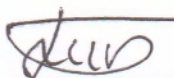


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

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

Кафедра автоматики
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

І. С. Білюк

«20» 12 2024 р.

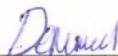
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня магістра

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

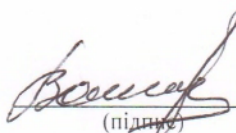
освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
(назва освітньої програми)

на тему: Удосконалення системи керування електропривода гвинтового
конвеєра

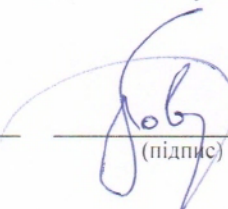
Виконав: студент групи 6371м
Демченко Данило Максимович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

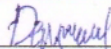
Керівник доц. каф. автоматики, к.т.н.,
доцент Васильєв О.Г.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент доцент кафедри СЕЕС,
к.т.н., доцент С.М.Новогорецький
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

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

Студент 
(підпис)

м. Миколаїв – 2024 року

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається із 101 сторінки: 91 сторінки пояснювальної записки, 5 розділів, 12 таблиць, 22 рисунків, 31 літературних джерел, 1 додатку на 10 сторінках.

Ключові слова: автоматизація, аналіз динаміки, математична модель, методологія дослідження, гвинтовий конвеєр, система керування, тиристорний електропривод, транспортуючі машини

Мета роботи – удосконалення електропривода гвинтового конвеєра на основі застосування регульованих асинхронних двигунів.

У розділі 1 наведений огляд літератури та розробок за темою, наведені дані про перспективи розвитку сучасного електричного привода, розглянута класифікація транспортуючих машин, наведений опис та робота гвинтового конвеєра типу KB-100, наведені його 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, розрахована необхідна потужність приводного двигуна гвинтового конвеєра, вибраний цього тип. Розглянуті існуючі системи керування двигунами перемінного струму, обраний перетворювач типу Danfoss VLT Automation Drive FC 301 з частотно-струмовим керуванням.

В розділі 4 виконаний розрахунок механічних характеристик електродвигуна, зроблений математичний опис елементів системи керування, проведені розрахунки по їх вибору, складена розрахункова динамічна модель системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей.

Були вибрані параметри налагодження регулятора швидкості, які забезпечили задані параметри перехідних процесів.

В розділі 5 розглянуті питання охорони праці при експлуатації електропривода гвинтового конвеєра.

Додаток містить 10 слайдів мультимедійної презентації.

ABSTRACT

The master's qualification work consists of 101 pages: 91 pages of explanatory note, 5 sections, 12 tables, 2 figures, 32 literature sources, 1 appendix on 10 pages.

Keywords: automation, dynamics analysis, mathematical model, research methodology, screw conveyor, control system, thyristor electric drive, conveying machines

The purpose of the work is to improve the electric drive of a screw conveyor based on the use of regulated asynchronous motors.

Section 1 provides a review of the literature and developments on the topic, provides data on the prospects for the development of a modern electric drive, considers the classification of conveying machines, provides a description and operation of the KV-100 type screw conveyor, provides its technical data and information on electrical equipment.

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

In section 3, an analysis of existing types of electric motors is performed, the required power of the drive motor of the screw conveyor is calculated, its type is selected. Existing control systems for AC motors are considered, a Danfoss VLT Automation Drive FC 301 converter with frequency-current control is selected.

In section 4, the calculation of the mechanical characteristics of the electric motor is performed, a mathematical description of the elements of the control system is made, calculations are made for their selection, a calculated dynamic model of the control system is compiled and its dynamic properties are analyzed. The parameters of the speed controller adjustment were selected, which provided the specified parameters of transient processes.

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

The appendix contains 10 slides of a multimedia presentation

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	9
1.1 Огляд досліджень та розробок за темою.....	9
1.2 Опис об'єкту дослідження. Гвинтовий конвеєр типу KB-100.....	16
1.2.1 Класифікація транспортуючих машин, устрій і принцип роботи гвинтових конвеєрів	16
1.3 Електричне обладнання гвинтового конвеєра	22
1.4 Висновки до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	24
2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження.....	24
2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження	30
2.3 Вибір методу вирішення поставленої задачі дослідження	32
2.4 Висновки до розділу 2	33
РОЗДІЛ 3 ВИБІР ТИПУ ДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА	34
3.1 Обґрунтування вибору типу електродвигуна	34
3.2 Розрахунок електродвигуна.....	37
3.3 Існуючі типи систем керування електродвигунів перемінного струму	43
3.4 Загальні технічні характеристики та робота комплектного електропривода Danfoss VLT AutomationDrive FC 301	49
3.5 Висновки до розділу 3	56
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА.....	57
4.1 Функціональна та структурна схеми системи керування.....	57
4.1.1 Математичний опис структурної схеми електропривода з частотно- струмовим керуванням	60
4.2 Розрахунок параметрів регуляторів системи керування	

електропривода.....	67
4.2.1 Структурна схема електропривода з частотно-струмовим керуванням.....	67
4.2.2 Формування та розрахунок параметрів елементів структурної схеми	71
4.3 Аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода гвинтового конвеєра.....	75
4.4 Висновки до розділу 4	80
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА	81
5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, характерних для роботи на гвинтових конвеєрах.....	82
5.2 Розробка заходів щодо безпечної експлуатації при роботі на гвинтових конвеєрах.....	85
5.3 Висновки до розділу 5	87
ВИСНОВКИ	88
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	89
Додаток А. Мультимедійна презентація.....	92

ВСТУП

Актуальність теми. Технологічний процес виробництва нерозривно пов'язаний з переміщенням великої кількості вантажів, починаючи від подавання сировини до видавання готової продукції. У здійсненні вантажних потоків на підприємствах і комплексної механізації процесів праці основну роль відіграють системи підйомно-транспортних машин та обладнання.

Важлива роль у сільськогосподарському виробництві відіграє процес переміщення вантажів, який часто пов'язують з очищенням і переробкою сільськогосподарської продукції.

Переважає більшість усіх технологічних операцій з переміщення сільськогосподарських вантажів здійснюється шнеками різних типів. З розвитком народного господарства України гвинтові механізми отримали широке застосування у всіх галузях.

Шнековими механізмами оснащено багато різних сільськогосподарських і дорожніх машин, обладнання харчової і легкої промисловості, цілий ряд будівельних і транспортних машин, машин тваринницьких ферм і металорізальних верстатів, механізмів малої механізації у фермерському виробництві і шнекових пресів при переробці пластичних мас та інших машин різного службового призначення.

Механізми з гвинтовими пристроями отримали широке застосування у всіх галузях народного господарства завдяки концентрації різних операцій у поєднанні з транспортуванням. До таких операцій належать транспортування, завантаження-розвантаження, подрібнення, змішування, пресування, очищення і зенкерування шкіри екструдуювання кормових матеріалів, видавлювання соків, натягування ліній електропередач, винограджників і багато інших операцій.

Перевагою гвинтових конвеєрів є не тільки закритий транспортний тракт, але й компактність в порівнянні з іншими транспортуючими пристроями (стрічковими і пластинчастими конвеєрами) рівної продуктивності, безпека в роботі і обслуговуванні, придатність для гарячих і токсичних матеріалів.

Ефективність використання конвеєра в технологічному процесі будь-якого

виробництва залежить від того, наскільки тип і параметри вибраного конвеєра відповідають властивостям вантажу і умов, в яких протікає технологічний процес. До таких умов відносяться: продуктивність, довжина транспортування, форма траси і напрям переміщення; умови завантаження і розвантаження конвеєра, розміри вантажу; його форма, питома щільність, абразивність, кусковатість, вологість, температура, ритм і інтенсивність подачі та інше.

В наш час актуальним стає завдання автоматичного регулювання продуктивності конвеєрів для стабілізації вантажопотоку і оптимізації режимів їх експлуатації. Основним завданням автоматизації конвеєрних ліній є централізація керування пуском і зупинкою конвеєрів при забезпеченні їх автоматичного захисту з метою скорочення витрат на транспортування вантажів у результаті вивільнення обслуговуючого персоналу, зменшення енерговитрат і зниження витрати матеріалів.

Таким чином, розробка структури й ефективних алгоритмів функціонування системи автоматичного керування роботою конвеєра є актуальним завданням.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є удосконалення системи керування електропривода гвинтового конвеєра на основі застосування регульованих асинхронних двигунів (АД).

Режим роботи конвеєра характеризується: тривалою роботою протягом значного проміжку часу; нечастими пусками і остановами, що пояснюється тривалим режимом роботи конвеєра; нерівномірністю завантаження; порівняно важкими умовами пуску.

Таким чином, при автоматизації конвеєрного транспорту для забезпечення його ефективної роботи необхідно вирішити такі завдання:

- керування пуском і зупинкою конвеєра.
- зниження витрат електроенергії.
- забезпечення безпечного режиму роботи конвеєра в цілому.

Завдання полягає в тому, щоб замінити існуючий електропривод на електропривод, з кращими технічними характеристиками, що значно покращить експлуатаційні характеристики транспортуючого засобу.

Отже, метою даної роботи є забезпечення ефективної роботи гвинтового

конвеєра за рахунок частотного регулювання швидкості електропривода.

Для успішної реалізації мети роботи необхідно:

- провести аналіз існуючих засобів та систем керування електродвигунами перемінного струму і на базі цього аналізу вибрати найбільш підходящий;
- скласти математичний опис системи керування і розробити її структурну схему;
- по отриманій структурній схемі провести аналіз динамічних властивостей розрахункової системи керування;
- визначити параметри налагодження регулятора швидкості для забезпечення найкращих показників якості перехідного процесу системи керування.

Об'єкт дослідження - процеси, що відбуваються у електроприводі гвинтового конвеєра із застосуванням частотного перетворювача.

Предмет дослідження: динамічні характеристики системи, параметри, що забезпечують підвищення точності системи керування електропривода гвинтового конвеєра.

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 диференціальних 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 гвинтового конвеєра та аналізу алгоритмів керування.

Результати кваліфікаційної роботи магістра використовуються у навчальному процесі при курсовому проектуванні і при викладанні дисципліни "Системи керування електроприводами" кафедри автоматики Навчально-наукового інституту автоматики та електротехніки НУК імені адмірала Макарова

РОЗДІЛ 1

ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Огляд досліджень та розробок за темою

В сучасних ринкових умовах необхідною складовою успішного вироблення сільськогосподарської продукції є забезпечення підприємства власною високопродуктивною технікою, яка б відповідала сучасним вимогам.

У більшості техніки робочими транспортуючими органами є гвинтові транспортери. Проблема забезпечення необхідної продуктивності гвинтових транспортерів при їх використанні пов'язана, насамперед, з конструкційними особливостями та наявністю автоматичної системи керування режимами роботи конвеєра.

Вітчизняна промисловість забезпечує транспортерами, машинами і іншим технологічним обладнанням галузь сільськогосподарського виробництва. Проте за деякими техніко-економічними показниками (висока металомісткість, недостатні надійність і ефективність) машини, в тому числі і піднімально-транспортні, на сьогодні відстають від машин зарубіжних фірм. На сьогоднішній день постало актуальним завдання створення прогресивних автоматизованих гвинтових конвеєрів для виконання транспортно-технологічних операцій в сільськогосподарському виробництві та промисловості [16].

В роботах Гевко І. Б. [12], Гудь В. З. [16], Ляшук О. Л. [20] наданий вичерпний огляд робіт з досліджень гвинтових конвеєрів для виконання транспортно-технологічних операцій.

У формування наукових основ теорії проектування гвинтових механізмів вагомий внесок зробили В. В. Адамчук, А. П. Александров, О. Д. Алімов, К. В. Алферов, П. І. Басов, Е. Бернхардт, А. І. Бойко, А. А. Вайнсон, П. М. Василенко, Б. М. Гевко, Р. Б. Гевко, А. М. Григор'єв, І. Е. Груздев, П. М. Заїка, Р. Л. Зенков, В. Г. Іванов, Г. В. Корнєєв, Л. М. Куцин, В. С. Ловейкін, М. І. Пилипець, Р. М. Рогатинський, А. О. Співаковський, М. К. Штуков та багато інших [15].

В роботах М. І. Пилипця запропоновані методи розрахунку і проектування конструктивних параметрів робочих органів. В роботах Б. М. Гевка розроблені наукові основи аналізу і синтезу гвинтових механізмів.

У праці [20] показаний сучасний стан досліджень транспортно-технологічних механізмів неперервної дії сільськогосподарських машин, наведений аналіз теоретичних результатів досліджень транспортно-технологічних механізмів сільськогосподарських та інших машин, наданий аналіз теоретичних результатів досліджень гвинтових гофрованих та секційних елементів транспортно-технологічних механізмів сільськогосподарських та інших машин.

основи аналізу і синтезу гвинтових механізмів.

У [12] наведено результати досліджень приводів гвинтових транспортно-технологічних механізмів машин. Описано нові конструкції даних механізмів машин та їх приводів, методику проектування та розрахунку.

Монографія [22] присвячена питанням проектування, розрахунку та теоретичним і експериментальним дослідженням перспективних конструкцій гвинтових конвеєрів.

У роботі [24] наведені науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів.

В сучасній літературі [23,27] в якості основного типу регульованого асинхронного електроприводу з двигунами з короткозамкненим ротором розглядається частотно-регульований електропривод, який дозволяє задовольнити вимоги як по діапазону, так і по якості регулювання частоти обертання й відпрацьовувати задані закони руху.

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

Проблеми автоматизації режимів роботи електроприводів змінного струму, зокрема й електроприводів на основі асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором (АДКЗ), досліджуються в роботах [23, 28]. 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.

Питання математичного моделювання електромеханічних систем наведені в [8].

Особливості розвитку сучасного електричного привода. Завдяки досягнутим успіхам електротехнічної промисловості в області створення електричних машин, трансформаторів, електричних апаратів, силової перетворювальної техніки сучасний електропривод здатний забезпечити високі вимоги автоматизації що обслуговуються їм механізмів і технологічних ліній [21].

Аналіз сучасного стану електрифікації промисловості та розвитку систем комплексної автоматизації показує, що їх основою є регульований електричний привод, який отримує все більш широке застосування в усіх сферах життя і діяльності суспільства - від промислового виробництва до сфери побуту.

У розвитку сучасного автоматизованого електропривода спостерігається ряд особливостей, обумовлених станом його елементної бази та потребами виробництва.

Першою особливістю електропривода на даному етапі його розвитку є розширення області застосування регульованого електропривода, головним чином за рахунок кількісного і якісного зростання частотно-регульованих електроприводів змінного струму.

Досягнуті в останні роки успіхи в удосконаленні тиристорних і транзисторних перетворювачів частоти привели до інтенсивного розвитку регульованих електроприводів, що використовують асинхронні електродвигуни більш простої конструкції і з меншою металоемкістю, що призводить до витіснення регульованих електроприводів постійного струму.

Другою особливістю розвитку сучасного електропривода є підвищення вимог до динамічним і статичним показниками електропривода, розширення і ускладнення його функцій, пов'язаних з керуванням технологічними установками та процесами. Розвиток електропривода йде по шляху створення систем числового програмного керування і розширення використання засобів сучасної

мікропроцесорної техніки.

Третьою особливістю розвитку електропривода є прагнення до уніфікації його елементної бази, створення комплектних електроприводів з використанням сучасної мікроелектроніки і блочно-модульного принципу. Реалізація на цій основі йде за рахунок подальшого розвитку та вдосконалення комплектних електроприводів з використанням систем частотного керування електродвигунами змінного струму.

Четвертою особливістю розвитку сучасного електропривода є широке його застосування для реалізації енергозберігаючих технологій при керуванні виробничими процесами.

П'ятою особливістю розвитку сучасного електропривода є прагнення до органічного злиття двигуна і механізму. Ця вимога визначається загальною тенденцією розвитку техніки, спрямованою на спрощення кінематичних ланцюгів машин і механізмів, що стало можливим завдяки вдосконаленню систем регульованого електропривода конструктивно вбудованого в механізм.

Сучасний стан та перспективи розвитку регульованого електропривода.

Нині велика увага приділяється розширенню виробництва регульованих електроприводів, в першу чергу змінного струму [23].

За даними різних джерел у промислово розвинених країнах 30-40% усіх електроприводів є регульованими. В Україні ж їх налічується до 5%.

Найбільш перспективними об'єктами впровадження регульованих електроприводів у аграрному виробництві є:

- системи мікроклімату тваринницьких, птахівничих
- приміщень, теплиць тощо;
- установки тепло- і холодопостачання;
- установки водопостачання;
- пневмотранспорт;
- системи стисненого повітря;
- дозатори продуктів;
- системи живлення рослин в культиваційних спорудах;

- системи водіння сільськогосподарських машин і знарядь.

Вказані об'єкти налічують більше 50% електроприводів в аграрному виробництві.

У сільськогосподарському виробництві використовується більше 4 млн. електроприводів як регульованих, так і нерегульованих. Через малу ефективність електроприводи з багатошвидкісними асинхронними двигунами, двигунами з фазним ротором на сьогодні втратили актуальність. Висока вартість, велика витрата міді та значна трудомісткість виготовлення суттєво скоротила використання електроприводів постійного струму, які протягом тривалого часу не мали конкуренції в класі регульованого привода.

Наймасовішим у сільському господарстві є асинхронний електропривод потужністю 1-10 кВт. За статистичними даними приблизний розподіл асинхронних двигунів за механізмами:

- вентилятори – 37%;
- транспортери – 19%;
- насоси – 17%;
- оброблювальні верстати – 7%;
- змішувачі – 6%;
- механізми пересування – 4%;
- затвори, засувки – 4%;
- компресори – 3%.

В системах керування регульованого електропривода широко застосовуються силові напівпровідникові прилади. Сьогодні основними приладами силовій електроніки для комутації струмів до 50 А є:

діоди; традиційні тиристори, повністю керовані тиристори (GTO); біполярні транзистори (BPT); біполярні транзистори з ізолюваним затвором (IGBT); польові транзистори з ізолюваним затвором (MOSFET); силові інтегральні схеми.

Суттєву частку ринку (до 14%) займають силові інтегральні схеми. Силові біполярні транзистори складають 19% і застосовуються переважно в масовому і дешевому побутовому і промисловому обладнанні.

Найближче майбутнє електропривода – це його "інтелектуалізація".

Комп'ютерне моделювання – основа успіху у вивченні складних перехідних процесів регульованого електропривода

Електропривод є одним з найбільш енергоємних споживачів і перетворювачів електроенергії. Тому питання підвищення ефективності електропривода з метою економії енергії є більш ніж актуальним. Вирішення цієї проблеми можливе шляхом узгодження вихідних параметрів електропривода з параметрами навантаження – це регулювання швидкості і моменту на виході електропривода.

Теорія регульованого електропривода існує не один десяток років і постійно вдосконалюється, пропонує нові конструктивні рішення. Особливо інтенсивно вона розвивається після створення нових силових керованих напівпровідникових приладів та інформаційних технологій.

Реалізація комп'ютерних моделей для розгляду систем є задачею творчою. Основною проблемою дослідження стає адекватне використання прикладних програм для вирішення конкретної задачі. Тому поряд з обов'язковим вивченням фізичних процесів, які протікають у системах напівпровідникового електропривода, необхідно знати можливості і особливості прикладних пакетів моделювання.

Як основний інструмент для вивчення електропривода вибрана система MatLab (матрична лабораторія) зі своїми пакетами розширення (Toolboxes), основними з яких є Simulink і Power System Blockset.

Останнє десятиліття XX століття в області регульованого електропривода відзначене в промислово розвинених країнах бурхливим зростанням виробництва електронної перетворювальної техніки, спеціалізованої для керування двигунами змінного струму, насамперед асинхронними. Регульований електропривод на цій базі проникає практично в усі технології, засновані на перетворенні електричної енергії в механічну [21].

Поява цифрових систем керування підвищила надійність електромеханічної системи в цілому, а також дозволила реалізовувати складні алгоритми керування

електроприводом, при його налаштуванні та стійкій роботі.

Класичною структурою комплектного електропривода (КЕП) змінного струму в останній час стала структура на базі дволанкового перетворювача частоти (выпрямляч-фільтр-інвертор-АДКЗ), розгляданню якої і надається перевага в данній роботі.

Пропозиція на ринку частотних перетворювачів є досить великою. Відрізняється тільки ціна і якість перетворювачів. Перетворювачі таких фірм, як Siemens, Schneider Electric, Moeller, Vacon мають деякі переваги в порівнянні з іншими виробниками. Найбільшою популярністю користується продукція таких виробників, як Siemens (перетворювачі Micromaster), ABB, Control Techniques, Schneider Electric (перетворювачі Altivar), Danfoss, Lenze. До менш відомих європейських виробників перетворювачів частоти відносяться Vacon, Elettronica Santerno, Emotron.

До найбільш популярних американських виробників відносяться General Electric. Серед азіатських компаній найбільш відома продукція таких виробників частоти, як японські Mitsubishi Electric, Omron, Hitachi, Toshiba, Fuji Electric, корейські й тайванські LG, Hyundai Electronics, Long Shenq Electronic, Delta Electronics. Вони широко використовуються в різних застосуваннях по усьому світу.

