

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



(підпис)

І. С. Білюк

« 15 » 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код та назва спеціальності)

освітня програма Електромеханіка та електроенергетика

(назва освітньої програми)

на тему: «Модернізація системи керування електропривода автомата для
фасування та пакування»

Виконав: студент IV курсу, групи 4361

Черешнев Руслан Юрійович

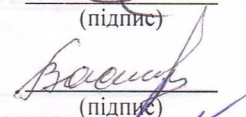
(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

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

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



(підпис)

Нормоконтроль Ст. викладач каф. автоматики, Савченко О.В.

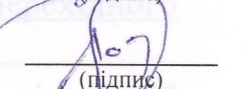
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)



(підпис)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н., доц., Новогрецький С.М.

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



(підпис)

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

Студент



(підпис)

м. Миколаїв – 2026 р.

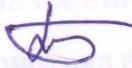
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра автоматики
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)
Освітня програма «Електромеханіка та електроенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми,
д-р техн. наук, проф.


Я.Б. Волянська

« » 2026_ року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

гр.4361 Черешнєву Руслану Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Модернізація системи керування електропривода автомата для фасування та пакування»

керівник роботи Васильєв Олександр Григорович, кандидат технічних наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від від «22» квітня 2026 р.
№ 286-УЧ

2. Строк подання студентом роботи 16 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: автомат фасування та пакування плавленого сиру, продуктивність – до брикетів/хв.; потужність електродвигуна 7,5 кВт; основні показники якості перехідного процесу: перерегулювання $\sigma < 30 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} \leq 2$ с; $N \leq 2$, похибка $\varepsilon = 0$.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Характеристика об'єкту модернізації. 2 Вибір типу електродвигуна та комплектного електропривода. 3 Дослідження системи керування електропривода. 4 Охорона праці при експлуатації електропривода автомата фасування

5. Перелік графічного матеріалу

1 Конструктивні складові частини автомата фасування та пакування. 2 Аналіз структури та споживчого попиту на асинхронні електродвигуни 3 Функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотно-струмовим керуванням. 4 Схеми системи керування електропривода. 5 Аналіз динаміки САК

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Васильєв О.Г., к.т.н., доцент	05.05.26 <i>Васильєв</i>	9.06.26. <i>Васильєв</i>

7. Дата видачі завдання «06» лютого 2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика об'єкту модернізації	16.03.2026	
2	Вибір типу електродвигуна та комплектного електропривода	06.04.2026	
3	Дослідження системи керування електропривода	05.05.2026	
4	Охорона праці при експлуатації електропривода автомата фасування	10.06.2026	

Студент

(підпис)

Черешнев Р.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Васильєв О.Г.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з 64 сторінок: 55 сторінок пояснювальної записки, 5 розділів, 5 таблиць, 13 рисунків, 16 літературних джерел, 1 додатку на 9 сторінках.

Ключові слова: автоматизація, аналіз динаміки, електропривод, математична модель, система керування, фасувальний автомат

Об'єкт дослідження – система керування електропривода автомата для фасування й пакування плавленого сиру.

Мета роботи – удосконалення електропривода автомата для фасування й пакування на основі застосування регульованих асинхронних двигунів.

У першому розділі наведена загальна характеристика автомата для фасування й пакування плавленого сиру М6-АРУ, наведені основні технічні параметри, функції та робота його головних вузлів, наведений опис електричної частини фасувального автомата.

У розділі 2 виконаний аналіз існуючих видів електродвигунів, вибраний більш сучасний електродвигун для привода автомата, розглянуті способи керування швидкістю асинхронного двигуна. Для керування обраним двигуном вибраний трифазний перетворювач частоти серії OMRON Varispeed F7 з частотно-струмовим керуванням, наведені його технічні дані.

В розділі 3 зроблений математичний опис елементів системи керування, проведені розрахунки по їх вибору, складена розрахункова динамічна модель системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей.

Отримані параметри настройки регуляторів, які забезпечують необхідні показники якості перехідного процесу,

Такі показники якості задовольняють вимогам до електроприводів фасувального та пакувального обладнання.

В розділі 4 розглянуті питання охорони праці при експлуатації електропривода автомата для фасування й пакування.

