багатьох інших.

Дослідженню створення систем автоматичного регулювання швидкості стрічкових конвеєрів присвячені роботи авторів: Глянь Д.В, Петкова О. Н,

Оголобченко А.С. Фоменко А. І, Петкова О.Н, Лукомського Л.В та ін.

В сучасній літературі [4,17] в якості основного типу регульованого асинхронного електропривода 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.

Проблеми автоматизації режимів роботи електроприводів змінного струму, зокрема й електроприводів на основі асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором (АДКЗ), досліджуються в роботах [6,15]. 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.

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

Проведений літературний огляд показав, що рекомендується використовувати різні математичні моделі дослідження систем регулювання швидкості автоматизованого електропривода.

Аналіз систем керування приводами конвеєрів.

У розвитку промисловості України важливу роль виконує широке впровадження перетворювачів і мікропроцесорної техніки для керування приводами конвеєрів, режими роботи яких, суттєво впливають на енергетичні показники, механічні характеристики й динамічні режими роботи конвеєра.

Найважливішим обладнанням підприємств збереження і переробки зерна є вертикальний стрічковий ківшевий транспортер (норія) [10,19]. Аналіз існуючих способів підвищення продуктивності норій показав, що в теперішній час пропонується застосовувати регульований асинхронний електропривод в норіях. Тобто, щоб кожній зміні транспортованого продукту відповідала певна потужність приводу. Це є актуальним для підприємств збереження і переробки зерна з різними видами зернових культур, що зберігаються [14,19].

Для підвищення надійності машин безперервного транспорту необхідно

розв'язати комплекс різних проблем, таких, як проектування металоконструкцій, приводів і машини в цілому, а також підвищення надійності ланцюгів і засобів автоматики. Однією з найважливіших проблем є обґрунтований вибір привода й системи його керування.

У цей час найпоширенішим типом привода ківшевих конвеєрів (норій) є нерегульований електропривод змінного струму на основі асинхронних машин переважно з короткозамкненим ротором. Асинхронний електропривод при цьому повинен забезпечувати плавне економічне регулювання швидкості із широким діапазоном, велику частоту включень і реверсів з високою швидкістю в перехідних режимах.

Застосування керованих перетворювачів частоти дозволяє створювати установки з високими динамічними властивостями й мінімальними додатковими втратами.

Розвиток сучасного електричного привода.

Аналіз світового досвіду створення нового й модернізації діючого технологічного встаткування показує високу динаміку розвитку регульованих електроприводів, комп'ютерних засобів автоматизації, використання інформаційних засобів. 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.

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.

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.

У сучасних виробничих реаліях асинхронний двигун без перетворювача частоти не зустрічається. Також на користь економії перетворювачів частоти говорить і їх «внутрішній ресурс» - служать вони довго й надійно.

1.2 Опис об'єкту дослідження. Норія НКЗ-50

1.2.1 Загальні відомості, класифікація транспортуючих машин

Машини та пристрої безперервної дії. Машини та пристрої даного типу зазвичай називають транспортуючими машинами. Вони призначені для переміщення навалочних та штучних вантажів безперервним потоком заданою трасою без зупинок.

Класифікуються такі пристрої за різними ознаками (рисунок 1.1) [12].

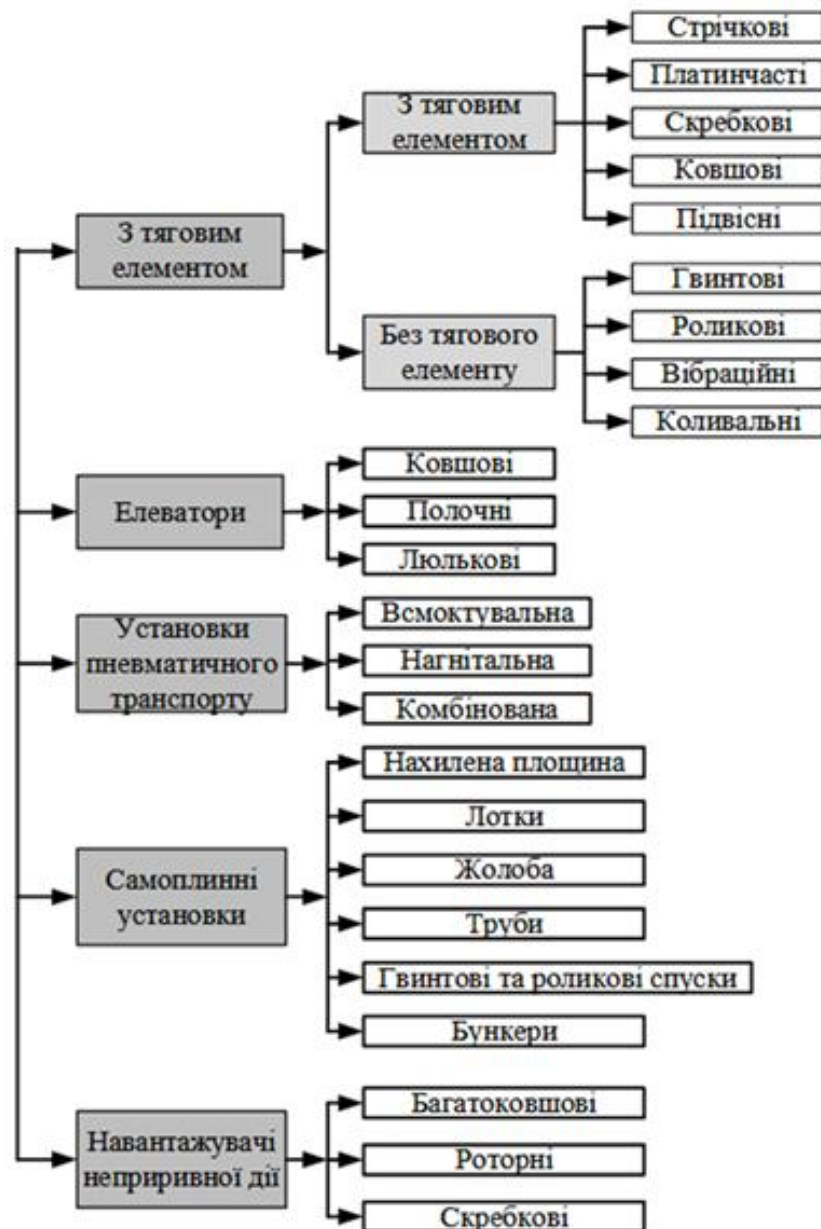


Рисунок 1.1 – Класифікація транспортних машин безперервної дії

Вантажопідйомні машини (ВПМ) призначені для вертикального підйому вантажів з можливістю невеликих горизонтальних переміщень. До цих машин відносяться: підйомники, штабелери, лебідки, талі, крани різних конструкцій, авто- і електронавантажувачі (виллові, ківшеві, крюкові).

Транспортує встаткування підрозділяється на дві системи:

- механічне транспортує встаткування із гнучким тяговим органом, у якості якого можуть бути використані: стрічка, ланцюг або канат;
- транспортує установки й пристрої без гнучкого тягового органу (гвинтові, інерційні, роликові та ін. транспортери).

У машинах безперервної дії характерним є можливість переміщення сипучих

вантажів суцільним потоком або штучних вантажів з деяким інтервалом за часом через відстань між ними.

Серед транспортуючих машин особливе місце займають спеціальні машини для елеваторно-складського господарства - елеватори й конвеєри [8].

По виду вантажонесучого елемента елеватори підрозділяють на ківшеві, коліскові й поличкові, по виду тягового елемента - на стрічкові й ланцюгові. Ківшеві елеватори призначені для переміщення сипучих і кускових вантажів; коліскові й поличкові - для штучних вантажів.

Ківшеві конвеєри поділяють на елеватори (норії), що переміщують матеріал у вертикальному чи круто похилому напрямку, і конвеєри, що переміщують матеріал по просторовій або кільцевій трасі. Переважне застосування мають елеватори, що являються по суті підйомниками, для переміщення матеріалу у ківшах безупинним потоком.

Основна відмінність конвеєрів від вантажопідйомних машин полягає в способі переміщення вантажів. Машини переміщають вантаж тільки в один бік, назад вертаючись порожніми, що істотно знижує їх номінальний ККД, конвеєри переміщають вантажі безупинно, відповідно підвищується ККД і скорочується загальний час транспортування.

Питання транспортування зернових культур виникають ще на етапі їх зберігання в елеваторах. Кожне зерносховище повинне забезпечувати проведення наступних операцій із зерном: прийом, обробка (очищення й сушіння), зберігання, внутрішні переміщення, відпускання.

Ківшеві елеватори для вертикального переміщення зерна й продуктів його переробки, комбікормів мають деякі відмінності від елеваторів загального призначення (по швидкості стрічки, діапазону продуктивності та ін.) і одержали назву норій.

Норії (елеватор ківшевий) є невід'ємною частиною багатьох промислових та сільськогосподарських підприємств. Застосовуються на зернообробних складах, маслозаводах для вертикального транспортування зерна і комбікормів без тари, в портах для навантаження на судна сипучої сировини [8,19,20].

Норії поділяються на кілька видів — похильні, поличні, люлькові, але для

переміщення зерна використовують ківшеві норії, тож надалі говоритимемо тільки про них. Ківшева норія, по суті — той самий конвеєр, у якому на відміну від звичайного стрічка, рідше — ланцюг, рухається у вертикальному напрямі. На тяговий орган кріпляться ковші, у яких і відбувається транспортування зерна.

У ківшевій норії конвеєр зазвичай розміщено в металевому прямокутному коробі, який, по-перше, захищає елементи механізму і зерно від атмосферних опадів, а, по-друге, запобігає розповсюдженню зернового пилу. Для додаткового захисту навколишнього середовища від запилення норії можуть обладнуватися окремими аспіраційними системами.

За показниками швидкості руху ковшів норії класифікуються на тихохідні — до 1 м/сек, та швидкохідні — до 4 м/сек. У тихохідному обладнанні розвантаження ковшів зазвичай гравітаційне, у швидкохідному — відцентрове. Перші переважно використовують для переміщення сухого зерна й подрібнених продуктів, другі — для вологого та засміченого зерна.

1.2.2 Конструкція і основні вузли ківшевої норії типу НКЗ-50

Норія складається з кількох основних конструктивних елементів, і кожний із них впливає на її продуктивність. Умовами нормальної роботи такого обладнання є правильний вибір потужності приводу, розмірів барабана й зірочок, форми та розміру верхньої й нижньої частин конвеєра — «башмака» й «головки», форми та розмірів ковшів. Тяговий орган норії — стрічка або ланцюг — огинає приводний і натяжний барабани або зірочки. Додатково в комплекті норії можуть пропонуватися датчики, що контролюють роботу і технічний стан елементів конструкції.

Нижня частина норії — «башмак» являє собою збірну конструкцію з металевих листів і профільованих металевих виробів, з'єднаних різьбовими кріпильними деталями. Цей вузол слугує для забезпечення завантаження зерна до основного робочого органа — ковша та натяжки тягового органа стрічки чи ланцюга. Крім цього, він є важливим опорним елементом усієї конструкції норії. Вивантажується зерно через патрубок у горизонтальному напрямку у верхній

частині конвеєра — «головці». Максимальна висота підймання зерна на норії зазвичай не перевищує 60 м.

Норія відцентрова ківшева являє собою стаціонарний транспортуючий пристрій безперервної дії, з тяговим органом - стрічкою або ланцюгом і робочим органом – ківшами.

Стрічкова норія для зерна може мати саму різноманітну висоту, яка підбирається залежно від потреб конкретного виробництва. Як правило, висота більшості моделей варіюється в межах від 3 до 23 м. Максимальна висота підймання зерна на норії зазвичай не перевищує 60 м.

В якості об'єкту модернізації розглядається система керування електропривода норії серії НКЗ-50 продуктивністю (по зерну) 50 т/год.

Норія являє собою машину безперервного транспорту із гнучким тяговим органом у вигляді ремня (стрічки) із ковшами, що несуть вантаж.

Норії це механізм, що дозволяє захоплювати сипучу сировину, переміщуючи її вгору, на стрічку транспортера або в інший механічний пристрій. Конструкція складається із закритої вежі та встановленої пари тягових барабанів, оточених закільцьованою стрічкою, на якій закріплені робочі елементи (ківші).

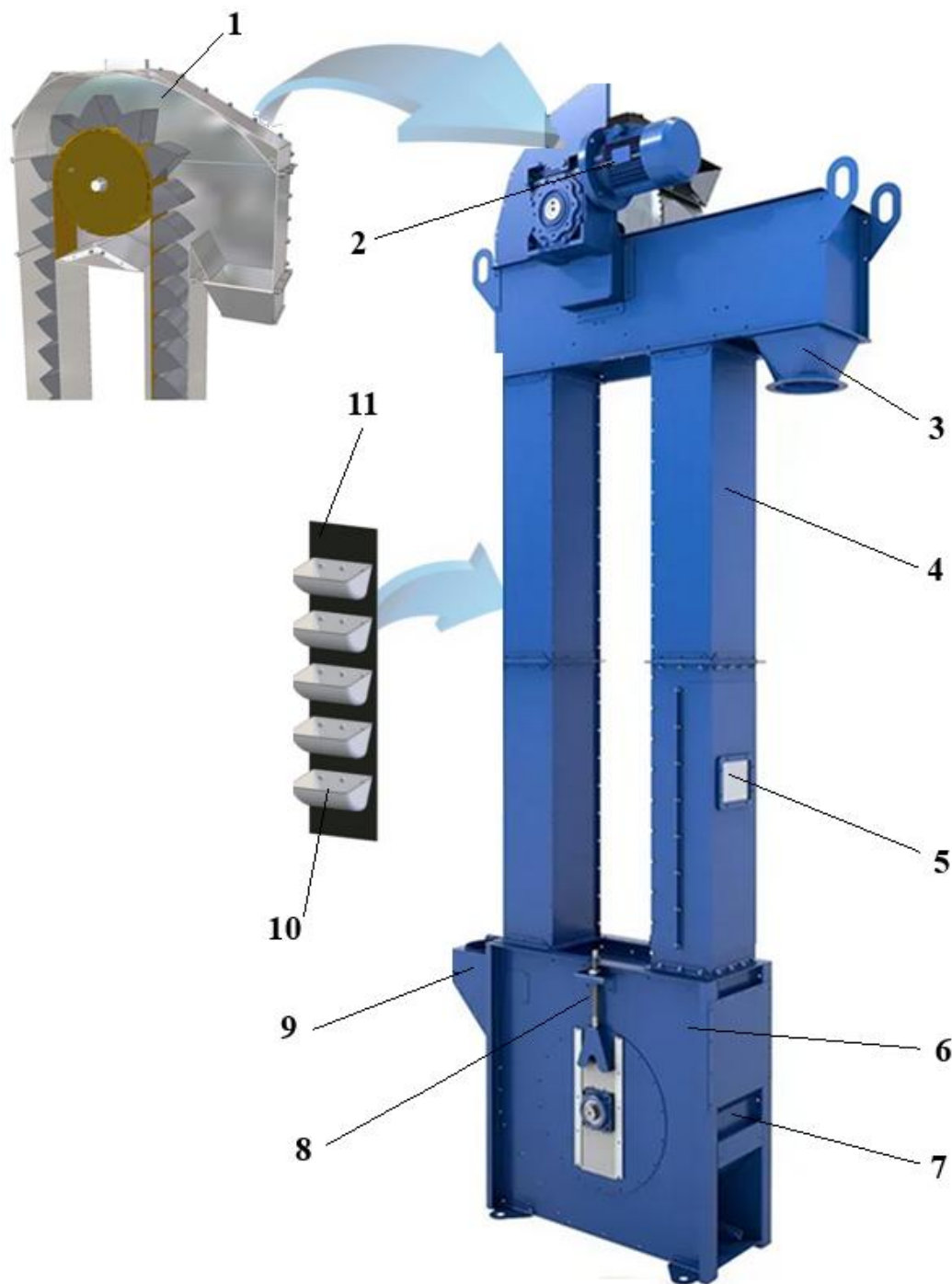
Сировина, розташована знизу елеватора, підхоплюється лопатками і переміщається вгору стрічкою. Досягаючи верхньої точки, під дією інерції, перекидаються, висипаючи вміст, і рухаються вниз у перевернутому положенні.

Загальний вид і основні складові частини стрічкової ківшевої норії НКЗ-50 представлені на рисунку 1.2 [11].

Основа являє собою зварну конструкцію із закріпленням на ній приводним барабаном та привода. Основа має приєднувальні фланці для норійних труб і отвір для виводу зерна після розвантаження ківшів. Для запобігання зворотного висипу зерна в основу встановлений регульований шибер.

Усередині башмака, на вертикальних штоках, установлений барабан, що забезпечує натяжку стрічки.

Для з'єднання башмака з норійними трубами у верхній частині корпусу передбачені отвори. Норійні труби (секції) призначені для з'єднання головки й башмака норії з метою огороження стрічки з ківшами.



1 - верхня голівка ківшевого елеватора ; 2 - мотор-редуктор; 3 - патрубок вивантаження; 4 - шахта норії; 5 - люк обслуговування ; 6 - нижній башмак ківшевого елеватора; 7 - люк для очищення; 8 - натяжна шпилька; 9 - патрубок завантаження; 10 - ковші норії; 11 - стрічка норії

Рисунок 1.2 - Загальний вид і основні складові частини стрічкової ківшевої норії НКЗ-50

Норійна стрічка обгинає приводний і натяжний барабани норії. Вільні кінці стрічки з'єднуються за допомогою кутків.

На маслостійкій стрічці, з певним кроком, установлюються ковші.

У башмаку проводиться натяг стрічки за допомогою 2-х натяжних гвинтів, роздільних для кожного кінця валу натяжного барабана. Така конструкція дає можливість точно регулювати розташування натяжного барабана й виключити схід стрічки в процесі роботи. Також розташовано дві заслінки, що дозволяють легко виконати зачищення при зміні культури або при завалі.

При установці норії, у нижню її частину, в обов'язковому порядку, установлюється датчик швидкості. У випадку забивання норії або влучення усередину норії сторонніх предметів, що заважають її правильній роботі, відбудеться призупинка норії, датчик дасть команду в електричний щит, який відразу відключить живлення від електродвигуна норії й сповістить про це на пульті керування загорянням червоної лампочки «Перешкода в норії».

Стандартна довжина секції норії 2м і 1м, підмоторна й оглядові секції 1,25м, а висота більшості моделей варіюється в межах від 3 до 23 м.

Висота норії міряється від вікна завантаження до вікна вивантаження, тобто фактично висота норії, це є висота підйому зерна, а габаритний розмір норії на 1,5 метра перевищує висоту підйому зерна.

Принцип роботи норії.

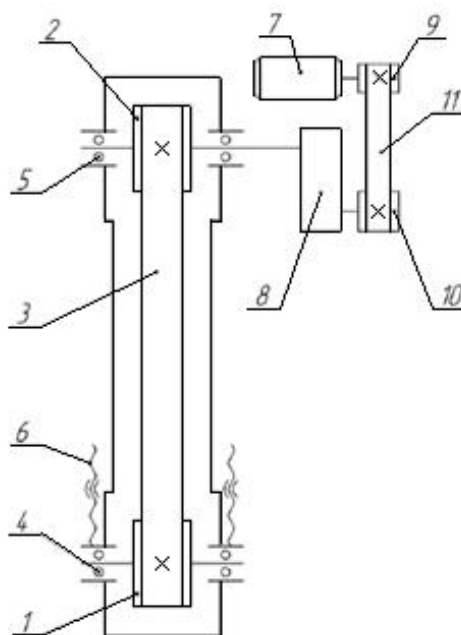
Принцип роботи норії ковшової полягає в наступному: за рахунок безупинного руху ковшів, закріплених на стрічковому (або ланцюговому) конвеєрі проводиться підйом матеріалу. При включенні привода стрічка норії починає рухатися, поступово набираючи швидкість, починається обертання приводного барабана, який приводить у рух норійну стрічку з ківшами.

Коли потрібна швидкість досягнута, відкривається завантажувальний патрубок, через який починається подача зерна [1,8].

Потрібний вантаж підхоплюється ковшами в нижньому секторі конвеєрної стрічки, рухається вертикально й розвантажується у верхньому секторі через патрубок. Далі вниз рухаються перекинуті ковші. Висота підйому за технологією не перевищує 60 метрів.

Відцентровий спосіб розвантаження дає необхідну потужність, зменшуючи навантаження на мотор привода.

Кінематична схема норії та схема розташування підшипникових вузлів показана на рисунку 1.3 [11].



1 – барабан натяжний; 2 – барабан приводний; 3 – стрічка; 4, 5 – підшипниковий вузол; 6 – механізм натягу стрічки; 7 – електродвигун; 8 – редуктор; 9, 10 – шків; 11 – ремінь клиновий

Рисунок 1.3 - Кінематична схема норії

Технічні характеристики норії ківшевої типу НКЗ-50 наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики норії ківшевої типу НКЗ-20 [11]

Параметр	Значення
Марка норії	НКЗ-50
Вид продукту	різний продукт з питомою вагою від 0,2 - 2 тон метр кубічний
Продуктивність (по зерну), т/год	50
Висота від "0" до центру барабана, мм	1000
Швидкість стрічки, м/с	2,2-2,4
Частота обертання приводного барабана, об/хв.	70
Привод	Мотор-редуктор
Потужність, кВт	4

1.3 Електричне обладнання норії

Електрообладнання норії складається з електродвигунів, пускорегулювальної та захисної апаратури, кінцевих вимикачів, освітлювальної та сигнальної апаратури, кабелів і проводів [11].

Живлення електрообладнання здійснюється від 3 -х фазної мережі змінного струму напругою 380 В.

Керування норією здійснюється від пульта керування оператора.

Система автоматичного керування електропривода норії забезпечує:

- роздільне включення верхньої й нижньої приводних станцій;
- подачу автоматичного попереджувального сигналу перед пуском;
- підвищений пусковий момент;
- обмеження часу втримання зусилля при неуспішному запуску (6 - 8 секунд) для запобігання перегріву електроприводів;
- автоматичне відключення норії при обриві тягового органу;
- автоматичний захист приводів і тягового органу норії від динамічних перевантажень при заклинюванні ланцюга.

Для рівномірної роботи обладнання необхідне збалансоване подання зерна з норії. На контролер надходить сигнал керування відділення очищення, величина сигналу залежить від продуктивності відділення. Контролер аналізує сигнал і дає команду системі керування для зміни обертів мотор-редуктора.

Для забезпечення безпеки роботи норії передбачені такі види захисту:

- перевантаження черевика норії контролюється за допомогою датчиків підпору. Може бути два типи датчиків - ємнісний та мембранний. Ємнісний датчик працює як конденсатор і за наявності зерна змінюється ємність. Мембранний датчик являє собою мембрану зі штоком та мікровимикач. Зерно тисне на мембрану і її шток замикає ланцюг за допомогою мікровимикача. Сигнал від ємнісного або мембранного датчика надходить на контролер, який дає команду на вивантажувальний транспортер приймального бункера і зупиняє завантаження норії;
- схід або обрив стрічки контролює індуктивний датчик швидкості. Сигнал

контакторних апаратів, здебільшого розрахованих на низьку напругу, і для підвищення безпеки експлуатації застосовуються схеми з живленням ланцюгів керування від джерела зниженої напруги.

Керування асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором здійснюється за допомогою магнітного пускача. Під керуванням у цьому випадку маються на увазі операції пуску й останову електродвигуна, а отже, і конвеєра, а також відключення електродвигуна від мережі при порушенні нормального режиму роботи. Пуск електродвигуна проводиться кнопкою SB1.2, останов - кнопкою SB1.1.

Якщо рубильник QF включений, то для пуску електродвигуна необхідно натиснути на кнопку SB1.2 («пуск»). При цьому котушка контактора K1M одержить живлення, замкнуться головні контакти КМ у силовому ланцюзі й статор двигуна приєднається до мережі. Електродвигун почне обертатися. Одночасно в ланцюзі керування закриється замикаючий допоміжний контакт КМА, який шунтує кнопку SB1.2 («пуск»), після чого цю кнопку не потрібно втримувати в натиснутому стані, тому що ланцюг котушки контактора K1M залишається замкненим. Кнопка S2 із самоповерненням і за рахунок дії пружини вертається у вихідний розімкнутий стан. Для відключення електродвигуна від мережі натискається кнопка SB1.1 («стоп»). Котушка контактора K1M знеструмлюється й замикаючі контакти КМ відключають обмотки статора від мережі. Одночасно розмикається допоміжний контакт КМА. Схема приходить у вихідний, нормальний стан. Обертання електродвигуна припиняється.

Схема передбачає захист двигуна й ланцюга керування від коротких замикань плавкими запобіжниками Пр, захист від перевантаження двигуна двома електротепловими реле КК. Пружинний привод контактів магнітного пускача K1M на розмикання реалізує так званий нульовий захист, який при зникненні або значному зниженні напруги відключає двигун від мережі. Після відновлення нормальної напруги мимовільного пуску двигуна не відбудеться.

1.4 Висновки до розділу 1:

- наведений огляд літератури та розробок за темою;
- розглянуті сфери використання та класифікація транспортуючих машин.
- наведена класифікація, конструктивна схема і основні вузли ківшевих норій.
- обґрунтований вибір об'єкту дослідження із зазначенням технічних параметрів;
- наведені дані про електричне обладнання норії.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження

У процесі створення нової техніки, у випадку неповноти або недостатньої достовірності та неоперативності одержання інформації, практично неможливо скласти уявлення про кращі світові та вітчизняні зразки, що спричиняє технічне відставання ще на стадії проектування [3,9].

Характерною ознакою сучасної науки є зростання ролі методології при вирішенні проблем росту і розвитку спеціалізованого знання.