Отже, широке розповсюдження частотно-керованого асинхронного електропривода є наслідком розвитку та детальної розробки деяких теоретичних та прикладних питань керування електроприводом. Частотний привод займає зараз домінуючі позиції у сфері регульованого привода.

У сучасних виробничих реаліях асинхронний двигун без перетворювача частоти не зустрічається. Навіть якщо враховувати найдешевші зразки перетворювачів частоти – вони коштують пристойних грошей, але при цьому витрати на покупку й установку окупляться менш чим через 2 роки, а у зв'язку з економічною ситуацією, можуть і ще швидше. Також на користь економії перетворювачів частоти говорить і їх «внутрішній ресурс» - служать вони довго й надійно [27].

Тобто, сучасна приводна техніка динамічно розвивається, постійно удосконалюється, пропонуються нові технічні і алгоритмічні рішення.

1.2 Опис об'єкту дослідження. Гвинтовий конвеєр типу КВ-100

1.2.1 Класифікація транспортуючих машин, устрій і принцип роботи гвинтових конвеєрів

Конвейєр гвинтовий (шнековий транспортер), призначений для переміщення сипких сухих і вологих матеріалів. Его використовують у всіх сферах виробництва, зокрема й у харчовій промисловості. Також конвеєр гвинтовий використовують для переміщення високоабразивних сипких матеріалів, цементу та інших, схожих за властивостями матеріалів [30].

Конвейєр гвинтовий може працювати на відкритих майданчиках під навісом.

Область застосування конвеєра Харчова промисловість, Сільське господарство і скотарство, Легка промисловість, Гірничодобувна і вугільна промисловість, Деревообробна промисловість, Зернові культури.

Класифікація конвеєрів та елеваторів наведена на рисунку 1.1 [31].



Рисунок 1.1 - Класифікація конвеєрів та елеваторів

Класифікація машин неперервного транспорту наведена на рисунку 1.2 [31].



Рисунок 1.2 - Класифікація машин неперервного транспорту

Класифікація конвеєрів без тягового органу наведена на рисунку 1.3 [319].



Рисунок 1.3 - Класифікація конвеєрів без тягового органу

Гвинтові конвеєри класифікують:

- за нахилом жолоба (горизонтальні, порожнисті, крутокляві, вертикальні);
- у напрямку спіралі;
- за мінливістю кроку та діаметром гвинта;
- з конструктивного виготовлення гвинта (сплошні, лопатні, стрічкові, фасонні).

По способу передачі рушійної сили вантажні конвеєри бувають: механічні; самопливні (гравітаційні), у яких вантаж переміщається під дією власної сили ваги та пневматичні, у яких рушійною силою є потік повітря [9,29].

По характеру прикладення рушійної сили – з тяговим елементом (стрічкою, ланцюгом, канатом та ін.) і без нього (гвинтові, інерційні, роликові та ін.).

До переваг гвинтових конвеєрів відносяться компактність, простота конструкції й обслуговування, надійність в експлуатації, зручність проміжного розвантаження, герметичність і придатність для транспортування гарячих, пилоподібних і токсичних матеріалів.

Істотний недолік гвинтових конвеєрів полягає в тому, що внаслідок тертя об дно жолоба й гвинтову поверхню матеріал сильно стирається й перемелюється, витрата електроенергії у гвинтових конвеєрів вище, ніж у будь-якого іншого транспортуючого пристрою. Тому вони застосовуються при порівняно невеликих продуктивностях і коротких відстанях транспортування. Довжина горизонтальних гвинтових конвеєрів досягає 60 м, висота похилих і вертикальних конвеєрів - до 30 м, продуктивність до 100 т/год.

Гвинтовий конвеєр може бути виготовлений у відкритому виконанні - в жолобі, і закритому - в трубі. Використання відкритих шнекових конвеєрів дає можливість контролювати його роботу в будь-якому місці. Гвинтові конвеєри дуже широко використовуються в технологічних лініях найрізноманітніших виробництв: будівельного, переробного, хімічного та інших харчових і нехарчових виробництвах, в складських господарствах, в фасувально-пакувальних лініях тощо.

Головна відмітна особливість гвинтового конвеєра – робота за принципом архімедового гвинта, що обертається в закритому нерухомому жолобі. Гвинт

підтримується кінцевими і проміжними підвісними опорами, які сприймають поздовжнє зусилля. Гвинт приводиться в обертання електродвигуном з редуктором і переміщується вздовж поверхні всередині труби.

Транспортер шнековий (гвинтовий) призначений для транспортування сипучих, дрібно кускових і пастоподібних вантажів.

Крок гвинта для легко переміщуваних вантажів приймають $t = D$, для важко переміщуваних вантажів величину кроку знижують до $t = 0,8 \cdot D$. Частота обертання гвинта n залежить від характеристики переміщуваного вантажу, частота обертання зменшується зі збільшенням діаметра гвинта, щільності й абразивності вантажу.

Жолоб транспортера виконується секціями з листової сталі товщиною 2-6 мм. Для транспортування абразивних і гарячих (до 200°C) вантажів застосовують жолоби із чавуну, а для легких неабразивних вантажів - з дерева із внутрішньою футеровкою листовою сталлю.

Окремі секції з'єднуються фланцями на болтах і прокладках для герметизації.

Завантажувальний пристрій складається з люка в кришці жолоба конвеєра і впускного патрубка, що забезпечує герметичність при сходженні матеріалу.

Розвантажувальний пристрій виконується у вигляді отвору в жолобі конвеєра.

Гвинти із суцільними витками застосовують для транспортування порошкоподібних матеріалів, а з стрічковою спіральною поверхнею - для дрібно кускових. Коли крім транспортування необхідно і перемішувати матеріал, використовуються гвинти з фасонними лопатями або з окремими лопатками.

При обертанні подаючого гвинта матеріал переміщається від завантажувального вікна до розвантажувального.

Гвинтові конвеєри можуть мати кілька точок завантаження й розвантаження. Точки завантаження/розвантаження можуть бути укомплектовані засувками з електро або ручним приводом. На кінцевій секції встановлюється датчик підпору для запобігання переповнення конвеєра.

Горизонтальний гвинтовий конвеєр функціонує наступним чином: Насипний матеріал подається в завантажувальний отвір і поступово переміщається при

обертанні гвинта в розвантажувальний отвір, де і вивантажується. Матеріал подається в жолоб і при обертанні гвинта ковзає уздовж жолоба. Принцип дії гвинтових конвеєрів заснований на використанні осьової рушійної сили.

Гвинтові конвеєри можуть мати стандартні діаметри від 120 до 500 мм. Для переміщення середньокускових вантажів випускаються конвеєри, діаметр яких становить 650 або 800 мм. Оптимальну форму гвинта підбирають в залежності від типу вантажу, призначеного для транспортування.

Приводом в шнековому **конвеєрі** виступає електричний двигун.

В залежності від способу монтажу мотор встановлюється як на впускний, так і на выпускний стороні конвеєра.

Підшипник валу монтується на міцно зафіксованій опорі, яка розташована на тій стороні, де встановлено [електродвигун](#). Для передачі крутного моменту від двигуна в конструкції передбачені еластичні муфти або спеціальні ланцюгові приводи.

Варто відзначити, що ланцюговий привод дозволяє змінити передаточне число, налаштувати оптимальну частоту обертання. У старих моделях для виконання даної задачі застосовувалися [редуктори](#), які мають регульоване передавальне відношення.

Сучасні моделі оснащені частотними перетворювачами.

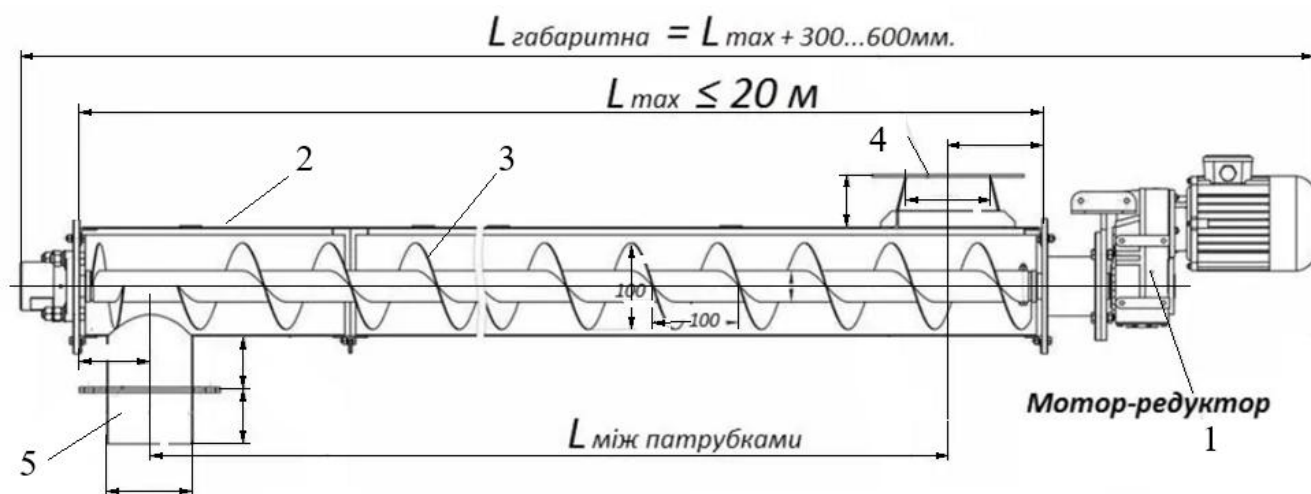
Метою даної роботи є дослідження системи керування автоматизованого електропривода гвинтового конвеєра типу КВ-100 продуктивністю 6,5 т/год.

Загальний вид гвинтового конвеєра КВ-100 показаний на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 - Загальний вид гвинтового конвеєра КВ-100

На рисунку 1.5 показаний устрій гвинтового (шнекового) конвеєра



1 — Мотор-редуктор; 2 — корпус КВ; 3 — гвинт (шнек); 4 — вхідний патрубок;
5 — вихідний патрубок

Рисунок 1.5 - Устрій гвинтового (шнекового) конвеєра

Технічні характеристики гвинтового конвеєра КВ-100 наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики конвеєра КВ-100 [30]

Показники	Значення
Продуктивність технічна при транспортуванні зернових культур ($\rho_n = 0,755 \text{ т/м}^3$) і куті нахилу до обрію 0° т/год. , не менше	3,0 – 6,5
Зовнішній діаметр гвинта шнека, мм, не менше	100
Установлена потужність електродвигуна, кВт	2,2 – 4
Частота обертання шнека, об./хв., не більше	71.....140
Кут нахилу шнека до горизонту, град., не більше	0...90
Маса 1 м транспортера (без привода), не більш ніж, кг	40

Шнековий конвеєр являє собою трубу 2 з високоякісної сталі, зі встановленими на ній вхідним та вихідним патрубками. Усередині труби міститься робочий орган, зроблений як суцільнометалевий гвинт — шнек 3.

Обертання гвинта повідомляється через мотор-редуктор 1. Завантаження

відключення конвеєра; забезпечення необхідної швидкості транспортування вантажів, а також технологічні та аварійні блокування обладнання.

Порушення в роботі обладнання можуть призвести до порушення всього технологічного процесу. Тому в схемах автоматизації даних установок застосовується велика кількість захисних блокувань. Найбільш типові з них, зумовлені особливостями роботи цих механізмів, виконують такі функції:

- контроль справного стану тягового елемента (стрічки, каната, ланцюга) та відключення установки при надмірній витяжці тягового елемента, слабкому натягу, сході з напрямних роликів, відвідних барабанів та шківів;
- відключення установки при надмірному підвищенні швидкості;
- відключення установки при тривалому пуску;
- попередження завалів бункерів завантажувальних та перевантажувальних пристроїв;
- забезпечення необхідної послідовності пуску та зупинення механізмів технологічного комплексу.

1.4 Висновки до розділу 1:

- виконано огляд літератури та розробок за темою;
- наведені дані про особливості та перспективи розвитку сучасного електричного привода, проаналізовані шляхи вдосконалення електропривода. Розглянуті види приводного обладнання та його призначення;
- наведене призначення та класифікація підйомно-транспортного обладнання;
- приведений опис та технічні характеристики конвеєра типу KB-100;
- наведена існуюча електрична схема керування пуском конвеєра.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження

Сьогодні наука виходить за межі речовинно-технологічного ставлення людини до світу, взаємодіючи з іншими формами культури та здобутками філософії. суспільство переходить до нової моделі своєї організації. Поки що можна вести мову лише про контури майбутнього сценарію розвитку цивілізації, що відповідає інтересам і людини, і суспільства, і необхідності збереження природи. Безперечними наслідками такого сценарію є ефективно втілювані наукові дослідження.

Наукове знання і сам процес його отримання характеризуються системністю й структурованістю. Перш за все у структурі наукового пізнання прийнято виділяти емпіричний і теоретичний рівні. сукупність же тих дослідницьких процедур, які ведуть до досягнення знання на цих двох рівнях, відповідно підрозділяється на емпіричний і теоретичний етапи наукового дослідження [17].

Емпіричний рівень є фактичним матеріалом, почерпнутим з емпіричного досвіду, а також результати первинного концептуального його узагальнення в поняттях та інших абстракціях. На емпіричному рівні переважає чуттєве пізнання, раціональний момент тут теж присутній, проте має підлегле значення. На даному рівні досліджуваний об'єкт відображається переважно з боку своїх зовнішніх зв'язків і проявів, доступних живому спогляданню і таких, що виражають внутрішні відносини. Характерними ознаками емпіричного рівня пізнання є збір фактів, їх первинне узагальнення, опис спостережуваних і експериментальних даних, їх систематизація, класифікація та інша фіксує діяльність.

Теоретичний рівень наукового пізнання становлять засновані на фактах проблеми і наукові припущення (гіпотези).

Теоретичне пізнання відображає явища і процеси з боку їх універсальних внутрішніх зв'язків і закономірностей, що досягаються за допомогою раціональної

обробки даних емпіричного знання. така обробка здійснюється за допомогою систем абстракцій – таких, як поняття, висновки, закони, категорії, принципи тощо.

Формою існування й розвитку науки є **наукове дослідження**. Мета наукового дослідження – визначення конкретного об'єкта і всебічне, достовірне вивчення його структури, характеристик, зв'язків на основі розроблених у науці принципів і методів пізнання, а також отримання корисних для діяльності людини результатів, впровадження у виробництво з подальшим ефектом.

Наукове дослідження має об'єкт і предмет, на пізнання яких воно спрямоване, а також чітко визначені мету й завдання.

Об'єктом дослідження є процес або явище, що породжує проблемну ситуацію, і обране для вивчення.

Предмет знаходиться в межах об'єкта, який вивчається. Мета наукового дослідження включає визначення об'єкта, достовірність вивчення його структури, характеристик, зв'язків на основі розроблення у науці принципів та методів пізнання для отримання корисних для діяльності людини результатів, впровадження в практику, отримання певного ефекту.

Завдання – це певні напрями дослідження, які дозволяють реалізувати поставлену мету.

Розрізняють дві форми наукових досліджень:

- фундаментальні – наукова теоретична та (або) експериментальна діяльність, спрямована на здобуття нових знань;
- прикладні – наукова і науково-технічна діяльність, спрямована на здобуття й використання знань для практичних цілей.

Наукові дослідження здійснюються з метою одержання наукового результату. Науковий результат – це нове знання, здобуте у процесі фундаментальних або прикладних наукових досліджень та зафіксоване на носіях наукової інформації у формі наукового звіту, наукової праці, наукової доповіді, наукового повідомлення про науково-дослідну роботу, монографічного дослідження, наукового відкриття тощо.

Науково-прикладний результат може мати форму звіту, ескізного проекту, конструкторської або технологічної документації на науково-технічну продукцію, натурного зразка тощо.

До основних результатів наукових досліджень належать: наукові реферати; наукові доповіді (повідомлення) на конференціях, нарадах, семінарах, симпозіумах; дипломні, магістерські роботи; звіти про науково-дослідну (дослідно-конструкторську; дослідно-технологічну) роботу; наукові переклади; дисертації (кандидатські або докторські); автореферати дисертацій; депоновані рукописи; монографії; наукові статті; аналітичні огляди; авторські свідоцтва, патенти; алгоритми і програми; звіти про наукові конференції; бібліографічні покажчики та ін.

Наукові дослідження поділяються на фундаментальні й прикладні.

Під фундаментальними науковими дослідженнями розуміють експериментальну або теоретичну діяльність, спрямовану на отримання нових знань про основні закономірності побудови, функціонування й розвитку людини, суспільства, навколишнього природного середовища.

Прикладні наукові дослідження визначаються як дослідження, спрямовані переважно на застосування нових знань для досягнення практичних цілей і вирішення конкретних завдань. Прикладні дослідження піддаються плануванню, а фундаментальні результати планувати складно. Крім того, прикладні розробки можуть бути впроваджені у промисловість, народне господарство і приносити економічний ефект. Фундаментальні ж результати безпосереднього прибутку не несуть, а їх використання може тривати десятиліттями.

Основні результати і положення наукових досліджень оприлюднюються у вигляді різних видів публікацій для ознайомлення з ними наукової громадськості. у тексті дисертації та автореферату здобувач має наводити посилання на власні публікації, включати їх до списку використаної літератури і джерел.

Публікації відображають основний зміст, новизну наукового дослідження і фіксують завершення певного етапу дослідження або роботи в цілому.

Наукова стаття – вид наукової публікації, у якому описано кінцеві або проміжні результати проведеного дослідження, обґрунтовано способи їх отримання, а також окреслено перспективи наступних напрацювань.

Наукова монографія. Монографія – це наукова праця у вигляді книги, що належить одному або декільком авторам і яка містить повне або поглиблене дослідження однієї проблеми чи теми.

Тези наукової доповіді (повідомлення). Апробація матеріалів дисертації на наукових конференціях, конгресах, симпозіумах, семінарах, у школах тощо є обов'язковою.

Тези (грец. thesis – положення, твердження) – це коротко, точно, послідовно сформульовані основні ідеї, думки, положення наукової доповіді, повідомлення, статті або іншої наукової праці.

Тези доповіді – це опубліковані до початку наукової конференції (з'їзду, симпозіуму) матеріали попереднього характеру, що містять виклад основних аспектів наукової доповіді. вони фіксують науковий пріоритет автора, містять матеріали, не викладені в інших публікаціях.

Сучасну науку неможливо уявити без наявності основного її інструментарію – методів наукового пізнання.

Під методом будемо розуміти сукупність принципів, прийомів, правил, вимог пізнавальної й практичної діяльності, обумовлених природою й закономірностями досліджуваного об'єкта, якими необхідно керуватися в процесі пізнання.

Метод комп'ютеризації являє собою процес використання комп'ютерної техніки з метою швидкого отримання, накопичення та перетворення інформації. Комп'ютер, будучи прообразом людини пізнаючої, є моделлю того, як формується, структурується і працює інформація. Комп'ютеризація відкриває як нові горизонти репрезентації інформації, так і нові горизонти вивчення самого знання. Завдяки комп'ютерній революції і, як наслідок, дедалі ширшому впровадженню методу комп'ютеризації в наукові дослідження відбувається розширення поля досліджуваних об'єктів і процесів, нестандартних рішень і нетрадиційних підходів.

У свою чергу, **методологія** – це філософське вчення про методи пізнання і перетворення дійсності; про застосування принципів світогляду до процесів пізнання, до практики.

Сутність методу наукового пізнання: це така процедура отримання знань, за допомогою якої їх можна відтворити, перевірити й передати іншим людям.

Метод включає способи дослідження феноменів, систематизацію, коригування нових і одержаних раніше знань. Базою отримання даних є спостереження й експерименти.

Згодом науковий метод визначається такими складовими:

- збір і накопичення емпіричних даних, здійснюваних шляхом спостереження й експерименту;
- формулювання гіпотез на підставі зібраних шляхом пошуку моделей взаємовідносин між даними;
- перевірка гіпотез шляхом виведення прогнозів, які з них слідують, і подальше планування та здійснення експериментів для перевірки істинності гіпотез;
- відкидання гіпотез, що не підтверджуються експериментальними даними, і побудова теорії шляхом додавання підтверджених гіпотез.

Моделювання – це метод дослідження явищ і процесів, заснований на заміні конкретного об'єкта досліджень (оригіналу) іншим, подібним до нього (моделлю).

Моделювання використовується тоді, коли безпосереднє вивчення об'єктів з певних причин є неможливим, ускладненим або недоцільним.

Методом моделювання описуються: структура об'єкта (статична модель), процес його функціонування й розвитку (динамічна модель).

У моделі відтворюються властивості, зв'язки, тенденції досліджуваних систем і процесів, що дозволяє оцінити їх стан, зробити прогноз, прийняти обґрунтоване рішення.

Матеріальні моделі знаходять у правознавстві обмежене застосування. Перш за все це пояснюється труднощами й дорожнечою відтворення на такого роду моделях основних геометричних, фізичних і функціональних характеристик

ригіналу. Тому для вирішення наукових завдань у більшості випадків використовується математичне моделювання.