Додатки містять 9 слайдів мультимедійної презентації.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ	7
1.1 Основні технічні характеристики автомата фасування та пакування плавленого сиру моделі М6-АРУ.....	7
1.2 Опис конструкції автомата	10
1.3 Робота автомата	13
1.4 Опис електричної частини фасувального автомата.....	14
2 ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА	16
2.1 Аналіз існуючих видів електродвигунів	16
2.2 Основні вимоги до електроприводів перемінного струму	20
2.3 Способи керування асинхронними двигунами.....	21
2.4 Електропривод на базі перетворювача серії OMRON Varispeed F7..	25
3 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	29
3.1 Розробка функціональної та структурної схем системи керування ..	29
3.1.1 Математичний опис структурної схеми електропривода з частотно-струмовим керуванням.....	31
3.2 Розрахунок параметрів регуляторів електропривода	38
3.3 Аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода автомата фасування та пакування.....	42
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА АВТОМАТА ФАСУВАННЯ.....	46
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при експлуатації електропривода автомата фасування та пакування.....	47
4.2 Розробка заходів щодо безпечної роботи автомата	51
ВИСНОВКИ	53
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	54
ДОДАТОК А. Мультимедійна презентація	56

ВСТУП

У сучасному світі, де ритм виробництва стрімко прискорюється, а вимоги до якості та збереження товарів стають дедалі суворішими, велике значення має правильно організований пакувальний процес.

Саме упаковка — перший щит, що захищає товар від зовнішніх впливів, подовжує його термін зберігання, зберігає товарний вигляд і забезпечує зручність транспортування.

Ключову роль у цьому відіграє фасувальне та пакувальне обладнання для пакування продуктів, високотехнологічні автоматичні системи, інтегровані в промислові лінії.

Стан розвитку пакувального обладнання у 2024–2026 роках визначається автоматизацією, цифровизацією (Industry 4.0) та екологічністю. Ринок еволюціонує від простого пакування до інтелектуальних систем, які забезпечують високу швидкість, точність дозування та роботу з новими типами екоматеріалів.

У багатьох галузях промисловості в технологічні процеси виготовлення продукції включена така операція, як розділення на порції або дозування вироблених продуктів. Потреба сучасних технологій і зростаючий рівень конкуренції серед виробників викликає необхідність вдосконалення машин цього виду.

У сучасній економіці якісний готовий продукт – це не лише його вміст, а й товарний зовнішній вигляд. Пакувальне обладнання – це комплекс машин та апаратів, які виконують три ключові завдання: точне дозування, надійне пакування та герметичне закупорювання.

Перехід від ручного фасування до автоматичних ліній дає змогу: оптимізувати виробництво (максимальна швидкість фасування за мінімальної участі ручної сили), знизити витрати (точне дозування унеможливорює перевитрату продукту, а автоматичний процес економить час і робочу силу).

Автоматизація фасувально-пакувального процесу надає змогу значно збільшити обсяги виробництва; ефективно використання пакувальних матеріалів і

скорочення ручної праці призводять до зменшення витрат; рівномірне і герметичне пакування підвищує термін зберігання товарів.

Розширення технологічних можливостей технологічного обладнання стало можливим, як за рахунок застосування спеціалізованих систем ЧПК і необхідних вимірювальних пристроїв, так і за рахунок розширення діапазонів регулювання, швидкодії і точності встановлених електроприводів.

Один з перспективних шляхів задоволення вимог розвитку виробничих процесів промисловості - це створення безконтактних систем регульованого електропривода змінного струму, і зокрема асинхронних електроприводів з частотним керуванням.

В даний час застосовують електроприводи з керованими тиристорними випрямлячами або транзисторними широтно-імпульсними перетворювачами. Схеми керування і підсилювачі будуються з застосуванням мікроелектроніки, що дозволяє одержати порівняно малогабаритні приводи з розширеними технічними можливостями.

Метою даної кваліфікаційної роботи бакалавра є аналіз і модернізація системи керування електропривода автомата фасування та пакування плавленого сиру моделі М6-АРУ, для чого доцільно внести зміни в кінематичну схему, а саме для керування електродвигуном встановити автоматизований електропривод.