Метод (від грецької *metodos*) у широкому розумінні слова - "шлях до чогось", шлях дослідження, шлях пізнання, теорія, вчення, свідомий спосіб досягнення певного результату, здійснення певної діяльності, вирішення певних задач.

Метод - це інструмент для вирішення головного завдання науки — відкриття об'єктивних законів дійсності. Метод визначає не- обхідність і місце застосування індукції й дедукції, аналізу і синтезу, абстракції, формалізації, моделювання, порівняння теоретичних та експериментальних досліджень.

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.

Методи досліджень бувають: загальні, що діють у всіх галузях науки і на всіх етапах дослідження; загальнонаукові, тобто придатні для всіх наук; часткові – для певних наук; спеціальні – для однієї специфічної науки. Такий поділ методів завжди умовний, оскільки в міру розвитку пізнання науковий метод може переходити з однієї категорії в іншу.

Методика — це фіксована сукупність прийомів практичної діяльності, що призводить до заздалегідь визначеного результату.

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

Залежно від мети, завдання досліджень і необхідних результатів, методи наукового пізнання умовно поділяють на декілька рівнів: емпіричний, експериментально-теоретичний, теоретичний і метатеоретичний.

Методи емпіричного рівня: спостереження, порівняння, рахунок, вимірювання, тести, метод проб і помилок та ін. Методи цієї групи конкретно пов'язані з явищами, що вивчаються, і використовуються на етапі формування наукової гіпотези.

Методи експериментально-теоретичного рівня: експеримент, аналіз і синтез, індукція і дедукція, моделювання, гіпотетичний, історичний та логічний методи. Вони допомагають досліднику виявити ті чи інші достовірні факти та об'єктивні прояви під час дослідження процесів.

Методи теоретичного рівня: абстрагування, ідеалізація, формалізація, аналіз і синтез, індукція і дедукція, аксіоматика, узагальнення та ін. На теоретичному рівні проводяться логічні дослідження зібраних фактів, розробка понять, суджень та виконання умовиводів. У процесі цієї роботи співвідносяться попередні наукові уявлення з новими, що виникають.

У процесі розвитку технічних наук наукові дослідження виконуються на двох рівнях: емпіричному та теоретичному.

На емпіричному рівні пізнавальною функцією є описова характеристика явищ, а результатом – наукові факти, певна сумативність знань, сукупність емпіричних узагальнень, встановлення закономірних зв'язків між окремими явищами, тобто домінує чуттєво-сенситивний компонент у пізнанні.

На теоретичному рівні досліджень головним завданням є розкриття суттєвих причин та зв'язків між явищами, а пізнавальною функцією – пояснення явищ у формі законів, теорій, теоретичних систем та системних законів. На цьому рівні домінує раціональне пізнання.

Процес пізнання включає в себе накопичення фактів. У науці недостатньо встановити новий науковий факт, досить важливо дати йому пояснення з позицій науки .

Формою здійснення розвитку науки є наукове дослідження [9].

Класифікація наукових досліджень сприяє розкриттю взаємозв'язків між ними на основі принципів та відображенню наукових досліджень у вигляді логічного розташування (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 - Класифікація наукових досліджень за різними ознаками

За методами дослідження		
Теоретичні дослідження	Теоретико- експериментальні дослідження	Експериментальні дослідження
За сферою використання результатів		
Фундаментальні дослідження	Прикладні дослідження	
За джерелами фінансування		
Держбюджетні дослідження	Госпдоговірні дослідження	Дослідження, які не фінансуються
За тривалістю проведення		
Довгострокові дослідження	Короткострокові дослідження	Експрес-дослідження
За стадіями проведення		
Пошукові дослідження	Науково-дослідні розробки	Науково-виробничі розробки
За місцем проведення		
Промислові дослідження	Лабораторні дослідження	Дослідження в природних умовах
За складом якостей об'єкта		
Комплексні дослідження	Диференційовані дослідження	

В таблиці 2.2 наведені дані про методи досліджень теоретичного рівня.

Таблиця 2.2 - Методи теоретичних досліджень

Методи	Характеристика
Абстрагування	Уявне відвернення від неістотних, другорядних ознак явища або об'єкта, зв'язків і відношень між ними та виокремлення кількох сторін, які цікавлять дослідника
Аналіз	Метод пізнання, який дає змогу гіпотетично поділити явище або об'єкт на окремі складові частини та досліджувати їх відокремлено одна від одної
Синтез	Метод, який є результатом об'єднання окремих складових частин явища або об'єкта в єдине ціле, досліджуючи загальні ознаки і властивості
Моделювання	Опосередкований метод дослідження явища або об'єкта, який ґрунтується на застосуванні моделі як засобу дослідження, коли вивчити явище або об'єкт не можливо
Аксіоматичний метод	Метод побудови наукової теорії, за яким деякі твердження приймаються без доведень, а всі інші знання виводяться з них відповідно до певних логічних правил
Ідеалізація	Гіпотетичне конструювання явища або об'єкта, яких немає в дійсності або які за суб'єктивних причин практично нездійсненні
Формалізація	Метод вивчення явища або об'єкта через відображення їх структури в знаковій формі за допомогою штучних мов, наприклад, математики, фізики, хімії тощо
Дедукція	Умовивід, у якому висновок про той чи той елемент множини робиться на підставі знання про загальні властивості усієї множини
Індукція	Умовивід від часткового до загального, від окремих фактів до узагальнень, коли на основі знань про частини предметів певного класу робиться висновок про клас загалом

Теоретичне дослідження завершується розробленням теорії, що не обов'язково пов'язана із побудовою її математичного апарату [3,27].

Теоретичні дослідження передбачають такі етапи виконання:

- аналіз фізичної суті процесів, явищ;
- формулювання гіпотези дослідження;
- побудова (розробка) фізичної моделі;
- проведення математичного дослідження;

- аналіз теоретичних рішень;
- формулювання висновків.

Якщо не вдається виконати математичне дослідження, то формулюється математичне дослідження в словесній формі з використанням графіків, таблиць та ін. У технічних науках необхідно прагнути до застосування математичної формалізації висунутих гіпотез і висновків.

На емпіричному рівні використовується широкий спектр методів наукового дослідження (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 - Методи емпіричних досліджень

Методи	Характеристика
Вимірювання	Визначення кількісних характеристик явища або об'єкта за допомогою спеціальних технічних пристроїв та одиниць виміру
Порівняння	Процес зіставлення явища або об'єкта з метою з'ясування подібності та відмінності між ними, а також знаходження загального, що може бути властивим двом чи кільком явищам або об'єктам дослідження
Спостереження	Системне, цілеспрямоване, спеціально організоване візуальне сприймання явища або об'єкта, опосередковане раціональним знанням
Експеримент	Метод вивчення явища або об'єкта, коли дослідник активно та цілеспрямовано впливає на нього для створення штучних чи використання природних умов, необхідних для виявлення його ознак і властивостей

Експеримент проводиться в межах емпіричного дослідження і застосовується для перевірки правильності гіпотези, встановлення причинних зв'язків між явищем або об'єктом. Натомість на теоретичному рівні використовується пізнавальна діяльність, в якій структура реального експерименту відтворюється в уяві, тобто розумовий експеримент.

2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження

Структурно-логічні схеми – це спосіб наочного представлення інформації в структурованому, систематизованому вигляді [3].

Схематичне представлення того чи того процесу пов'язано із необхідністю визначення його елементів, виду зв'язків між ними, установлення послідовності розгортання динамічних зв'язків між елементами процесу, з'ясування прямих та зворотних зв'язків між компонентами досліджуваного процесу.

Весь процес наукового дослідження, у т. ч. й підготовку магістерської роботи як самостійної науково-дослідницької кваліфікаційної роботи, можна поділити на етапи:

1. Обґрунтування наукової проблеми, формулювання теми дослідження.
2. Постановка мети і конкретних завдань дослідження.
3. Визначення об'єкта і предмета дослідження.
4. Накопичення необхідної наукової інформації, пошук літературних та інших джерел відповідно до теми і завдань дослідження, їх вивчення й аналіз.
5. Відпрацювання гіпотез і теоретичних передумов дослідження.
6. Вибір системи методів проведення дослідження.
7. Обробка, аналіз, опис процесу та результатів дослідження, що проводилося згідно з розробленою програмою і методикою.
8. Обговорення результатів дослідження.
9. Формулювання висновків та оцінка одержаних результатів, їх публічний захист.

Алгоритм магістерського дослідження представлений структурно-логічною схемою у вигляді табличної інформаційної моделі (таблиця 2.4). Схема складена на підставі головних завдань магістерського дослідження.

Таблиця 2.4 – Структурно-логічна схема магістерського дослідження

Обрання теми дослідження: Модернізація автоматизованого електропривода зернової норії	
Складання індивідуального календарного плану роботи	
Аналіз останніх досліджень та публікацій. Пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини	Опис об'єкту дослідження. Норія зернова НКЗ-50
	Загальні відомості, класифікація транспортуючих машин
	Конструкція і основні вузли ківшевої норії типу НКЗ-50
	Аналіз способів та систем керування електродвигунами норій
	Аналіз систем керування електроприводів перемінного струму та вибір комплектного електропривода.
	Розробка функціональної схеми системи керування
Опис процесу дослідження	Моделювання перехідних процесів та аналіз результатів
	Математичне моделювання
Узагальнення результатів моделювання	Інтерпретація отриманих результатів дослідження
	Формулювання висновків
Узагальнення науково-теоретичних результатів	
Розробка заходів з охорони праці	
Реалізація отриманих результатів у навчальний процес	

Спочатку вибирається тема дослідження та обґрунтовується її актуальність, далі виконується вибір літератури за темою. Підготовка теоретичної частини роботи містить функціональний опис робототехнічної системи. Потім на основі аналізу двомірної математичної моделі руху руки робота-маніпулятора проводиться складання і дослідження математичної моделі.

Моделювання процесів у електроприводі проводиться шляхом синтезу нелінійних систем САК за допомогою побудови алгоритмів керування з умови здійснення бажаних траєкторій руху.

Згідно зі структурно-логічною схемою за допомогою програми Simulink досліджуються перехідні характеристики системи при зміні задаючих параметрів.

На підставі виконаних розрахунків та отриманих характеристик проводиться узагальнення отриманих теоретичних результатів.

На заключному етапі роботи проводиться розробка заходів охорони праці, впровадження результатів магістерського дослідження у навчальний процес.

2.3 Вибір методу вирішення поставленої задачі

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

Моделювання - це метод наукового пізнання, який ґрунтується на дослідженні об'єкта (оригіналу) шляхом використання його копії (моделі), котра пізнається з певних, визначених дослідником сторін.

Сутність цього методу полягає у відтворенні властивостей об'єкта дослідження на спеціально створеному аналогові - моделі. Під *моделлю* (від лат. *modulus* – міра, норма, такт) розуміють умовні зображення, що замінюють об'єкт пізнання і є джерелом інформації стосовно нього, спосіб виразу властивостей, зв'язків і явищ реальної дійсності на основі аналогії. Отже, модель є аналог об'єкта-оригіналу, котрий у процесі пізнання і на практиці слугує для одержання та розширення знання (інформації) про оригінал з метою його конструювання, перетворення або управління ним.

Метод математичного моделювання заснований на здатності математично описувати рівняннями різноманітні за природою явища (процеси) і виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи [9].

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.

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.

На сучасному етапі в науці та практиці широко застосовується комп'ютерне моделювання, яке здійснюється на основі відповідної комп'ютерної моделі.

В цій роботі проводиться дослідження системи керування автоматизованого електропривода норії. Тому для моделювання перехідних процесів використовується комп'ютерна модель.

Комп'ютерна модель (або чисельна) [5] – комп'ютерна програма, яка реалізує абстрактну модель деякої системи.

Для підтримки математичного моделювання розроблені системи комп'ютерної математики, наприклад, Maple, Mathematica, Mathcad, MATLAB, VisSim та інші. В даній роботі використовується програма Simulink пакету MATLAB.

За допомогою програми Simulink досліджуються перехідні характеристики системи при зміні задаючих параметрів.

Метод моделювання сьогодні має особливе значення, чому значною мірою сприяє зростання продуктивності комп'ютерної техніки. Саме тому в цьому магістерському дослідженні як основа використаний метод моделювання.

2.4 Висновки до 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 електроприводі зернової норії.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Аналіз існуючих видів електродвигунів

В даний час широко поширені високомоментні двигуни постійного струму із збудженням від постійних магнітів.

Їх достоїнства, що полягають у гарних регульовальних властивостях, помірних габаритних розмірах, високій швидкодії, невисокій складності живильного перетворювача, забезпечили їхнє широке застосування.

Основним недоліком високомоментних двигунів є наявність тертьового струмоз'ємного щітково-колекторного вузла, що знижує надійність машини. Зміна механічних і електричних властивостей щіткового контакту в процесі експлуатації, і як наслідок порушення процесу комутації. Крім того, за рахунок проникнення часток зносу щіткового контакту між витками зменшується опір ізоляції. Усе це приводить до зниження надійності і працездатності.

Безколекторні двигуни вимагають мінімального обслуговування, що дозволяє установлювати їх на механізми, які працюють у гнучких виробничих системах. Використання цих двигунів у безкорпусному варіанті із шихтованою станиною і "охолюваним" ротором дозволяє знизити їхні габаритні розміри і зменшити передачу тепла від електродвигуна на устаткування.

Електродвигуни перемінного струму простіші у виготовленні і надійніші в експлуатації, чим двигуни постійного струму (ДПС). При раціональній конструкції обертового ротора (малий діаметр і велика довжина) і зниженні його шорсткості шляхом заливання епоксидними смолами (з наступною обробкою) вдається одержати високий ККД двигуна – до 80%.

Результати досліджень показують, що близько 70 % всієї виробленої електроенергії перетворюється знову в механічну, а решта – в теплову, світлову енергію тощо. Лише в галузі автомобілебудування домінують двигуни внутрішнього згорання, а в усіх інших галузях промисловості обладнання

приводиться в рух електродвигунами, насамперед – асинхронними. Серед усіх інших видів електротехнічних виробів, цей вид електричних машин є найбільш затребуваним в електроприводі.

Параметри двигунів перемінного струму залежать від номінальної частоти живильної напруги. Так, з підвищенням частоти погіршуються електричні показники і ККД, але зате в значній мірі зменшуються їх масогабаритні показники.

Асинхронні двигуни мають надзвичайно широке використання в самих різних машинах та механізмах. Дослідження показують, що найбільш вживані сфери використання цих двигунів представлені вентиляторами (31 %), насосами (19 %), конвеєрами та транспортерами (17 %).

Двигуни перемінного струму, а особливо асинхронні з короткозамкнутим ротором, давно стали популярними завдяки простоті у виготовленні й обслуговуванні, надійності і працездатності. Але в регульованих електроприводах вони уступали машинам постійного струму через складність системи керування. В даний час, завдяки використанню нових схем і спеціальних імпульсних силових напівпровідникових приладів забезпечується зниження вартості і втрат електроенергії (особливо при застосуванні силових приладів). Таким чином, асинхронні машини усе більше витісняють ДПС у регульованих електроприводах.

3.2 Основні вимоги до електроприводів та вибір типу електродвигуна

До промислового електропривода пред'являються наступні вимоги [14]:

- висока експлуатаційна надійність, мінімальне технічне обслуговування при мінімумі персоналу, зайнятого ремонтом і налагодженням устаткування;
- можливість оперативного переналагодження (у тому числі автоматизованого) електроустаткування,
- забезпечення автоматизованого контролю функціонування устаткування за рахунок використання систем діагностики, індикації і захисту.

При розробці й створенні електропривода повинні зважуватися питання стандартизації й уніфікації конструкторських елементів, вхідних і вихідних параметрів електроавтоматики, вимірювальних пристроїв і т.п.

Електропривод повинний працювати при живленні від трифазної промислової мережі перемінного струму з лінійною напругою 380 В, частотою 50 Гц.

Складові частини електропривода, що розташовуються в окремих шафах (оболонках), повинні допускати вібрацію з частотою від 1 до 30 Гц, а встановлювані на агрегаті – вібрацію до 60 Гц. Ступінь захисту основних вузлів електропривода, а також шаф – не менш IP54.

При виборі привода необхідно також враховувати, що привод працює в безупинному режимі, а також можливість довгострокової роботи привода на знижених обертах.

У регульованих електроприводах використовуються асинхронні електродвигуни з короткозамкненим чи фазним ротором, синхронні і вентильні електродвигуни.

В роботі розглядається норія ківшева типу НКЗ-50, в якій застосований асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором серії 4А потужністю 5,5 кВт.

Електродвигун 5,5 кВт захищений від влучення пилу та водяних бризів на внутрішні робочі елементи. Однак умови його експлуатації вимагають відсутності в повітрі струмопровідних або агресивних елементів – це негативно позначається на довговічності виробу.

Загальна запиленість не повинна перевищувати 10 мг/м³. Максимальна висота розміщення – 1000 м над рівнем моря.

Враховуючи характеристику даного транспортного засобу по пожежовибухонебезпечності, для подальшого дослідження системи керування електропривода норії вибираємо більш сучасний електродвигун типу АИР112М4УЗ зі ступенем захисту IP55, основні технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.1 [2].

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики електродвигуна [2]

Параметр	Значення
Тип	АИР112М4УЗ

Потужність P_H , кВт	5,5
Синхронна частота обертання умовна (фактична) n , об./хв.	1500 (1440)
Число полюсів / Число пар полюсів p	4/2
Швидкість обертання валу n_ϕ , об./хв.	1440
ККД, %	87
Коефіцієнт потужності, $\cos\phi$	0,857
Ковзання S_H , %	4,7
Струм I_H , А (при $U = 380$ кВт)	11,7
Кратність пускового струму I_n / I_H	7,5
Кратність максимального моменту $M_{\max} / M_H$	2,3
Кратність пускового моменту M_n / M_H	2,3
Момент інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,0236
Маса, кг	30
Крутний момент номіальний $M_{\text{кр.н}}$, Н·м	36,73

3.3 Аналіз існуючих систем керування двигунами перемінного струму

Вимоги до електропривода норії. Вибір конкретної системи електропривода визначається, зокрема, необхідністю регулювання продуктивності норії (вертикального конвеєра).

Продуктивність норії можна регулювати кількома способами:

- шляхом зміни швидкості приводу двигуна (електричний режим);
- за рахунок спеціального обладнання самим механізмом (напрямні лопатки та ін.).

Щоб підвищити ефективність і надійність системи, пропонується відрегулювати продуктивність норії шляхом зміни швидкості електропривода двигуна.

При використанні методу електричного керування з використанням сучасної технології (перетворювач частоти) втрати потужності під час керування значно знижуються, оскільки ККД таких перетворювачів становить від 0,97 до 0,98%.

Загальні відомості про регулювання координат в системах електропривода.

Для забезпечення безперервного та якісного технологічного процесу необхідно контролювати різні величини (координати електропривода): момент M , потужність P , точність переміщення і т.п.

Для якісної оцінки вимог, що висуваються до ЕП, використовують загальні показники регулювання:

- діапазон регулювання – характеризується співвідношенням значень максимальної швидкості до мінімальної;
- статична похибка регулювання швидкості;
- плавність регулювання;
- стабільність роботи на заданій швидкості;
- напрямок регулювання – однозонне або двузонне;
- економічність регулювання. Визначається ККД двигуна з одного боку, та втратами на обладнання та експлуатацію з іншого боку.

Основними законами регулювання є:

- регулювання із постійною швидкістю ω ;
- регулювання із постійним моментом M ;
- регулювання із постійною потужністю P ;

На практиці застосовуються наступні способи керування швидкістю асинхронного двигуна (АД) [6] таблиця 3.2:

Таблиця 3.2 -Способи керування швидкістю асинхронного двигуна

Спосіб керування швидкістю АД	Характеристика методу
-------------------------------	-----------------------

Вмикання додаткового опору в ланцюг ротора (реостатне регулювання)	Переваги: просте і надійне обладнання; висока надійність керування. Недоліки: невисокий діапазон керування; низька економічність регулювання
Зміною напруги живлення за рахунок додаткових опорів статора, імпульсного рег. і т.п.	Переваги: висока плавність регулювання; простота методу. Недоліки: зменшена напруга живлення; зменшений максимальний момент; мала економічність регулювання.
Зміною кількості пар полюсів	Переваги: простота і надійність методу, високий ККД. Недоліки: низька плавність регулювання; погіршенні малогабаритні показники
Ввід додаткової ЕРС у коло ротора (каскадні схеми вмикання АД з інерційними моментами та перетворювачами)	Переваги: простота в синхронізації швидкостей АД; висока економічність регулювання. Недоліки: необхідність застосування АД з фазним ротором; низька універсальність методів
Регулювання зміною величини і частоти напруги статора	Переваги: найбільший діапазон та плавність регулювання; висока точність та ККД двигуна. Частотне регулювання АД здійснюється за допомогою мікропроцесорних систем керування на основі математичного опису загальної двухфазної асинхронної машини (АМ)

Використання частотних перетворювачів дає прекрасну можливість автоматизувати і оптимізувати технологічні процеси і вирішувати проблеми при запуску двигуна. Високі пускові струми від електродвигунів і ударні навантаження в регульованих механічних і гідравлічних пристроях виключені.

Перетворювач частоти надійно захищає двигун. Перетворювачі частоти прості у використанні і можуть поєднуватися з елементами керування, іншими елементами і пристроями автоматизації.

Отже, найбільш вигідним для застосування з економічної та технічної точки зору є система електричного привода типу ПЧ-АД [15]:

В останні два десятиріччя, регульовальний асинхронний електропривод зазнав такі істотні зміни у своєму розвитку, що повністю витиснув із багатьох

галузей синхронний привод і привод постійного струму. Це пов'язано передусім з досягненням в силовій електроніці і мікропроцесорній техніці, на основі яких були розроблені перетворювачі частоти, які забезпечують керування асинхронними короткозамкненими двигунами з енергетичними та динамічними показниками, сумірними або такими, що перевищують показники інших приводів.

В наш час частотне керування є для асинхронного привода свого роду технічним стандартом. В той же час практично вийшли із застосування і не використовуються такі способи управління та пристрої як симетричне і несиметричне керування напругою, керування введенням додаткових опорів у коло статора і ротора, керування змінною числа пар полюсів та ін.

В наш час розроблені порівняно недорогі системи регулювання частоти й моменту. Оптимальне рішення для регульованих приводів припускає установку перетворювачів частоти й асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором. Це недорогі двигуни, що мають малий момент інерції, високу ступінь захисту й незначні витрат на обслуговування.

Перетворювач частоти перетворює напругу мережі в напругу на електродвигуні зі змінною амплітудою й частотою. Двигун може працювати з будь-якою частотою обертання, навіть вище синхронної. Його перевантажувальна здатність і максимальний обертаючий момент при роботі з перетворювачем зберігаються. Система керування забезпечує обмін даними й регулювання. Кожний електродвигун має власний регулятор швидкості, щоб при виході з ладу одного інші продовжували працювати. Дійсне значення частоти обертання надходить від датчиків, які встановлюються на двигунах.

Найбільш поширені такі способи регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна:

- частотне регулювання;
- частотно-струмове;
- векторне керування.

При **частотному керуванні** замість безпосередньої подачі на двигун стандартної змінної напруги з мережі (одно або трифазної) напруга спочатку

проходить процес перетворення. При цьому міняються деякі її ключові параметри, зокрема:

- амплітуда напруги й струму;
- частота напруги й струму;
- кутова різниця між окремими фазами;
- вектор магнітного потоку усередині обмоток ротора й статора.

Процес такого перетворення здійснюється в особливому пристрої, який прийнято коротко називати частотним перетворювачем або перетворювачем частоти (ПЧ).

Принцип скалярного керування частотно-регульованого асинхронного електропривода базується на зміні частоти і поточних значень модулів змінних АД (напруг, магнітних потоків, потокозчеплення і струмів ланцюгів двигуна).

Розрізняють два основних способи частотного керування:

- частотне керування, при якому як керуючі впливи прийняті частоти f_1 і напруги U_1 статора;
- частотне керування, при якому як керуючі впливи прийняті частота f_1 і струм I_1 статора.

Принципова можливість регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна зміною частоти живильної напруги впливає з формули

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_1 (1 - s) / p .$$

При регулюванні частоти також виникає необхідність регулювання амплітуди джерела напруги, що впливає з виразу

$$U_1 \approx E_1 = k \cdot \Phi \cdot f_1 .$$

Якщо при незмінній напрузі змінювати частоту, то потік буде змінюватися зворотно пропорційно частоті. Так, при зменшенні частоти потік зросте і це приведе до насичення сталі ротора машини і як наслідок до різкого збільшення струму і перевищенню температури двигуна; при збільшенні частоти потік буде зменшуватися і як наслідок буде зменшуватися припустимий момент [4,15].

Для найкращого використання асинхронного двигуна при регулюванні кутової швидкості зміною частоти необхідно регулювати напругу, одночасно у функції частоти і навантаження, що реалізовано тільки в замкнених системах електропривода.

Частотне регулювання кутової швидкості електроприводів змінного струму з двигунами з короткозамкненим ротором знаходить все більше застосування в різних галузях техніки. Прикладом установки з частотно-регульованими асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором можуть служити транспортні рольганги в металургійній промисловості, деякі конвеєри та ін

Частотне регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів широко застосовується в індивідуальних установках, коли потрібне отримання досить високих кутових швидкостей (для приводу електрошпінделем в металорізальних верстатах з частотою обертання до 20 000 об/хв).

Економічні вигоди частотного регулювання особливо істотні для приводів, що працюють в повторно-короткочасному режимі, де має місце часта зміна напрямку обертання з інтенсивним гальмуванням.