Процес моделювання повинен передбачати послідовне виконання таких дослідницьких дій:

- аналіз об'єкта моделювання;
- синтез моделі;
- перевірка моделі на відповідність тим концептуальним положенням, які були покладені в її основу;
- перевірка моделі на відповідність реальному об'єкту – оригіналу;
- коригування моделі;
- експериментальний і теоретичний аналіз моделі, тобто виявлення нової інформації, яка потенційно міститься у моделі і приводить до появи нових знань.

При математичному моделюванні взаємозв'язки і закономірності оригіналу відображаються в математичній формі.

Моделювання починається із всестороннього вивчення об'єкту дослідження і постановки задач (проблеми). Проблема і задачі повинні бути чітко сформульовані. Далі слід знайти в реальній формі чи розробити модель оригіналу, яка б відображала чи могла відобразити основні сторони оригіналу.

По розробленій моделі проводять власне експеримент. Змінюють в певних межах вхідні параметри і досліджують вихідні. В результаті таких експериментів перевіряють модель на адекватність відображення оригіналу, отримують нові дані про оригінал, визначають числові параметри позитивних і негативних змін.

В цій роботі проводиться дослідження впливу параметрів гвинтового конвеєра на динамічні характеристики системи керування електропривода. Тому для моделювання перехідних процесів використовується комп'ютерна модель.

Комп'ютерна модель (або чисельна) [8] – комп'ютерна програма, яка реалізує абстрактну модель деякої системи. Комп'ютерні моделі використовуються для отримання нових знань про об'єкт, що моделюється або для приблизної оцінки поведінки математичних систем, які досить складні для аналітичного дослідження. Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення складних систем. Комп'ютерні моделі простіші та їх зручніше досліджувати в силу

можливості проводити обчислювальні експерименти в тих випадках, коли реальні експерименти немає можливості проводити через фінансові труднощі або фізичні перешкоди. Для підтримки математичного моделювання розроблені системи комп'ютерної математики, наприклад, [Maple](#), [Mathematica](#), [Mathcad](#), [MATLAB](#), [VisSim](#) та інші. В даній роботі використовується програма Simulink пакету [MATLAB](#).

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

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

2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження

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

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

Структурно-логічна схема є однією з форм планування роботи і візуалізації процесу, яка дозволяє з одного боку описувати процедуру (алгоритм) дослідження і досягнення мети тобто сформулювати робочу гіпотезу дослідження, а з другого – установити логічну послідовність виконання структурних розділів і підрозділів магістерської роботи [6].

Алгоритм магістерського дослідження представлений структурно-логічною схемою у вигляді табличної інформаційної моделі (таблиця 2.1). Таблиця – це графічна форма представлення кількісних показників або текстового матеріалу в максимально лаконічній, ущільненій формі.

Данна схема складена на підставі головних завдань магістерського дослідження.

Таблиця 2.1 – Структурно-логічна схема магістерського дослідження

Удосконалення системи керування електропривода гвинтового конвеєра	
Складання індивідуального календарного плану роботи	
Пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини	Загальні відомості, класифікація підйомно-транспортного обладнання
	Основні елементи гвинтових конвеєрів, склад, робота
	Розгляд об'єкту дослідження із зазначенням технічних параметрів
	Дані про електричне обладнання об'єкту дослідження
	Аналіз існуючих типів приводів, вибір частотного перетворювача для керування електродвигуном гвинтового конвеєра, опис перетворювача
Опис процесу дослідження	Моделювання перехідних процесів на базі функціональної та структурної схем системи керування електропривода.
	Математичне моделювання динамічних властивостей системи керування електропривода гвинтового конвеєра
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 та складається індивідуальний календарний план роботи.

Ведеться пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії.

Розробляється перший варіант теоретичної частини:

- постановка мети і конкретних завдань дослідження;

- визначення об'єкту й предмета дослідження;
- вибір методів (методики) проведення дослідження.

Виконується опис процесу дослідження згідно з обраним методом. Моделювання процесів у електроприводі гвинтового конвеєра проводиться шляхом математичного моделювання з використанням пакету Simulink програми MATLAB.

Наводиться інтерпретація отриманих результатів дослідження.

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 дослідження

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

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

Розробити математичну модель задачі це означає побудувати спеціальну таблицю чи схему, у якій усі економічні, технологічні та інші виробничі умови і вимоги виражені у вигляді нерівностей і рівнянь і об'єднані цільовою функцією. Математична модель може бути подана у структурній, загальній символній чи числовій формі. Послідовність розробки моделі може бути різною, але зручніше спочатку скласти систему змінних величин, записати систему обмежень, а потім цільову функцію. В моделі виділяють змінні величини, константи і коефіцієнти. Змінні в моделі відображають невідомі величини;

- аналіз кількісних залежностей параметрів задачі;
- збір інформації і її обробка;

- побудова числової моделі;
- вибір математичного методу вирішення задачі;
- вирішення задачі на ЕОМ;
- аналіз результатів вирішення і коригування моделі;
- вирішення задачі на ЕОМ по скоригованій моделі.

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.

Математичне моделювання об'єктів керування передбачає чіткий план дій, який умовно можна поділити на три етапи: математична модель – алгоритм розрахунку - комп'ютерна програма.

Математична модель системи містить, як правило, опис множини можливих станів системи та закон переходу з одного стану в інший.

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

Метод моделювання – вивчення явищ за допомогою моделей – сьогодні має особливе значення для вирішення складних фізичних завдань, 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 із залученням обчислювальної техніки досліджувати перехідні режими у системі керування електропривода гвинтового конвеєра.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Обґрунтування вибору типу електродвигуна

Привод гвинтового конвеєра призначений для передачі гвинту обертаючого зусилля, повідомлення йому необхідної швидкості й забезпечення режимів пуску й останову. Привод гвинтового конвеєра складається з електродвигуна, редуктора, муфти й гальма.

Режим роботи конвеєра характеризується:

- тривалою роботою протягом значного проміжку часу, тому що завантаження, транспортування й розвантаження здійснюються безупинно, без зупинок;
- рідкими пусками й остановами, що пояснюється тривалим режимом роботи конвеєра;
- сталістю напрямку руху подавального гвинта конвеєра, що обумовлює застосування нереверсивної схеми керування електродвигуном/

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.

Основним видом привода конвеєрів і живильників у цей час служить електропривод змінного струму. Застосування асинхронного короткозамкненого

електродвигуна дозволяє ліквідувати колектор, наявний у двигуна постійного струму й щітки - в асинхронного двигуна з фазним ротором, спростити конструкцію, підвищити надійність і зменшити (для однакових потужностей) масо-габаритні показники електропривода.

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%.

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.

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.

Відомо, що переваги АД найбільш повно реалізуються при частотному керуванні, що обумовлює постійне витиснення регульованого електропривода постійного струму частотно-регульованим асинхронним електроприводом у всіх галузях промисловості [4].

Основні вимоги до електроприводів та вибір типу електродвигуна

До промислового електропривода пред'являються наступні вимоги [23]:

- 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.

Електропривод повинний забезпечити роботу при:

- відхиленнях напруги живильної мережі від номінального від +10 % до мінус 15 %;
- відхиленнях частоти живильної мережі на ± 2 % від номінальної;
- короткочасних провалах миттєвих значень живильної напруги;
- температурі навколишнього повітря від мінус 40⁰С до +40⁰С;
- максимальної відносної вологості повітря 80% при температурі 30⁰С;
- вибухонебезпечному середовищу, що не містить агресивних газів і парів, у концентраціях, що руйнує метали й ізоляцію.

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 (у деяких випадках допускається конструкція шаф із ступенем IP23). Ступінь захисту пульта управління – IP44, електродвигуна IP44.

Основними умовами на вибір типу привода для розглянутої установки є:

- широкий діапазон регулювання кутової швидкості двигуна ;
- високі динамічні показники;
- високі показники надійності (довговічність, безвідмовність, ремонтпридатність);
- ступінь захисту двигуна IP44.

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.

3.2 Розрахунок електродвигуна

Початковим етапом розрахунку привода є вибір виконавчого двигуна. [26,29].

Основними вихідними даними для розрахунку приводного двигуна гвинтового конвеєра є:

- характеристика матеріалу, що транспортується;
- продуктивність;
- режим і умови роботи;
- параметри траси переміщення вантажу.

В роботі розглядається гвинтовий конвеєр КВ-100 з характеристиками: продуктивність 3,0 – 6,0 т/год, установлена потужність електродвигуна 2,2-4 кВт.

Приймаємо розрахункову продуктивність конвеєра $Q = 6$ т/год.

Визначаємо необхідний діаметр гвинта D по формулі

$$D = 0,275 \frac{Q}{E \cdot n \cdot \varphi \cdot \rho_n \cdot R_\beta}, \quad (3.1)$$

де D – діаметр гвинта, м;

Q – розрахункова продуктивність конвеєра, т/год., (приймаємо $Q = 6$ т/год);

E - відношення кроку гвинта до діаметра гвинта (для абразивних матеріалів $E = 0,8$; для неабразивних – $E = 1,0$);

n – частота обертання гвинта, об/хв (приймаємо $n = 140$ об./хв.);

ρ_n - насипна щільність вантажу, т/м³ (для зерна $\rho_n = 0,755$ т/м³);

R_β - коефіцієнт зменшення продуктивності від нахилу конвеєра вибирається по таблиці 3.1 (при $\beta = 0$ $R_\beta = 1$);

φ - коефіцієнт заповнення жолоба (по таблиці 12.1 [27] $\varphi = 0,4$).

Таблиця 3.1 - Значення коефіцієнта R_β .

β^*	0	5	10	15	20
R_β	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6

* β - кут нахилу конвеєра.

Частота обертання вала попередньо приймається по таблиці 3.2, потім перевіряється по формулі

$$n \leq n_{\max}.$$

Таблиця 3.2 - Частота обертання гвинта шнекового конвеєра

Найменування вантажу	Розмір вантажу, мм	Частота обертання гвинта, про/хв
Зернові продукти, борошно, деревна тирса	менше 60	80-200
Гіпс, вапно, крейда, пісок сухий	менше 60	50-120
Глина суха, гравій, вапняк	менше 60	40-100

Таблиця 3.3 - Значення розрахункових коефіцієнтів φ , A , ω залежно від типу вантажу, що транспортується

Типи вантажів	Розрахункові коефіцієнти		
Легкі й неабразивні (зернові продукти, борошно, деревна тирса)	φ	A	ω
	0,4	65	4

Обчислимо діаметр D гвинта

$$D = 0,275 \cdot \frac{6,5}{1 \cdot 60 \cdot 0,4 \cdot 0,755 \cdot 1} = 0,098 \text{ м.}$$

Приймаємо $D = 100$ мм.

При цьому $n_{\max}$ розраховується по рівнянню

$$n_{\max} = \frac{A}{\sqrt{D}}, \quad (3.2)$$

де $A = 65$ – коефіцієнт (таблиця 3.3)

$$n_{\max} = \frac{65}{\sqrt{0,1}} = 200 \text{ об./хв.}$$

$n < n_{\max}$, отже, обрана припустима частота.

Після цих розрахунків діаметр гвинта перевіряється по формулі

$$D \geq a_{\max} \cdot K, \quad (3.3)$$

де $a_{\max}$ – найбільший розмір шматків вантажу, мм

(приймаємо для зерна $a_{\max} = 8$);

K – коефіцієнт: для рядового вантажу $K = 4$;

для сортового $K = 12$.

Звідки $a_{\max} \cdot K = 8 \cdot 4 = 32 \text{ мм} < D = 100 \text{ мм}$.

Крім того, діаметр гвинта узгодиться з таблицею 3.4.

Таблиця 3.4 - Діаметр і крок гвинта

Діаметр, мм	100	125	160	200	250	320	400
Крок, мм	100	125	160	200	250	320	400
	80	100	125	160	200	250	320

Відповідно ДО ДЕРЖСТАНДАРТУ 2037-82 обраний гвинт із розмірами (рисунок 3.1):

діаметр гвинта $D = 100$ мм,

крок гвинта $S = 100$ мм.

Діаметр валу гвинта приймаємо $d_g = 0,3 \cdot D = 0,3 \cdot 100 = 30$ мм.

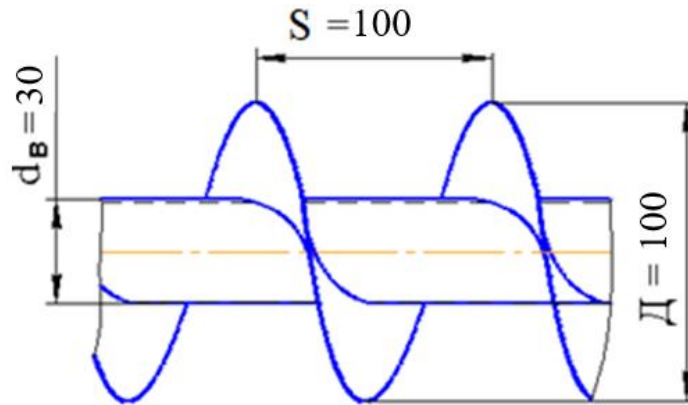


Рисунок 3.1 - Елементи гвинта (шнека)

Потужність на валу гвинта N_0 , кВт

$$N_0 = \frac{Q}{367} (L_r \cdot \omega \pm H) + 0,02R \cdot g_k \cdot L_r \omega_e, \quad (3.4)$$

де L_r - горизонтальна проекція довжини конвеєра, ($L_r = 18$ м);
 H - висота підйому (+) або опускання (-) вантажу, ($H = 0$ м);
 ω - коефіцієнт опору переміщенню вантажу ($\omega = 4$ таблиця 3.3);
 $R = 0,2$ - коефіцієнт, що враховує характер переміщення гвинта;
 g_k - погонна маса обертових частин конвеєра, кг/м;

$$g_k = 80D; \quad (3.5)$$

$$g_k = 80 \cdot 0,1 = 8 \text{ кг/м},$$

v - осьова швидкість руху вантажу: $v = S \cdot n$;

S - крок гвинта, м вибирається по таблиці 3.4, причому, для добре сипучих матеріалів з першого ряду, а для грузлих – із другого; ($S = 0,25$ м);

$$v = 0,1 \cdot 200 = 20 \text{ м/хв.},$$

ω_e - коефіцієнт опору руху обертових частин конвеєра:

при підшипниках кочення $\omega_{\epsilon} = 0,01$;

при підшипниках ковзання $\omega_{\epsilon} = 0,16$.

Потужність на валу гвинта N_0 , кВт

$$N_0 = \frac{6,5}{367}(18 \cdot 4) + 0,02 \cdot 0,2 \cdot 8 \cdot 18 \cdot 0,16 = 1,4 \text{ кВт.}$$

Потужність двигуна для привода шнекового конвеєра P_H , кВт, визначається по формулі (2.4)

$$P_H = \frac{K \cdot N_0}{\eta}, \quad (3.6)$$

де K - коефіцієнт запасу потужності;

η - ККД привода (0,6-0,85).

Для приводів шнеків приймають $K = 1,25$.

Прийmemo $\eta = 0,85$.

Тоді потужність двигуна

$$P_H = \frac{1,25 \cdot 1,4}{0,85} = 2,1 \text{ кВт.}$$

На підставі проведених розрахунків як приводний двигун був обраний асинхронний електродвигун типу АИР112М4У3 потужністю $P_H = 4$ кВт, технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Технічні характеристики електродвигуна [2]

Параметр	Значення
Тип	АИР100L4УЗ
Потужність P_H , кВт	4,0
Синхронна частота обертання n , об./хв.	1500
Число пар полюсів p	4
Швидкість обертання валу n_g , об./хв.	1440
ККД, %	87
Коефіцієнт потужності, $\cos\varphi$	0,84
Критичне ковзання, %	28
Ковзання S_H , %	4,6
Струм I_H , А (при $U = 380$ кВт)	8,8
Кратність пускового струму I_n / I_H	7,0
Кратність максимального моменту $M_{\max} / M_H$	2,4
Кратність пускового моменту M_n / M_H	2,0
Момент інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,011
Крутний момент номіальний $M_{кр.н}$, Н·м	36,73

Електродвигун АИР100L4УЗ потужністю 4,0 кВт захищений від влучення пилю 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/м^3 . Максимальна висота розміщення – 1000 м над рівнем моря.

3.3 Існуючі типи систем керування електродвигунів перемінного струму

Вимоги до електропривода гвинтового конвеєра. Вибір конкретної системи електропривода визначається, зокрема, необхідністю регулювання продуктивності конвеєра.

Продуктивність конвеєра 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 конвеєра шляхом зміни швидкості приводу 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%. Завдання полягає в тому, щоб відрегулювати швидкість двигуна і підтримувати її постійною для певного режиму установки. Тому слід використовувати такі системи, як ТРН-АД або ТПЧ-АД. Використання двигуна постійного струму не виключено, але ця схема дещо застаріла. З точки зору сучасних технологій і навичок програмування, ПЧ-АД є найбільш придатною схемою. У нашому випадку можна вибрати короткозамкнений ротор АД.

Як підтверджують результати їх застосування в промислових електроприводах, в залежності від потужності електропривода досягається економія енергії від 20% до 45%, підвищується ефективність і надійність системи, що дозволяє значно знизити витрати на ремонт приладів.

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 приводу типу ПЧ-АД [26]:

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.

Раніше для рішення завдання регулювання швидкості використовувалися тільки приводи постійного струму. Зараз асинхронні приводи стають усе більше популярними з кожним днем. Вони складаються із перетворювача частоти й асинхронного двигуна.

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 [1,7,23].

Найбільш поширені такі способи регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна:

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

Методи частотного керування електроприводом. Частотні перетворювачі призначені для регулювання частоти обертання вала асинхронного електродвигуна, змінюючи швидкість в широких межах. У загальному випадку можна виділити два основні завдання, які вирішуються регульованим електроприводом: управління моментом і швидкістю обертання електродвигуна. Для вирішення завдань регулювання швидкості і моменту в сучасному електроприводі застосовують два основні методи частотного керування:

- скалярне керування;
- векторне керування.

Асинхронний електропривод зі скалярним керуванням є на сьогоднішній день найбільш поширеним. Він застосовується в складі приводів насосів, вентиляторів, компресорів та інших механізмів, для яких важливо підтримувати або швидкість обертання вала двигуна (при цьому використовується датчик швидкості), або технологічний параметр (наприклад, тиск в трубопроводі, при цьому використовується відповідний датчик).

Основний принцип скалярного керування – зміна частоти і амплітуди напруги живлення за законом:

$$\frac{U}{f_1^n}, \text{ де } n \geq 1.$$

Конкретний вид залежності визначається вимогами, що пред'являються до електропривода навантаженням. Зазвичай за незалежний вплив приймається частота, а значення напруги при даній частоті визначає вид механічної характеристики, значення пускового і критичного моментів.

При постійному моменті навантаження $M_c = \text{const}$ напруга на статорі U_1 повинна регулюватися пропорційно частоті

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{const}.$$

Для вентиляторного характеру моменту навантаження цей стан має вигляд

$$\frac{U_1}{f_1^2} = \text{const}.$$

При моменті навантаження, обернено пропорційному швидкості

$$\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = \text{const}.$$

Таким чином, для плавного безступінчастого регулювання частоти обертання вала асинхронного електродвигуна, перетворювач частоти повинен забезпечувати одночасне регулювання частоти й напруги на статорі асинхронного двигуна.

Застосування регульованого електропривода забезпечує енергозбереження й дозволяє одержувати нові якості систем і об'єктів. Значна економія електроенергії забезпечується за рахунок регулювання якого-небудь технологічного параметра. Якщо це транспортер або конвеєр, то можна регулювати швидкість його руху.

Скалярне керування забезпечує сталість перевантажувальної здатності електропривода незалежно від частоти напруги, проте має місце зниження розвиваємого двигуном моменту при низьких частотах (при $f < 0,1f_{\text{ном}}$). Максимальний діапазон регулювання швидкості обертання ротора при незмінному моменті опору для електроприводів зі скалярним керуванням досягає 1:10.

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 .

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.

При векторному керуванні можна ефективно виконувати роздільне керування швидкістю й потокозчепленням асинхронного короткозамкненого електродвигуна. Координати електропривода, обмірювані в нерухомій системі координат, можуть бути перетворені до обертової системи координат, і з них можуть бути виділені постійні значення, пропорційні складовим векторів в обертовій системі координат. По цих координатах і виконується керування.

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.

На сьогоднішній день сформувалося два основні класи систем векторного керування – бездатчикові системи (без датчика швидкості на валу двигуна) і системи зі зворотним зв'язком по швидкості. Застосування того чи іншого методу векторного керування визначається областю застосування електропривода. При невеликих діапазонах зміни швидкості (не більше 1:100) і вимогах до точності її підтримки не більше $\pm 0,5\%$ застосовують бездатчикове векторне керування.

Якщо ж швидкість обертання вала змінюється в широких межах (до 1:10000 і більше), висуваються вимоги до високої точності підтримки швидкості обертання (до $\pm 0,02\%$ при частотах обертання менше 1 Гц) або є необхідність позиціонування вала, а також при необхідності регулювання моменту на валу двигуна на дуже низьких частотах обертання, застосовують методи векторного керування із зворотним зв'язком по швидкості.