Це в цілому дозволить поліпшити якість керування, підвищити точність виконання операцій, підвищити швидкість переміщення, розширити діапазон регулювання швидкості.

Завдання в даній роботі полягає в тому, щоб замінити існуючий електропривод на електропривод, з кращими технічними характеристиками, що значно покращить експлуатаційні характеристики фасувального та пакувального обладнання.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Фасувально-пакувальне обладнання - це апарати, які застосовують для дозування та пакування товарів. За допомогою даного обладнання відбувається розфасовка та подальша упаковка виробів різного складу, консистенції та форми.

Всю техніку для фасування та пакування, що представлена на вітчизняному ринку, можна класифікувати залежно від різних критеріїв:

- за видом товарів для пакування: непродовольче та продовольче обладнання;
- за цільовим призначенням: техніка для рідких, сипких та штучних товарів;
- за видом технологічних операцій: етикетувальне, пакувальне, пакетоформує, фасувальне, дозувальне та комбіноване обладнання.

Фасувальне, пакувальне обладнання - це вертикальні або горизонтальні машини та механізми, здатні в напівавтоматичному або автоматичному режимах виконувати функції дозування сипучих, кускових, рідких та пастоподібних продуктів, а так само упаковки в полімерні термозварні пакувальні матеріали. Ідеально підходять для фасування та пакування: макаронних виробів, борошна, круп, горіхів, насіння, сметани, кетчупу, рідкого мила та інше.

Автомат М 6-АРУ призначений для фасування й пакування плавленого сиру в алюмінієву фольгу брикетами масою по 62,5 або 100 г з наклейкою на них паперової етикетки [1].

Область застосування автоматів - підприємства молочної промисловості.

1.1 Основні технічні характеристики автомата фасування та пакування плавленого сиру моделі М6-АРУ

Загальний вид автомата для дозування і упаковки плавленого сиру в алюмінієву фольгу, із смужкою або без неї моделі М6-АРУ наведений на рисунку 1.1 [1].

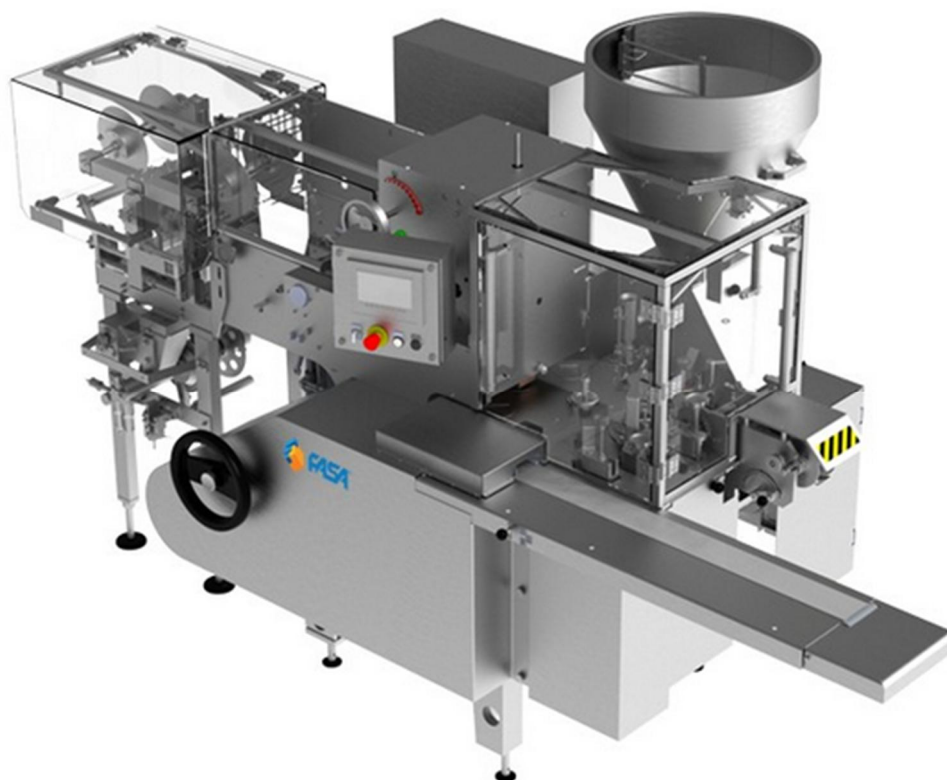


Рисунок 1.1 - Автомат для дозування і упаковки плавленого сиру моделі M6-ARU

Основні технічні характеристики та технологічні параметри автомата наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Основні технічні характеристики автомата M6-APY