Для здійснення частотного регулювання кутової швидкості знаходять застосування перетворювачі, на виході яких по необхідному співвідношенню або незалежно міняється як частота, так і амплітуда напруги.

Другий спосіб називається **частотно-струмовим** керуванням. Формування механічних характеристик асинхронних двигунів при частотному керуванні, як і при керуванні двигунами постійного струму, служить задачам забезпечення необхідної перевантажувальної здатності і жорсткості характеристик у всьому діапазоні регулювання швидкості.

Задана перевантажувальна здатність забезпечується шляхом виконання визначених співвідношень між частотою і напругою статора.

Жорсткість механічних характеристик може бути як завгодно високою при використанні зворотних зв'язків по швидкості. Варто підкреслити, що і без зворотних зв'язків по швидкості жорсткість механічних характеристик частотно-керованих електроприводів перемінного струму виявляється більш високою, ніж у приводів постійного струму. Ця обставина сприяє застосуванню простих систем

керування асинхронними електроприводами, не оснащеними датчиками швидкості і контурами регулювання швидкості.

Крім вимог формування механічних характеристик двигунів, до систем керування можуть пред'являтися також вимоги відносного керування по енергетичних витратах, наприклад забезпечення необхідних моменту і швидкості при мінімумі струму статора чи мінімумі втрат, забезпечення максимального моменту при заданому струмі статора.

Такі задачі керування вирішуються при використанні екстремальних систем керування .

Система векторного керування. Роздільне керування швидкістю й потокозчепленням асинхронного короткозамкненого електродвигуна можна ефективно робити, використовуючи принцип векторного керування. Координати електропривода, обмірювані в нерухомій системі координат, можуть бути перетворені до обертової системи координат, і з них можуть бути виділені постійні значення, пропорційні складовим векторам в обертовій системі координат. По цих координатах і виконується керування.

Вихідною інформацією для побудови системи векторного керування є інформація про миттєві значення й просторове положення вектору потокозчеплення в повітряному зазорі, миттєвих значеннях струмів або напруг 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 вектору потокозчеплення ротора.

Переваги векторного регулювання:

- точне відпрацьовування швидкості з компенсацією ковзання (навіть без зворотного зв'язку по швидкості);
- глибокий діапазон регулювання;
- в області малих частот двигун працює плавно й зберігає момент аж до нульової швидкості;
- швидка реакція на стрибки 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.

Недоліком системи векторного керування є складність керуючих і функціональних пристроїв при реалізації перетворення координат і фаз, виконання компенсаційних зв'язків при широкому діапазоні регулювання швидкості й навантаження електропривода.

Переваги систем із частотними перетворювачами (ПЧ):

- енергозбереження. Впровадження системи керування на базі ПЧ замість традиційних систем, реалізованих на релейно-контакторному устаткуванні, дозволяє знизити споживання електроенергії від 1,5 до 2 рази залежно від номінальної потужності електродвигунів. Поліпшення енергетичних показників електропривода;
- плавний запуск і зупинка електропривода конвеєра. Це забезпечує зменшення ударних навантажень (коливань пускового моменту) при запуску й зупинці, обмеження пускових струмів електродвигунів. Гальмування механізму відбувається електродвигуном. Гальма використовуються тільки для втримання механізму під час стоянки;
- надійність. Повний захист електродвигунів від перевантажень по струму перегріву, обриву фаз і втрати на землю. Збільшення строку використання електроустаткування й механічних частин електропривода (гальм, редукторів, валів і муфт). Зменшення витрат на технічне обслуговування й ремонт, як електричних так і механічних частин конвеєра.

Проаналізувавши наявні засоби і системи керування швидкістю обертання асинхронного електродвигуна, приходимо до висновку, що для керування електропривода гвинтового конвеєра доцільно використати принцип частотного регулювання із зворотнім зв'язком по швидкості [4,15].

На основі проведеного аналізу існуючих типів керування двигунів перемінного струму для керування електродвигуном конвеєра вибраний

тиристорний перетворювач типу Siemens MICROMASTER 440 з частотним керуванням.

3.4 Загальні технічні характеристики комплектного електропривода Siemens MICROMASTER 440

Частотний перетворювач Siemens Micromaster 440 служить для плавного регулювання швидкості асинхронного електродвигуна, що приводить до безступінчастого руху при підйомі, переміщенні, повороті й маятниковому застосуванні.

Переваги застосування перетворювачів частоти Siemens:

- висока точність регулювання асинхронним електродвигуном;
- економія електроенергії в разі змінного навантаження рівний максимальному пусковий момент;
- підвищений ресурс устаткування;
- кероване гальмування і автоматичний перезапуск при пропажі мережевої напруги;
- підхоплення обертового електродвигуна, стабілізація швидкості обертання при зміні навантаження;
- значне зниження акустичного шуму електродвигуна;
- додаткова економія електроенергії від оптимізації збудження електродвигуна;
- можливість заміни автоматичного вимикача.

Перетворювачі частоти серії MICROMASTER 440 [21] застосовуються для зміни і регулювання швидкості обертання низьковольтних двигунів змінного струму з навантаженням постійного або вентиляторного типу, для процесів з високою динамікою та підвищеними вимогами до стартового моменту і перевантаження.

На рисунку 3.1 представлена загальна схема частотного перетворювача Siemens Micromaster 440.

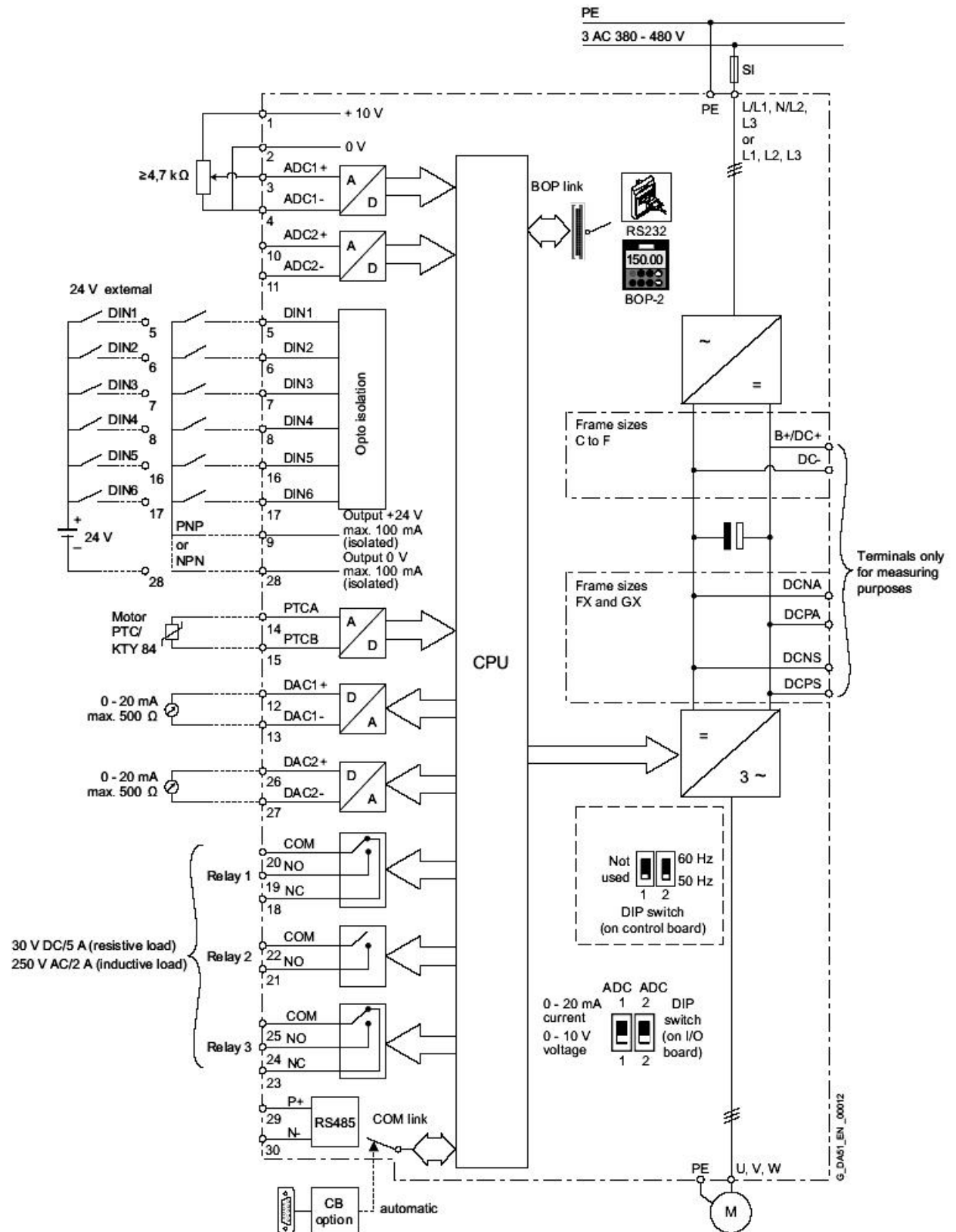


Рисунок 3.1 - Загальна схема частотного перетворювача Siemens Micromaster 440

Технічні дані перетворювача частоти MICROMASTER 440 наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні дані перетворювача частоти MICROMASTER 440

Параметр	Характеристика
Напруга мережі та діапазон потужності	1 AC 200-240 В $\pm$ 10 % 0,12- 3 кВт 3 AC 200- 240 В $\pm$ 10% 0,12- 45 кВт, 5,5- 45 кВт 3 AC 380-480 В $\pm$ 10 % 0,37- 200 кВт 7,5-250 кВт 3 AC 500-600 В $\pm$ 10 % 0,75- 75 кВт 1,5-90 кВт
Частота мережі	47 Гц ... 63 Гц
Вихідна частота	для потужностей 7,5-90 кВт - 0-650 Гц для потужностей 110-250 кВт 0-267 Гц
коефіцієнт потужності	>0.95
ККД перетворювача	96%-97% в залежності від потужності перетворювача
Перевантажувальна здатність	0,12-75кВт 1,5 х розрахунковий вихідний струм протягом 60 с (кожні 300 с.) 2 х розрахунковий вихідний струм на протягом 3 с, (кожні 300 с.) 90 - 200 кВт 1,36 х розрахунковий вихідний струм протягом 57 с (кожні 300 с.) 1,6 х розрахунковий вихідний струм протягом 3 с, (кожні 300 с.) -VT-(змінний момент) 5,5-90 кВт 1,4 х розрахунковий вихідний струм протягом 3 с (кожні 300 с.) 1,1 х розрахунковий вихідний струм протягом 60 с, (кожні 300 с.) 110 - 250кВт 1,5 х розрахунковий вихідний струм протягом 1 с (кожні 300 с.) 1,1 х розрахунковий вихідний струм протягом 59 с, (кожні 300 с.)
Пусковий струм	Не вище розрахункового вхідного струму
Керування	Векторне керування з/без датчика швидкості; керування моментом; лінійна залежність U/f; квадратична U/f залежність; програмована залежність U/f; пряме керування потоком (FCC)
Частота імпульсів	Для потужностей 7,5 - 90 кВт 4 кГц (Заводська установка). 2 кГц ... 16 кГц (ступенями по 2 кГц) для потужностей 110-250 кВт 2 кГц (Заводська установка)

Продовження таблиці 3.3

Параметр	Характеристика
Число фіксованих частот	15, які параметруються
Частоти діафрагмирования	4, які параметруються
Дискретність завдання	0,01 Hz цифрове з панелі оператора 0,01 Hz з комп'ютера 10 біт аналогове представлення
Цифрові входи	6 які параметруються, потенційно розв'язані; перемикаються PNP / NPN
Аналоговий вхід	2 які параметруються; • 0 - 10 В, 0 - 20 мА і -10. +10 В Вхід 1 (AIN1) • 0 - 10 В і 0 - 20 мА Вхід 2 (AIN2) • можуть використовуватися як 7 і 8 цифрові входи
Релейний вихід	3, які параметруються, DC 30 В / 5 А (омічного навантаження), AC 250 В / 2 А (індуктивне навантаження)
Допустима довжина кабелю до двигуна без вихідного дроселя	Для потужності 7,5 - 90 кВт max. 50 м (екран. кабель) max. 100 м (неекранований кабель) для потужності 110-250 кВт max. 100 м (екран. кабель) max. 150 м (неекранований кабель)
Електромагнітна сумісність	Опціонально ЕМС фільтр по EN 55011, фільтр класу В. Перетворювач з вбудованим фільтром класу А (від 7,5 кВт до 90 кВт), для перетворювачів 110 кВт ... 250 кВт як окрема опція.
Гальмування	Гальмування постійним струмом, комбіноване гальмування
Функції захисту по:	- зниженій напрузі - перенапрузі - перевантаженню - включенню на землю - короткому замиканню - блокуванню двигуна - перегріву двигуна - перегріву перетворювача

На рисунку 3.2 представлена принципова електрична схема електропривода.

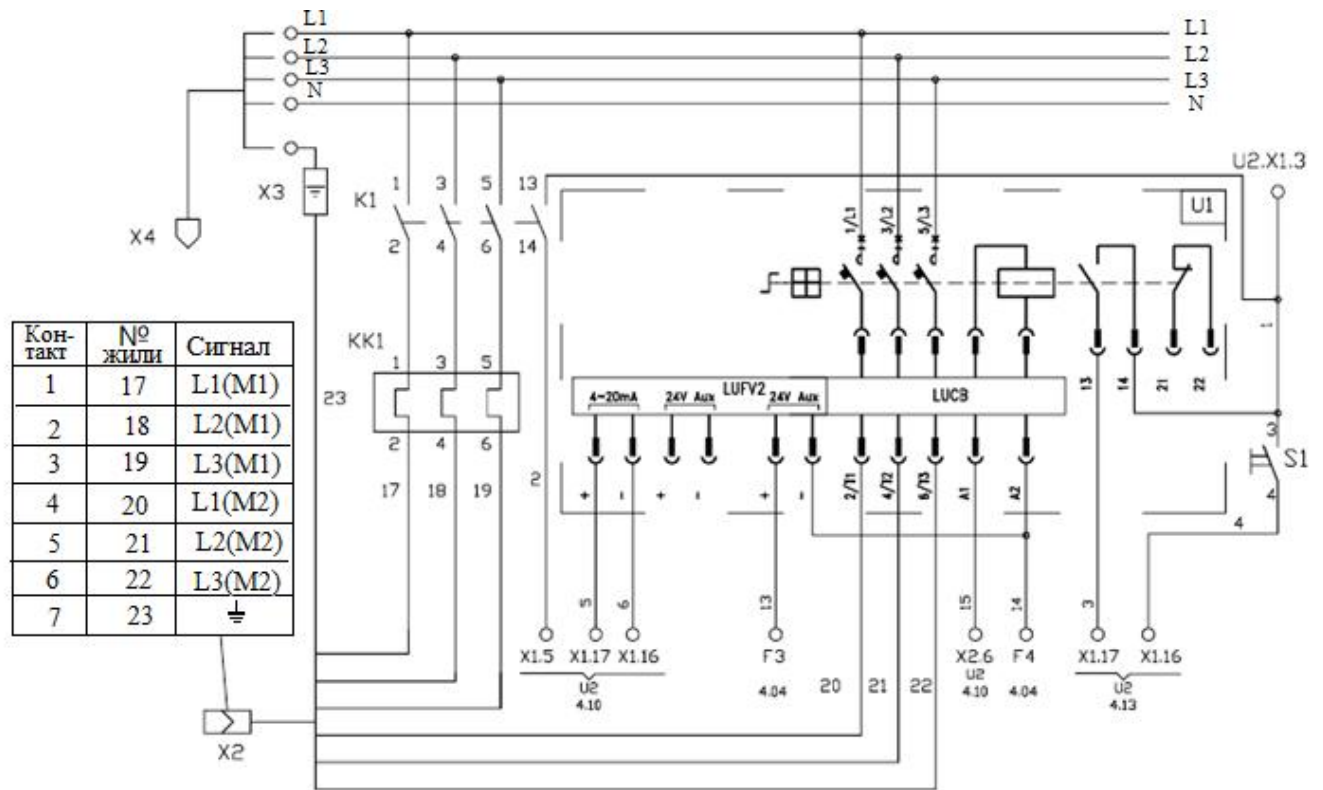


Рисунок 3.2 – Принципова електрична схема електропривода

Siemens Micromaster 440

3.5 Висновки до розділу 3:

- виконаний аналіз існуючих видів електродвигунів;
- на заміну від існуючого вибраний вибухозахищений, більш сучасний електродвигун серії АИР;
- проведений аналіз існуючих систем керування двигунами перемінного струму, розглянуті способи керування швидкістю асинхронного двигуна;
- на основі проведеного аналізу для керування електродвигуном конвеєра вибраний перетворювач типу Siemens Micromaster 440, наведені його технічні дані та характеристики, показані загальна та принципова електрична схеми перетворювача.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НОРІЇ

4.1 Розробка функціональної схеми системи керування

Узагальнена функціональна схема замкнутої системи частотного керування наведена на рисунку 4.1.

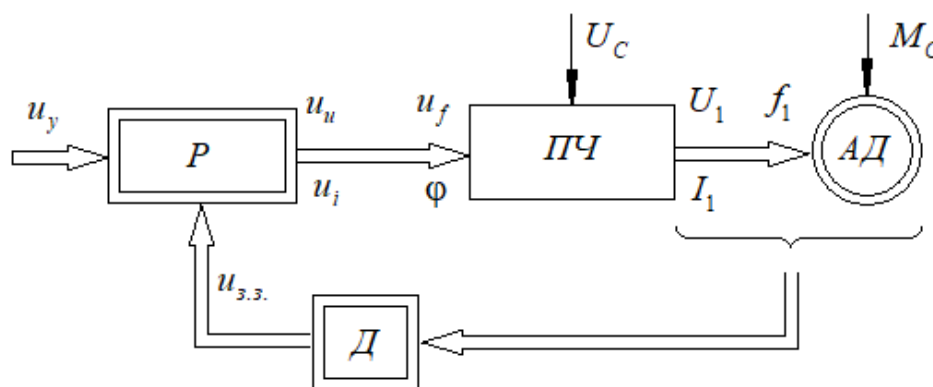


Рисунок 4.1 - Узагальнена функціональна схема замкнутої системи частотного керування

Узагальнена функціональна схема містить керований перетворювач частоти (ПЧ), регулятори Р і датчики Д змінних електропривода. Керуючими впливами u_y на вході регуляторів можуть бути сигнали завдання будь-яких координат електропривода - швидкості, кута повороту ротора АД, струму статора, магнітного потоку і т.п. Збурюючими впливами на електропривод можуть бути моменти сил опору M_c на валу АД або коливання напруги живильної електропривод мережі U_c . Вхідними сигналами датчиків є змінні АД, доступні для безпосереднього їх вимірювання (частота, напруга і струм статора, швидкість ротора, магнітний потік в повітряному зазорі АД) або визначені розрахунковим шляхом за допомогою математичної моделі АД (ЕРС, потокозчеплення статора, ротора і т.п.). Вихідні сигнали регуляторів, що залежать від керуючих дій, сигналів зворотних зв'язків $u_{з.з.}$ і прийнятих алгоритмів регулювання, є сигналами

керування частотою u_f , вихідною напругою u_u і струмом i_i перетворювача частоти.

Функціональна схема частотного регулювання зі зворотнім зв'язком по швидкості при живленні від ПЧ, як джерела напруги, наведена на рисунку 4.2.

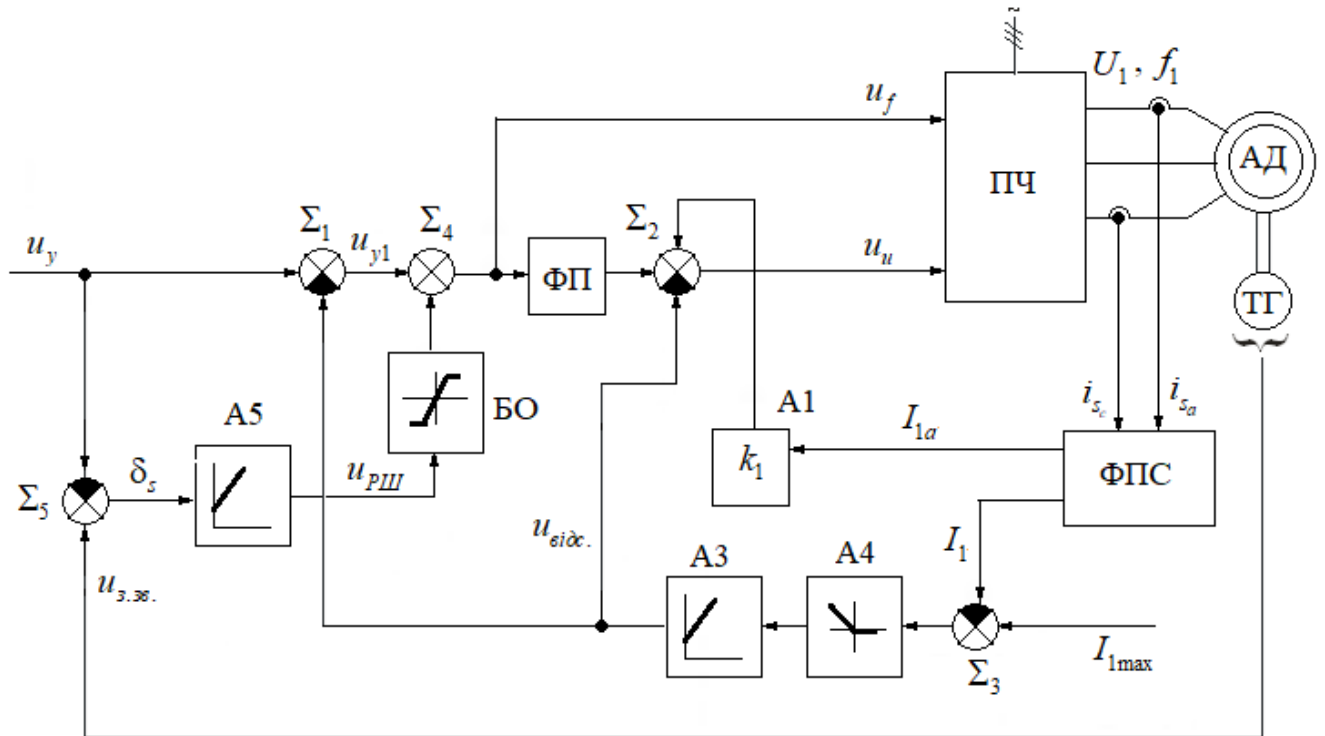


Рисунок 4.2 - Функціональна схема системи частотного регулювання ПЧ -АД зі зворотним зв'язком по швидкості

Тут канал негативного зворотного зв'язку по швидкості включає в себе тахогенератор ТГ, як датчик зворотного зв'язку, вузол Σ_5 підсумовування напруг керування швидкістю АД u_y і зворотного негативного зв'язку за швидкістю $u_{3.3.}$, регулятор абсолютного ковзання АЗ, блок БО обмеження його вихідної напруги $u_{рш}$, а також вузол Σ_4 підсумовування напруги $u_{рш}$ і результуючої напруги u_{y1} з виходу суматора Σ_1 .

У міру збільшення навантаження на валу АД (від моменту M_1 до моменту M_2 на рисунку 4.3) за рахунок зменшення швидкості АД і, отже, сигналу $u_{3.3.}$ збільшується сигнал неузгодженості $\delta_s = u_y - u_{3.3.} \equiv \omega_{00} - \omega \equiv s_a$, пропорційний абсолютному ковзанню двигуна. Тут ω_{00} - задана швидкість

ідеального холостого ходу АД, відповідна вихідному сигналу управління u_y ; ω - реальна швидкість АД при заданому навантаженні на його валу. При $\delta_s \neq 0$ сигнал u_{PII} на виході регулятора ковзання, підсумовуючись з сигналом $u_{y1} = u_y$ (при $I_1 < I_{1\max}$), за рахунок інтегральної складової передавальної функції регулятора А5 забезпечує таке прирощення сигналу керування u_f перетворювачем частоти, при якому частота вихідної напруги ПЧ стає рівною $f_{10}(1 + s_a)$.

Одночасно зі зміною частоти за рахунок функціонального перетворювача ФП змінюється в порівнянні з початковою напругою U_{10} і вихідна напруга перетворювача U_1 (рисунок 4.3, б). При цьому швидкість двигуна відновлюється до заданого значення ω_{00} , тобто забезпечується абсолютна жорсткість механічної характеристики АД (лінія 1 на рисунку 4.3, а).