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 [29].

На основі проведеного аналізу існуючих типів керування двигунів перемінного струму для керування електродвигуном гвинтового конвеєра вибраний перетворювач типу Danfoss VLT AutomationDrive FC 301 з частотно-струмовим керуванням.

3.4 Загальні технічні характеристики та робота комплектного електропривода Danfoss VLT AutomationDrive FC 301

Частотний перетворювач Danfoss VLT Automation Drive FC 301 являє собою концепцію єдиного привода, застосованого для широкого спектра операцій від простих до серво-додатків, на будь-якому агрегаті або виробничій лінії. Привод Danfoss VLT Automation Drive FC 301 розроблений на основі відкритої модульної платформи, що робить його легко адаптуємим і програмованим приводом [25].

Випускається в діапазоні потужності від 0,25 кВт до 1,4 МВт, привод Danfoss VLT AutomationDrive серії FC 301 може керувати електродвигунами практично всіх стандартних промислових технологій, вмикаючи двигуни з мідним ротором і двигуни з постійними магнітами. Перетворювач частоти розрахований на роботу з усіма джерелами живлення зі звичайною напругою: 200-240 В, 380-480 / 500 В, 525-600 В і 525-690 В.

Привод Danfoss VLT AutomationDrive FC 301, призначений для роботи від мережі напругою 380 В, потужністю від 1,1 кВт до 75 кВт, може керувати двигунами з споживаної потужністю від 0,37 кВт і вище без понижувального трансформатора. Це забезпечує широкий вибір компактних, надійних і ефективних приводів для виробничих установок з підвищеними вимогами, що працюють від мережі 380 В. Завдяки подачі повітря через задній канал охолодження проводиться видалення до 85-90% втрат тепла приводу безпосередньо за межі приміщення, в якому він встановлений. Повне розділення між охолоджуючим повітрям і внутрішньою електронікою забезпечує ефективне охолодження. Привод Danfoss VLT Automation Drive FC 301 в стандартній комплектації відповідає класу 3C2.

Технічні дані перетворювача частоти Danfoss VLT Automation Drive FC 301 наведені у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Технічні дані перетворювача частоти Danfoss VLT Automation Drive FC 301

Параметр	Характеристика
Напруга мережі та діапазон потужності	1 AC 200-240 В + 10% 0,12 - 3 кВт 2 AC 200-240 В + 10% 0,12 - 45 кВт, 5,5 – 45 кВт 3 AC 380-480 В + 10% 0,37 - 200 кВт, 7,5 – 250 кВт 3 AC 500-600 В + 10% 0,75 - 75 кВт, 1,5 – 90 кВт
Частота мережі	47 Гц...63Гц
Вихідна частота	для потужностей 7,5-90 кВт – 0–650Гц для потужностей 110-250 кВт – 0–267Гц
Коефіцієнт потужності	0,95
ККД перетворювача	96%-97% в залежності від потужності перетворювача
Перевантажувальна здатність	0,12-75кВт в 1,5 х розрахунковий вихідний струм протягом 60 с (кожні 300с). 2 х розрахунковий вихідний струм протягом 3с (кожні 300с). 900-200 кВт 1,36 х розрахунковий вихідний струм протягом 57с (кожні 300с). 1,6 х розрахунковий вихідний струм протягом 3с (кожні 300с). -VT-(змінний момент) 5,5-90кВт 1,4 х розрахунковий вихідний струм протягом 3с (кожні 300с). 110-250 кВт 1,5 х розрахунковий вихідний струм протягом 1с (кожні 300с).
Пусковий струм	Не вище розрахункового вхідного струму
Керування	Векторне керування з/без датчика швидкості;
Частота імпульсів	Керування моментом; лінійна залежність U/f квадратична U/f залежність; програмована залежність U/f; пряме керування потоком (FCC).

Продовження таблиці 3.6

Число фіксованих частот	15, які параметруються
Дискретність завдання	0,01 Hz цифрове з панелі оператора 0,01 Hz з комп'ютера 10 біт аналогове представлення
Цифрові входи	4, які параметруються, потенційно розв'язані; перемикаються PNP/NPN. Номера клем: 18,19,,32,33
Аналоговий вхід	2, які параметруються: – 0-10 В, 0-20 мА і -10. +10 В Вхід 1 (S201) – 0-10 В, 0-20 мА і -10. Вхід 2 (S202) – можуть використовуватися як 7 і 8 цифрові входи. Клеми номер: 53,54.
Релейний вхід	2, які параметруються, DC 60В/5А (омічного навантаження), AC 280В/2А (індуктивне навантаження).
Допустима довжина кабелю до двигуна без вхідного дроселя	Для потужності 7,5-90кВт тах. 50 м (екранований кабель), тах. 100 м (неекранований кабель); для потужності 110-250кВт тах. 100 м (екранований кабель), тах. 150 м (неекранований кабель)
Електромагнітна сумісність	Опціонально ЕМС фільтр по EN 55011, фільтр класу В. Перетворювач з вбудованим фільтром класу А (выд 7,5 кВт до 90кВт), для перетворювачів 110кВт...250кВт 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.

Переваги застосування перетворювачів частоти Danfoss:

- висока точність регулювання асинхронним двигуном;
- економія електроенергії у разі змінного навантаження, рівного максимальному пусковому моменту;

- можливість дистанційної діагностики привода з промислової мережі. Облік мотогодин;
- підвищений ресурс устаткування;
- зменшення гідравлічного опору трубопроводу через відсутність регулюючого клапана;
- кероване гальмування і автоматичний перезапуск при зникненні мережевої напруги;
- значне зниження акустичного шуму електродвигуна;
- додаткова економія електроенергії від оптимізації збудження електродвигуна;
- можливість зміни автоматичного вимикача.

На рисунку 3.2 зображена електрична схема з'єднань в частотному перетворювачі Danfoss VLT Automation Drive FC 301.

Клеми 18 призначені для пуску, 27 для інверсного зупинення та 37 для безпечної зупинки перетворювача. Іноді, залежно від монтажу, при великій довжині кабелів керування і кабелів аналогових сигналів в замкнутих контурах заземлення можуть протікати струми з частотою 50/60 Гц, обумовлені перешкодами від кабелів мережі електроживлення. У такому випадку слід розірвати екран кабелю або встановити між екраном і шасі конденсатор ємністю 100 нФ. Цифрові та аналогові входи і виходи слід підключати до загальних клем перетворювача частоти (клеми 20,55, 39) окремими проводами, щоб виключити взаємний вплив струмів заземлення сигналів обох груп. Наприклад, перемикання цифрового входу може створювати перешкоди для сигналу аналогового входу.

Клеми 18,19,32,33 – програмовані цифрові входи; 53,54 – клеми аналогових входів, програмовані імпульсні входи/входи енкодера – 29,33 / 18,32,33; цифрові входи – клеми 27,29; аналоговий вихід – 42 клема; плата керування, вихідні 20В постійного струму – клеми 12,13 (максимальна загрузка 130мА); плата керування, вихідні 10В постійного струму – клема 50 (максимальна загрузка 15мА).

Плата керування, інтерфейс послідовної зв'язку RS 485 – Клеми 68 (P,TX+, RX+), 69 (N,TX-, RX-), а клема 61 – загальна для клем 68 і 69.

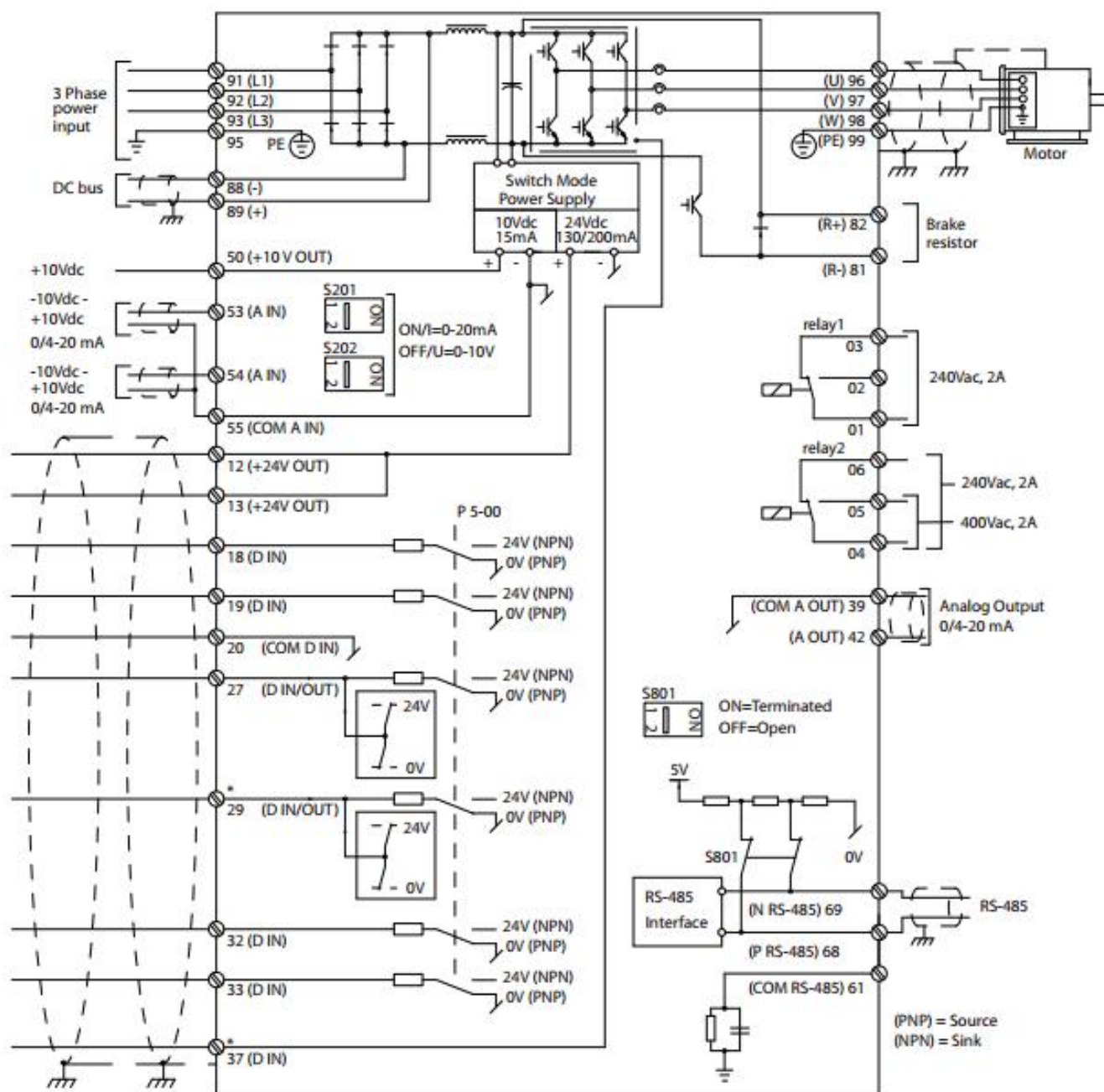


Рисунок 3.2 – Електрична схема з'єднань в частотному перетворювачі Danfoss VLT Automation Drive FC 301

Принципова схема та схеми електричних підключень.

У відповідності із раніше наведеним описом перетворювача, складемо принципову схему електропривода у частині, що відповідає модернізації електропривода гвинтового конвеєра.

На рисунку 3.3 зображена схема підключення електродвигуна до перетворювача частоти Danfoss VLT Automation Drive FC 301.

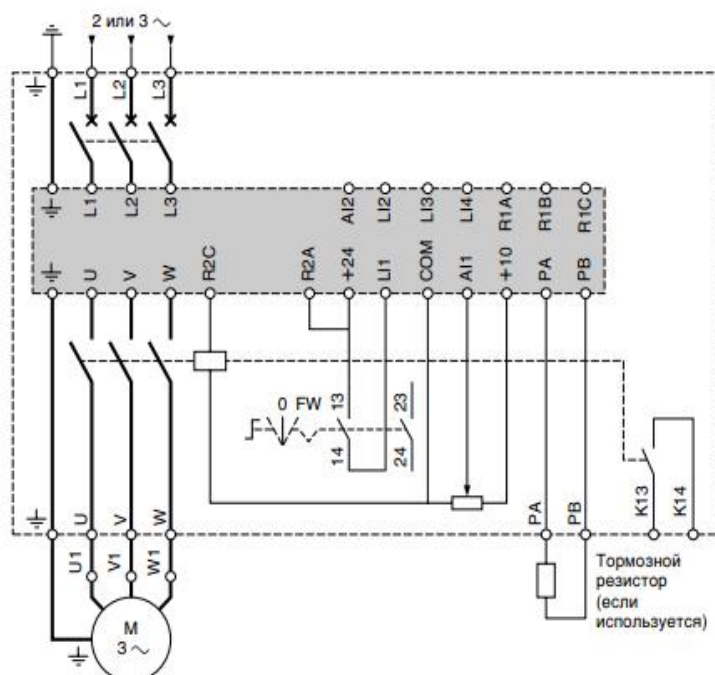


Рисунок 3.3 - Схема підключення двигуна до перетворювача частоти

Опис схеми підключення:

- логічний вхід LI1 - вперед;
- логічний вхід LI2 - назад;
- логічний вхід LI3 - 2 задані швидкості;
- логічний вхід LI4 - 4 задані швидкості;
- аналоговий вхід АН - підсумовування завдань;
- аналоговий вхід AI2 - підсумовування завдань;
- реле R1B - несправність перетворювача;
- реле R2A - керування вихідним контактором;
- логічний вхід LI5 - 8 заданих швидкостей;
- логічний вхід LI6 - скидання несправностей;
- аналоговий вхід AI3 - підсумовування завдань;
- імпульсний вхід - регулювання швидкості;
- логічний вихід LO - рівень струму досягнутий;
- аналоговий вихід AT - частота двигуна.

Типова схема включення Danfoss VLT Automationdrive FC 301 з керуванням від контролера по дискретним і аналоговим входах і виходах представлена на рисунку 3.4.

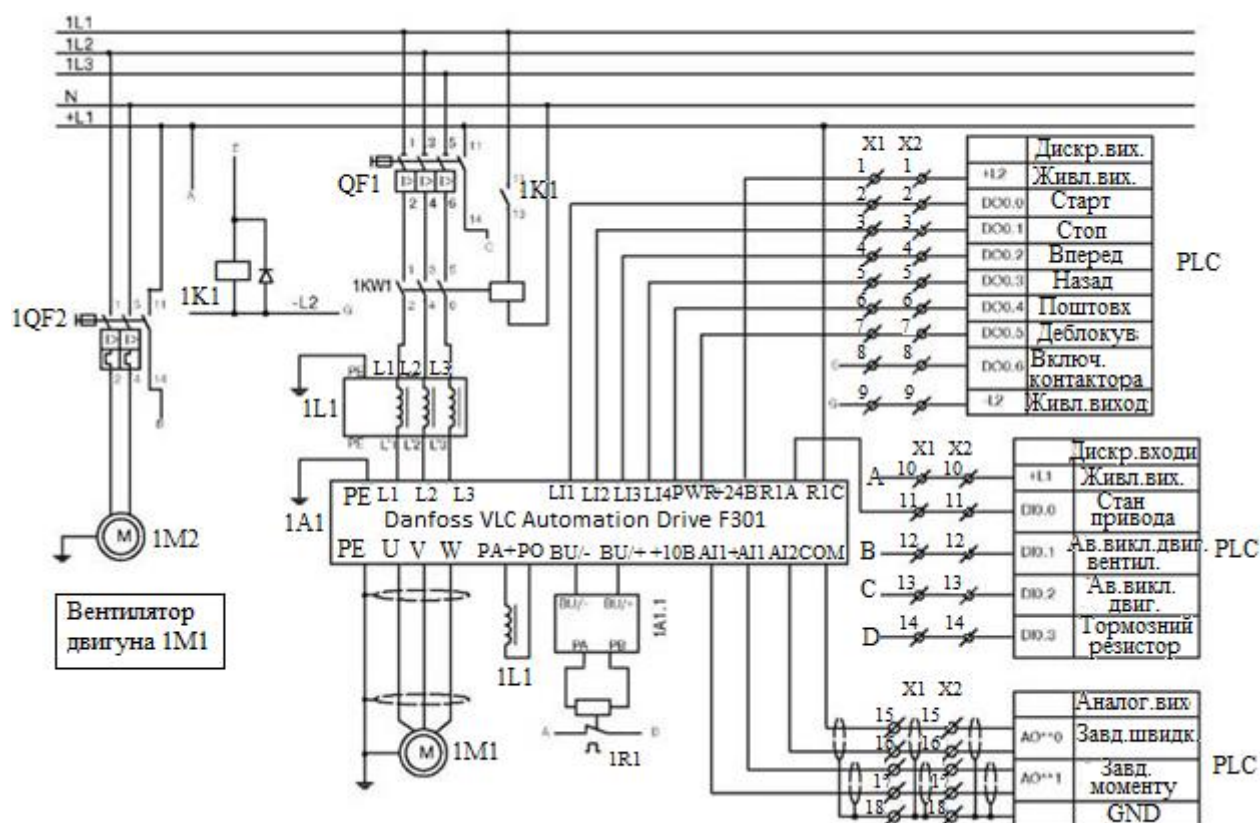


Рисунок 3.4 - Типова схема включення Danfoss VLT Automationdrive FC 301 з керуванням від контролера по дискретним і аналоговим входах і виходах

У перетворювача є шість дискретних входів - LI1 - LI6. На них можуть бути подані логічні сигнали напругою 0 / + 24В прямої або зворотної логіки, з виходів контролера, модулів розподіленого вводу-виводу або інших логічних пристроїв.

При керуванні від транзисторних виходів контролера, шину «0В» живлення виходів контролера або інших логічних пристроїв необхідно з'єднати з клемою «0V» ПЧ.

Для керування перетворювачем можна так само використовувати контакти проміжних реле. При цьому при позитивній логіці управління вибирається позиція перемикача «Source» і контакти реле комутують напругу + 24В, між контактом «+24» і входними контактами перетворювача. При негативній логіці керування вибирається позиція перемикача «Sink» і контакти реле комутують входні контакти перетворювача, із загальним проводом - контактом «0V».

У перетворювача є шість дискретних входів - LI1 - LI6. На них можуть бути подані логічні сигнали напругою 0 / + 24В прямої або зворотної логіки, з виходів контролера, модулів розподіленого вводу-виводу або інших логічних пристроїв.

При керуванні від транзисторних виходів контролера, шини «0V» живлення виходів контролера або інших логічних пристроїв необхідно з'єднати з клемою «0V» ПЧ.

Для керування перетворювачем можна так само використовувати контакти проміжних реле. При цьому при позитивній логіці управління вибирається позиція перемикача «Source» і контакти реле комутують напругу + 24В, між контактом «+24» і вхідними контактами перетворювача. При негативній логіці керування вибирається позиція перемикача «Sink» і контакти реле комутують вхідні контакти перетворювача, із загальним проводом - контактом «0V».

3.5 Висновки до розділу 3:

- обґрунтований вибір типу електродвигуна;
- проведений розрахунок потужності електродвигуна та вибраний електродвигун серії АІР;
- 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 Danfoss VLT, наведені його технічні дані та характеристики, показані принципова електрична та загальна схема перетворювача.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА

4.1 Функціональна та структурна схеми системи керування

Принцип роботи електропривода. Формування необхідних статичних і динамічних властивостей асинхронного частотно-регульованого електропривода можливо лише в замкненій системі регулювання його координат.

Узагальнена функціональна схема подібної системи (рисунок 4.1) крім асинхронного двигуна (АД) й керованого перетворювача частоти (ПЧ) містить регулятори Р і датчики Д перемінних електропривода. Керуючими впливами u_K на вході регуляторів можуть бути сигнали завдання будь-яких координат електропривода - швидкості, кута повороту ротора АД, струму статора, магнітного потоку й т.п. Збурюючими впливами на електропривод можуть бути моменти сил опору M_c на валу АД або коливання напруги живильної мережі U_c електропривода [28].