Найменування	
Тип автомата	Карусельний, періодичної дії
Продуктивність теоретична, брикетів/хв.	До 65
Продуктивність технічна, брикетів/хв.	До 55 (залежно від властивостей продукту, що фасується й розмірів етикетки)
Регулювання продуктивності	Безступінчасте
Спосіб дозування	Об'ємний
Температура продукту, що фасується, °C	65 - 75
Продукт, що фасується	сир плавлений
Температура приміщення, °C	15 - 25
Відносна вологість приміщення, %	не більш 75
Номінальна маса дози, г	62,5 або 100

Продовження таблиці 1.1

Точність дозування, г	±2
Розміри брикету, мм для 62,5 г для 100 г	50x50x24 71x52x26
Пакувальний матеріал Товщина фольги, мм маса 1 м ² фольги, г зовнішній діаметр рулону, мм внутрішній діаметр втулки рулону, мм ширина рулону для коробки, мм для 62,5 г для 100 г ширина рулону для кришки, мм для 62,5 г для 100 г	фольга алюмінієва ДПРХМ А5 ФЛ ДСТ 745-79 0,014 37,8 - 38,6 до 200 76 120±1 126±1 50±0,5 70±0,5
Довжина розгортки, мм для 62,5 г для 100 г	120±1 145±1
Матеріал для етикетки	Папір марки Б ГОСТ 7625-55
Розміри етикетки, мм для 62,5 г для 100 г	(42x42)±0,2 (60x40)±0,2
Електродвигун потужність, кВт швидкість обертання, об./хв.	7,5 1000
Габаритні розміри автомата, мм	2470x1510x1640
Маса автомата, кг	1420

1.2 Опис конструкції автомата

Конструктивні складові частини автомата фасування та пакування наведені на рисунку 1.2.