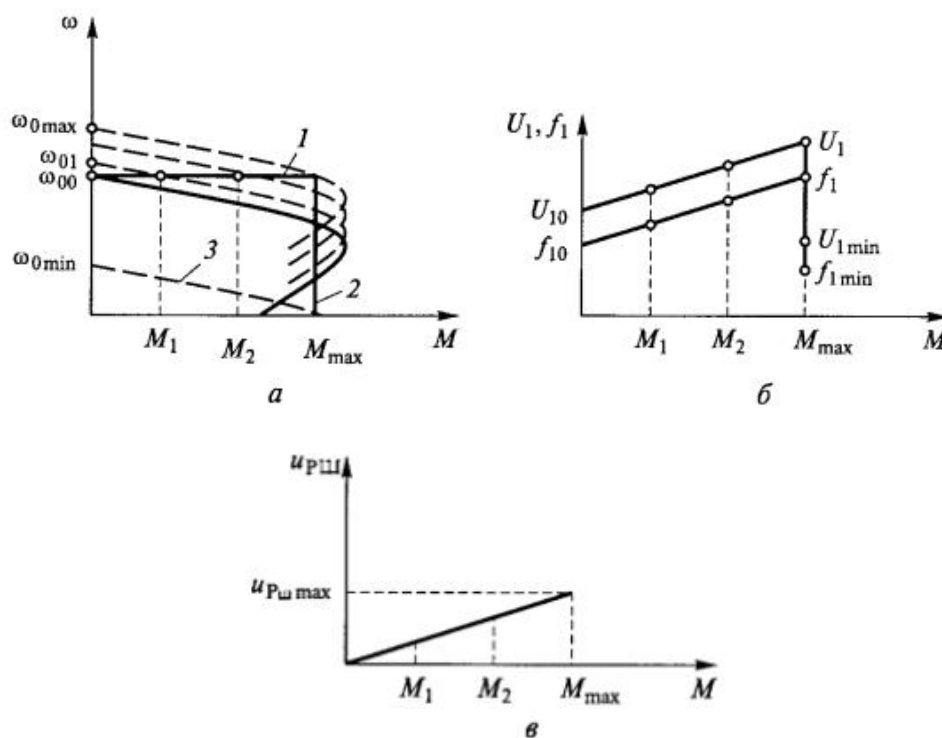


Рисунок 4.3 – Механічні характеристики (а), залежності вихідної напруги і частоти ПЧ (б), напруги регулятора швидкості (в) від моменту в системі ПЧ-АД із зворотним зв'язком за швидкістю

При перевищенні максимально допустимого струму статора АД ($I_1 > I_{1\max}$ і відповідно, $M > M_{\max}$), регулятор ковзання має бути виключений з роботи, наприклад, шляхом обмеження його вихідного сигналу $u_{PШ}$ на рівні $u_{PШ\max}$ (рисунок 4.3, в). При цьому вступають в роботу негативні зворотні зв'язки по струму статора з регулятором А4, забезпечуючи за рахунок одночасного зменшення частоти і напруги статора АД до їх мінімальних значень $f_{1\min}$ і $U_{1\min}$ обмеження моменту АД при $\omega = 0$ на рівні $M_{\max}$ (лінія 2 на рисунку 1.5, а). Мінімальна синхронна швидкість двигуна $\omega_{0\min}$ буде відповідати значенням $f_{1\min}$ і $U_{1\min}$, а механічна характеристика - лінії 3 (рисунок 1.5, а).

Стійкість і динамічні показники якості регулювання швидкості АД визначаються вибором параметрів пропорційної і інтегральної складових передавальних функцій регуляторів А5 і А3 [4,15].

4.1.1 Розрахунок механічних характеристик електродвигуна та вибір основних елементів системи частотного керування електропривода

Для аналізу процесів в АД звичайно використовують найпростішу схему заміщення з контуром намагнічування X_μ , винесеним на затискачі, побудовану для однієї фази (рисунок 4.4) [30].

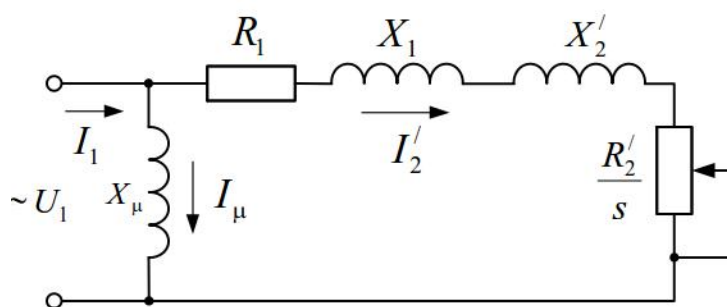


Рисунок 4.4 - Схема заміщення однієї фази АД

У цій схемі:

R_1 , R_2' - первинний (статорний) та вторинний (роторний) приведені активні

опори;

X_1, X_2' - первинний та вторинний приведені індуктивні опори розсіювання;

X_μ - індуктивний опір контуру намагнічування;

I_1, I_2', I_μ - відповідно струм статора, приведений струм ротора і струм намагнічування;

U_1 - діюче значення фазної напруги мережі.

Схема заміщення дозволяє на якісному рівні оцінити вид основних характеристик двигуна, тобто залежностей I_2' і M від ковзання s .

Механічною характеристикою АД називається залежність частоти обертання або ковзання від обертового моменту двигуна $n = f(M)$ чи $s = f(M)$.

Механічна характеристика (МХ) називається **природною**, якщо вона побудована за паспортними даними двигуна. За умови змін напруги живлення двигуна, активного опору ротора чи інших параметрів можна отримати так звані **штучні** характеристики, які різняться від природної [15].

Частота обертання n , при якій АД розвиває максимальний момент $M_{\text{пвх}}$, називається критичною частотою. Відповідно ковзання, при якому досягається $M_{\text{пвх}}$, також називається критичним ковзанням $s_{\text{кр}}$.

Для побудови механічної характеристики можна скористатися формулою для електромагнітного моменту через параметри схеми заміщення, задавши значеннями ковзання s [30].

$$M = \frac{3U_1^2 R_2'}{\omega_0 s \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]}.$$

Ковзання, при якому момент двигуна досягає максимального значення, називається критичним $s_{\text{кр}}$ і для природної МХ дорівнює

$$s_{\text{кр}} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}.$$

Базисний опір Z_6 , Ом,

$$Z_6 = \frac{U_H}{I_H},$$

де I_H – номінальний струм статора, $I_H = 11,7$ А.

$$Z_6 = \frac{220}{11,7} = 18,8 \text{ Ом.}$$

Струм статора двигуна при частковому навантаженні I'_s , А,

$$I'_s = \frac{p' \cdot P_H}{m \cdot U_\phi \cdot \eta' \cdot \cos \varphi'},$$

де p' – коефіцієнт завантаження двигуна, приймаємо, $p' = 0,85$;

η' – КПД при частковому завантаженні двигуна, $\eta' = \eta_H = 0,85$;

$\cos \varphi'$ – коефіцієнт потужності при частковому навантаженні двигуна, розраховується з залежності $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_H$, що показана на рисунку 4.5.

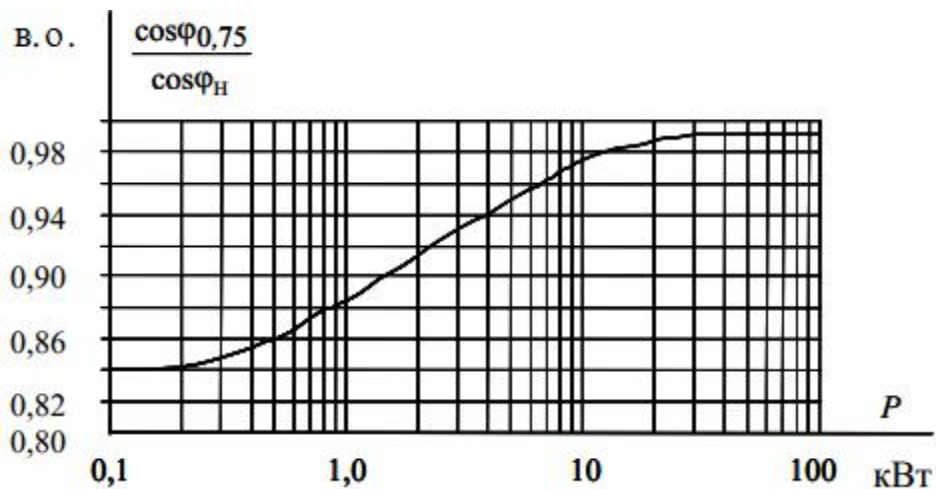


Рисунок 4.5 – Залежність $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_H$ від потужності асинхронного двигуна

$$\cos \varphi' = 0,95 \cdot \cos \varphi_H,$$

$$\cos \varphi' = 0,95 \cdot 0,857 = 0,81.$$

Струм статора двигуна при частковому навантаженні I'_s , А

$$I'_s = \frac{0,85 \cdot 5500}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,857} = 9,7 \text{ А.}$$

Струм холостого ходу двигуна I_0 , А,

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_s'^2 - \left(\frac{p' \cdot I_H \cdot (1 - S_H)}{1 - p' \cdot S_H} \right)^2}{1 - \left(\frac{p' \cdot (1 - S_H)}{1 - p' \cdot S_H} \right)^2}}; \quad (4.8)$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{9,7^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 11,7 \cdot (1 - 0,047)}{1 - 0,75 \cdot 0,047} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot (1 - 0,047)}{1 - 0,75 \cdot 0,047} \right)^2}} = 3,77 \text{ А.}$$

Критичне ковзання двигуна $S_{кр}$,

$$S_{кр} = S_H \cdot \frac{\frac{M_{\max}}{M_H} + \sqrt{\left(\frac{M_{\max}}{M_H} \right)^2 - \left(1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta_\delta \cdot \left(\frac{M_{\max}}{M_H} - 1 \right) \right)}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta_\delta \cdot \left(\frac{M_{\max}}{M_H} - 1 \right)},$$

де β_δ – коефіцієнт, згідно [29], знаходиться в межах $0,6 \div 2,5$. Приймаємо $\beta_\delta = 1,2$.

$$S_{кр} = 0,047 \cdot \frac{2,3 + \sqrt{2,3^2 - (1 - 2 \cdot 0,047 \cdot 1,2 \cdot (2,3 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,047 \cdot 1,2 \cdot (2,3 - 1)} = 0,242.$$

Визначаємо опір ротора, приведений до обмотки статора асинхронного двигуна R_p , Ом

$$R_p = \frac{A}{\left(\beta + \frac{1}{S_{кр}} \right) \cdot C},$$

де $C = 1 + \frac{I_0}{2k_i I_H}$;

k_i - кратність пускового струму. $k_i = 7,5$;

$$\beta = 1,5$$

$$C = 1 + \frac{3,77}{2 \cdot 7,5 \cdot 11,7} = 1,021.$$

Коефіцієнт

$$A = \frac{m \cdot U_n^2 \cdot (1 - S_H)}{2 \cdot C \cdot k_{\max} \cdot P_H};$$

$$A = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,047)}{2 \cdot 1,021 \cdot 2,5 \cdot 5500} = 4,89.$$

Опір ротора

$$R_p = \frac{4,89}{\left(1,5 + \frac{1}{0,242}\right) \cdot 1,021} = 0,85 \text{ Ом.}$$

Активний опір обмотки статора R_{cm} , Ом

$$R_{cm} = C \cdot R_p \cdot \beta,$$

$$R_{cm} = 1,021 \cdot 0,85 \cdot 1,5 = 1,3 \text{ Ом.}$$

Опір короткого замикання $X_{\kappa 3}$, Ом

$$X_{\kappa 3} = \gamma \cdot C \cdot R_{cm},$$

де $\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_{\kappa p}^2} - \beta^2},$

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{0,242^2} - 1,5^2} = 14,8.$$

$$X_{\kappa 3} = 14,8 \cdot 1,021 \cdot 1,3 = 19,7 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір розсіювання фази роторної обмотки, приведений до статорної X_{pp} , Ом

$$X_{pp} = \frac{0,58 \cdot X_{\kappa 3}}{C},$$

$$X_{pp} = \frac{0,58 \cdot 19,7}{1,021} = 11,17 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір розсіювання фази статорної обмотки X_{pc} , Ом

$$X_{pc} = 0,42 \cdot X_{кз},$$

$$X_{pc} = 0,42 \cdot 19,7 = 8,3 \text{ Ом.}$$

ЕРС кола намагнічування, що наведена потоком повітряного зазору в обмотці статора у номінальному режимі E_m , В.

$$E_m = \frac{E_{p,n}}{\sqrt{3}} \cdot k_e,$$

де $E_{p,n} = 200 \text{ В};$

k_e - коефіцієнт трансформації напруги, $k_e = 1,84$.

$$E_m = \frac{200}{\sqrt{3}} \cdot 1,84 = 216 \text{ В}$$

Тоді індуктивний опір контуру намагнічування X_{mn} , Ом

$$X_{mn} = \frac{E_m}{I_{00}},$$

$$X_{mn} = \frac{216}{3,77} = 57,3 \text{ Ом.}$$

Визначимо частоти ПЧ, що відповідають максимальній та мінімальній швидкостям механізму f , Гц

$$f_1 = \frac{\omega_1 \cdot i_{cm,p} \cdot p}{2 \cdot \pi},$$

де $i_{cm,p}$ - передаточне відношення редуктора, $i_{cm,p} = 10$;

$\omega_1 = 10 \text{ рад/с.}$

$$f_1 = \frac{10 \cdot 10 \cdot 3}{2 \cdot 3,14} = 31,8 \text{ Гц.}$$

для $\omega_2 = 5 \text{ рад/с.}$

$$f_2 = \frac{\omega_2 \cdot i_{cm.p} \cdot p}{2 \cdot \pi};, \quad f_2 = \frac{5 \cdot 10 \cdot 2}{2 \cdot 3,14} = 15,9 \text{ Гц.}$$

для $\omega_3 = 2 \text{ рад/с.}$

$$f_3 = \frac{\omega_3 \cdot i_{cm.p} \cdot p}{2 \cdot \pi}, \quad f_3 = \frac{2 \cdot 10 \cdot 2}{2 \cdot 3,14} = 6,37 \text{ Гц.}$$

Визначимо коефіцієнти розсіювання для статора, ротора τ_1, τ_2

$$\tau_1 = \frac{X_{pc}}{X_{mn}},$$

де X_{pc} - індуктивний опір розсіювання фази статорної обмотки, $X_{pc} = 8,3 \text{ Ом.}$

$$\tau_1 = \frac{8,3}{57,3} = 0,144.$$

$$\tau_2 = \frac{X_{pp}}{X_{mn}},$$

де X_{pp} - Індуктивний опір розсіювання фази роторної обмотки, приведений до статорної, $X_{pp} = 11,17 \text{ Ом.}$

$$\tau_2 = \frac{11,17}{57,3} = 0,21.$$

Визначимо загальний коефіцієнт розсіювання τ

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_1 \cdot \tau_2,$$

$$\tau = 0,144 + 0,21 + 0,144 \cdot 0,21 = 0,38.$$

Визначимо коефіцієнти, що залежать від параметрів двигуна b_1, c_1, d_1, e_1

$$b_1 = R_{cm} \cdot (1 + \tau_2), \quad b_1 = 1,3 \cdot (1 + 0,21) = 1,57;$$

$$c_1 = X_{mn} \cdot \tau, \quad c_1 = 57,3 \cdot 0,38 = 21,8;$$

$$d_1 = \frac{R_{cm}}{X_{mn}}, \quad d_1 = \frac{8,3}{57,3} = 0,145;$$

$$e_1 = 1 + \tau_1, \quad e_1 = 1 + 0,144 = 1,144.$$

Визначаємо відносні напруги статора a_1, a_2, a_3

$$a_1 = \frac{f_1}{f_{\text{мер}}},$$

де $f_{\text{мер}}$ - частота мережі, $f_{\text{мер}} = 50$ Гц,

$$a_1 = \frac{31,8_1}{50} = 0,64;$$

$$a_2 = \frac{f_2}{f_{\text{мер}}}, \quad a_2 = \frac{15,9}{50} = 0,32;$$

$$a_3 = \frac{f_3}{f_{\text{мер}}}, \quad a_3 = \frac{6,37}{50} = 0,127.$$

Визначаємо відносні напруги на статорі $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$.

$$\gamma_1 = \sqrt{\frac{R_{cm} \cdot a_1 + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2 \cdot a_1^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_1^2)}}{R_{cm} + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2)}}},$$

$$\gamma_1 = \sqrt{\frac{1,3 \cdot 0,64 + \sqrt{(1,57^2 + 21,8^2 \cdot 0,64^2) \cdot (0,145^2 + 1,144^2 \cdot 0,64^2)}}{R_{cm} + \sqrt{(1,57^2 + 21,8^2) \cdot (0,145^2 + 1,144^2)}}} = 0,7;$$

$$\gamma_2 = \sqrt{\frac{R_{cm} \cdot a_2 + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2 \cdot a_2^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_2^2)}}{R_{cm} + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2)}}},$$

$$\gamma_2 = \sqrt{\frac{1,3 \cdot 0,32 + \sqrt{(1,57^2 + 21,8^2 \cdot 0,32^2) \cdot (0,145^2 + 1,144^2 \cdot 0,32^2)}}{R_{cm} + \sqrt{(1,57^2 + 21,8^2) \cdot (0,145^2 + 1,144^2)}}} = 0,39;$$

$$\gamma_3 = \sqrt{\frac{R_{cm} \cdot a_3 + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2 \cdot a_3^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_3^2)}}{R_{cm} + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2)}}},$$

$$\gamma_3 = \sqrt{\frac{1,3 \cdot 0,127 + \sqrt{(1,57^2 + 21,8^2 \cdot 0,127^2) \cdot (0,145^2 + 1,144^2 \cdot 0,127^2)}}{R_{cm} + \sqrt{(1,57^2 + 21,8^2) \cdot (0,145^2 + 1,144^2)}}} = 0,2.$$

Звідси знаходимо критичні моменти $M_{\text{кр}1}, M_{\text{кр}2}, M_{\text{кр}3}$, Н·м

$$M_{kp1} = \frac{3 \cdot (U_{d \max} \cdot \gamma_1)^2}{2 \cdot \omega \left[R_{cm} \cdot a_1 + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2 \cdot a_1^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_1^2)} \right]},$$

де $\omega = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314,16$;

$$M_{kp1} = \frac{3 \cdot (220 \cdot 0,7)^2}{2 \cdot 314,16 \left[1,3 \cdot 0,64 + \sqrt{(1,57^2 + 21,8^2 \cdot 0,64^2) \cdot (0,145^2 + 1,144^2 \cdot 0,64^2)} \right]} =$$

$$= 9,99 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{kp2} = \frac{3 \cdot (U_{d \max} \cdot \gamma_2)^2}{2 \cdot \omega \left[R_{cm} \cdot a_2 + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2 \cdot a_2^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_2^2)} \right]},$$

$$M_{kp2} = \frac{3 \cdot (220 \cdot 0,39)^2}{2 \cdot 314,16 \left[1,3 \cdot 0,32 + \sqrt{(1,57^2 + 21,8^2 \cdot 0,32^2) \cdot (0,145^2 + 1,144^2 \cdot 0,32^2)} \right]} =$$

$$= 11,1 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{kp3} = \frac{3 \cdot (U_{d \max} \cdot \gamma_3)^2}{2 \cdot \omega \left[R_{cm} \cdot a_3 + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2 \cdot a_3^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_3^2)} \right]}$$

$$M_{kp3} = \frac{3 \cdot (220 \cdot 0,2)^2}{2 \cdot 314,16 \left[1,3 \cdot 0,127 + \sqrt{(1,57^2 + 21,8^2 \cdot 0,127^2) \cdot (0,145^2 + 1,144^2 \cdot 0,127^2)} \right]} =$$

$$= 11,35 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Знаходимо критичне ковзання s_{kp}

$$s_{kp1} = R_p \cdot \sqrt{\frac{d_1^2 + e_1^2 \cdot a_1^2}{b_1^2 + c_1^2 \cdot a_1^2}},$$

$$s_{kp1} = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{0,145^2 + 1,144^2 \cdot 0,64^2}{1,57^2 + 21,8^2 \cdot 0,64^2}} = 0,045;$$

$$s_{kp2} = R_p \cdot \sqrt{\frac{d_1^2 + e_1^2 \cdot a_2^2}{b_1^2 + c_1^2 \cdot a_2^2}},$$

$$s_{kp2} = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{0,145^2 + 1,144^2 \cdot 0,32^2}{1,57^2 + 21,8^2 \cdot 0,32^2}} = 0,0144;$$

$$s_{kp3} = R_p \cdot \sqrt{\frac{d_1^2 + e_1^2 \cdot a_3^2}{b_1^2 + c_1^2 \cdot a_3^2}},$$

$$s_{kp3} = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{0,145^2 + 1,144^2 \cdot 0,127^2}{1,57^2 + 21,8^2 \cdot 0,127^2}} = 0,05.$$

$$q_1 = \frac{R_{cm} \cdot a_1}{R_p \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_1^2)},$$

$$q_1 = \frac{1,3 \cdot 0,64}{0,85 \cdot (0,145^2 + 1,144^2 \cdot 0,64^2)} = 1,755;$$

$$q_2 = \frac{R_{cm} \cdot a_2}{R_p \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_2^2)},$$

$$q_2 = \frac{1,3 \cdot 0,32}{0,85 \cdot (0,145^2 + 1,144^2 \cdot 0,32^2)} = 3,22;$$

$$q_3 = \frac{R_{cm} \cdot a_3}{R_p \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_3^2)}$$

$$q_3 = \frac{1,3 \cdot 0,127}{0,85 \cdot (0,145^2 + 1,144^2 \cdot 0,127^2)} = 4,63.$$

За допомогою розгорнутої формули Клосса знаходимо моменти електродвигуна для побудови механічних характеристик

$$M_{s1}(s_t) = \frac{2 \cdot M_{kp1} \cdot (1 + q_1 \cdot s_{k1})}{\frac{s_t}{s_{k1}} + \frac{s_{k1}}{s_t} + 2 \cdot q_1 \cdot s_{k1}},$$

де s_t - табличне значення ковзання для розрахунків, $s_t = 0,0001$ до $0,9995$.

$$M_{s2}(s_t) = \frac{2 \cdot M_{kp2} \cdot (1 + q_2 \cdot s_{k2})}{\frac{s_t}{s_{k2}} + \frac{s_{k2}}{s_t} + 2 \cdot q_2 \cdot s_{k2}},$$

$$M_{s3}(s_t) = \frac{2 \cdot M_{kp3} \cdot (1 + q_2 \cdot s_{k3})}{\frac{s_t}{s_{k3}} + \frac{s_{k3}}{s_t} + 2 \cdot q_3 \cdot s_{k3}}.$$

Визначимо частоти обертання для побудови механічних характеристик $\omega_{s1}(s_t)$, $\omega_{s2}(s_t)$, $\omega_{s3}(s_t)$, рад/с

$$\omega_{s1}(s_t) = \omega_1 \cdot (1 - s_t),$$

$$\omega_{s1}(s_t) = 10 \cdot (1 - s_t);$$

$$\omega_{s2}(s_t) = \omega_2 \cdot (1 - s_t),$$

$$\omega_{s2}(s_t) = 5 \cdot (1 - s_t)$$

$$\omega_{s3}(s_t) = \omega_3 \cdot (1 - s_t),$$

$$\omega_{s3}(s_t) = 2 \cdot (1 - s_t).$$

На рисунку 2.1 представлені результати обчислення механічних характеристик електродвигуна.

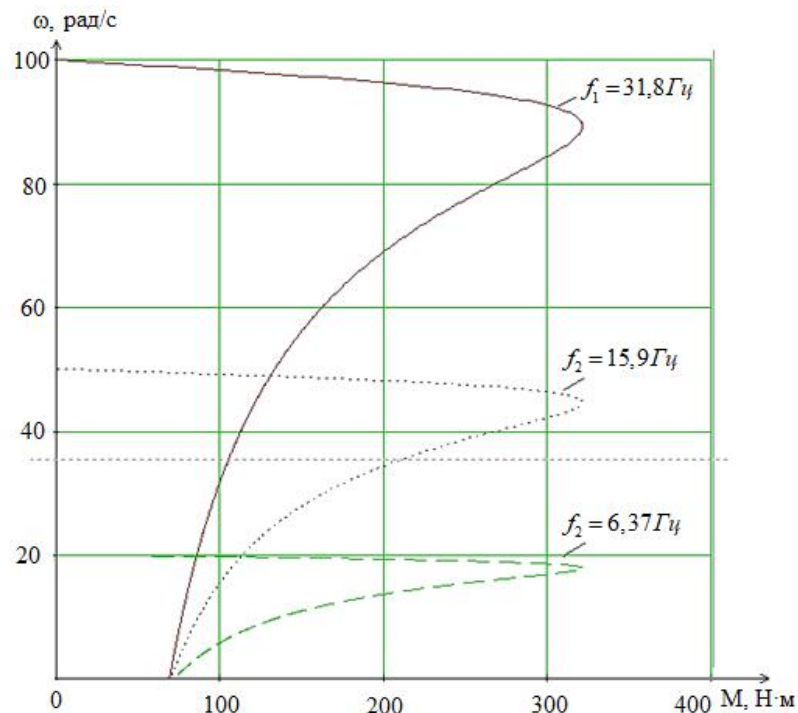


Рисунок 4.6 – Механічні характеристики електродвигуна

4.2 Визначення параметрів регуляторів системи керування електропривода

4.2.1 Структурна схема електропривода з частотним керуванням

При розробці математичної моделі електропривода використано декілька допущень:

- частотний перетворювач, який працює у замкнутій системі керування по швидкості, здатен виконувати плавне регулювання частоти струму двигуна таким чином, що двигун працює на практично лінійній частині характеристики (момент опору від 0 до номінального і ковзання від 0 до номінального);
- вважаємо, що датчик швидкості має дуже малу інерційність, яку можна не брати до розрахунків.

Складаємо структурну схему для подальшого моделювання, виходячи з припущень, що система керування з частотним перетворювачем у складі замкненої системи керування відповідає по структурі двоконтурній системі підлеглого керування із внутрішнім контуром струму та зовнішнім контуром швидкості.

У відповідності з функціональною схемою (рисунок 4.2) складена структурна схема такого привода (рисунок 4.7) зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна.