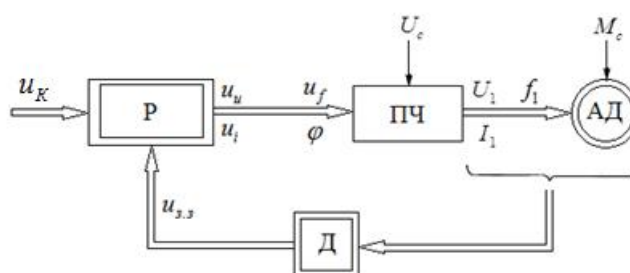


Рисунок 4.1 - Функціональна схема замкненої системи ПЧ-АД зі скалярним керуванням

Вхідними сигналами датчиків є перемінні АД, доступні для безпосереднього їхнього виміру (частота, напруга й струм статора, швидкість ротора, магнітний потік у повітряному зазорі АД) або обумовлені розрахунковим шляхом за допомогою математичної моделі АД (ЕРС, потокозчеплення статора, ротора й т.п.). Вихідні сигнали регуляторів, що залежать від керуючих впливів, сигналів зворотних зв'язків $u_{1,3}$ і прийнятих алгоритмів регулювання, є сигналами

пропорційно завданням швидкості ω_{03} , ідеального холостого ходу АД, а $u_{3.3.ш.}$ – поточної швидкості ротора ω , тобто $u_{РШ} = (u_{3.ш.} - u_{3.3.ш.}) = (\omega_{03} - \omega) = s_a \cdot \omega_{0ном}$. Якщо передатний коефіцієнт формувача частоти ковзання ФЧК вибрати таким чином, щоб з урахуванням $\omega_{0ном}$ його вихідний сигнал $u_{ФЧК}$ був пропорційний $(\omega_{03} - \omega)$, то після сумовування цього сигналу з вихідним сигналом $u_{ПП}$ погоджуючого пристрою ПП, пропорційний поточному значенню ω , на виході суматора Σ_2 пристрою завдання частоти ЗЧ інвертора струму ІС перетворювача ПЧС буде сформований сигнал $u_C = u_{ФЧК} + u_{ПП} \cong (\omega_{03} - \omega) + \omega = \omega_{03}$.

В результаті на вихід ЗЧ буде сигнал завдання частоти вихідного струму ПЧТ $u_{3.f} \cong u_{3.ш.} \cong \omega_{03}$, що визначає завдання синхронної швидкості АД.

Оскільки електромагнітний момент двигуна пропорційний квадрату струму статорної обмотки ($M \cong I_1^2$), який, у свою чергу, пропорційний абсолютному ковзанню ($I_1^2 \cong s_a$), вихідний сигнал РШ пропорційний s_a і є сигналом завдання електромагнітного моменту АД. Тому вихідна напруга $u_{БО}$ блоку обмеження БО на виході РШ можна впливати і на обмеження максимального моменту АД.

Перед пуском двигуна ($u_{3.ш.} = 0$, $u_{РШ} = 0$) сигнал завдання частоти перетворювача $u_{3.f} = 0$ і за рахунок характеристики ФП ($u_{3.ш.,min} \neq 0$) в АД задається постійний струм, який забезпечує потік намагнічення і режим динамічного гальмування АД.

Зі збільшенням $u_{3.ш.}$ зростає сигнал завдання частоти, струм статора стає змінним із заданою частотою і двигун починає обертання під дією максимального моменту, встановленого сигналом $u_{3.ш.}$. Збільшення швидкості буде відбуватися до тих пір, поки не зрівняються сигнали завдання і зворотного зв'язку по швидкості двигуна.

Після цього вихідний сигнал РШ при відсутності статичного навантаження на валу АД знову встановиться рівним нулю, але за рахунок позитивного зворотного зв'язку по швидкості вже при $u_{3.f} \neq 0$. Потік холостого ходу АД буде при цьому створюватися змінним струмом I_{1min} .

4.1.1 Математичний опис структурної схеми електропривода з частотно-струмовим керуванням

Комплектний електропривод Danfoss VLT [25] має штатні складові, а тому розрахунку та вибору основних елементів не потребує. Але корегуюча ланка заводом-виробником не передбачується, бо вона розраховується під конкретний двигун. Окрім того, при налагодженні привода потрібно встановити значення регулюючих параметрів, які забезпечують необхідні динамічні якості системи. Це потребує проведення аналізу динаміки системи на основі її математичної моделі.

При дослідженні перехідних процесів у трифазних асинхронних електродвигунах доцільно прийняти наступні припущення, які дозволяють в доступній математичній формі відобразити співвідношення основних параметрів та координат:

- сили обмоток двигуна розподілені синусоїдально вздовж кола повітряного зазору;
- втрати у сталі статора і ротора відсутні;
- обмотки статора і ротора строго симетричні зі зміщенням осей обмоток на 120 град;
- насичення магнітного кола відсутнє.

При розгляданні перехідних процесів досліджується ідеалізований асинхронний двигун, у якому магнітна рушійна сила (МРС) і індукція розподілені по окружності синусоїдально, втрати в сталі відсутні, ланцюг, що намагнічує, є лінійним. Диференційні рівняння ідеалізованого асинхронного двигуна у системі координат $x - y$, що обертається з синхронною швидкістю $\omega_2 \psi_2^*$ [3]:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= I_1 \cdot r_1 + \frac{d\psi_1}{dt} + j\omega_0 \psi_1; \\ 0 &= I_2 \cdot r_2 + \frac{d\psi_2}{dt} + j(\omega_0 - z_p \omega_2) \psi_2; \\ \psi_1 &= L_1 I_1 + L_0 I_2'; \\ \psi_2 &= L_2' I_2' + L_0 I_1, \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

де U_1, I_1, ψ_1 – вектори напруги, струму і потокозчеплення статора;

I_2', ψ_2 – ті ж параметри для ротора, приведені до статора;

L_0 – повна результуюча взаємна індуктивність обмотки статора і ротора;

L_2', L_1' – повні результуючі індуктивності обмотки статора і ротора (приведені до статора), що складаються з індуктивності від головного потоку і індуктивностей від полів розсіювання;

r_1, r_2' – активні опори обмоток статора і ротора (приведені до статора);

ω_2 – кутова швидкість обертання ротора;

z_p – число пар полюсів двигуна.

Обертовий момент двигуна M ,

$$M = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot I_m (\psi_1^* \cdot I_1) = \frac{3}{2} \cdot z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot I_m (\psi_2^* \cdot I_1). \quad (4.2)$$

Рівняння руху двигуна:

$$M - M_C = I \frac{d\omega}{dt}. \quad (4.3)$$

При живленні від АІС, коли заданий струм статора двигуна, доцільно перейти до рівнянь, що містять U_1, I_1, ψ_2 .

З третього і четвертого рівнянь системи (4.1):

$$\psi_1 = \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_1 + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_2,$$

де $\Delta^* = L_1 L_2' - L_0^2$; $I_2' = \frac{1}{L_2'} \cdot \psi_2 - \frac{L_0}{L_2'} \cdot I_1$.

Підставимо дані вирази в перші два рівняння системи (4.1) і одержимо:

$$U_{1x} = R_1 I_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_1}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt} \quad (4.4)$$

$$0 = -\frac{R_2}{L_2'} \cdot L_0 I_1 + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_2 + \frac{d\psi_2}{dt} + j(\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_2 \quad (4.5)$$

Спроекуємо вирази (4.5) на осі x і y , а також введемо в якості незалежної перемінної I_1 , що спрямована уздовж осі x , при цьому $I_{1x} = I_1$:

$$\left. \begin{aligned} U_{1x} &= R_1 I_{1x} - \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_{1y} + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_{1x}}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt}; \\ U_{1y} &= R_1 I_{1y} - \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_{1x} + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_{1y}}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2y}}{dt}; \\ 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_{1x} + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{d\psi_{2x}}{dt} - (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2y}; \\ 0 &= -\frac{R_2}{L_2'} \cdot L_0 I_{1y} + \frac{R_2}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{d\psi_{2y}}{dt} + (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2x}. \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

$$\left. \begin{aligned} U_{1x} &= R_1 I_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_1}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt}; \\ U_{1y} &= \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_1 + \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2y}}{dt}; \\ 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_1 + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{d\psi_{2x}}{dt} - (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2y}; \\ 0 &= -\frac{R_2}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{d\psi_{2y}}{dt} + (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2x}. \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

Знайдемо момент двигуна з виразу (4.3):

$$M = \frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} I_m \cdot \psi_2^* I_1, \quad (4.8)$$

де $\psi_2^* = \psi_{2x} - j\psi_{2y}$;

$$I_1 = I_{1x} + jI_{1y}.$$

Підставимо значення ψ_2^* і I_1 у (4.8) і одержимо:

$$M = \frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2} (\psi_{2x} I_{1y} - \psi_{2y} I_{1x}).$$

Так як при $I_{1x} = I_1$, $I_{1y} = 0$, то попередній вираз перетвориться в такий:

$$M = -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2} \cdot \psi_{2y} I_1. \quad (4.9)$$

Запишемо систему рівнянь (4.7) і рівняння (4.9) в операторній формі:

$$\left. \begin{aligned} U_{1x}(p) &= (R_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} p) \cdot I_1(p) - \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2x}(p); \\ U_{1y}(p) &= \omega_0(p) \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} I_1(p) + \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \psi_{2x}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2x}(p); \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_1(p) + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x}(p) + p \psi_{2x}(p) - (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2y}(p); \\ 0 &= \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + p \psi_{2y}(p) + (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2x}(p); \\ M &= -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) I_1(p). \end{aligned} \right\} \quad (4.11)$$

При живленні двигуна від АІС, нас буде цікавити тільки активна складова напруги $U_{1x}(p)$, тому при побудові структурної схеми асинхронного двигуна, друге рівняння системи (4.10) використовуватися не буде.

$$\left. \begin{aligned} U_{1x}(p) &= R_1(1 + \frac{\Delta^*}{L_2' R_1} p) \cdot I_1(p) - \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2x}(p); \\ \psi_{2x}(p) &= \frac{L_0}{(1 + \frac{L_2'}{R_2} p)} \cdot I_1(p) + \left[-\frac{L_2'}{R_2} / (1 + \frac{L_2'}{R_2} p) \right] \cdot (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2y}(p); \\ \psi_{2y}(p) &= \left[-\frac{L_2'}{R_2} / (1 + \frac{L_2'}{R_2} p) \right] \cdot (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2x}(p); \\ M &= -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) I_1(p). \end{aligned} \right\} \quad (4.12)$$

На підставі системи рівнянь (4.12) і рівняння (4.3) складемо структурну схему асинхронного двигуна, що представлена на рисунку 4.3.

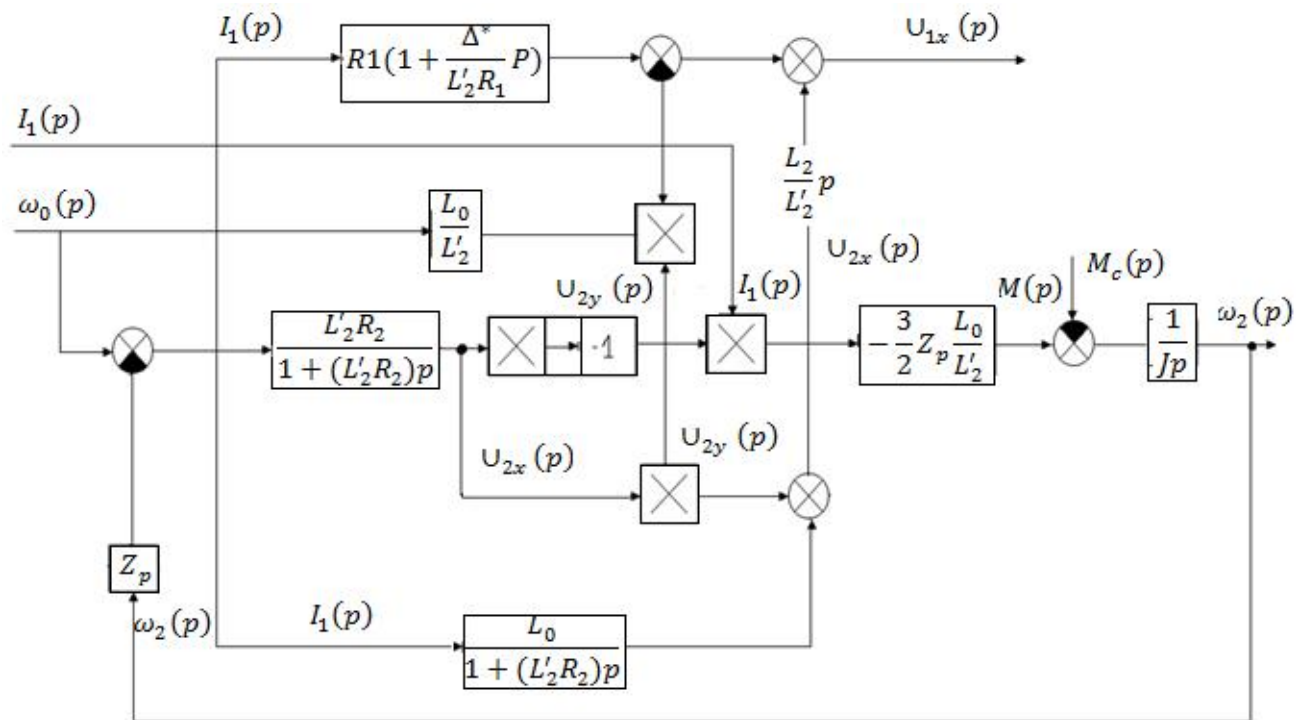


Рисунок 4.3 – Структурна схема асинхронного електродвигуна

Складену структурну схему асинхронного двигуна при керуванні кутовою частотою напруги статора й за умови сталості потокозчеплення статора зручніше побудувати, якщо представити координати двигуна у в.о..

Здійснимо перехід до умовних одиниць, прийнявши за базові значення координат їх значення у номінальному режимі: $M_{нфн}$; $\omega_{1н}$; $U_{1н}$; $\omega_{0н}$,

$$\omega_{0H} = \frac{\omega_{1H}}{p_i},$$

де ω_{0H} – синхронна кутова швидкість двигуна, c^{-1} .

$$\text{Тоді } \left[\frac{\Delta \omega}{\omega_{0H}} \right] = \Delta \bar{\omega}; \left[\frac{\Delta \omega_1}{\omega_{1H}} \right] = \Delta \bar{\omega}_1; \left[\frac{\Delta M}{M_{п.ф.н}} \right] = \Delta \bar{M}; \left[\frac{\Delta M_o}{M_{п.ф.н}} \right] = \Delta \bar{M}_o; \left[\frac{\Delta u_{1a}}{U_{1aH}} \right] = \Delta u_{1a}.$$

Передатна функція двигуна запишеться так

$$\frac{\Delta \bar{M}(p)}{\Delta \bar{\omega}_1(p) - \Delta \bar{\omega}(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{(T_E p + 1) - \frac{(\frac{S}{S_{kp}})^2}{1 + (\frac{S}{S_{kp}})^2} (T_E p + 2)}{(T_E p + 1)^2 + (\frac{S}{S_{kp}})^2}, \quad (4.14)$$

де $\gamma = \frac{U_{1a}}{U_{1aH}}$ – відносна напруга статора;

$\nu = \frac{\omega_1}{\omega_{1H}}$ – відносна частота напруги статора, $\nu = 0,8$.

Або в спрощеному виді

$$\frac{\Delta \bar{M}(p)}{\Delta \bar{\omega}_1(p) - \Delta \bar{\omega}(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{1}{T_E p + 1}. \quad (4.15)$$

Відповідно на підставі рівняння (4.14) маємо

$$\frac{\Delta \bar{M}(p)}{\Delta \bar{\omega}_1(p) - \Delta \bar{\omega}(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{1}{T_M p}, \quad (4.16)$$

де $T_M = \frac{J \omega_{0H}}{M_{П.Ф.Н.}}$ – механічна постійна часу двигуна, с.

Спрощена структурна схема асинхронного двигуна при частотно-струмовому керуванні побудована на підставі виразів (4.15), (4.16), показана на рисунку 4.4.

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.

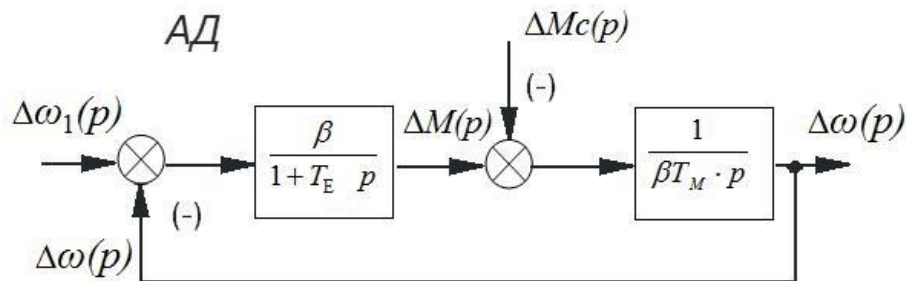


Рисунок 4.4 – Спрощена структурна схема асинхронного двигуна при частотно-струмовому керуванні

На рисунку 4.5 наведена структурна схема такого привода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна.

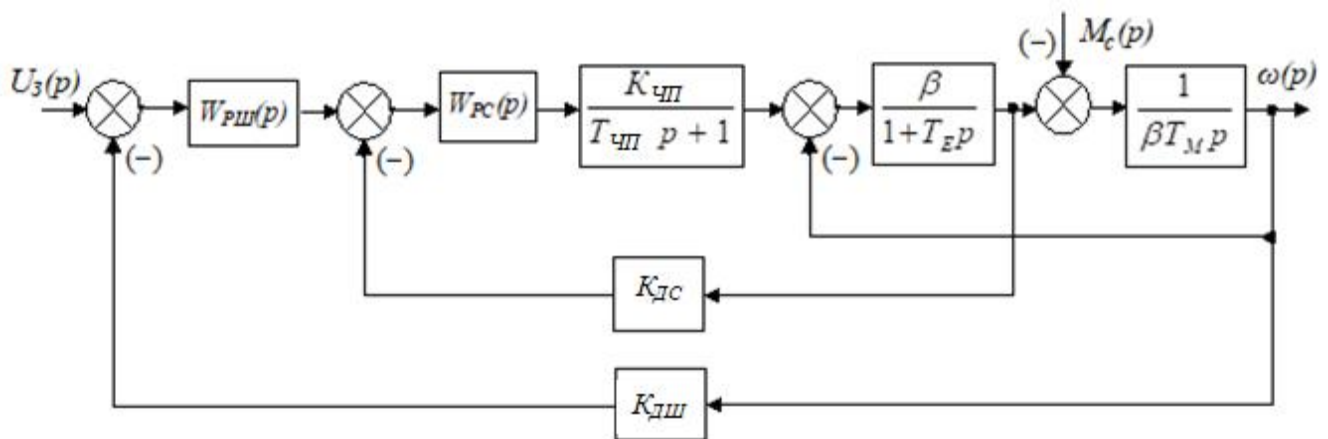


Рисунок 4.5 – Структурна схема електропривода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна

4.2 Розрахунок параметрів регуляторів системи керування електропривода

4.2.1 Структурна схема електропривода з частотно-струмовим керуванням

При розробці математичної моделі електропривода використано декілька допущень [4,7,23]:

- 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 4.6) зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна.

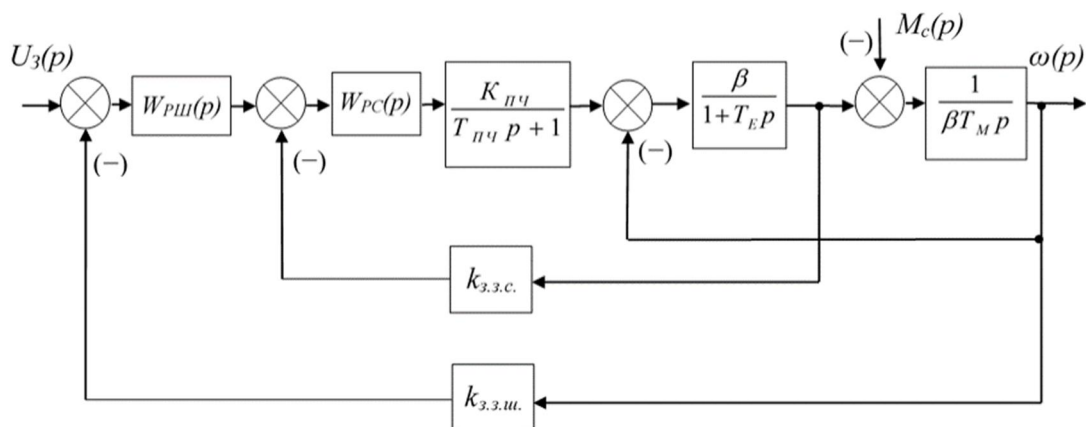


Рисунок 4.6 – Структурна схема електропривода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна

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 4.7.

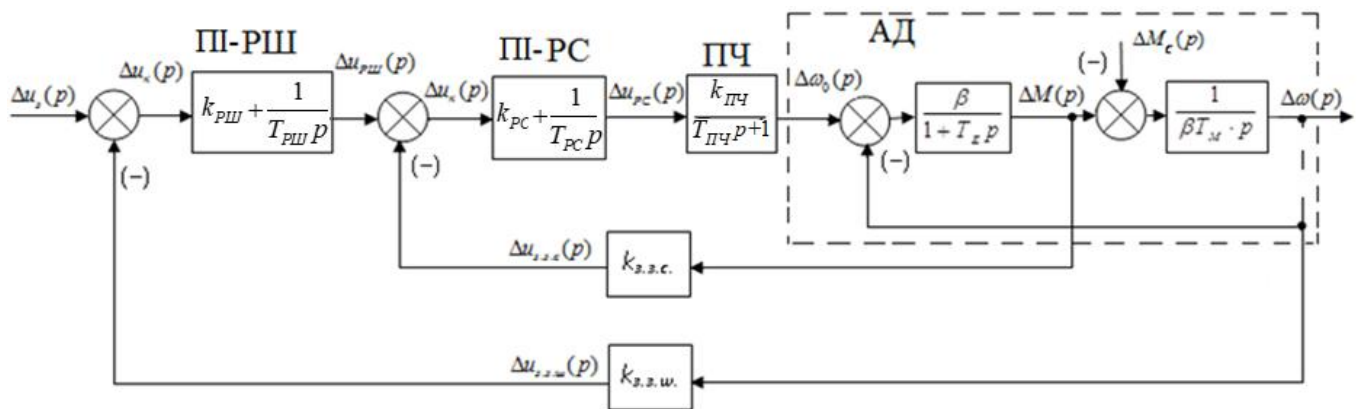


Рисунок 4.7 – Структурна схема електропривода

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 змодельовати 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

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

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:

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

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

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

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

4.2.2 Формування та розрахунок параметрів елементів структурної схеми

Визначення параметрів здійснюється за допомогою перехідних характеристик.