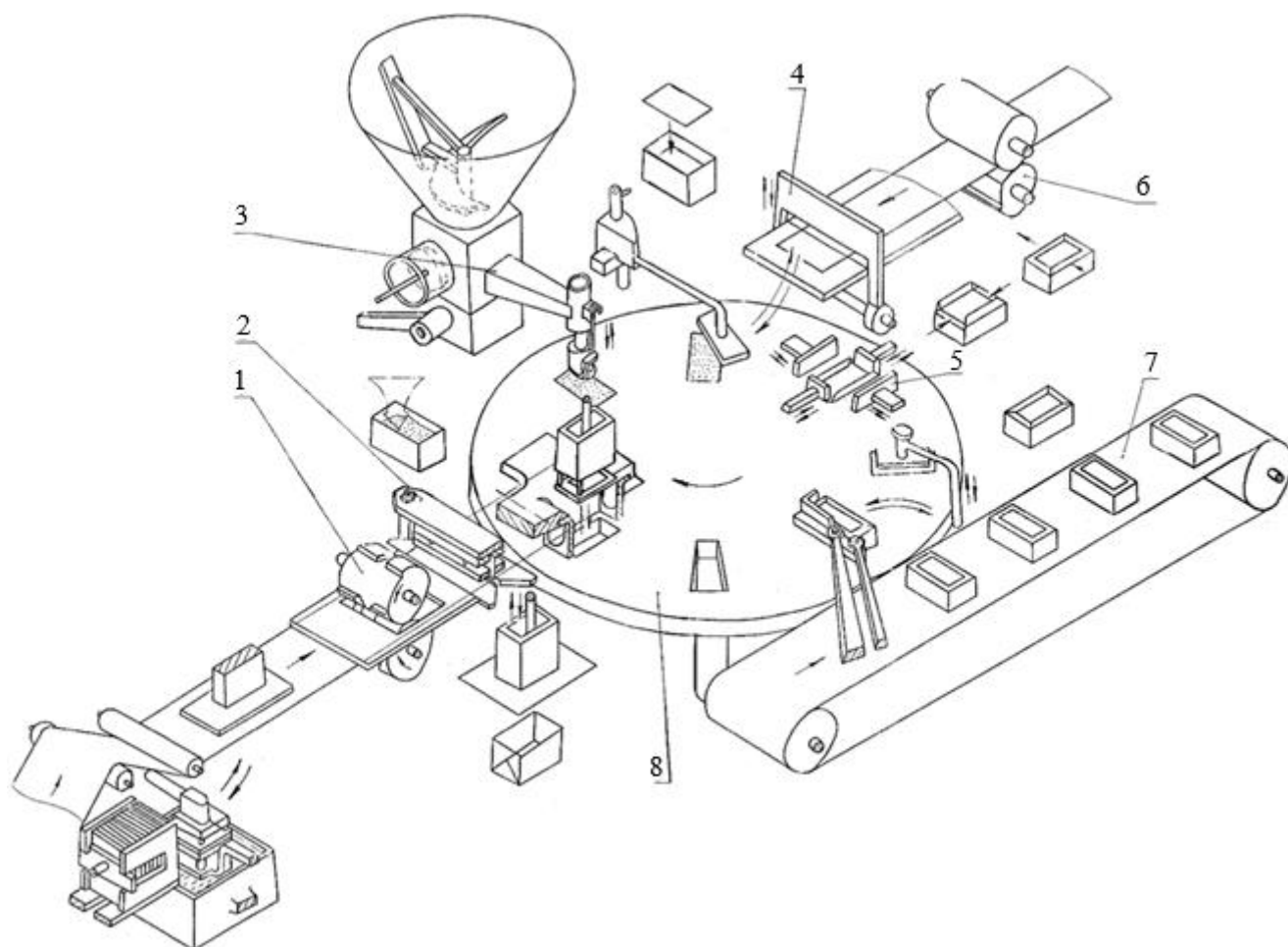


Рисунок 1.2 - Конструктивні складові частини автомата фасування та пакування

Конструктивно автомат розділений на 8 складових частин: 1 - станина з головним приводом; 2 - механізм утворення коробки; 3 - дозатор; 4 - механізм наклеювання етикеток; 5 - механізм загортання; 6 - механізм утворення кришки; 7 - транспортер; 8 - стіл формуючий.

Конструкція автомата виконана так, що всі послідовні операції фасування й пакування продукту відбуваються по колу. Основною єднальною ланкою між

групами є формувальний стіл, на якому рівномірно по колу розташовані вісім гнізд.

Станіна 1 є масивним корпусом з чотирма опорами. Усередині корпусу розміщений **головний привод автомата**, що складається з двигуна, варіатора, зчеплення, трьох кулачкових валів із зубчастими колесами та кулачками. Через систему важелів, зубчасту та ланцюгову передачі отримують рух механізми автомата. Крім того, у станині встановлені вакуумний насос з приводом, механізми дозатора та знімання брикетів з формуючого столу.

Механізм утворення коробки 2 зі стрічки пакувального матеріалу кріпиться на станині та отримує рух від головного приводу. Має пуансон із приводом, матрицю утворення коробки, механізм розгортки та її подачі, штамп із приводом, верхній та нижній валики подачі фольги, регулятор маси, розмотувач фольги та гальмо односторонньої дії.

Дозатор 3 включає корпус, гільзу з поршнем, кран з мундштуком і відсікачем, бункер з теплообмінною сорочкою, в яку може подаватися холодна або гаряча вода. Усередині бункера розташований шнек із пером для подачі продукту в циліндр дозатора.

Механізм наклеювання етикеток 4 кронштейном кріпиться до стійки механізму утворення коробки. Він включає корпус, магазин етикеток, присоси, напрямні і штоки.

Механізм загортання 5 має ряд вузлів, закріплених на штоках, які розміщені у вертикальних отворах корпусу формуючого столу. До складу цього механізму входить механізм підпресування продукту.

Механізм утворення кришки 6 складається з корпусу, двох боковин, механізмів, що подають стрічку пакувального матеріалу, відрізають та переносять кришку на коробку з продуктом. Механізми рухаються від головного приводу.

Транспортер 7 є горизонтально розташованою рамою, виконаною у вигляді кронштейна, в підшипниках якого проходить вал. Транспортер кріпиться до стійки автомата одним кронштейном.