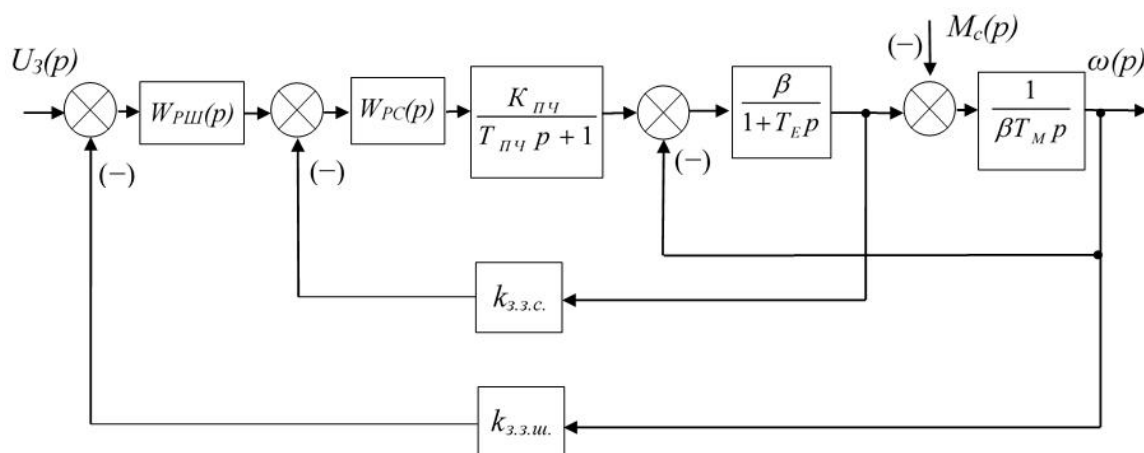


Рисунок 4.7 – Структурна схема електропривода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна

Розглянемо докладніше структурну схему зображену на рисунку 4.7.

На схемі прийняті наступні позначення:

$W_{PII}(p)$ – передатна функція регулятора швидкості;

$W_{PC}(p)$ – передатна функція регулятора струму;

β – модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики;

T_E – еквівалентна електромагнітна постійна часу кіл статора та ротора АД;

T_M – електромеханічна постійна часу асинхронного двигуна;

$k_{ПЧ}$ – передатний коефіцієнт перетворювача частоти; $k_{ПЧ} = 50$;

$T_{ПЧ}$ – постійна часу кола керування ЧП, яка при високих частотах модуляції вихідної напруги промислових ЧП (2...50 кГц) не перевищує 0,005с. $T_{ПЧ} = 0,005$ с.

Зворотні зв'язки за струмом та швидкістю виконаємо за допомогою пропорційних ланок з коефіцієнтами $k_{з.з.с}$ і $k_{з.з.ш}$ відповідно.

Регулятори швидкості і струму приймаємо як пропорційно-інтегральні ланки з коефіцієнтом передачі k_{PII} і k_{PC} та постійними часу T_{PII} і T_{PC} відповідно.

Коефіцієнти підсилення регуляторів k_{PC} і k_{PII} , що відповідають датчикам струму і швидкості, вважаємо рівними 10.

Для первинних розрахунків приймаємо, що величина постійної часу регулятора швидкості T_{PII} дорівнює величині постійної часу двигуна T_M , а регулятора струму T_{PC} – постійній часу частотного перетворювача $T_{ПЧ}$.

Передатна функція ПІ-регулятора швидкості

$$W_{PII}(p) = k_{PII} + \frac{1}{T_{PII} \cdot p};$$

Передатна функція ланцюга зворотного зв'язку за швидкістю двигуна:

$$W_{з.з.ш}(p) = \frac{\Delta u_{з.з.ш}}{\Delta \omega} = k_{з.з.ш}.$$

Передатна функція ПІ-регулятора струму

$$W_{PC}(p) = \frac{\Delta u_{PC}}{\Delta u_K} = k_{PC} + \frac{1}{T_{PC} p}.$$

Передатна функція ланцюга зворотного зв'язку за струмом двигуна

$$W_{3.3.C}(p) = \frac{\Delta u_{3.3.C}}{\Delta M} = k_{3.3.C}.$$

Передатна функція перетворювача частоти разом з випрямлячем $W_{ПЧ}(p)$,

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{f_c}{T_{ПЧ} \cdot p + 1},$$

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{50}{0,005 \cdot p + 1}.$$

Структурна схема з наведеними передатними функціями регуляторів зображена на рисунку 4.8.

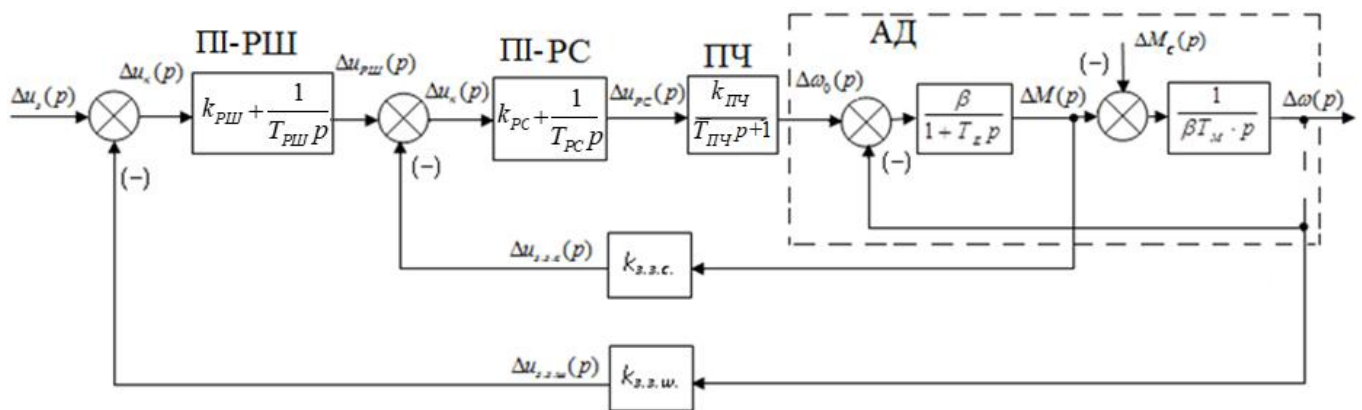


Рисунок 4.8 – Структурна схема електропривода

У відповідності зі структурною схемою передатна функція асинхронного двигуна

$$W_{АД}(p) = \frac{\beta}{T_E \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{\beta \cdot T_M \cdot p},$$

де T_E – електромагнітна постійна часу асинхронного двигуна, с;

T_M – електромеханічна постійна часу двигуна.

Для того, щоб змоделювати систему керування електропривода, приймаємо нелінійну характеристику АД у вигляді лінійної залежності, прийнявши наступні допущення:

- навантаження має стрибкоподібний характер свого зміни (накид і скидання статичного моменту навантаження);

- значення збурення не перевищує максимального моменту, що розвивається двигуном, тобто до і після збурення асинхронний двигун працює на стійкій частині своєї механічної характеристики.

Так як двигун працює спільно з перетворювачем частоти, то робота відбувається на стійкій частині механічної характеристики, яка описується наступним виразом

$$\frac{M_H}{2 \cdot M_{\max} \cdot \omega_c} \cdot p + \frac{S_{\text{кр}} \cdot M_H}{2 \cdot M_{\max}} = S_H.$$

Напишемо рівняння в такому вигляді

$$\frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_c \cdot S_H}{Z_p} \cdot p + M_H = M_{CT}.$$

Ці рівняння спільно складають систему, що описує поведінку асинхронного двигуна в перехідних процесах з урахуванням електромагнітних явищ. Якщо прийняти, що до стрибка навантаження двигун працював в сталому режимі, то цю точку можна покласти точкою з нульовими початковими умовами для подальшого перехідного процесу. Після відповідних перетворень, розглянута система прийме вигляд:

$$(T_E \cdot T_M \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1) \cdot M_H = M_{CT},$$

$$\frac{S_{\text{кр}}}{2 \cdot M_{\max}} \cdot (T_E \cdot p + 1) \cdot M_H = S_H.$$

З цих рівнянь можна отримати передатну функцію розглянутої системи електропривода. Вхідною величиною тут є статичний момент опору M_{CT} , а вихідною – значення кутової швидкості і моменту двигуна. Передатна функція по ковзанню має вигляд

$$W_S(p) = \frac{S_{\text{кр}}}{2 \cdot M_{\max}} \cdot \frac{T_E \cdot p + 1}{T_E \cdot T_M \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1}.$$

4.2.2 Формування та розрахунок параметрів елементів структурної схеми

Визначення параметрів здійснюється за допомогою перехідних характеристик [2].

Параметри двигуна АИР112М4У3 для розрахунку перехідних процесів наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Значення
Тип	АИР112М4У3
Потужність P_H , кВт	5,5
Синхронна частота обертання n , об./хв.	1500
Число пар полюсів p	2
Швидкість обертання валу n_g , об./хв.	1440
ККД, %	87
Коефіцієнт потужності, $\cos\phi$	0,857
Ковзання S_H , %	4,7
Струм I_H , А (при $U = 380$ кВт)	11,7
Кратність пускового струму I_n / I_H	7,5
Кратність максимального моменту $M_{\max} / M_H$	2,3
Кратність пускового моменту M_n / M_H	2,3
Момент інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,0236
Маса, кг	30
Крутний момент номіальний $M_{кр.н}$, Н·м	36,73

Для розрахунку параметрів структурної схеми необхідно попередньо визначити відсутні параметри двигуна, технічні данні якого наведені в таблиці 4.1 [3].

Кутова швидкість холстого ходу електродвигуна $\omega_{дв}$, с^{-1} ,

$$\omega_{дв} = \frac{\pi \cdot n_{дв}}{30}; \quad \omega_{дв} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ с}^{-1}.$$

Номінальний момент двигуна M_H , $\text{Н} \cdot \text{м}$,

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_{дв}}; \quad M_H = \frac{5500}{157} = 35 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критичний момент електродвигуна M_K , $\text{Н} \cdot \text{м}$,

$$M_K = (M_{\max} / M_H) \cdot M_H;$$

$$M_K = 2,3 \cdot 35 = 80,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критичне ковзання (розрахунок п.4.1.1) $S_{кр} = 0,242$.

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 ,

$$\omega_H = \frac{\omega_c \cdot (1 - s_H)}{p_n},$$

$$\omega_H = \frac{314,16 \cdot (1 - 0,047)}{2} = 149,7 \text{ рад/с}.$$

Номінальний момент двигуна M_H , $\text{Н} \cdot \text{м}$,

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}, \quad M_H = \frac{5500}{149,7} = 36,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковий момент двигуна M_{II} , $\text{Н} \cdot \text{м}$,

$$M_{II} = \frac{M_{II}}{M_H} \cdot M_H,$$

$$M_{II} = 2,3 \cdot 36,7 = 84,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальний момент двигуна $M_{\max}$, $\text{Н} \cdot \text{м}$,

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

$$M_{\max} = 2,3 \cdot 36,7 = 84,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальна фазна напруга двигуна U_ϕ , В,

$$U_\phi = \frac{U_H}{\sqrt{3}},$$

$$U_\phi = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}.$$

Номинальний струм статора $I_H = 11,7 \text{ А}$ (таблиця 4.1),

Модуль жорсткості механічної характеристики АД β , $\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}^{-1}}$,

$$\beta = \frac{M_H}{\omega_H \cdot S_H}, \quad \beta = \frac{36,7}{149,7 \cdot 0,047} = 5,2 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}^{-1}}.$$

Еквівалентна електромагнітна постійна часу ланок статора і ротора T_E , с,

$$T_E = \frac{1}{\omega_c \cdot S_{кр}},$$

$$T_E = \frac{1}{314,16 \cdot 0,242} = 0,013 \text{ с}.$$

Електромеханічна постійна часу T_M , с

$$T_M = 4T_E,$$

$$T_M = 4 \cdot 0,013 = 0,05 \text{ с}.$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за швидкістю $k_{3.3.ш}$, В · с,

$$k_{3.3.ш} = \frac{u_{3.3.ш.ном}}{\omega_H},$$

де $u_{3.3.ш.ном}$ – напруга зворотного зв'язку за швидкістю, $u_{3.3.ш.ном} = 10 \text{ В}$.

$$k_{3.3.ш} = \frac{10}{149,7} = 0,067 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом $k_{3.3.c}, \frac{B \cdot A}{H \cdot m}$.

$$k_{3.3.c} = \frac{u_{3.3.c.ном}}{M_H / I_H}, \quad (4.33)$$

де $u_{3.3.c.ном}$ – напруга зворотного зв'язку за швидкістю, $u_{3.3.c.ном} = 10$ В.

$$k_{3.3.c} = \frac{10}{36,7 / 11,7} = 0,023 \frac{B \cdot A}{H \cdot m}.$$

Коефіцієнт підсилення частотного перетворювача приймаємо $k_{ПЧ} = 50$.

Для первинних розрахунків приймаємо:

$$T_{ПИ} = T_M = 0,05,$$

$$k_{ПИ} = k_{PC} = 10;$$

$$T_{PC} = T_{ПЧ} = 0,005.$$

При дослідженні динамічних характеристик системи керування прийнято, що статичний момент, що прикладений до валу двигуна, у момент часу $t = 1,5$ с складає:

$$M_{CT} = 30\% \cdot M_H;$$

$$M_{CT} = 0,30 \cdot 36,7 = 11 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

4.3 Аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода норії

Сформована структурна схема обраного електропривода є основою для побудови динамічної структурної схеми системи керування.

Початкові дані для розрахунку перехідних процесів зведено у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Початкові дані для розрахунку перехідних процесів системи

Параметр	Одиниці	Значення
----------	---------	----------

	виміру	
Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики	$\frac{H \cdot m}{c^{-1}}$	$\beta = 5,2$
Електромагнітна постійна часу	с	$T_E = 0,013$
Електромеханічна постійна часу	с	$T_M = 0,05$
Постійна часу регулятора швидкості	с	$T_{PII} = T_M = 0,05$
Постійна часу регулятора струму	с	$T_{PC} = T_{PII} = 0,005$
Постійна часу перетворювача	с	$T_{PII} = 0,005$
Коефіцієнт підсилення (передачі) перетворювача	-	$k_{PII} = 50$
Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості	-	$k_{PII} = 10$
Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку швидкістю	В·с	$k_{з.з.ш} = 0,067$
Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом	$\frac{B \cdot A}{H \cdot m}$	$k_{з.з.с} = 0,023$

Передатні функції ланок.

Електромагнітної частини двигуна

$$W_{e.дв}(p) = \frac{\beta}{T_E \cdot p + 1}$$

$$W_{м.дв}(p) = \frac{5,2}{0,013 \cdot p + 1}$$

Електромеханічної частини двигуна

$$W_{м.дв}(p) = \frac{1}{\beta \cdot T_M \cdot p}$$

$$W_{м.дв}(p) = \frac{1}{5,2 \cdot 0,05 \cdot p} = \frac{1}{0,26p}$$

Перетворювача частоти

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{f_c}{T_{ПЧ} \cdot p + 1}$$

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{50}{0,005 \cdot p + 1}$$

Регулятора швидкості

$$W_{PII}(p) = k_{PII} + \frac{1}{T_{PII} p}$$

$$W_{PII}(p) = 10 + \frac{1}{0,05 \cdot p}$$

Регулятора струму

$$W_{PC}(p) = k_{PC} + \frac{1}{T_{PC} \cdot p}$$

$$W_{PC}(p) = 10 + \frac{1}{0,005 \cdot p}$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку
за струмом

$$W_{ззс}(p) = k_{ззс}$$

$$k_{з.з.с} = 0,023$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку
за швидкістю

$$W_{ззш}(p) = k_{з.з.ш}$$

$$k_{з.з.ш} = 0,067$$

Після розрахунків усіх величин, що входять у структурну схему, вони були внесені у розрахункову модель для дослідження динаміки системи керування електропривода норії (рисунк 4.9).

Моделювання виконувалося у середовищі програми Simulink пакету «MATLAB». На схемі зображено:

- «Step» - джерело східчастого впливу величиною 10 В;
- «Gain1» та «Gain2» - реалізують пропорційну складову ПІ-регуляторів швидкості та струму відповідно;
- «Transfer Fcn1» та «Transfer Fcn2» - реалізують інтегральну складову ПІ-регуляторів швидкості та струму відповідно;
- «Transfer Fcn3» - реалізує передатну функцію частотного перетворювача;
- «Transfer Fcn4» та «Transfer Fcn5» – реалізують лінеаризовану модель двигуна;

«Transfer Fcn6» та «Transfer Fcn7» – реалізують передатну функцію датчика струму та датчика швидкості відповідно;

- «Gain4» та «Gain5» - датчики струму та швидкості відповідно.

За допомогою блоків «Gain3» та «Gain6» виконується перерахування отриманих даних у відносні одиниці (для спрощення подальшого порівняння).

«Score1», «Score2» та «Score» – використовуються для отримання графіку перехідного процесу за швидкістю та струмом та напрузі відповідно.

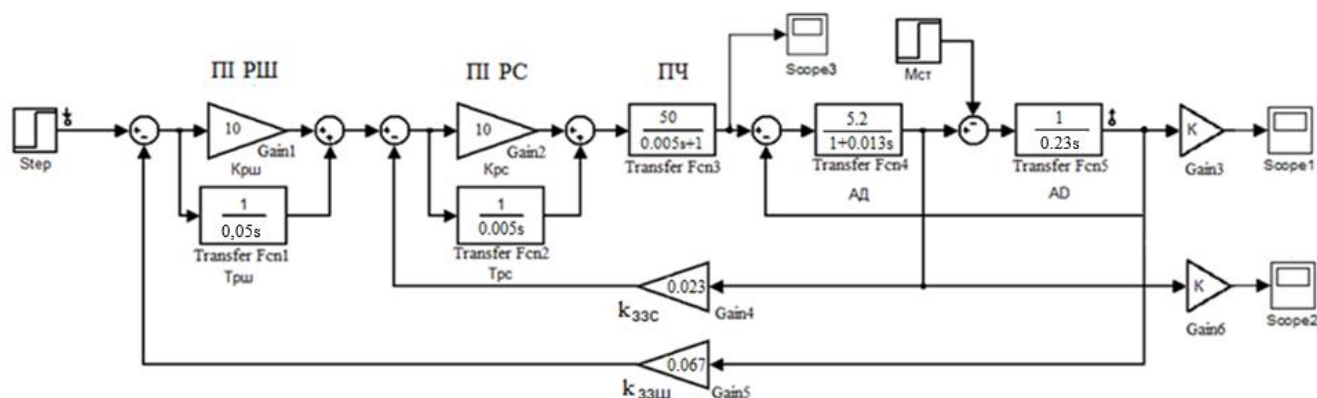


Рисунок 4.9 - Розрахункова динамічна модель системи керування з ПІ-регулятором швидкості

З метою поліпшення динамічних якостей системи керування електропривода у каналі керування швидкістю треба визначити параметри налагодження ПІ-регулятора, які будуть забезпечувати необхідні показники якості перехідного процесу.

Визначення параметрів (параметричний синтез) здійснюється за допомогою перехідних характеристик. На основі структурної схеми електропривода (рисунок 4.9) та її параметрів за допомогою програмного забезпечення "MATLAB" здійснюємо побудову перехідних характеристик системи частотного керування асинхронним двигуном.

Перехідний процес з розрахунковими параметрами представлений на рисунку 4.10. Основні показники якості складають: перерегулювання $\sigma_{\max} = 32\%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,27$ с.

Такі показники не задовольняють вимогам, які пред'являються до систем керування електроприводами, тому був проведений параметричний синтез при варіації параметрами ПІ-регулятора.

Для знаходження впливу параметрів налаштування регуляторів були проведені дослідження при зміні коефіцієнта підсилення и постійної часу регулятора швидкості.

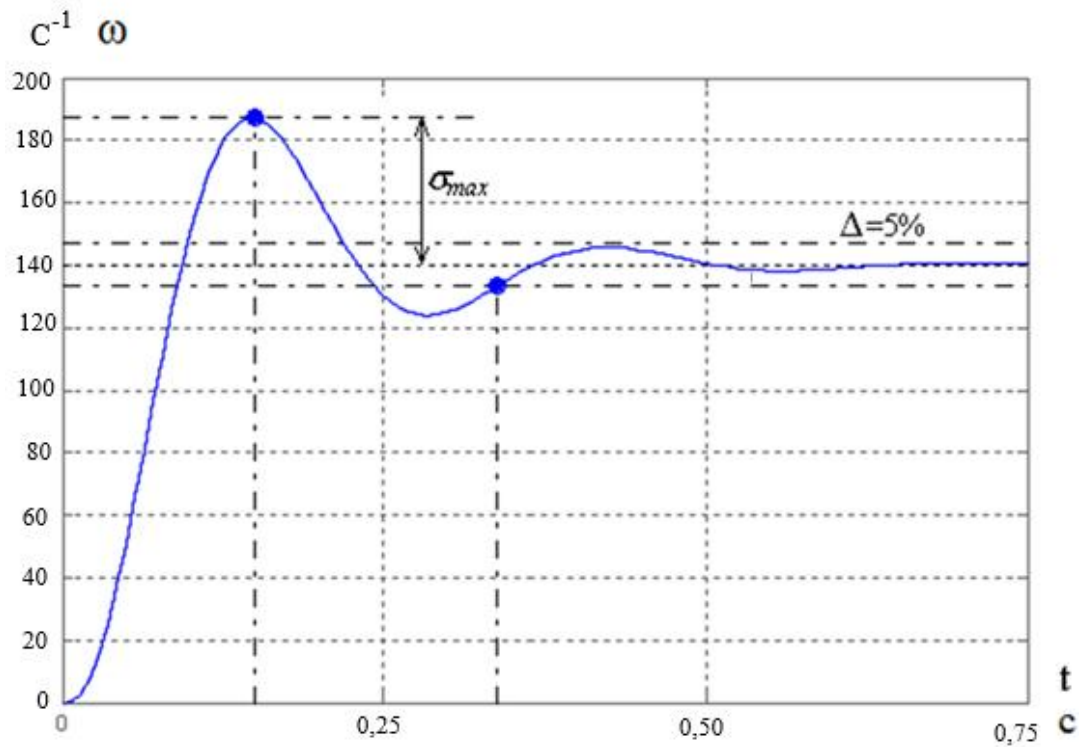


Рисунок 4.10 - Перехідна характеристика при $T_{PII} = 0,05$ с і $K_I = 10$

Перехідні характеристики при зміні коефіцієнту підсилення регулятора швидкості K_I від 10,0 до 2,5 представлені на рисунках 4.11 - 4.13.