Параметри двигуна АИР100L4У3 для розрахунку перехідних процесів наведені в таблиці 4.1 [3].

Таблиця 4.1 - Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Значення
Тип	АИР100L4У3
Потужність P_H , кВт	4
Синхронна частота обертання n , об./хв.	1500
Число пар полюсів p_n	4
Швидкість обертання валу $n_{ог}$, об./хв.	1435
ККД, %	84,2
Коефіцієнт потужності, $\cos\phi$	0,82
Ковзання S_H , %	4,7
Струм I_H , А (при $U = 380$ кВт)	8,8
Кратність пускового струму I_n / I_H	7
Кратність максимального моменту M_{max} / M_H	2,3
Кратність пускового моменту M_n / M_H	2,3
Момент інерції, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	0,013
Маса, кг	30

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

Номінальна кутова швидкість холостого ходу електродвигуна $\omega_{дв}$, с^{-1} ,

$$\omega_{ДВ} = \frac{\pi \cdot n_{ДВ}}{30}; \quad \omega_{ДВ} = \frac{3,14 \cdot 1435}{30} = 150,2 \text{ рад/с}$$

Момент на валу двигуна M_H , Н·м,

$$M_{\partial\partial} = \frac{P_H}{\omega_{ДВ}}; \quad M_{\partial\partial} = \frac{4000}{150,2} = 26,6 \text{ Н·м.}$$

Кутова швидкість обертання електромагнітного поля статора АД (синхронна частота) ω_c , рад/с,

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

$$\omega_c = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314,16 \text{ рад/с.}$$

Номинальна кутова швидкість ротора двигуна ω_H , рад/с,

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

де p_n - число пар полюсів;

s_H - номінальне ковзання.

$$\omega_H = \frac{314,16(1 - 0,047)}{4} = 74,9 \text{ рад/с.}$$

Номинальний момент двигуна M_H , Н·м,

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}, \quad M_H = \frac{4000}{74,9} = 53,4 \text{ Н·м.}$$

Пусковий момент двигуна M_{II} , Н·м,

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

$$M_{II} = 2,3 \cdot 53,4 = 122,8 \text{ Н·м.}$$

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

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

$$M_{\max} = 2,3 \cdot 53,4 = 122,8 \text{ Н·м.}$$

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 $\beta, \frac{H \cdot \text{м}}{\text{с}^{-1}},$

$$\beta = \frac{M_H}{\omega_H \cdot S_H}, \quad \beta = \frac{53,4}{74,9 \cdot 0,046} = 15,5 \frac{H \cdot \text{м}}{\text{с}^{-1}}.$$

Еквівалентна електромагнітна постійна часу ланок статора і ротора $T_E, \text{ с},$

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

де $S_{кр}$ - критичне ковзання (розрахунок п.4.1.1), $S_{кр} = 0,28$.

$$T_E = \frac{1}{314,16 \cdot 0,28} = 0,011 \text{ с}.$$

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

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

$$J_{\Sigma} = 0,013 + 0,6 \cdot 0,013 = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Електромеханічна постійна часу двигуна $T_M, \text{ с},$

$$T_M = \frac{J_{\Sigma}}{\beta},$$

$$T_M = \frac{0,02}{15,5} = 0,001 \text{ с}.$$

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

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

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

$$k_{3.3.ш} = \frac{10}{74,9} = 0,133 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

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

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

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

$$k_{3.3.с} = \frac{10}{53,4 / 8,8} = 1,16 \frac{B \cdot A}{H \cdot M}.$$

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

Для первинних розрахунків приймаємо:

$$T_{ПИ} = T_M = 0,001,$$

$$k_{ПИ} = k_{PC} = 10;$$

$$T_{PC} = T_{пч} = 0,005.$$

Передатна функція регулятора швидкості $W_{ПИ}(p)$

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

$$W_{ПИ}(p) = 10 + \frac{1}{0,001 \cdot p}.$$

Передатна функція регулятора струму $W_{PC}(p)$

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

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

Передатна функція фільтра на вході в систему

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{3 \cdot T_{ПИ} \cdot p + 1}, \quad W_{\phi}(p) = \frac{1}{3 \cdot 0,001 \cdot p + 1} = \frac{1}{0,003 \cdot p + 1}.$$

4.3 Аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода гвинтового конвєсра

Сформована структурна схема асинхронного двигуна при частотно-струмовому керуванні (рисунок 4.7) є основою для побудови динамічної структурної схеми системи керування електроприводом згідно з функціональною схемою (рисунок 4.2).

Початкові дані для розрахунку перехідних процесів зведено у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Початкові дані для розрахунку перехідних процесів системи

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики	$\frac{H \cdot m}{c^{-1}}$	$\beta = 15,5$
Електромагнітна постійна часу	с	$T_E = 0,011$
Електромеханічна постійна часу	с	$T_M = 0,001$
Постійна часу регулятора швидкості	с	$T_{PII} = T_M = 0,001$
Постійна часу регулятора струму	с	$T_{PC} = T_{ПЧ} = 0,005$
Постійна часу перетворювача	с	$T_{ПЧ} = 0,005$
Коефіцієнт підсилення (передачі) перетворювача	-	$k_{ПЧ} = 50$
Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості	-	$k_{PII} = 10$
Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку швидкістю	В·с	$k_{з.з.ш} = 0,133$
Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості		$k_{PC} = 10$
Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом	$\frac{B \cdot A}{H \cdot m}$	$k_{з.з.с} = 1,16$

Передатні функції ланок.

Електромагнітної частини двигуна

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

$$W_{m.\partial\theta}(p) = \frac{15,5}{0,011 \cdot p + 1}$$

Електромеханічної частини двигуна

$$W_{m.\partial\theta}(p) = \frac{1}{\beta \cdot T_M \cdot p}$$

$$W_{m.\partial\theta}(p) = \frac{1}{15,5 \cdot 0,001 \cdot p} = \frac{1}{0,0155p}$$

Перетворювача частоти

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

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

Регулятора струму

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

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

Регулятора швидкості

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

$$W_{PII}(p) = 10 + \frac{1}{0,001 \cdot p}$$

Фільтра на вході системи керування

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{3 \cdot T_{PII} \cdot p + 1}$$

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{3 \cdot 0,001 \cdot p + 1} = \frac{1}{0,003 \cdot p + 1}$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку
за струмом

$$W_{ззс}(p) = k_{ззс}$$

$$k_{з.з.с} = 1,16$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку
за швидкістю

$$W_{ззш}(p) = k_{з.з.ш}$$

$$k_{з.з.ш} = 0,133$$

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

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

$$M_{CT} = 0,30 \cdot 53,4 = 16 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Після розрахунків усіх величин, що входять у структурну схему (рисунок 4.8), були розроблені структурні схеми динамічних моделей системи. Моделі системи побудовані в математичній програмі Simulink пакету Matlab [8].

Дослідження і порівняння характеру перехідних процесів системи керування виконується зі зміною законів регулювання з метою отримання заданих показників якості перехідних процесів.

Для цього проведена заміна ПІ-регулятора швидкості на П-регулятор швидкості, а також розглянутий варіант встановлення фільтра на вхід системи керування з ПІ-регулятором швидкості.

На рисунку 4.8 показана схема замкненої системи з ПІ-регулятором швидкості. На рисунку 4.9 показана схема замкненої системи з П-регулятором швидкості. На рисунку 4.10 показана схема замкнутої системи з ПІ-регулятором швидкості і фільтром на вході в систему.

На схемах 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;

«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).

Блоки «Score» та «Display» використовуються для отримання графіків перехідного процесу та сталого режиму по швидкості та струму.

На рисунках 4.11 та 4.12 наведені результати аналізу для перехідних процесів за швидкістю та за струмом.

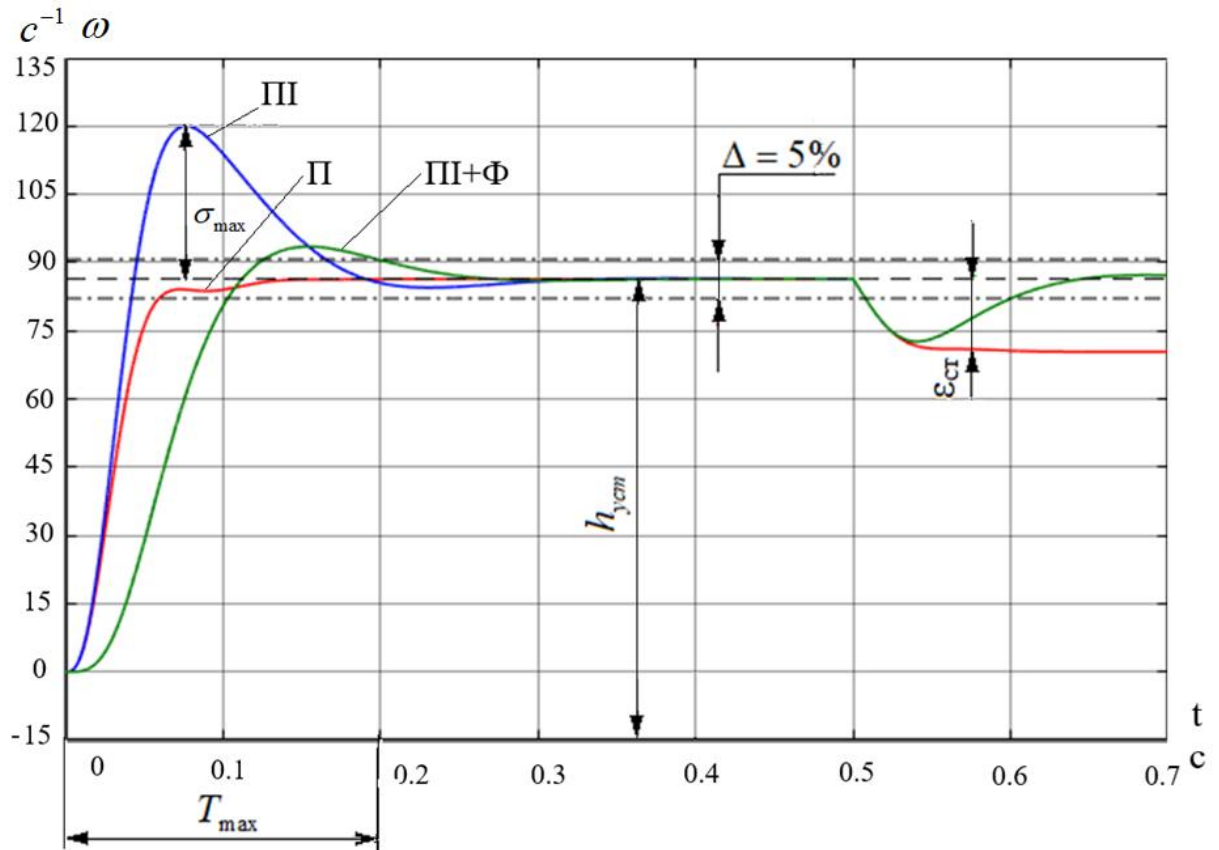


Рисунок 4.11 - Перехідні процеси по швидкості

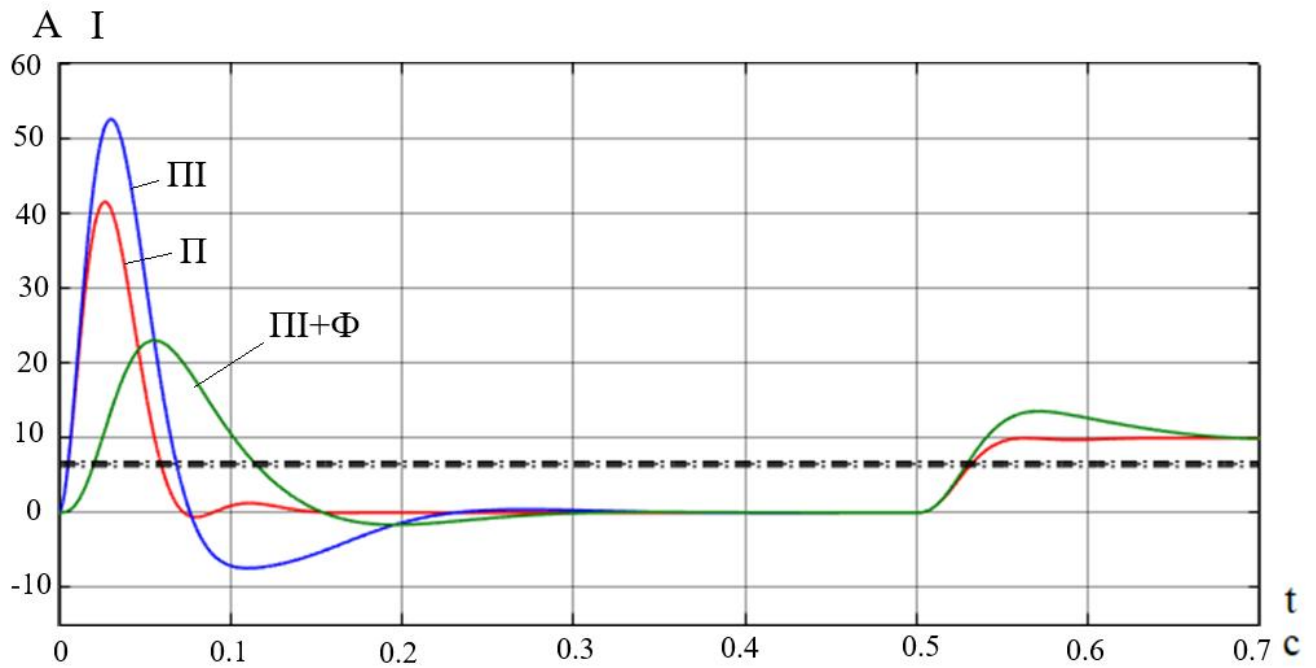


Рисунок 4.12 - Перехідні процеси по струму

Основні показники якості регулювання зведені в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 - Основні показники якості регулювання

Тип регулятора	$h_{уст}, c^{-1}$	h_{max}, c^{-1}	$\sigma_{max}, \%$	T_{max}, c	$\varepsilon_{ст}, \%$	N
ПІ-регулятор	82	120	46,3	0,17	0	1
П-регулятор	82	82	0	0,06	14,6	0
ПІ-регулятор з фільтром на вході	82	94	14,6	0,2	0	1

Отримані наступні результати дослідження:

- при застосуванні пропорційно-інтегрального закону регулювання (ПІ-регулятор) перерегулювання склало $\sigma_{max} = 46,3 \%$, що значно перевищує допустиме значення; час перехідного процесу $T_{max} = 0,17$ с;

- при застосуванні пропорційного закону регулювання (П-регулятор) перерегулювання відсутнє, час перехідного процесу зменшився до $T_{max} = 0,06$ с, але при цьому виникла статична похибка $\varepsilon = 14,6 \%$ (ε – це різниця між заданим і встановленим значенням регульованої величини);

- при введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором, перерегулювання склало $\sigma_{max} = 14,6 \%$, час перехідного процесу $T_{max} = 0,2$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка відсутня $\varepsilon = 0$. При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму та напруги не перевищують максимально допустимих значень.

Враховуючи отримані результати дослідження, остаточно для системи керування була обрана схема з ПІ-регулятором та фільтром на вході в систему.

4.4 Висновки до розділу 4:

- 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;

- 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 ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА

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.

Робота людини повинна проходити в умовах, що сприяють розвитку всіх його можливостей і забезпечують високу продуктивність праці.

Забезпечення безпеки праці на практиці здійснюється послідовною реалізацією таких етапів:

- визначення (виявлення) небезпечних і/або шкідливих виробничих факторів;
- локалізація або усунення виявлених факторів;
- визначення методів і засобів захисту працюючих (засобів колективного або індивідуального захисту);
- визначення пільг і компенсацій за роботу в несприятливих умовах.

У процесі трудової діяльності на людину впливає, як правило, комплекс несприятливих факторів виробничого середовища, в результаті чого можливі виробничі травми і професійні захворювання.

Велика розмаїтість зазначених факторів, зміна їх кількості і рівня впливу, дозволяє стверджувати, що досягнення абсолютної безпеки нереальне.

Для запобігання виробничому травматизму необхідно використовувати можливості комплексного підходу, а саме:

- техніки і технології виробництва (безпека виробництва);
- системи організації і управління виробництвом (організація безпеки);
- медицини праці (виробнича санітарія);
- ергономіки і психології праці (психологія безпеки);
- економіки виробництва (економіка охорони праці);
- чинної законодавчої бази охорони праці.

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, характерних для роботи на гвинтових конвеєрах

Умови праці – сукупність факторів виробничого середовища, які впливають на здоров'я і працездатність людини в процесі праці.

На людину в процесі її трудової діяльності можуть впливати небезпечні (вплив цього фактора, в певних умовах, призводить до травми або іншого раптового погіршення здоров'я) і шкідливі (вплив цього фактора, в певних умовах, призводить до захворювання або зниження працездатності) виробничі фактори [5].

Працівники під час прийняття на роботу і в процесі роботи проходять перевірку знань відповідно до Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 N 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за N 231/10511 (НПАОП 0.00-4.12-05).

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

Робота на конвеєрах повинна виконуватись з урахуванням стандарту системи безпеки праці ДСТ 12.3. 002-75 "Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки".

При роботі на гвинтових конвеєрах можливий вплив на працівників різних небезпечних і шкідливих виробничих факторів, у тому числі:

- несприятливий мікроклімат робочої зони;
- небезпека ураження електричним струмом;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- знижена освітленість робочого місця;
- пожежна і вибухова небезпека;
- незахищені рухливі елементи виробничого устаткування;
- запилення робочої зони.

Кліматичні умови (температура, вологість, швидкість руху повітря, дискомфортні кліматичні умови порушують теплообмінні процеси між людиною й зовнішнім середовищем, приводять до перенапруги функцій терморегуляції. При

несприятливих значеннях параметрів метеоумов можливості терморегуляції організму людини можуть бути вичерпані і його теплове самопочуття погіршується.

У процесі експлуатації при недотриманні мір безпеки зазначені фактори становлять небезпеку для обслуговуючого персоналу.

Персонал, обслуговуючий електрообладнання, може потрапити під напругу внаслідок несправності, аварії або своїх помилкових дій. Безпека обслуговування електрообладнання залежить від його робочої напруги, умов експлуатації і характеру середовища приміщення, в якому воно встановлене.

Значною мірою безпека обслуговування електрообладнання залежить від умов середовища приміщення, в якому воно встановлене, бо ці умови впливають на стан ізоляції і опір шкіри людини. Волога, їдкі пари або газы, струмопровідний пил і висока температура знижують опір ізоляції і руйнують її.

Небезпека поразки електричним струмом від провідників, що знаходяться під струмом, виникає при роботі з електрообладнанням. Електричний струм робить наступні види впливу на організм людини: термічне, електрохімічне, біологічне і механічне.

При нормальних умовах експлуатації електроустановки не представляють небезпеки відносно поразки електричним струмом. Небезпека виникає при знаходженні людини в електромагнітному полі або при включенні тіла людини в електричний ланцюг. Остання обставина може мати місце як внаслідок зімкнення зі струмоведучими частинами електроустановок, так і у випадку дотику до їх металевих струмоведучих частин, що опинилися під напругою (через ушкодження електричної ізоляції або по якійсь іншій причині).

Гранично допустимі рівні напруги та струмів доторкання установлює ДСТУ ГОСТ 12.1.038-82 "Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов".

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.

У різних приладах небезпека поразки струмом різна, тому що параметри електроенергії, умови експлуатації електроустаткування, характер середовища помешкань, у яких воно встановлено, можуть бути дуже різноманітними.

Шум відноситься до шкідливих факторів виробництва як і звук, виникає при механічних коливаннях у твердих, рідких і газоподібних середовищах. Підвищення звукового тиску негативно впливає на орган слуху; для виміру голосності (у децибелах дБ) використовується двошкальний шумомір. У цехах допускається рівень шуму близько 100 дБ. Рівень шуму вище 140 дБ може викликати болючий ефект. Комплекс змін, що виникають в організмі під впливом шуму, останнім часом розглядається медиками як "шумова хвороба".