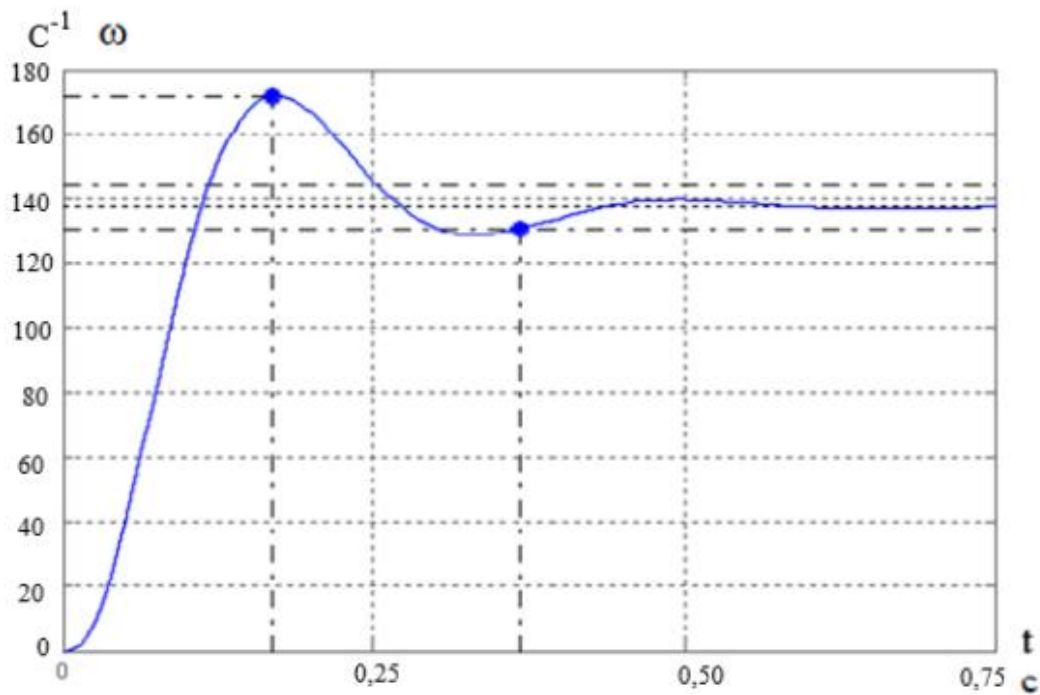


Рисунок 4.11 - Перехідна характеристика при $T_{PII} = 0,05$ с і $K_I = 7,5$

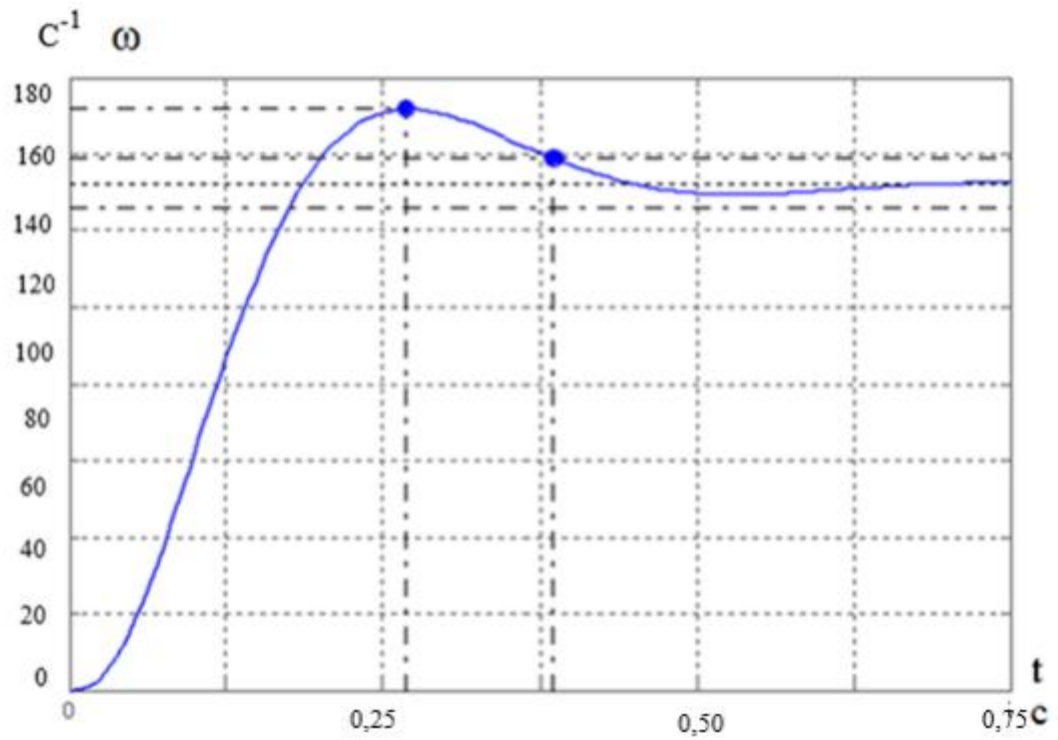


Рисунок 4.12 - Перехідна характеристика при $T_{PID} = 0,05$ с і $K_I = 5,0$

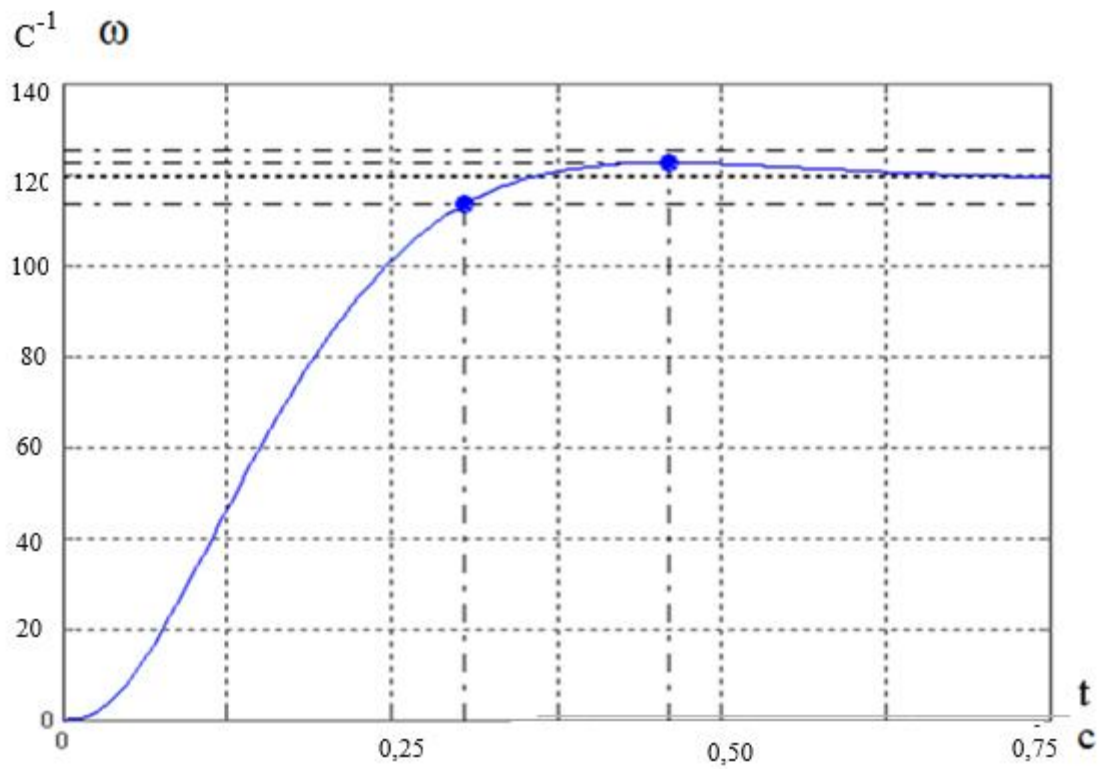


Рисунок 4.13 - Перехідна характеристика при $T_{PID} = 0,05$ с і $K_I = 2,5$

Залежність величини перерегулювання системи і часу перехідного процесу при $T_{PII} = \text{const}$, $K_I = \text{var}$ представлена на рисунку 4.14.

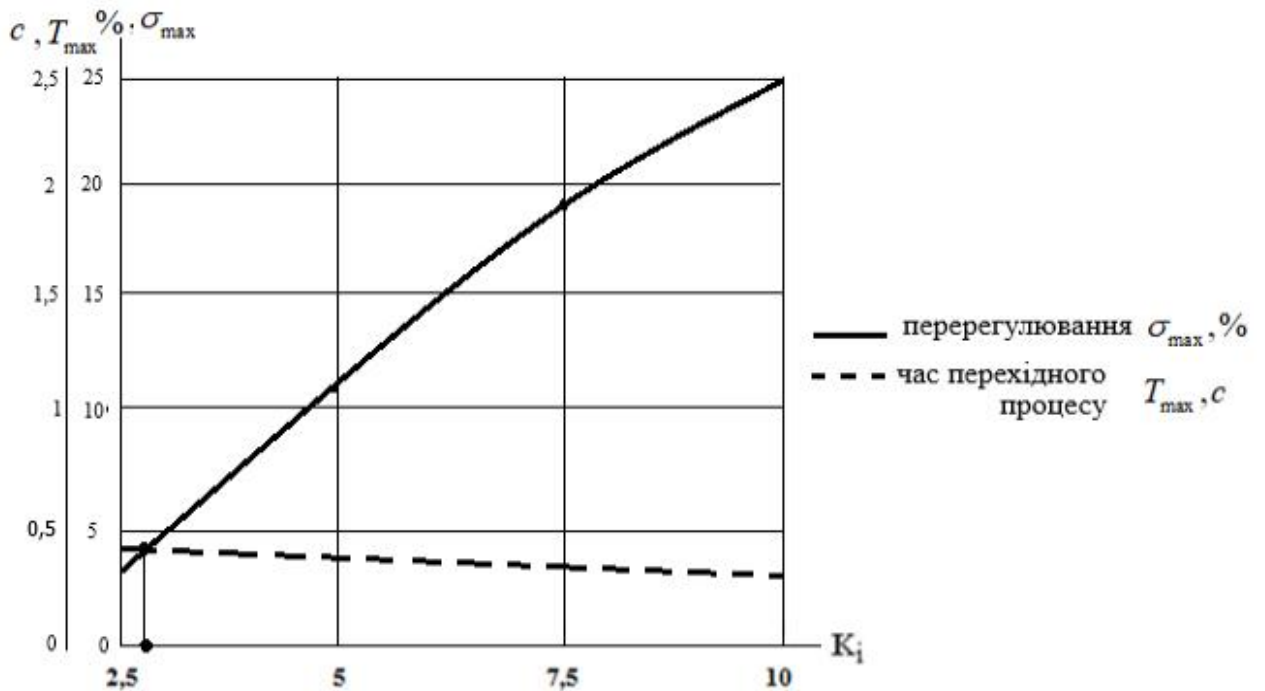


Рисунок 4.14 - Залежність $\sigma_{\max}$ і $T_{\max}$ при зміні K_I та при $T_{PII} = \text{const}$

Характеристики при зміні постійної часу T_{PII} від 0,05 с до 0,1 с та при постійній $K_I = 2,75$ (згідно з рисунком 4.14) представлені на рисунках 4.15 - 4.18.

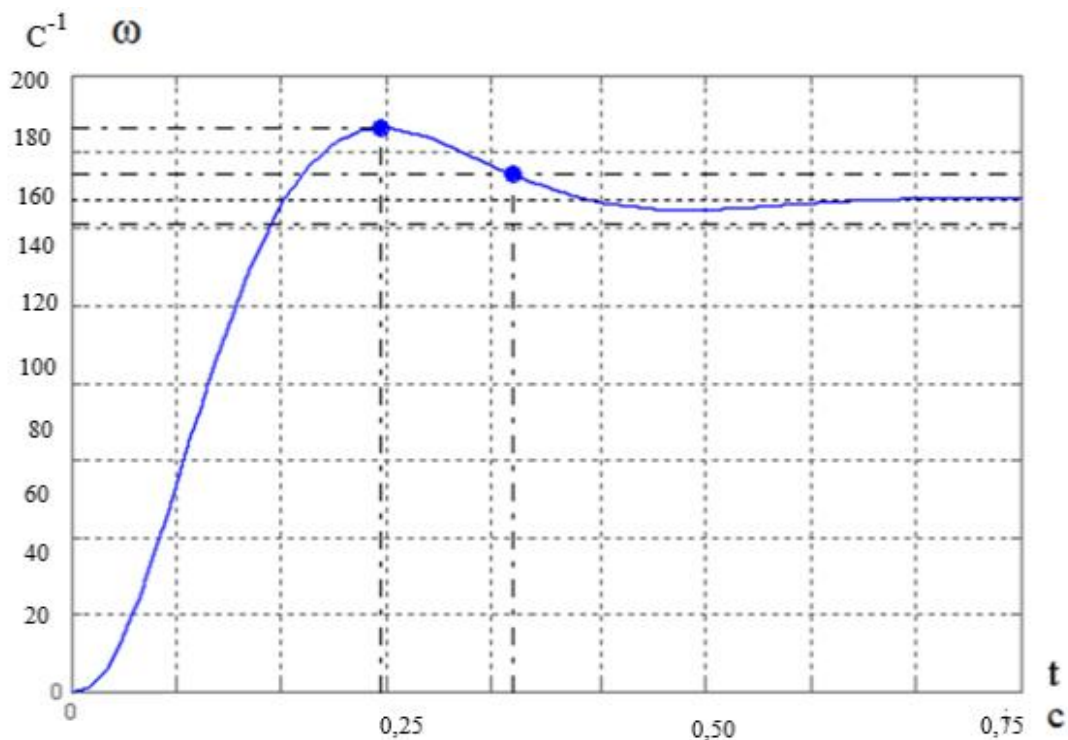


Рисунок 4.15 - Перехідна характеристика при $T_{PII} = 0,05 \text{ с}$ і $K_I = 2,75$

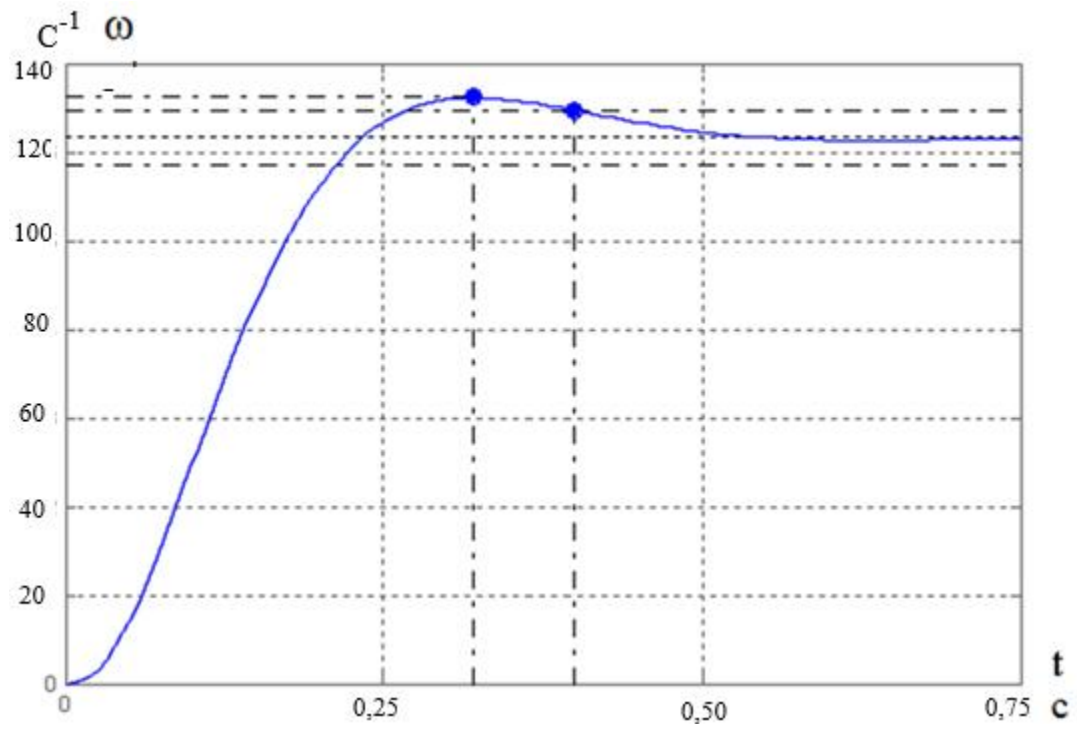


Рисунок 4.16 - Перехідна характеристика при $T_{PШ} = 0,07$ с і $K_I = 2,75$

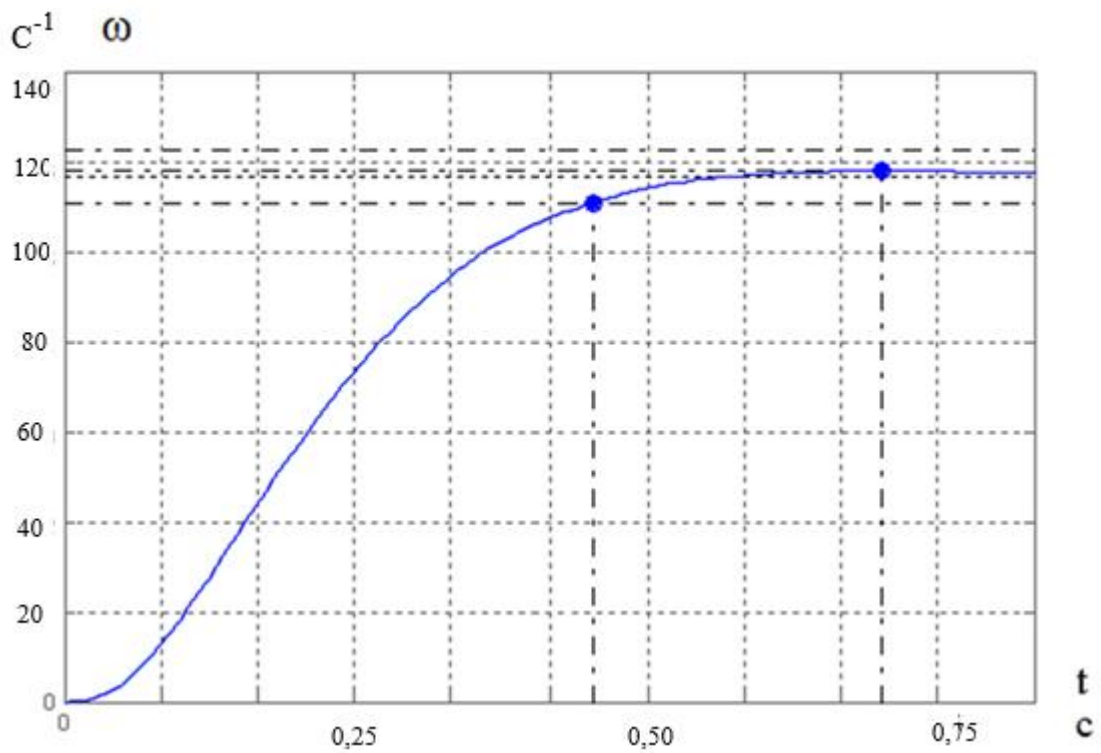


Рисунок 4.17 - Перехідна характеристика при $T_{PШ} = 0,09$ с і $K_I = 2,75$

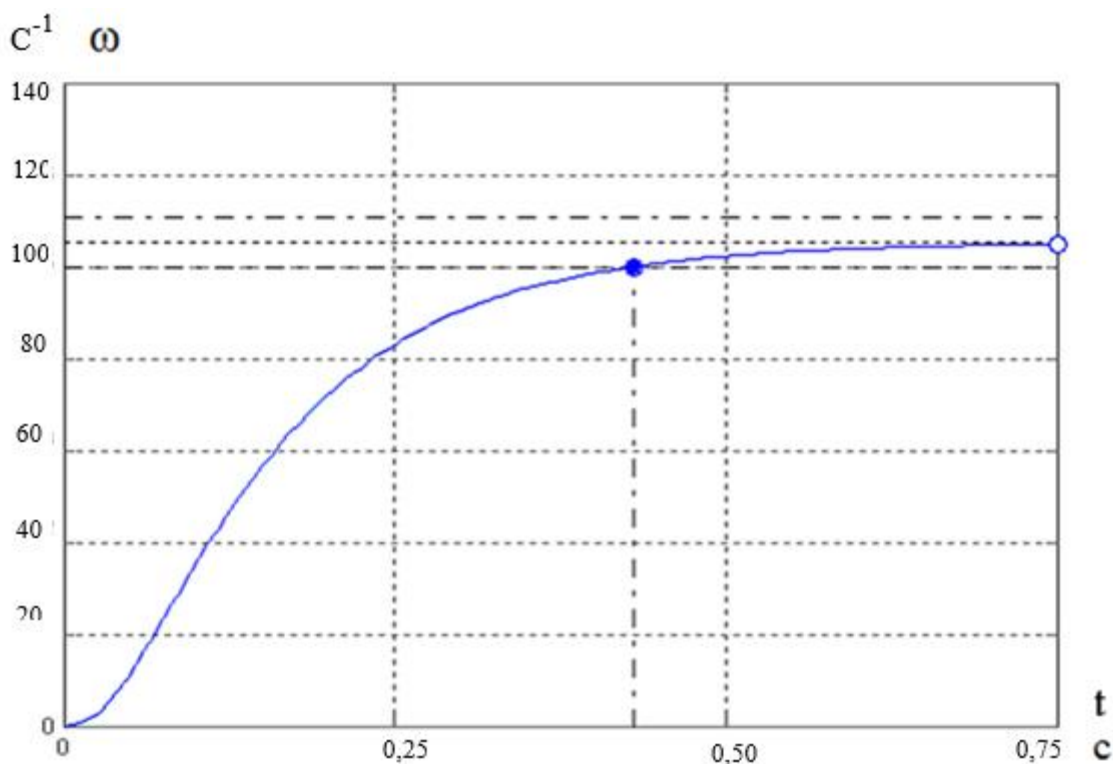


Рисунок 4.18 - Перехідна характеристика при $T_{PII} = 0,1$ с і $K_I = 2,75$

Залежність величини перерегулювання системи і часу перехідного процесу при $T_{PII} = \text{var}$, $K_I = \text{const}$ представлена на рисунку 4.19.

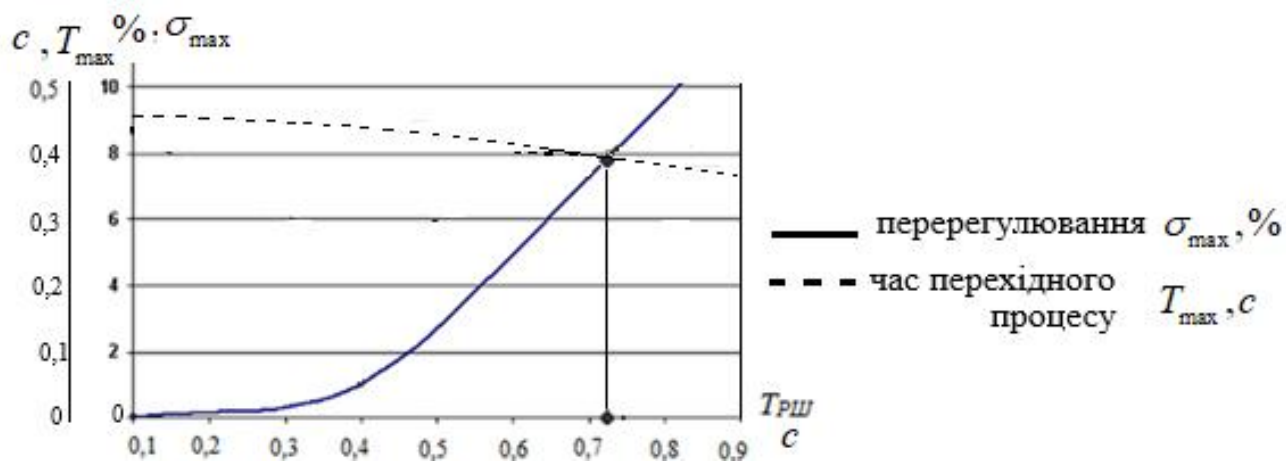


Рисунок 4.19 - Залежність $\sigma_{\max}$ і $T_{\max}$ при зміні T_{PII} а при $K_I = \text{const}$

Проведений аналіз отриманих перехідних процесів показав, що при зменшенні K_I з 10,0 до 2,5 максимальне перерегулювання системи $\sigma_{\max}$

зменшується з 32 % до 2,8 %. Час перехідного процесу $T_{\max}$ збільшується з 0,4 с до 0,3 с.

При збільшенні T_{PII} з 0,05 с до 0,1 с перегулювання системи $\sigma_{\max}$ зменшується з 9% до 0 %. Час перехідного процесу $T_{\max}$ при цьому збільшується з 0,33 с до 0,42 с.

В результаті аналізу були вибрані такі параметри настроювання регулятора: постійна часу регулятора швидкості $T_{PII} = 0,72$ с; коефіцієнт підсилення регулятора швидкості $K_i = 2,75$.

Перехідний процес з вибраними параметрами представлений на рисунку 4.20.

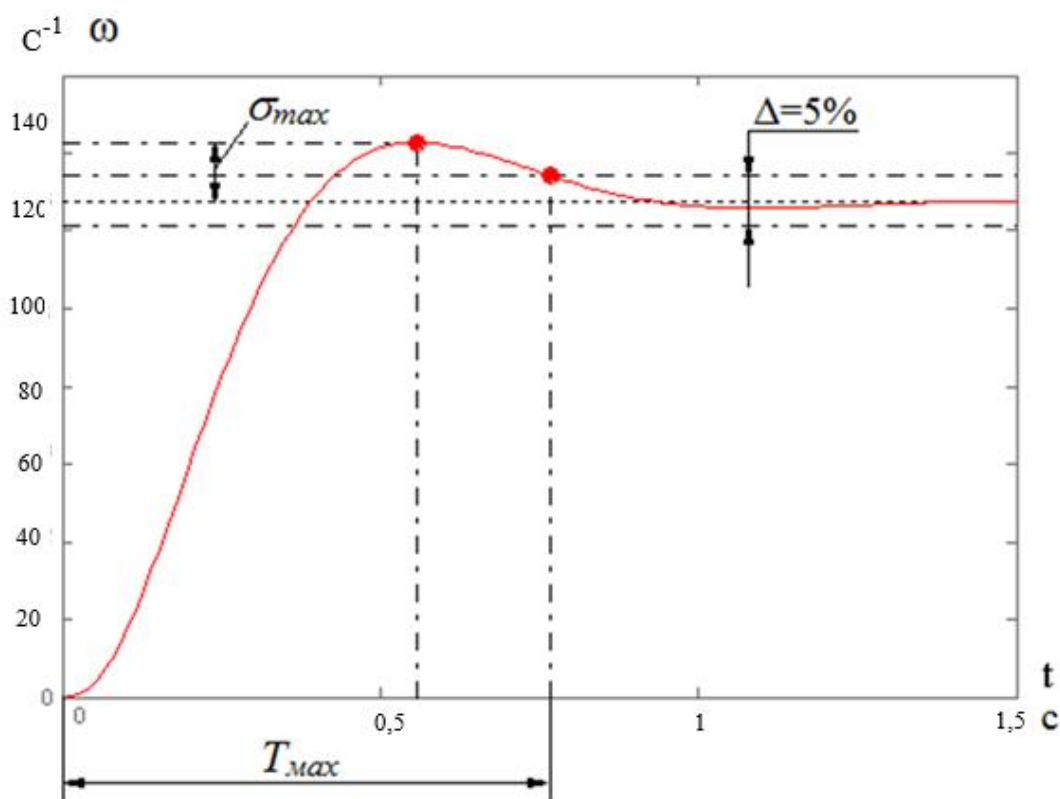


Рисунок 4.20 - Перехідна характеристика при $T_{PII} = 0,72$ с і $K_i = 2,75$

Отримані наступні результати дослідження:

- перегулювання $\sigma_{\max} = 7,9$ %.
- час перехідного процесу $T_{\max} = 0,72$ с;

- коливальність $N = 1$;
- статична помилка $\varepsilon = 0$.

4.4 Висновки до розділу 4:

- розглянута функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотним керуванням та її робота,
- виконаний розрахунок механічних характеристик електродвигуна та вибір основних елементів системи частотного керування електропривода;
- на основі функціональної схеми складена структурна схема частотної системи керування та розраховані її параметри;
- в математичній програмі Simulink пакету Matlab була побудована модель структурної схеми для дослідження динамічних характеристик системи керування ;
- проведений аналіз динамічних властивостей системи керування.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НОРІЇ

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.

Сутність охорони праці полягає у визначенні можливих небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що можуть проявитися при проведенні запланованих для виконання робіт; прогнозуванні моментів прояву зазначених факторів; проведенні необхідних профілактичних заходів.

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.

Рівень безпеки будь-яких робіт у суспільному виробництві значною мірою залежить від рівня правового забезпечення цих питань, тобто від якості та повноти викладення відповідних вимог в законах та інших нормативно-правових актах [13].

Національна Стратегія охорони праці спрямовується на забезпечення:

- конституційного права працівників на безпечні і здорові умови праці, створення ефективної системи запобігання нещасним випадкам на виробництві і виникненню професійних захворювань;

- зменшення втрат економіки України в результаті виробничого травматизму і професійних захворювань, інвалідизації, в наслідок яких виробництво втрачає професійно підготовлені кадри, створення умов для забезпечення інноваційного розвитку економіки здоровими, продуктивними і професійними робітничими кадрами;

- створення належних гарантій соціального захисту потерпілих на виробництві та сімей загиблих на виробництві.

5.1 Аналіз небезпек і шкідливих виробничих факторів, що впливають на людину при роботі ківшевої норії

На підприємствах машинобудівної, харчової, переробної, легкої промисловості та багатьох інших для завантаження, розвантаження та переміщення різноманітних вантажів широко застосовуються стаціонарні та нестаціонарні різноманітні вантажопідіймальні і транспортні машини та механізми.

У більшості випадків, це електрифіковані машини або механізми з ручним приводом - тельфери, талі, підіймальні крани різноманітних типів, підвісні шляхи, лебідки, домкрати, похилі спуски тощо. Всі вони потенційно небезпечні в експлуатації. Небезпека полягає в можливості механічного травмування робітника в процесі транспортування та виконання ручних операцій завантаження і розвантаження, а при роботі з електрифікованими машинами також існує небезпека ураження працівника електричним струмом при недотриманні правил експлуатації та електробезпеки.

Для транспортування сипких або штучних вантажів на необхідну висоту застосовують елеватори (норії), які оснащуються ківшами для сипких вантажів.

Робочими органами елеваторів може бути сталевий ланцюг або багат шарова прогумована стрічка, до яких кріпляться ковші чи полички, що утримують вантаж.

Норії або ковшові елеватори є небезпечними виробничими об'єктами. Їхня експлуатація регламентується Правилами охорони праці для працівників, зайнятих на роботах зі зберігання та переробки зерна, затверджені наказом Міністерства соціальної політики України від 20.09.2017 № 1504, які зареєстровані в Міністерстві юстиції України.

Двигун перемінного струму закріплений на фундаменті і є стаціонарною установкою, що живиться від тиристорного перетворювача.

Небезпека одержання травми існує безупинно під час роботи ківшевої норії, у зв'язку з наявністю частин, що рухаються. Наслідок можливого впливу цієї небезпеки на обслуговуючий персонал - механічні травми, при одержанні яких можлива часткова або повна втрата працездатності, смертельний результат.

Виходячи з принципів "Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу", затвердженої наказом Міністерства охорони здоров'я України від 27.12.2001 р. № 528, умови праці діляться на 4 класи – оптимальні, допустимі, шкідливі та небезпечні (екстремальні).

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори класифікуються відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 "Система стандартів безпеки труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация".

Робота на конвеєрах 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"

До основних небезпечних і шкідливих виробничих факторів при роботі на норіях відносять [13]:

- небезпеку поразки електричним струмом;
- вплив виробничих вібрацій на людину;
- шум на виробництві;
- неправильне виробниче освітлення;
- небезпеку виникнення пожеж.

Небезпека поразки електрострумом виникає в результаті керування технологічним устаткуванням. Електричний струм, проходячи через живий організм, здійснює термічний, електролітичний, а також біологічний вплив. Термічний вплив виявляється у виді опіків, розриву тканин, нагріванні судин, впливу на нервову систему.

Експлуатація електроустановок, повинна проводитись з дотриманням вимог електробезпеки відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004, Правил захисту від статичної електрики НПАОП 0.00-1.29-97, Правил експлуатації електрозахисних засобів ГОСТ 12.1.013-78, ГОСТ 12.1.045-84, ГОСТ 12.2.007.1-75, ДСН 3.3.6.096-02, експлуатаційної документації та цих Правил.

Сама по собі, дія електричного струму приводить до досить серйозних травм при контакті людини з ним. Гранично допустимі рівні напруги та струмів

доторкання установлює ГОСТ 12.1.038-82 "Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов".

Вплив виробничих вібрацій на людину. Параметри вібрації на робочих місцях повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.012-90 та Державних санітарних норм виробничої загальної та локальної вібрації - ДСН 3.3.6.039-99.

Існують три основних принципи боротьби з вібрацією: зменшення сил, що викликають вібрацію (точне збирання механізмів, балансування й т.д.), усунення резонансі, штучне зусилля постійно виникаючого розсіювання енергії, тобто введення в систему демпфіювання.

Шум на виробництві. При тривалій дії шуму виникають зміни в нервовій системі людини, його органів травлення, підвищується кров'яний тиск, прискорюється пульс і подих. Це приводить до ослаблення уваги, погіршення реакції людини при змінах у системі керування.

Ці шкідливі наслідки шуму шкідливі тим більше, чим сильніше шум і чим триваліше його дія. Ці патологічні зміни, що виникли під впливом шуму, розглядаються як «шумова хвороба».

Підвищення шуму з 76 до 95 дБ знижує продуктивність праці на 25%.

Як це передбачено Державними санітарними нормами України ДСН 3.3.6.037-99, допустимі рівні шуму на різних об'єктах, територіях різного господарського призначення не повинні перевищувати показників наступних санітарних норм: 75...80 дБ.

Робоче освітлення. Норма освітленості відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 дорівнює 200 лк, а коефіцієнт природного висвітлення при спільному освітленні – 1,8 до III пояса. Найменша освітленість робочої поверхні виробничих приміщень і територій підприємства, що вимагають обслуговування при аварійних режимах, складає 5% від освітленості, нормованої для робочих приміщень при системі загального освітлення, але не менш 2 лк.

Пожежа на підприємствах становить велику небезпеку і може заподіяти величезний матеріальний збиток.

Запобігання пожежі згідно з ДСТ 12.1.004-91 "Пожежна безпека" та НАПБ А.01.001-95 Правила пожежної безпеки в Україні повинне досягатися запобіганням

утворення горючого середовища й запобіганням утворення в горючому середовищі джерел запалювання.

Нормативне регулювання. Загальні вимоги до улаштування засобів захисту промислових машин, механізмів та їх складових частин (з урахуванням європейського досвіду) визначають: [ДСТУ EN 292-2-2001](#), ДСТУ EN 953-2003, [ДСТУ EN 1088-2003](#), при цьому під час проектування огорож машин і механізмів необхідно враховувати вимоги [ДСТУ EN 294-2001](#), ДСТУ EN 811-2003, [ДСТУ EN 1005-2:2005](#), [ДСТУ EN 1005-3:2005](#).

Вимоги безпечної експлуатації конвеєрів визначають ГОСТ 12.2.022-80 (1996), ДСТУ ISO 1819:2013, ДСТУ ISO 7149:2013, ДСТУ EN 620:2013.

5.2 Заходи щодо безпечної експлуатації електрообладнання при роботі на ківшевих норіях

Норії оснащуються автоматизованими пристроями, які відключають привод, якщо спадає ланцюг з приводної зірочки або обривається ківшева стрічка. Кришки оглядових люків заблоковані з приводом елеватора так, щоб при їх відкриванні елеватор автоматично зупинявся. Безпечність при огляді і ремонті елеваторів забезпечується пристроями, що запобігають можливості зворотного ходу і падінню ківшевої стрічки.

Пуск елеватора дозволяється тільки з визначеного місця після попереднього сигналу. Система сигналізації повинна забезпечувати двосторонній сигнальний зв'язок місця запуску елеватора з ділянками обслуговування головок і башмаків елеваторів. Забороняється: запускати елеватор при недостатньому натягненні ківшевої стрічки чи ланцюгів; зупиняти елеватор під час завантаження; завантажувати елеватор без перевірки готовності до роботи наступного за ним обладнання транспортної лінії.

Кінцеві аварійні вимикачі, циліндри блокування, пристрою контролю швидкості повинні завжди підтримуватися в гарному робочому стані. У жодному разі не можна шунтувати або відключати кінцеві аварійні вимикачі.

При проведенні капітального ремонту, монтажу, огляду й робіт з технічного обслуговування, завжди відключайте приводний електродвигун, повністю від'єднуючи всі фази .Це здійснюється за допомогою вимикача, який встановлюється поруч із ковшовою норією або на контрольній панелі установки.

Чищення й змащення ківшевої норії, її частин і деталей повинне провадитися тільки коли ківшева норія зупинена.

Під час експлуатації в норії може нагромаджуватися зерновий пил, який за високої температури здатен спричинити виникнення пожежі та навіть руйнування в результаті вибуху. Очення норії від пилу, бруду й відкладень речовин допомагає запобігти вибуху пилу.

Технічними заходами забезпечення безпеки роботи є:

- відключення електроустаткування, яке ремонтується, і вживання заходів проти помилкового його включення;
- аварійне відключення при обриві тягового органу, завалі перевантажувального пристрою, зягнутому пуску, відсутності захисту електродвигуна, при зниженні швидкості стрічки або бічному сходженні її тощо;
- установка тимчасових огорожень струмоведаччих частин і вивішування забороняючих плакатів : "Не включати - працюють люди" або "Не включати - роботи на лінії";
- приєднання переносного заземлення до заземлювальної шини стаціонарного пристрою, і перевірка відсутності напруги на. струмоведаччих частинах, що для безпеки проведення робіт підлягають замиканню накоротко і заземленню;
- накладення переносних заземлень на відключені струмоведаччі частини електропривода відразу після перевірки відсутності напруги або включення спеціальних роз'єднувачів, що заземлюють.

Безпека роботи в електроустановках забезпечується застосуванням електротехнічних засобів захисту.

При роботі з електричними ланцюгами напругою до 1000 В застосовуються наступні основні захисні засоби: діелектричні рукавички; вимірювальні оперативні штанги; електровимірювальні кліщі; показники напруги; слюсарно-монтажний

інструмент. До додаткових захисних засобів в електроустановках нижче 1000 В відносять калоші, гумові килимки, підставки, що ізолюють.

Через нагромадження зернового пилу потрібно встановити на норії датчики заповнення місткості, максимальної швидкості руху, перекосу стрічки. Бажаними також є датчики додаткового контролю важливих параметрів роботи конвеєра, наприклад, температури підшипників або запиленості робочого простору.

Для запобігання виникнення пожежі в приміщенні передбачена електрична пожежна сигналізація, що складається з датчиків сповіщення.

Для швидкої ліквідації вогнищ загоряння використовуються вогнегасники типу ОХП - 4 і ОУ - 2А.

Для запобігання можливого загоряння використовується ряд первинних засобів пожежогасіння, таких як пісок, багри, цебра, що знаходяться на пожежних щитах або біля них. Забороняється:

- чистити руками осадові камери аспіраційних улаштувань через оглядові люки. Цю роботу можна виконувати після повної зупинки машини;
- допускати накопичення пилу, відходів соломи, зернових решток та іншого сміття біля машин, в робочій зоні;
- під час роботи транспортера ставати на раму машини, відкривати кришки люків кожуха
- під час відкривання оглядових отворів знаходитися від них на віддалі витягнутої руки. Відкривання кришок оглядових отворів необхідно здійснювати спеціальними гаками.

5.3 Висновки до розділу 5:

- проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при роботі на ківшевих норіях,
- наведені правила техніки безпеки для попередження нещасних випадків при роботі на ківшевих норіях
- наведені заходи щодо безпечної експлуатації електрообладнання при роботі на ківшевих норіях відповідно до нормативних вимог.

ВИСНОВКИ

Метою даної кваліфікаційної роботи магістра є модернізація системи керування електропривода ківшевої норії на основі застосування регульованого асинхронного двигуна.

У відповідності з поставленою метою в роботі проведено аналіз сучасного стану перетворювальної приводної техніки, проведений літературний огляд джерел з дослідження систем регулювання швидкості автоматизованого електропривода, обґрунтована актуальність модернізації системи керування роботою норії.

В якості об'єкту модернізації розглядається система керування електропривода норії стрічкової ківшевої типу НКЗ-50 компанії Agrohelix.

Вибраний та обґрунтований метод наукового дослідження, побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження. Обґрунтовано вибір методу вирішення задачі і показано, що метод математичного моделювання дозволяє із залученням обчислювальної техніки досліджувати перехідні режими у системі керування електропривода норії.

Розглянуті класифікація транспортуючих машин та сфери використання норій, наведені дані про конструкцію, роботу та електричне обладнання ківшевих норій.

Проведений аналіз існуючих видів електродвигунів та вибраний більш сучасний електродвигун типу АІР112М4У3 потужністю 5,5 кВт.

На основі проведеного аналізу систем керування двигунами перемінного струму для керування електродвигуном норії вибраний перетворювач типу Siemens MICROMASTER 440 з частотним керуванням, наведені його технічні дані та характеристики, показані загальна та принципова електрична схеми перетворювача частоти.

Розглянута функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотно-струмовим керуванням та її робота, на основі функціональної схеми складена структурна схема частотно-струмової системи керування та розраховані її параметри.

Для визначення параметрів налагодження ПІ-регулятора швидкості, які будуть забезпечувати необхідні показники якості перехідного процесу, проведений параметричний синтез. Побудовані перехідні характеристики системи частотного керування асинхронним двигуном при варіації параметрами налагодження ПІ-регулятора.

Проведений аналіз отриманих перехідних процесів показав, що:

- при зменшенні коефіцієнта підсилення K_i з 10,0 до 2,5 максимальне перерегулювання системи $\sigma_{\max}$ зменшується з 32 % до 2,8 % . Час перехідного процесу $T_{\max}$ збільшується з 0,4 с до 0,3 с.;
- при збільшенні T_{PII} з 0,05 с до 0,1 с перерегулювання системи $\sigma_{\max}$ зменшується з 9% до 0 %. Час перехідного процесу $T_{\max}$ при цьому збільшується з 0,33 с до 0,42 с.

В результаті аналізу були вибрані такі параметри настроювання регулятора $T_{PII} = 0,72$ с; $K_i = 2,75$, які забезпечили необхідні показники якості:

- перерегулювання $\sigma_{\max} = 7,9$ %.
- час перехідного процесу $T_{\max} = 0,72$ с;
- коливальність $N = 1$;
- статична помилка $\varepsilon = 0$.

Таким чином, можна зробити висновок, що дана модернізація покращила динамічні характеристики системи.

Отримані результати підтверджують вирішення задач по вдосконаленню динамічних якостей системи керування норії. Таким чином, основна мета роботи виконана.

В результаті проведеного аналізу потенційно небезпечних та шкідливих факторів були визначені заходи щодо безпечної експлуатації електрообладнання при роботі на ківшевих норіях.

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні систем керування електроприводів в навчальному процесі кафедри автоматики НУК.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Александров М. П.** Грузоподъемные машины: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана – Высшая школа, 2000. –552 с.
2. Асинхронные электродвигатели общего назначения серии АИР. Технический каталог. URL: <https://samsnab.com.ua/docs/Katalog-elektrodvigateli-AIR-TM-ELMO.pdf>.
3. **Важинський С. Е.** Методика та організація наукових досліджень : Навч. посіб. / С. Е. Важинський, Т. І. Щербак. – Суми: СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. – 260 с.
4. **Видмиш А. А.** Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
5. **Гераїмчук М. Д.** Моделювання систем у середовищі MATLAB-SIMULINK: Комп'ютерний практикум / М.Д. Гераїмчук, Ю.Ф. Лазарєв, Т.О. Толочко. – К.:, 2006. – 175с.
6. **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.
7. **Дацишин О.В.** Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв. – Вінниця: Нова книга, 2008.
8. **Козуб Ю.Г., Маслійов С.В.** Підйомно-транспортні машини: Підручник / Ю.Г. Козуб, С.В. Маслійов – Старобільськ: вид-во ДЗ „ЛНУ імені Тараса Шевченка”, 2018. – 277с.
9. **Кириленко О. П.** Методика та організація наукових досліджень : навч. посіб. / [О. П. Кириленко, В. В. Письменний, Н. М. Ткачук та ін.] ; за ред. О. П. Кириленко. – Тернопіль : Видавн.-поліграф. центр ТНЕУ «Економічна думка», 2012. – 196 с.
10. **Ловейкін В.С.** Тенденції розвитку стрічкових ківшових елеваторів // Національний університет біоресурсів і природокористування України. / В.С. Ловейкін, В.А. Бортун. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/60814825.pdf> .

11. **Норія ківшева НКЗ-50.** Компанія Agrohelix. URL: <https://agrohelix.com.ua/noriya-nkz-50-98-m-v-zbori-na-kontrprivodi/>.

12. **Організація і технологія вантажно-розвантажувальних робіт :** електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / В. П. Кужель, А. А. Кашканов, В. А. Кашканов, О. П. Антонюк. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 152 с.

13. **Основи охорони праці:** Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.:Основа, 2006 — 448 с.

14. **Павленко Т. П.** Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій. / Т. П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 132 с.

15. **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.

16. Способи транспортування зерна на елеваторах. [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://mysilo.com.ua/mediatsentr/novyny/209-sposoby-transportuvannia-zerna-na-elevatorakh.html>

17. **Терехов В. М.** Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Терехов, О. И. Осипов; под ред. В. М. Терехова. - 2-е изд., стер. - М.: Издательский центр "Академия", 2006. - 304 с.

18. **Ткаченко С.М.** Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». Керування скидальним візком портового елеватора як непоозиціонованим механізмом. Прикладні питання математичного моделювання т. 6, No 2, 2023 / URL:

<https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/ppmm/article/view/558/534>

19. **Хомик Н.І.** Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції : курс лекцій / Н.І. Хомик, В.П. Олексюк, О.П. Цьонь. – Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2016. – 288 с.

20. **Елеваторна** промисловість: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : наук.-допом. бібліогр. покажч. / [упоряд. Т. П. Фесун] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. – Київ, 2021. – 180 с.

21. **Электропривод Siemens Micromaster 440.** Руководство по эксплуатации издание А1. Режим доступа:
[https://chastotnik.ua/media/manuals/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87%D1%96%20%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8%20\(VFD\)/Siemens/MicroMaster 440/MicroMaster 440 manual rus.pdf](https://chastotnik.ua/media/manuals/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87%D1%96%20%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8%20(VFD)/Siemens/MicroMaster%20440/MicroMaster%20440%20manual%20rus.pdf)

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Крилевський Максим Юрійович

Кваліфікаційна робота магістра на тему:

"Модернізація автоматизованого електропривода
зернової норії"

Керівник роботи – Васильєв О.Г.

Слайд 1 мультимедійної презентації

АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах діючої військової агресії для аграрних підприємств України є дуже важливим розвиток та підвищення продуктивності портових елеваторів, розташованих у Херсонській, Миколаївській, а також Одеській областях.

В перекладі з англійської elevator — ліфт, підіймач, і цими ліфтами, які підіймають зерно на потрібну висоту, є норії.

Норія являє собою вертикальний конвеєр, до якого прикріплені ківші. За рахунок їх постійного переміщення відбувається підйом сипучого вантажу.

Основним вузлом, що визначає нормальну роботу норії, є її електропривод, моделювання процесу роботи якого надалі дозволить досліджувати й модернізувати конвеєрну установку з метою оптимізації її роботи, особливо в перехідних режимах та при різких стрибкоподібних змінах схем завантаження норії.

Наразі спостерігається тенденція застосовувати регульований асинхронний електропривод в норіях. Тобто, щоб кожній зміні транспортованого продукту відповідала певна потужність привода. Це є актуальним для підприємств збереження і переробки зерна з різними видами зернових культур.

Застосування керованих перетворювачів частоти дозволяє створювати установки з високими динамічними властивостями й мінімальними додатковими втратами.

До того ж перетворювачі частоти мають значний «внутрішній ресурс» - служать вони довго й надійно.

Таким чином, застосування частотно-регульованого електропривода конвеєра, що забезпечує плавне регулювання лінійної швидкості стрічки, дозволяє отримати максимальну економію електроенергії транспортування вантажу при змінному вантажопотоці.

Тому розробка структури й ефективних алгоритмів функціонування системи автоматичного керування роботою норії є актуальним завданням.

Мета роботи – Метою роботи є удосконалення системи керування електропривода зернової норії на основі застосування регульованих асинхронних двигунів (АД).

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні завдання:

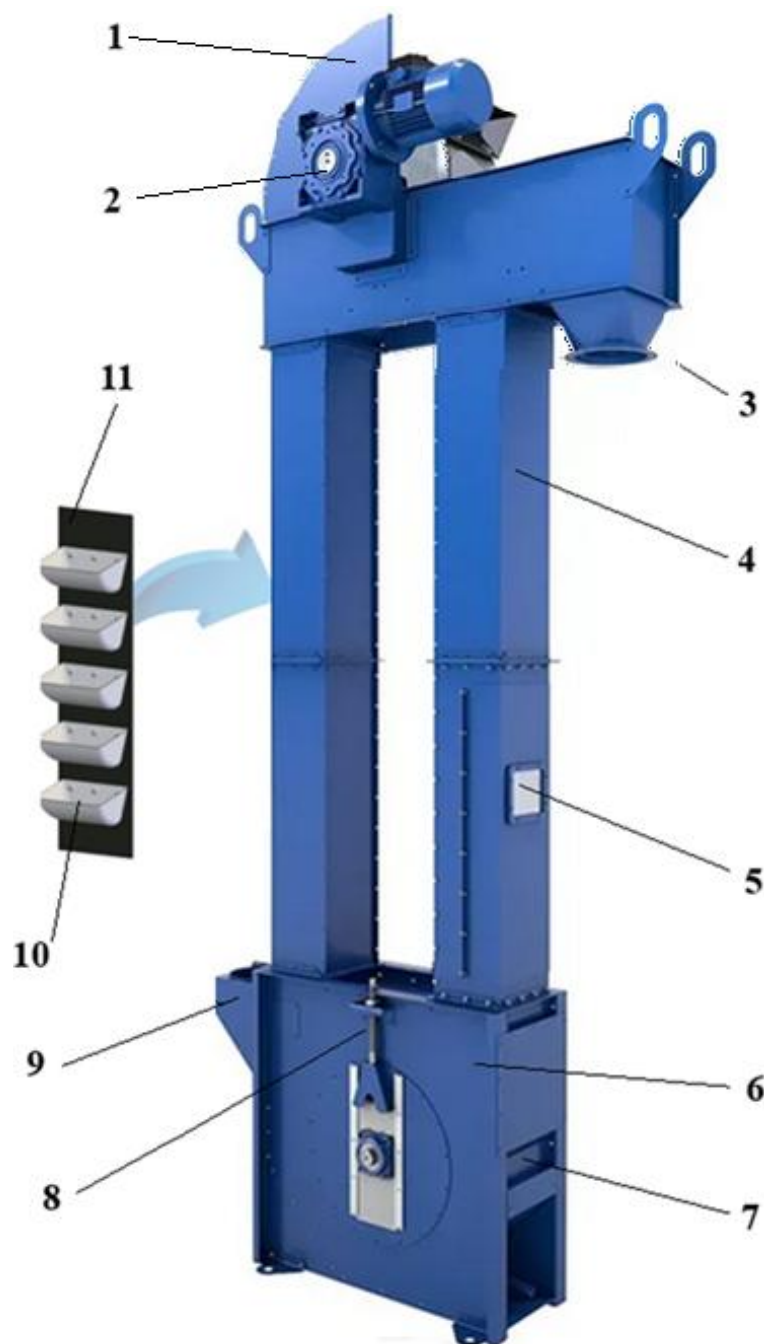
- складені адекватні математичні моделі і досліджувати фізичні процеси, що відбуваються в об'єкті, на базі сучасних комп'ютерних програм і методів розрахунку;

- проведене теоретичне і комп'ютерне дослідження значень основних показників якості роботи норії;

- проаналізовані результати моделювання й обґрунтовано правильність вибору системи керування для норії.

Об'єкт дослідження - процеси, що відбуваються у електроприводі норії.