Вимоги до освітлення. У силу прямої діяльності людини з роботою мозку освітлення робить істотний вплив на центральну нервову систему, що керує всією життєдіяльністю людини. Раціональне освітлення сприяє підвищенню продуктивності і безпеки праці, збереженню здоров'я працівників.

Рівні штучної освітленості на робочих місцях в приміщенні повинні відповідати нормативним величинам по ДБН В-2-5-28-2006 "Природне і штучне освітлення. Норми проектування"..

Освітлення робочого місця повинно бути у відповідності з вимогами виробничої санітарії виробництв.

Пожежна і вибухова безпека. Несправність електроустановки й електропроводки, неправильна експлуатація електроустаткування може привести до виникнення пожежі. Для гасіння пожежі в електроустановках і приладах застосовуються вогнегасники ОУ-2 і ОУ-5, що мають у цеху.

Вимоги по забезпеченню пожежної і вибухової безпеки об'єктів регламентуються ДСТ 12.1. 004-91 "Пожежна безпека. Загальні вимоги".

Найбільш ефективна, надійна і безпечна робота гвинтових конвеєрів досягається при автоматизації, яка здійснюється в основному по двох схемах — шляхом реалізації дистанційного керування або автоматичного контролю за роботою конвеєрів та їхніх елементів. При цьому звичайно виконуються: подача звукового сигналу перед пуском; включення і відключення конвеєрів в певній

послідовності; аварійне відключення при поломці тягового органу, зтягнутому пуску, відсутності захисту електродвигуна, при зниженні швидкості гвинта, тощо.

5.2 Розробка заходів щодо безпечної експлуатації при роботі на гвинтових конвеєрах

На етапі виробництва передбачається забезпечення гвинтових конвеєрів захисними й запобіжними пристроями відповідно до сучасних стандартів машинобудування, а також відповідно до загальних інструкцій і правил по попередженню нещасних випадків; при цьому особлива увага звертається на те застосування, для якого спроектована дана машина [5].

Передбачається, що оператор машини дотримує зазначених нижче інструкцій з метою забезпечення максимальної безпеки для операторів, що працюють на даних машинах.

Кінцеві аварійні вимикачі повинні завжди підтримуватися в гарному робочому стані. У жодному разі не можна шунтувати або відключати кінцеві аварійні вимикачі.

Для запобігання просипання сировини і попадання пилу у виробничі приміщення, прорізи та люки в кожухах ущільнюються.

Безпечність при огляді і ремонті конвеєрів забезпечується пристроями, що запобігають можливості зворотного ходу гвинта.

Необхідно уникати зберігання сировини в пакетах, мішках або розсипом навколо устрою.

Щоб скоротити викиди пилу в навколишнє середовище, всі механізми транспортування повинні утримуватися в належному стані, тобто необхідно всіляко уникати теч із патрубків і з-під кожухів. Для зменшення небезпеки вибуху все повинне ретельно протиратися від пилу.

Неприпустиме скупчування пилу на електродвигунах.

Захисні й запобіжні пристрої повинні завжди бути в робочому стані; їх ніколи не можна знімати, приводити у неробочій стан або відключати.

Виділяють три системи засобів і заходів забезпечення електробезпеки:

- система технічних засобів і заходів;
- система електрозахисних засобів;
- система організаційно-технічних заходів і засобів.

Технічні засоби і заходи з електробезпеки реалізуються в конструкції електроустановок при їх розробці, виготовленні і монтажі відповідно до чинних нормативів.

Основні технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок включають:

- ізоляцію струмовідних частин;
- недоступність струмовідних частин;
- блоківки безпеки;
- засоби орієнтації в електроустановках;
- виконання електроустановок, ізольованих від землі;
- захисне розділення електричних мереж;
- компенсацію ємнісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів.

Із метою підвищення рівня безпеки, залежно від призначення, умов експлуатації і конструкції, в електроустановках застосовується одночасно більшість з перерахованих технічних засобів і заходів.

Технічними заходами щодо забезпечення електробезпеки робіт є:

- відключення ремонтної електроустановки і вживання заходів проти випадкового його включення;
- установка тимчасових огорож струмоведучих частин і вивішування заборонних плакатів не "включати - працюють люди" або не "включати – роботи на лінії";
- приєднання переносного заземлення до заземлюючої шини стаціонарного заземлюючого пристрою і перевірка відсутності напруги на струмоведучих частинах, які для безпеки виробництва робіт підлягають замиканню накоротко і заземленню;
- накладення переносних заземлень на відключені токоведучі частини електроприводу відразу після перевірки відсутності напруги або включення

спеціальних заземлюючих роз'єднувачів;

- огорожа робочого місця і вивішування на огорожі дозволяючий напис "Працювати тут".

Згідно з 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.

У цьому випадку оператори повинні використовувати деякі технічні тонкості, звукоізоляцію, звукопоглинання, спеціальні глушители аеродинамічного шуму, а також засоби для захисту вух - навушники, беруши, противошумні каски, спеціальний противошумний одяг.

Рационально влаштоване освітлення виробничих приміщень позитивно впливає на працівників, підвищує ефективність та безпеку праці, знижує втому, забезпечує високу працездатність.

Для запобігання травмуванню людей рухомі частини транспортерів (приводні пристрої, опорні та підтримуючі опори, шківи, муфти, кінці валів і тому подібне) в зонах робочих місць, до яких можливий доступ обслуговуючого персоналу і осіб, що працюють поблизу і можуть опинитися біля конвеєра, повинні бути огорожені металевими кожухами або сіткою.

5.3 Висновки до розділу 5:

- проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при роботі на гвинтових конвеєрах та рекомендовані заходи щодо їх усунення або зниження відповідно до нормативних вимог;

- виконано розрахунок захисного заземлення модернізованої установки, за результатами якого отримане значення загального опору заземлюючого приладу, що відповідає нормативним вимогам.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі магістра з метою модернізації досліджена система керування електропривода гвинтового конвеєра типу KB-100 для транспортування зернової продукції.

Основні результати роботи можна сформулювати наступним чином:

- розрахована необхідна потужність приводного двигуна гвинтового конвеєра, вибраний цього тип. Розглянуті існуючі системи керування двигунами перемінного струму, обраний перетворювач типу Danfoss VLT Automation Drive FC 301 з частотно-струмовим керуванням;

- проведена побудова й розрахунків математичної моделі системи керування двигуна, проведений аналіз її динамічних властивостей при зміні законів регулювання.

Отримані наступні результати дослідження:

- при застосуванні пропорційно-інтегрального закону регулювання (ПІ-регулятор) перерегулювання склало $\sigma_{\max} = 46,3 \%$, що значно перевищує допустиме значення; час перехідного процесу $T_{\max} = 0,17$ с;

- при застосуванні пропорційного закону регулювання (П-регулятор) перерегулювання відсутнє, час перехідного процесу зменшився до $T_{\max} = 0,06$ с, але при цьому виникла статична похибка $\varepsilon = 14,6 \%$;

- при введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором, перерегулювання склало $\sigma_{\max} = 14,6 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,2$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка відсутня $\varepsilon = 0$. При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму не перевищують максимально допустимих значень.

Враховуючи отримані результати дослідження, остаточно для системи керування була обрана схема з ПІ-регулятором та фільтром на вході в систему.

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

В роботі розглянуті питання охорони праці при експлуатації електрообладнання гвинтових конвеєрів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Абраменко, І. Г.** Теорія автоматичного керування: конспект лекцій / І.Г. Абраменко, Д.І. Абраменко. - Харків : ХНАМГ, 2008. - 178 с.
2. **Александров, М.П.** Подъемно-транспортные машины. Текст. /М.П. Александров М.: Высшая школа, 1990.
3. Асинхронные электродвигатели общего назначения серии АИР. Технический каталог. URL: https://aip.com.ua/katalog_elektrodvigatelei_air/.
4. **Башарин А. В.** Управление электроприводами / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский – Л.: Энергия, 1982.
5. **Березуцький В. В.** Основи охорони праці: Навч. посіб. / В. В. Березуцький, Т. С. Бондаренко, Г. Г. Валенко та ін.; За заг. ред. В. В. Березуцького. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Х.: Факт, 2007. – 480 с.
6. **Бутенко Л. Л.** Структурно-логічні схеми. Таблиці. Опорні конспекти. Есе. Навчальні презентації: рекомендації до складання : метод. посіб. для студ. / уклад. : Л. Л. Бутенко, О. Г. Ігнатович, В. М. Швирка. – Старобільськ, 2015.–112 с.
7. **Видмиш А. А.** Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
8. **Гераїмчук М. Д.** Моделювання систем у середовищі MATLAB-SIMULINK: Комп'ютерний практикум / М.Д. Гераїмчук, Ю.Ф. Лазарєв, Т.О. Толочко. – К.:, 2006. – 175с.
9. **Волков, Р.А.** «Конвейеры: Справочник» Текст. / Р.А. Волков. Под общей ред. Ю.А. Пертена. Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1984. 376 с.
10. **Гевко Б.** Гвинтові конвеєри з розширеними технологічними можливостями / Б. Гевко, А. Дячун, Б. Заболотний // Матеріалознавство та машинобудування: Матеріали XVII наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя. 2013. Том II. С.13-14.
11. **Гевко, І. Б.** Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання / І. Б. Гевко. - Т. : ТДТУ ім. І.Пулюя, 2008. - 307 с.

12. **Гевко І. Б.** Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів. / Автореферат дис. д-ра техн. наук. / І. Б. Гевко; Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2013. 40 с.

13. **Гевко Р. Б.** Підвищення технічного рівня гнучких гвинтових конвеєрів: монографія/ Р. Б. Гевко, А. О. Вітровий, А. І. Пік. — Тернопіль: Астон, 2012. — 204 с.

14. **Габко В.В.** Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини. Навчальний посібник. / В.В. Габко, М.П. Розводюк, С.М. Левицький, М.О. Казак – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 197 с.

15. **Грудовий Р. С.** Дослідження продуктивності гвинтового конвеєра з рівнозбільшеним кроком витків. / Вісник ЖНАЕУ, 2017, № 2 (61), т. 1, с.139-147.

16. **Гудь В.З.** Механіко-технологічні основи розробки багатофункціональних секційних шнеків для зернового матеріалу. / Дис. д-ра техн. наук. Тернопіль, 2021. 410 с.

17. **Данильян О. Г.** Методологія наукових досліджень : підручник / О. Г. Данильян, О. П. Дзьобань. – Харків : Право, 2019. – 368 с.

18. **Дереза О. О.** Машини безперервного транспорту./О. О. Дереза – Мелітополь: Таврійський державний агротехнологічний університет, 2016. –108 с.

19. **Курашкін С. Ф.** Електротехніка і електромеханіка. Електронний підручник. URL: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/enf/etem_3/1/index1.html. (дата звернення: 02.12.2024)

20. **Ляшук О. Л.** Науково-прикладні основи створення транспортно-технологічних механізмів неперервної дії сільськогосподарських машин. Дис. д-ра техн. наук. Тернопіль, 2015. 451 с.

21. **Особенности** развития современного электрического привода. [Електронний ресурс] : Режим доступу: <http://electricalschool.info/elprivod/1238-osobennosti-razvitiya-sovremennogo.html>

22. Перспективні гвинтові конвеєри: конструкції, розрахунок, дослідження / Рогатинський Р.М. та ін.. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 212 с.

23. **Регульований електропривод: Підручник / [І. М. Голодний,**

[Ю. М. Лавріненко, В. В. Козирський, Л. С. та ін.\]; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.: іл.](#)

24. **Рогатинський Р.М.** Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : монографія / Р.М.Рогатинський, І.Б.Гевко, А.Є.Дячун. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 280 с

25. Руководство по эксплуатации частотного преобразователя VLT® AutomationDrive FC 301/302 0,25-75 кВт.

26. **Спиваковский, А. О.** Транспортирующие машины: учеб. пособие для машиностроительных вузов / А. О. Спиваковский, В. К. Дьячков. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.: ил.

27. Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода : навч. посібник / М. В. Загірняк, Т. В. Коренькова, А. П. Калінов, А. І. Гладир, В. Г. Ковальчук. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – Харків: Видавництво «Точка», 2017. – 206 с.

28. **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.

29. Транспортні системи електромеханічних комплексів: Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: **С.В. Зайченко**, В.А. Побігайло, В.Г. Дубовик (1 файл: Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 136 с.

30. Шнековий транспортер KB-100 (Ø 100мм.) URL: <https://ogrant.ck.ua/ua/p907689990-shnekovij-transporter-100.html>. (дата звернення: 01.12.2024).

31. URL: <https://ppt-online.org/37552>. ПТМ. (дата звернення: 02.12.2024).

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Демченко Данило Максимович

Кваліфікаційна робота магістра на тему:

"Удосконалення системи керування електропривода гвинтового
конвеєра"

Керівник роботи – Васильєв О.Г.

Слайд 1 мультимедійної презентації

АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

Актуальність теми. В даній роботі досліджується гвинтовий конвеєр, призначений для переміщення зернових матеріалів за допомогою обертання гвинта (шнека).

Актуальність теми обумовлена завданням автоматизації конвеєрних ліній з метою стабілізації вантажопотоку, скорочення витрат на транспортування вантажів у результаті вивільнення обслуговуючого персоналу, зменшення енерговитрат і зниження витрати матеріалів.

Тому актуальним є впровадження в конвеєри частотно-керованих електроприводів для автоматичного регулювання продуктивності конвеєрів.

Метою роботи є удосконалення електропривода гвинтового конвеєра на основі застосування регульованих асинхронних двигунів (АД).

Завдання полягає в тому, щоб замінити систему керування існуючого електропривода на електропривод, з кращими технічними характеристиками, що значно покращить експлуатаційні характеристики транспортуючого засобу за рахунок частотного регулювання швидкості електропривода.

Для успішної реалізації мети роботи вирішені наступні завдання:

- проведений аналіз існуючих засобів та систем керування електродвигунами перемінного струму і на базі цього аналізу вибраний найбільш підходящий;
- складений математичний опис системи керування, побудовані математичні моделі і досліджені процеси, що відбуваються в об'єкті, на базі сучасних комп'ютерних програм і методів розрахунку;
- по отриманій структурній схемі проведений аналіз динамічних властивостей розрахункової системи керування для забезпечення найкращих показників якості перехідного процесу та проаналізовані результати моделювання.

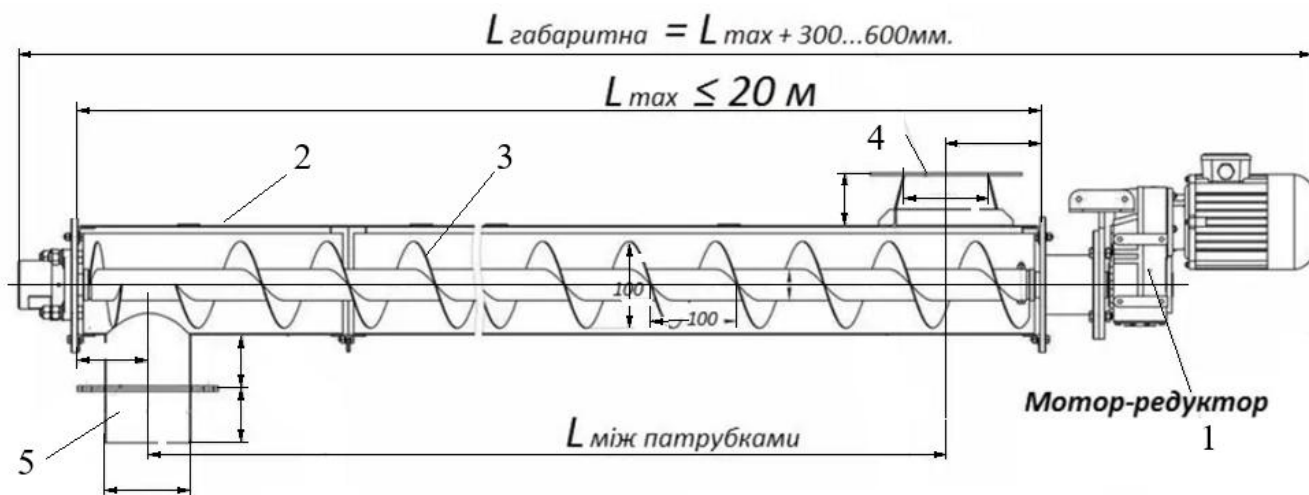
Об'єкт дослідження - процеси, що відбуваються у електроприводі гвинтового конвеєра.

Слайд 2 мультимедійної презентації

ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР ТИПУ КВ-100



Загальний вид гвинтового конвеєра



- 1 — Мотор-редуктор; 2 — корпус КВ; 3 — гвинт (шнек);
4 — вхідний патрубок; 5 — вихідний патрубок

Слайд 3 мультимедійної презентації

СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Удосконалення системи керування електропривода гвинтового конвеєра	
Складання індивідуального календарного плану роботи	
Пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини	Загальні відомості, класифікація підйомно-транспортного обладнання
	Основні елементи гвинтових конвеєрів, склад, робота
	Розгляд об'єкту дослідження із зазначенням технічних параметрів
	Дані про електричне обладнання об'єкту дослідження
	Аналіз існуючих типів приводів, вибір частотного перетворювача для керування електродвигуном гвинтового конвеєра, опис перетворювача
Опис процесу дослідження	Моделювання перехідних процесів на базі функціональної та структурної схем системи керування електропривода.
	Математичне моделювання динамічних властивостей системи керування електропривода гвинтового конвеєра
Узагальнення результатів моделювання	Інтерпретація отриманих результатів дослідження
	Формулювання висновків
Узагальнення науково-теоретичних результатів	
Розробка заходів з охорони праці	
Реалізація отриманих результатів у навчальний процес	

ТИПОВА СХЕМА ВКЛЮЧЕННЯ DANFOSS VLT З КЕРУВАННЯМ ВІД КОНТРОЛЕРА ПО ДИСКРЕТНИМ І АНАЛОГОВИМ ВХОДАХ І ВИХОДАХ

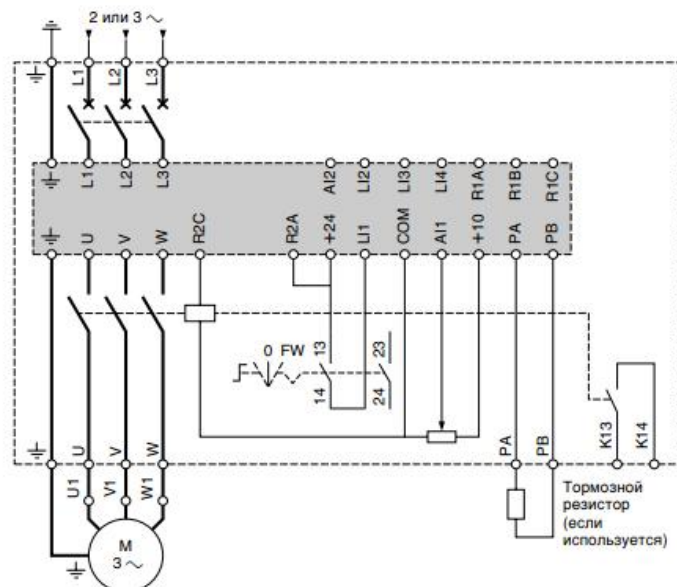
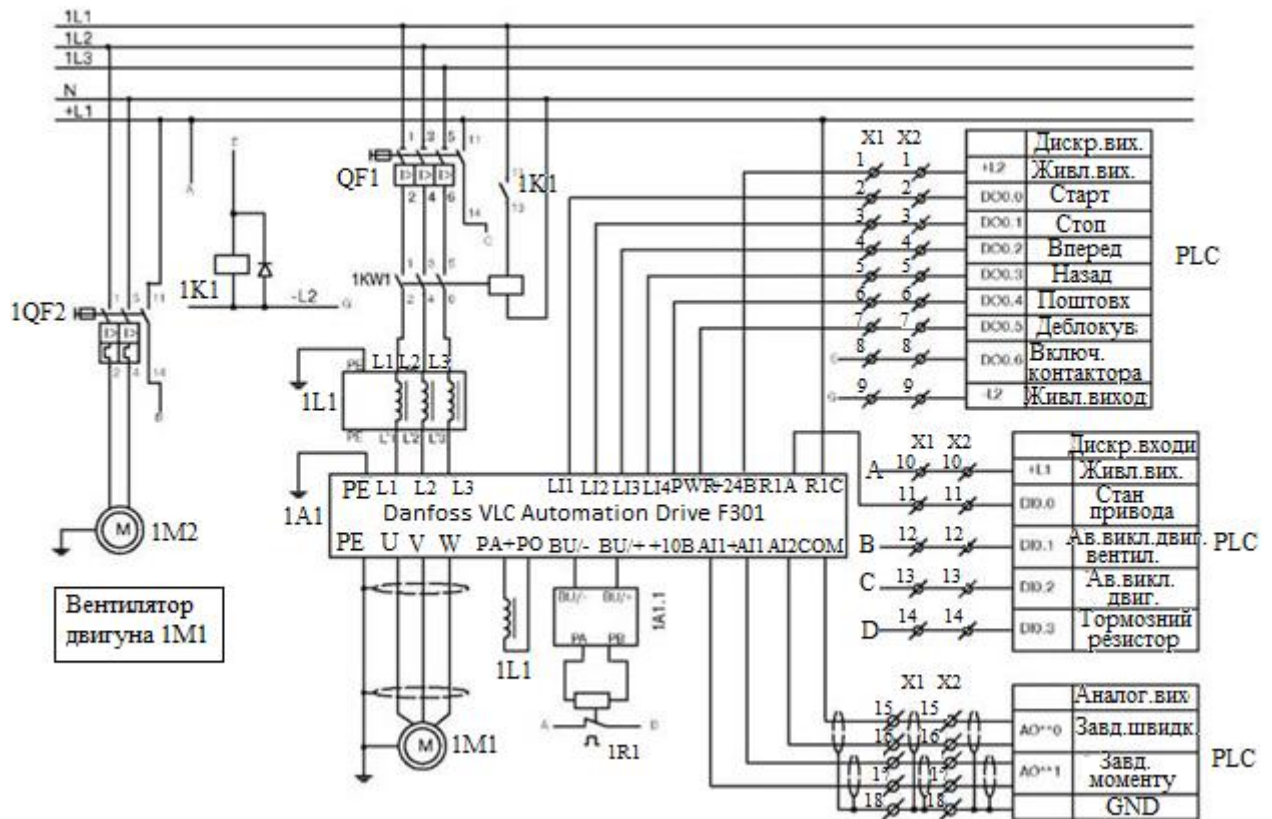
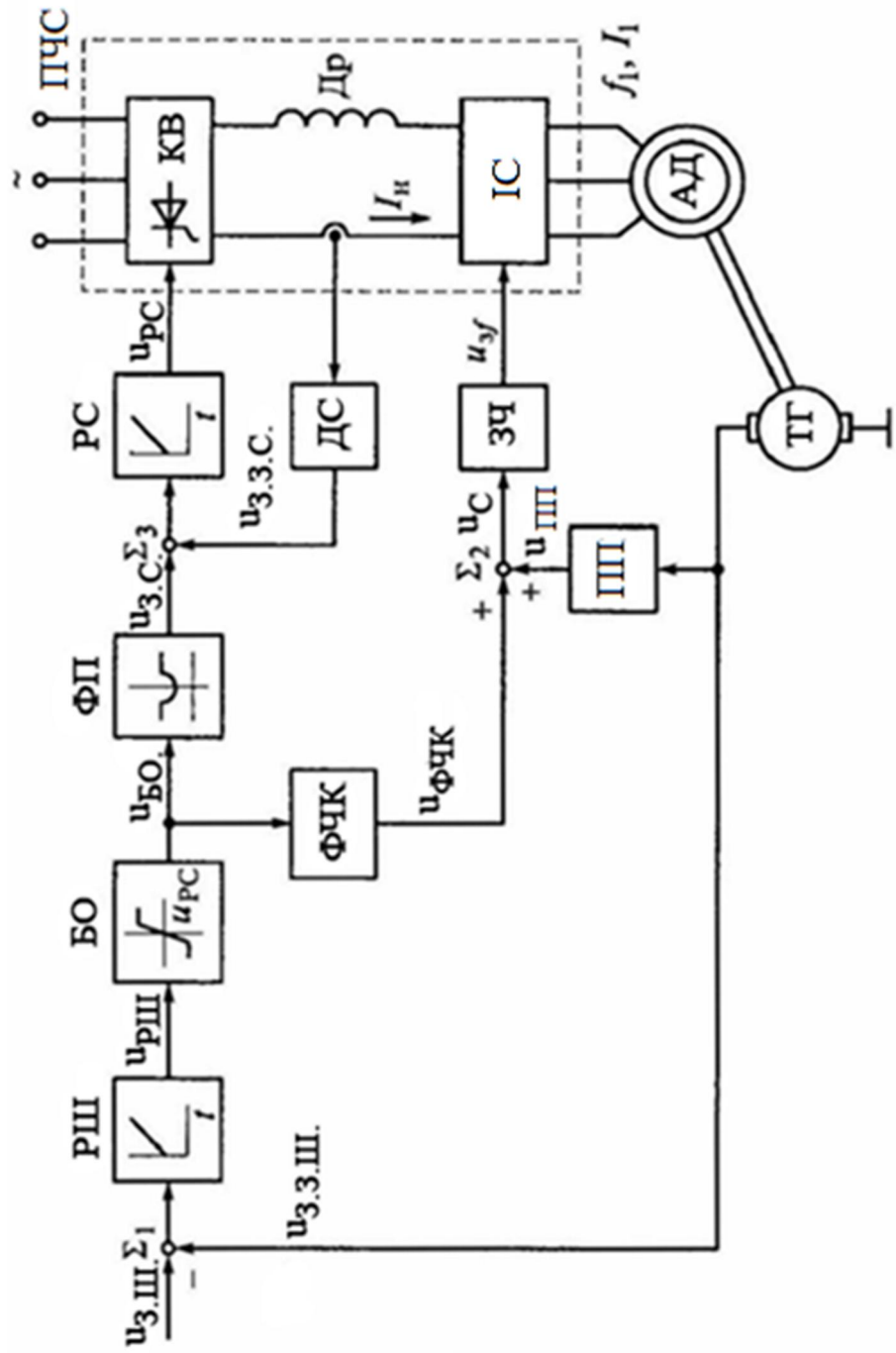


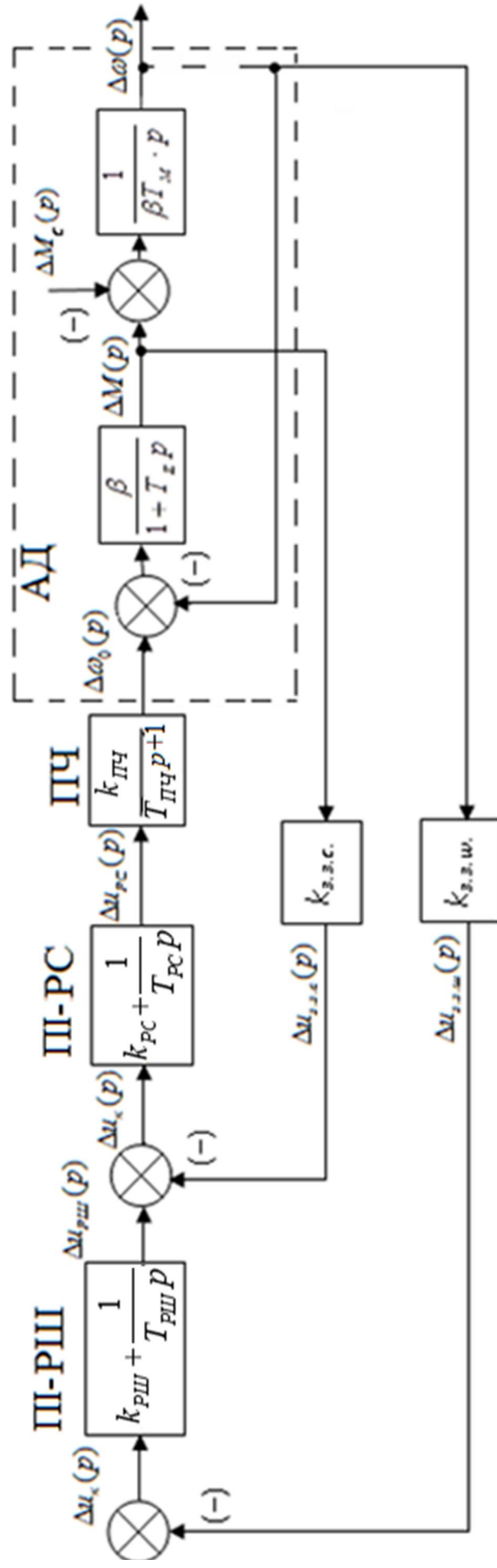
Схема підключення електродвигуна до перетворювача частоти
Danfoss VLT

Слайд 5 мультимедійної презентації

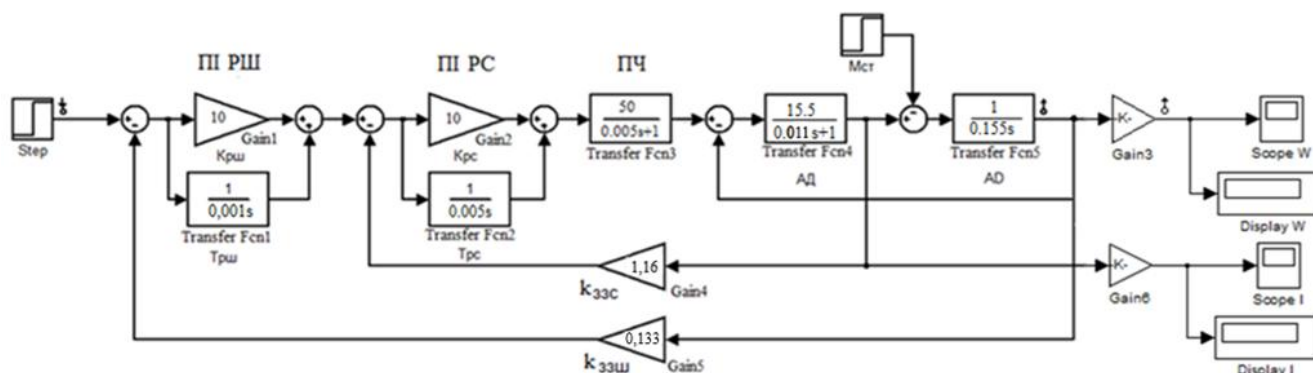
ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ ЧАСТОТНО-СТРУМОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПЧ -АД



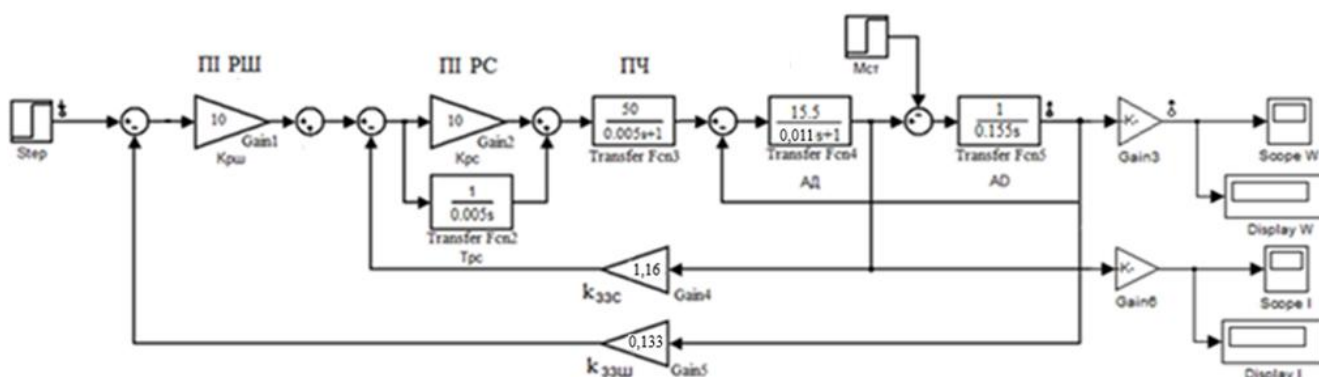
СТРУКТУРНА СХЕМА ЕЛЕКТРОПРИВОДА З ЧАСТОТНО-СТРУМОВИМ КЕРУВАННЯМ



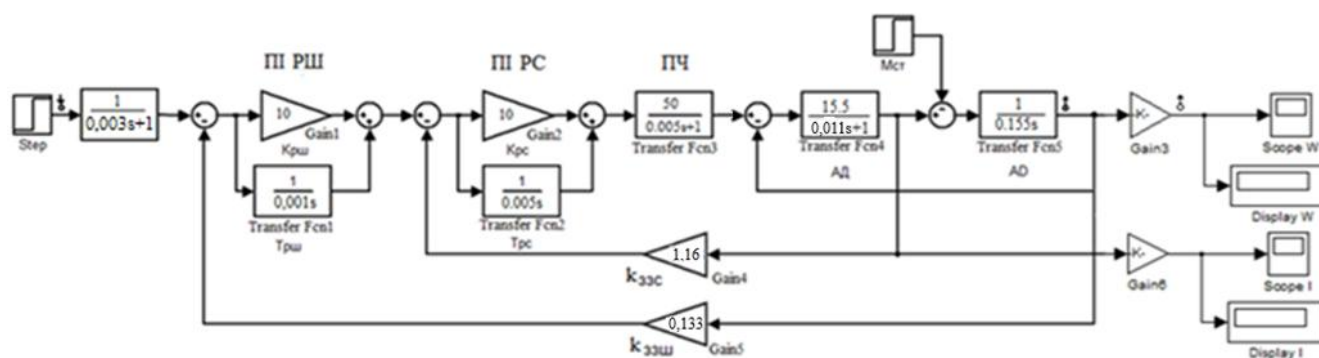
ДИНАМІЧНІ РОЗРАХУНКОВІ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ



Розрахункова динамічна модель системи керування
з ПІ-регулятором швидкості

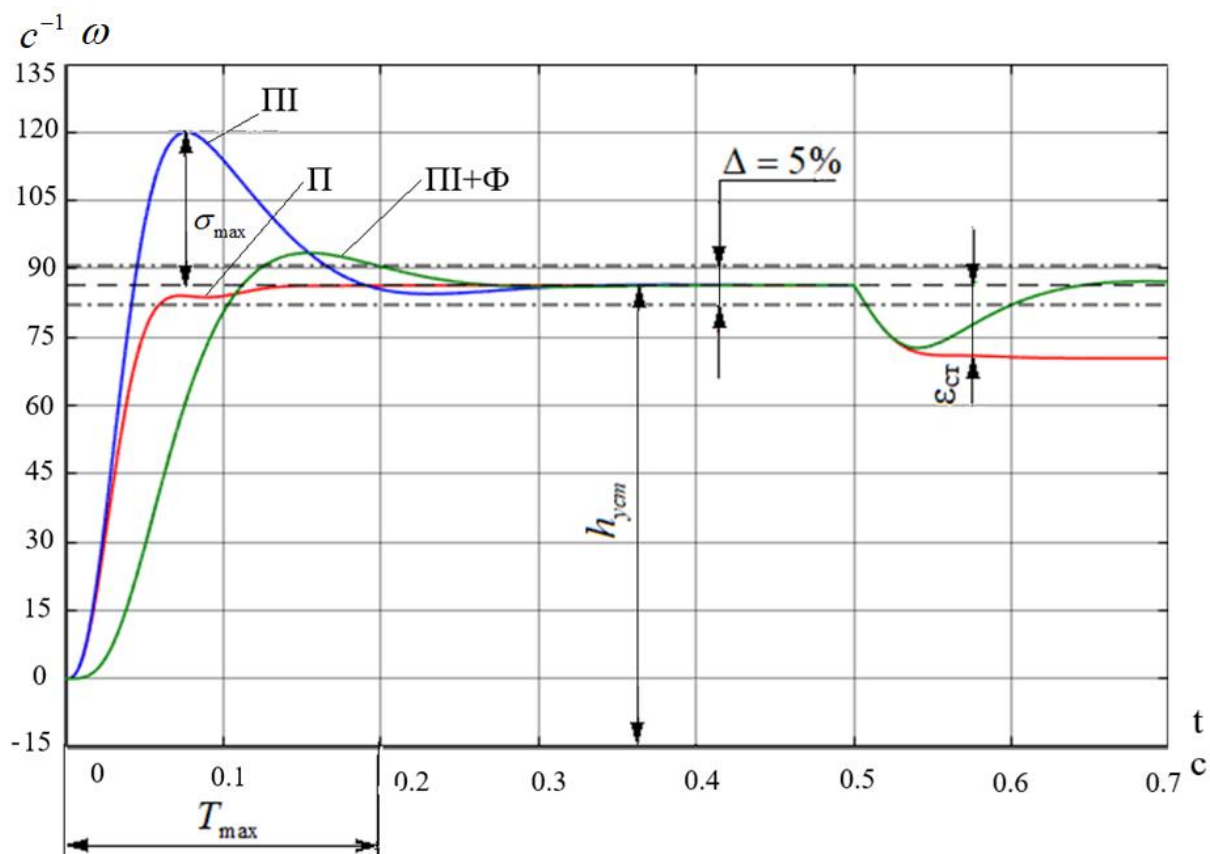


Розрахункова динамічна модель системи керування
з П-регулятором швидкості

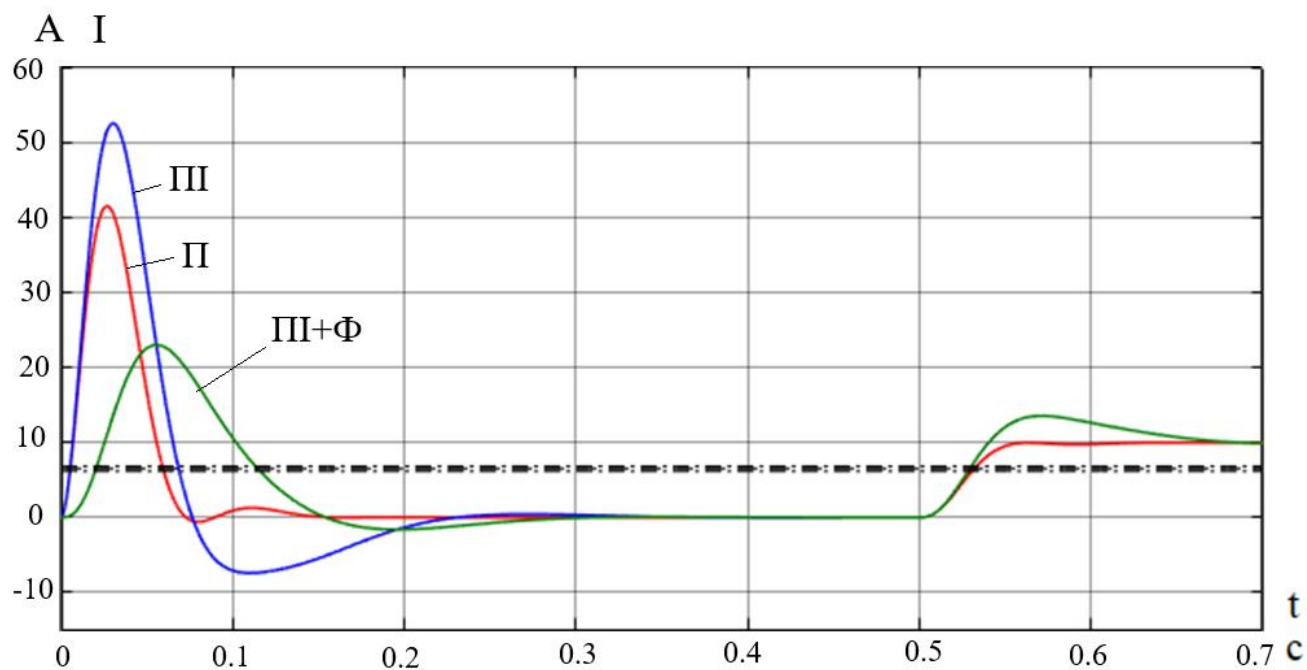


Розрахункова динамічна модель системи керування
з ПІ-регулятором швидкості та фільтром на вході в систему

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



Перехідні процеси по швидкості



Перехідні процеси по струму

ВИСНОВКИ

Метою даної кваліфікаційної роботи магістра є удосконалення автоматизованого електропривода гвинтового конвеєра.

В якості об'єкту розглядається система керування електропривода гвинтового конвеєра типу KB-100 з метою оцінювання його динамічних властивостей та підвищення точності системи.

Основні результати виконаної роботи можна сформулювати наступним чином:

- розрахована необхідна потужність приводного двигуна гвинтового конвеєра, вибраний цого тип. Розглянуті існуючі системи керування двигунами перемінного струму, обраний перетворювач типу Danfoss VLT Automation Drive FC 301 з частотно-струмовим керуванням;

- проведена побудова й розрахунок математичної моделі системи керування двигуна, проведений аналіз її динамічних властивостей при зміні законів регулювання.

Отримані наступні результати дослідження:

- при застосуванні пропорційно-інтегрального закону регулювання (ПІ-регулятор) перерегулювання склало $\sigma_{\max} = 46,3 \%$, що значно перевищує допустиме значення; час перехідного процесу $T_{\max} = 0,17$ с;

- при застосуванні пропорційного закону регулювання (П-регулятор) перерегулювання відсутнє, час перехідного процесу зменшився до $T_{\max} = 0,06$ с, але при цьому виникла статична похибка $\varepsilon = 14,6 \%$;

- при введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором, перерегулювання склало $\sigma_{\max} = 14,6 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,2$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка відсутня $\varepsilon = 0$. При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму не перевищують максимально допустимих значень.

Враховуючи отримані результати дослідження, остаточно для системи керування була обрана схема з ПІ-регулятором та фільтром на вході в систему.

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

В роботі розглянуті питання охорони праці при експлуатації електрообладнання гвинтових конвеєрів.