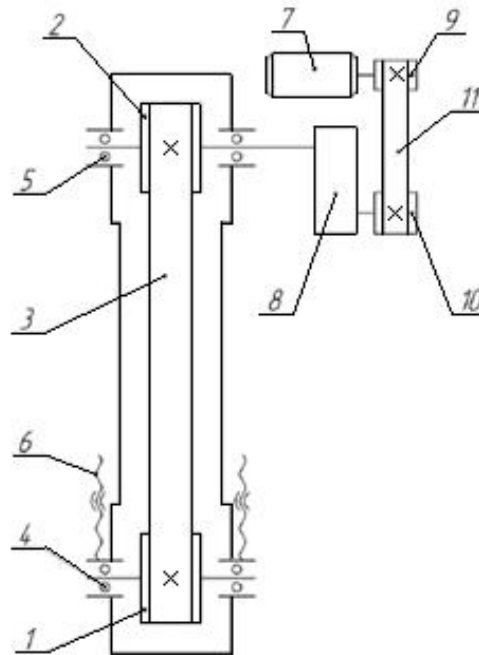
ЗАГАЛЬНИЙ ВИД СТРІЧКОВОЇ КІВШЕВОЇ НОРІЇ НКЗ-50



1 - верхня голівка ківшевого елеватора ; 2 - мотор-редуктор; 3 - патрубок вивантаження; 4 - шахта норії; 5 - люк обслуговування ; 6 - нижній башмак ківшевого елеватора; 7 - люк для очищення; 8 - натяжна шпилька; 9 - патрубок завантаження; 10 - ковші норії; 11 - стрічка норії

Слайд 3 мультимедійної презентації

КІНЕМАТИЧНА СХЕМА ТА ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ СТРІЧКОВОЇ КІВШЕВОЇ НОРІЇ



1 – барабан натяжний; 2 – барабан приводний; 3 – стрічка; 4, 5 – підшипниковий вузол; 6 – механізм натягу стрічки; 7 – електродвигун; 8 – редуктор; 9, 10 – шків; 11 – ремінь клиновий

Кінематична схема норії

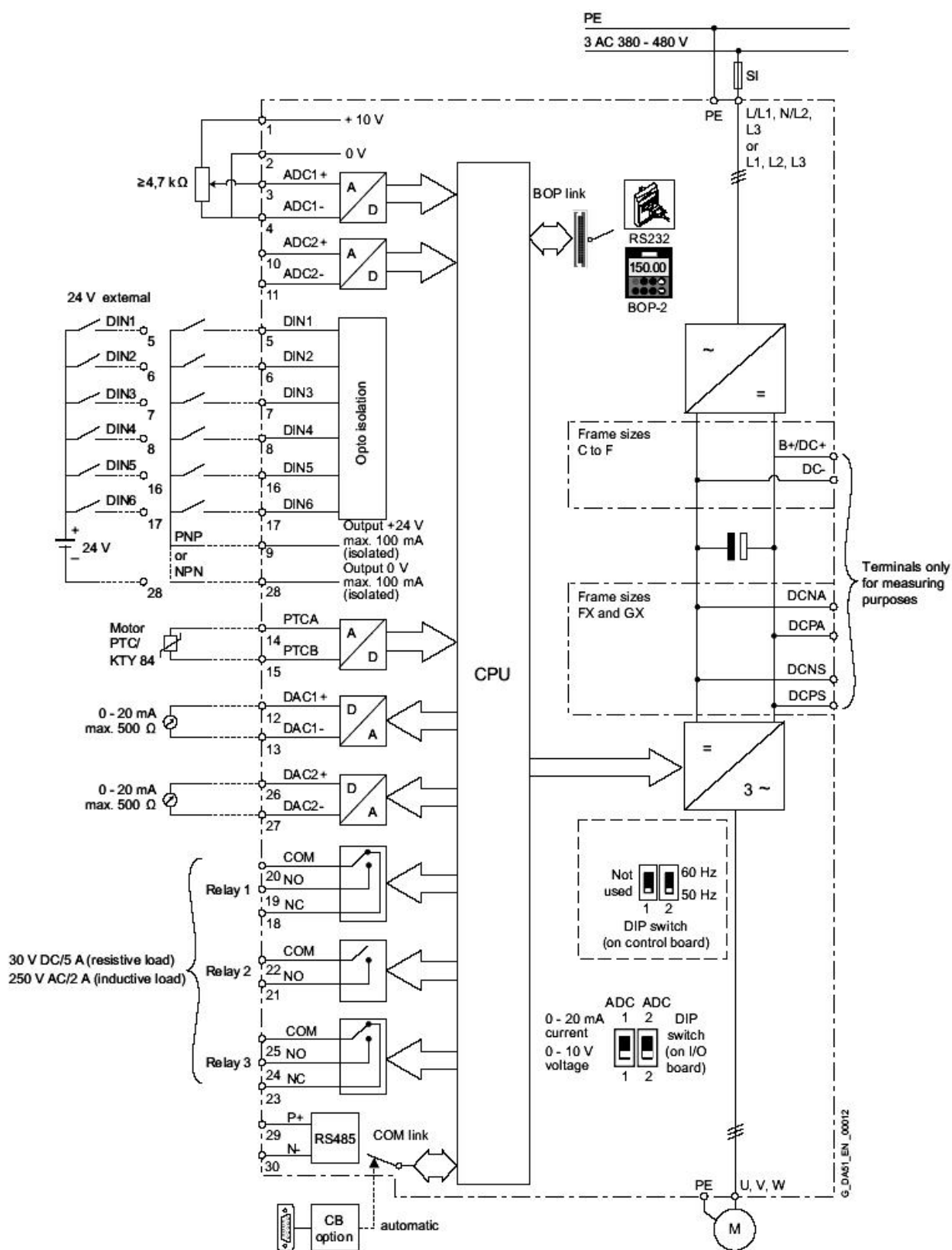


Рекомендована електрична принципова схема системи керування норії

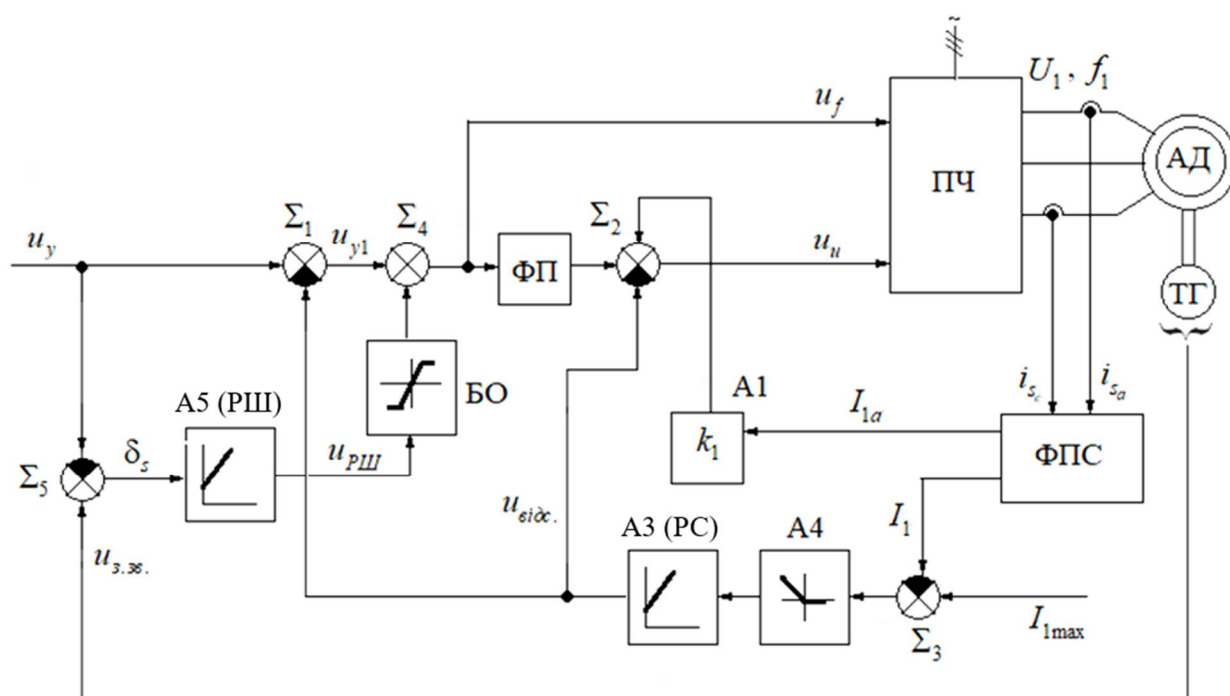
СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження енергозберігаючого електропривода ківшевої норії	
Складання індивідуального календарного плану роботи	
Аналіз останніх досліджень та публікацій. Пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини	Сучасний стан досліджень транспортно-технологічних механізмів, аналіз систем керування приводами конвеєрів
	Класифікація транспортуючих машин
Опис об'єкту дослідження	Розгляд будови, конструкції і основні вузли ківшевої норії
	Аналіз існуючих типів електродвигунів, обґрунтований вибір двигуна
	Аналіз та вибір системи керування обраним двигуном
Опис процесу дослідження	Розгляд способів регулювання кутової швидкості електродвигуна, вибір електропривода
	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	

ЗАГАЛЬНА СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ ТИПУ SIEMENS MICROMASTER 440



ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ЗАМКНУТОЇ СИСТЕМИ ПЧ-АД З ЧАСТОТНИМ КЕРУВАННЯМ



ПЧ - перетворювач частоти;

АД - асинхронний двигун;

А5 (РШ) - регулятор швидкості;

А3 (РС) - регулятор струму;

А4 - регулятор (забезпечує проходження сигналу I_1 на вхід А3 (РС) лише при його перевищенні на суматорі Σ_3 сигналу I_{1max});

ТГ - тахогенератор - датчик зворотного зв'язку по швидкості;

А1 (k_1) - датчик зворотного зв'язку по струму (трансформатор струму);

БО - блок обмеження вихідної напруги $u_{PШ}$;

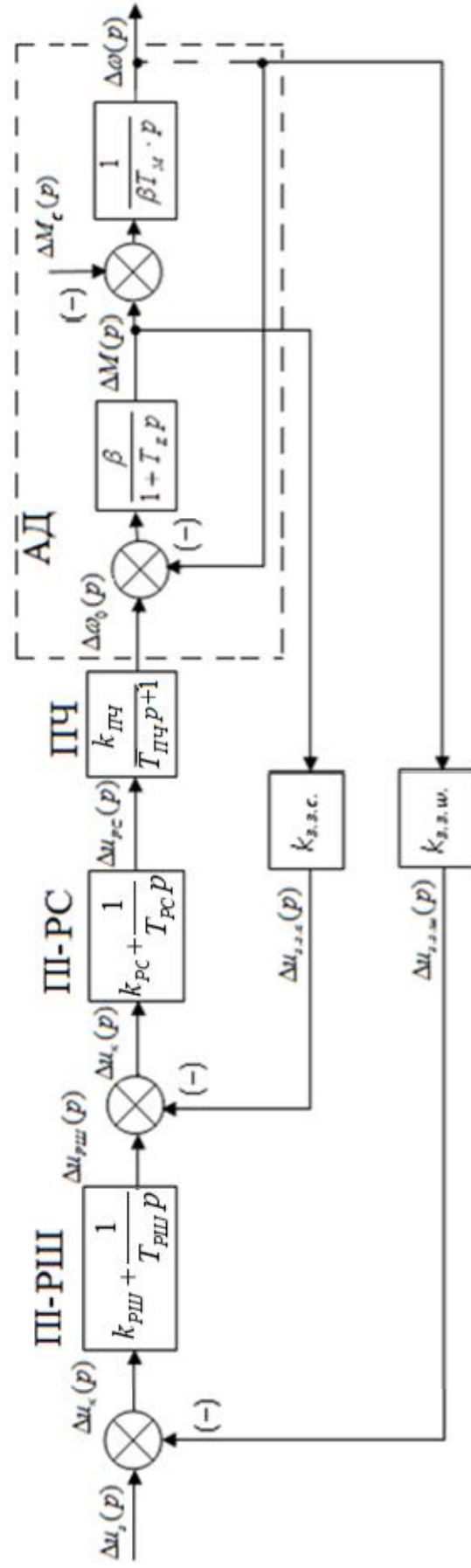
ФПС - функціональний перетворювач струму;

ФП - функціональний перетворювач напруги;

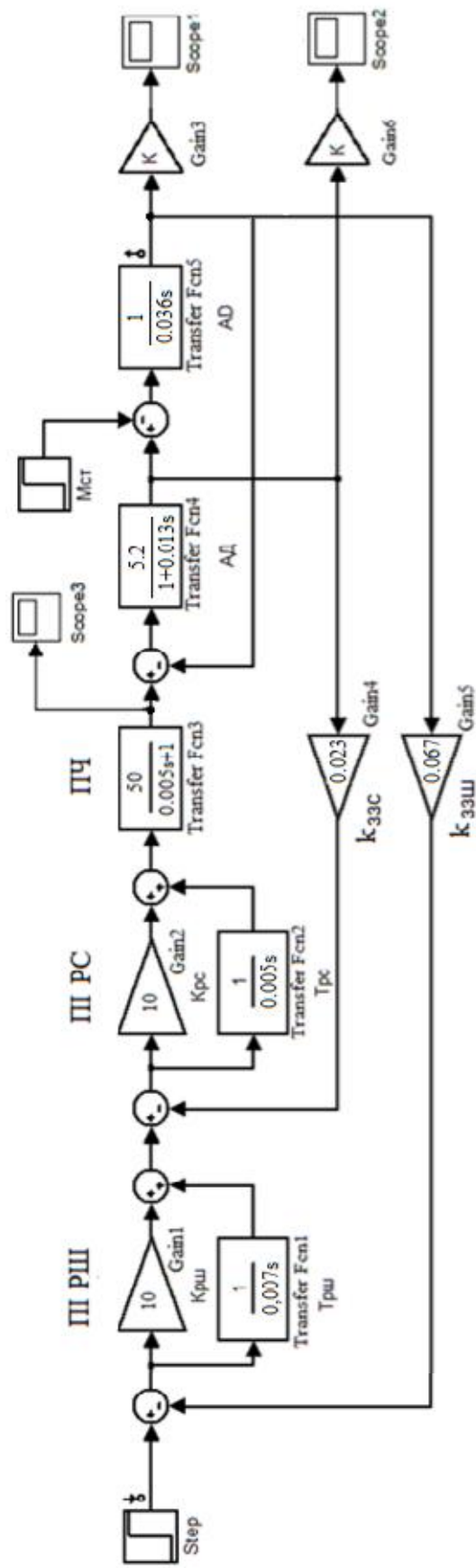
u_y – напруга завдання;

u, f – керовані напруга та частота живлення АД;

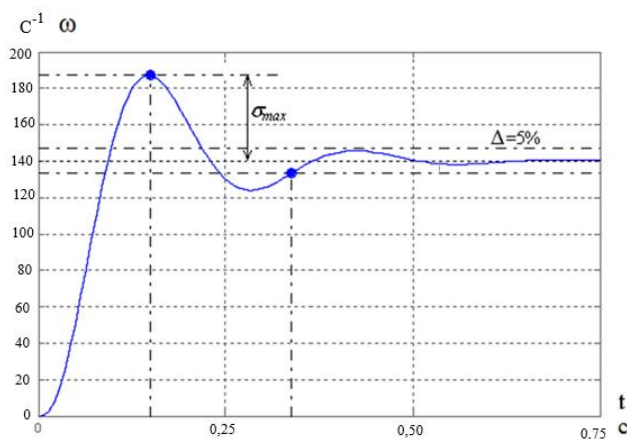
СТРУКТУРНА СХЕМА ЕЛЕКТРОПРИВОДА



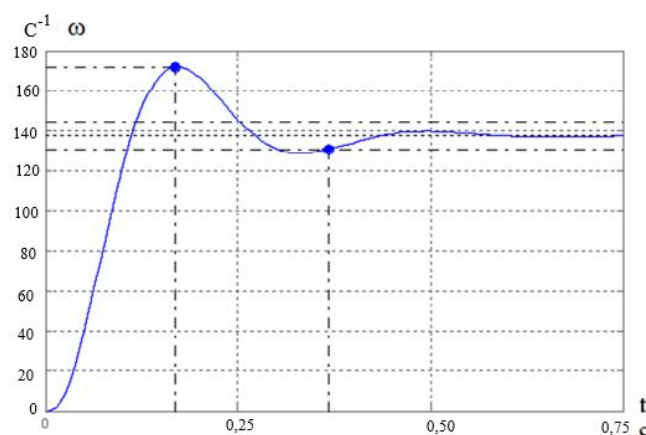
РОЗРАХУНКОВА ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ З ПІ-РЕГУЛЯТОРОМ ШВИДКОСТІ



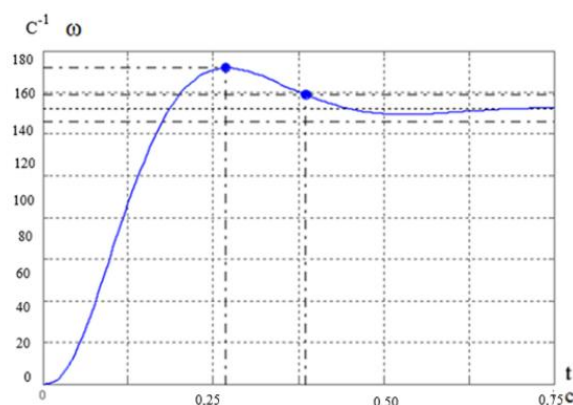
ПЕРЕХІДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ЗМІНІ КОЕФІЦІЄНТА ПІДСИЛЕННЯ



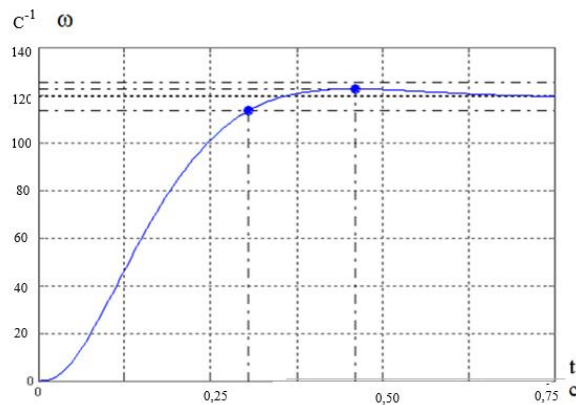
Перехідна характеристика
при $T_{РШ} = 0,05 \text{ c}$ і $K_i = 10$



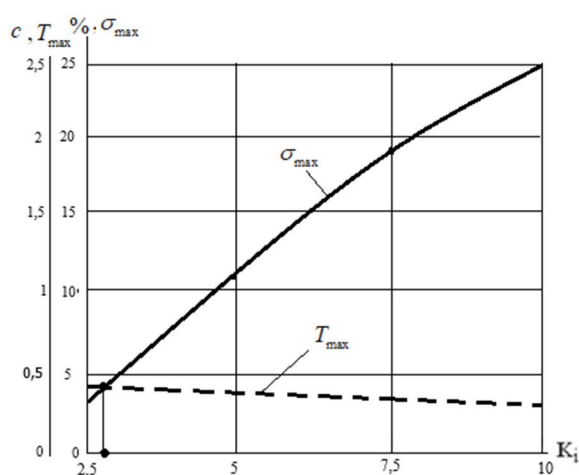
Перехідна характеристика
при $T_{РШ} = 0,05 \text{ c}$ і $K_i = 7,5$



Перехідна характеристика
при $T_{РШ} = 0,05 \text{ c}$ і $K_i = 5,0$

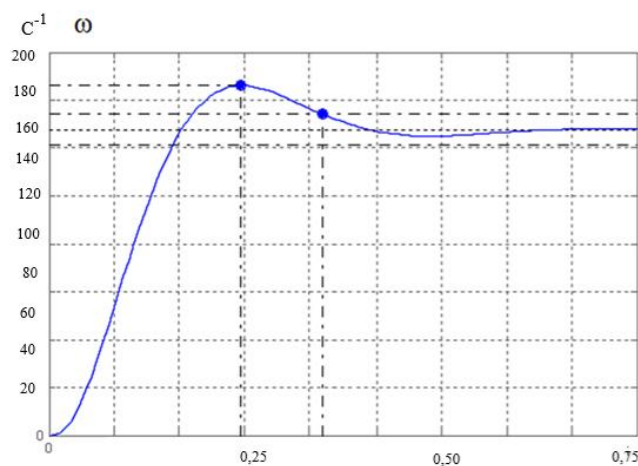


Перехідна характеристика
при $T_{РШ} = 0,05 \text{ c}$ і $K_i = 2,5$

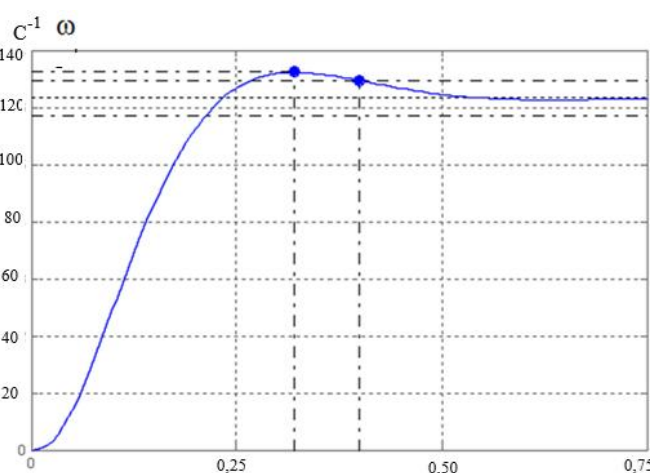


Залежність $\sigma_{\max}$ і $T_{\max}$ при зміні K_i та при $T_{РШ} = \text{const}$

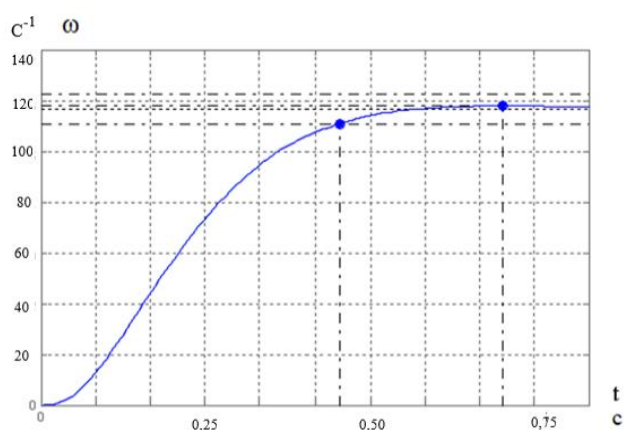
ПЕРЕХІДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ЗМІНІ ПОСТІЙНОЇ ЧАСУ РЕГУЛЯТОРА ШВИДКОСТІ



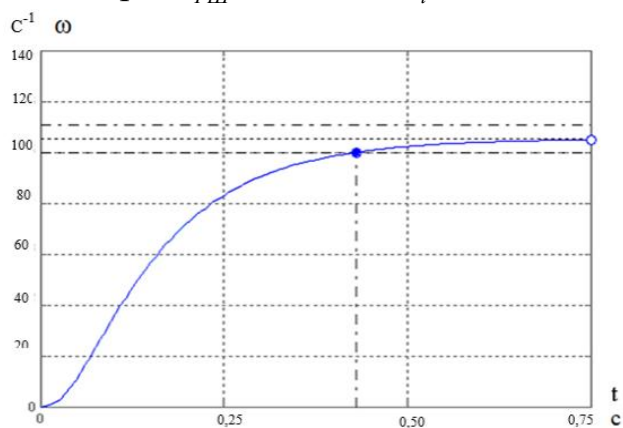
Перехідна характеристика
при $T_{PШ} = 0,05\text{с}$ і $K_i = 2,75$



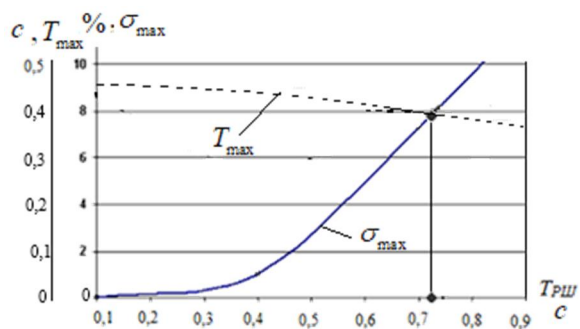
Перехідна характеристика
при $T_{PШ} = 0,07\text{с}$ і $K_i = 2,75$



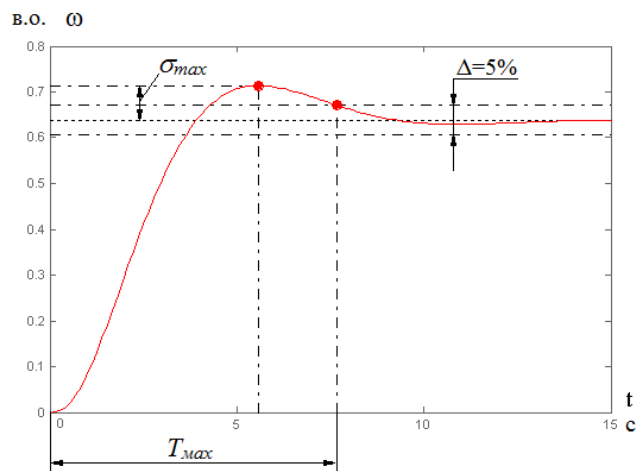
Перехідна характеристика
при $T_{PШ} = 0,09\text{с}$ і $K_i = 2,75$



Перехідна характеристика
при $T_{PШ} = 0,1\text{с}$ і $K_i = 2,75$



Залежність $\sigma_{\max}$ і $T_{\max}$ при зміні
 $T_{PШ}$ та при $K_i = \text{const}$



Перехідна характеристика з вибраними
параметрами
при $T_{PШ} = 0,72\text{с}$ і $K_i = 2,75$

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена модернізації системи керування електропривода ківшевої норії на основі застосування регульованого асинхронного двигуна.

Основні результати виконаної роботи можна сформулювати наступним чином:

- розглянуті класифікація транспортуючих машин та сфери використання норій, наведені дані про конструкцію, роботу та електричне обладнання ківшевих норій;
- проведена заміна існуючого електродвигуна на більш сучасний електродвигун типу АІР112М4У3 потужністю 5,5 кВт зі ступенем захисту IP55;
- проведений вибір комплектного електропривода типу Siemens MICROMASTER 440 з частотним керуванням для керування обраним двигуном;
- на основі функціональної схеми складена структурна схема частотної системи керування та розраховані її параметри;
- для визначення параметрів налагодження ПІ-регулятора, які будуть забезпечувати необхідні показники якості перехідного процесу, був проведений параметричний синтез при варіації параметрами ПІ-регулятора.

Проведений аналіз отриманих перехідних процесів показав, що:

- при зменшенні коефіцієнта підсилення K_i з 10,0 до 2,5 максимальне перерегулювання системи $\sigma_{\max}$ зменшується з 32 % до 2,8 % . Час перехідного процесу $T_{\max}$ збільшується з 0,4 с до 0,3 с.;
- при збільшенні T_{PII} з 0,05 с до 0,1 с перерегулювання системи $\sigma_{\max}$ зменшується з 9% до 0 %. Час перехідного процесу $T_{\max}$ при цьому збільшується з 0,33 с до 0,42 с.

В результаті аналізу були вибрані такі параметри настроювання регулятора $T_{PII} = 0,72$ с; $K_i = 2,75$, які забезпечили необхідні показники якості:

- перерегулювання $\sigma_{\max} = 7,9$ %.
- час перехідного процесу $T_{\max} = 0,72$ с;
- коливальність $N = 1$;
- статична помилка $\varepsilon = 0$.

В результаті проведеного аналізу потенційно небезпечних та шкідливих факторів були визначені заходи щодо безпечної експлуатації електрообладнання при роботі на ківшевих норіях.

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні систем керування електроприводів в навчальному процесі кафедри автоматики НУК.