Формуючий стіл 8 є сполучною ланкою між окремими частинами автомата. Формуючий стіл з вісьмома гніздами, рівномірно розташованими по колу, складається з корпусу з вертикальним порожнистим валом, диска стола, спеціального кулачка, виштовхувачів диска з вісьмома роликами та підйомників. Останні під час періодичного обертання стола ковзають за профілем кулачка, змінюючи положення виштовхувачів у формах по вертикалі.

Система важелів, повзунів та кулачків повідомляє механізму необхідні рухи. Вакуум до присоса підводиться через ніпель від поршневого вакуум-насоса.

Технологічний цикл роботи автомата складається з наступних операцій:

- розмотування пакувального матеріалу й подачі його під штамп;
- наклеювання паперових етикеток на стрічку пакувального матеріалу;
- вирізки розгортки зі стрічки пакувального матеріалу;
- перенесення розгортки на формувальну матрицю;
- утворення коробки й укладання її в гніздо формувального столу;
- дозування визначеної порції продукту в коробку;
- подачі пакувального матеріалу для кришки;
- відрізки кришки;
- накладки кришки на коробку із продуктом;
- загину країв коробки;
- підпресування й заварки, що забезпечує остаточне загортання пакета;
- нанесення дати;
- зняття готових брикетів з формувального столу на транспортерну стрічку.

Примітка: Всі операції, як: утворення коробки, дозування, накладка кришки, загин, підпресування й зйомка пакетів відбуваються одночасно за один цикл переміщення формувального столу на один крок. Кожна з операцій виконується на своїй позиції над тим гніздом формувального столу, яке в даному циклі обертання столу розташоване під відповідним механізмом.

1.3 Робота автомата

Бункер дозатора наповнюється сирковою масою, а механізм утворення коробки й механізм кришки заправляються пакувальним матеріалом. Магазин механізму наклейки етикеток заправляється етикетками, а ванночка - клеєм.

Стрічка пакувального матеріалу для коробки за допомогою секторів і роликів подається під штамп. Для більш плавного розмотування стрічки з рулону встановлені компенсатор і гальмо, що діє безпосередньо на рулон. Вирізана штампом розгортка за допомогою вакууму і лапки механізму переносу розгортки подається на формувальну матрицю. Пуансон, проходячи усередині матриці, утворить коробку, при цьому коробка залишається в гнізді формувального стола.

У момент зупинки стрічки пакувального матеріалу, що подається під штамп, механізмом наклейки етикеток на горизонтальну ділянку стрічки перед штампом наклеюється паперова етикетка.

При періодичному обертанні формувального стола гнізда з коробками послідовно переміщуються в позиції: дозатора, механізму кришки, механізму закладення, механізму підпресування й механізму знімання.

Дозування продукту відбувається в такий спосіб: шнек, обертаючись у бункері, переміщує сирну масу. Коли гільза повертається отвором убік бункера, поршень, відходячи назад, всмоктує продукт у гільзу. При повороті гільзи убік крана відбувається відділення дози. Одночасно мундштук крана опускається вниз, а заслінка відкриває отвір мундштука.

Коли отвір гільзи збігається з отвором крана, поршень, рухаючись уперед, виштовхує певну порцію продукту в коробку. Потім цикл повторюється.

Пакувальний матеріал для кришки розмотується секторами й роликами й подається на нерухливий ніж-столик. Рухливий ніж, опускаючись вниз, відрізає кришку. Як і в механізмі утворення коробки, для більш плавного розмотування стрічки з котушки встановлені компенсатор і гальмо. Відрізана кришка за допомогою лапки з підсосом переноситься на коробку із продуктом, одночасно вирівнюючи поверхню продукту.

При відсутності кришки на лапці глибина вакууму зменшується, вакуумний вимикач передає імпульс електромагніту й відбувається відключення привода автомата аналогічно описаному вище.

Механізм закладення здійснює загин країв коробки, а механізм підпресування забезпечує щільність і надає брикету остаточну форму.

Механізм знімання брикетів зіштовхує брикети з формувального столу на стрічку транспортера. Брикети на транспортерній стрічці розташовуються в один ряд.

1.4 Опис електричної частини фасувального автомата

Принципова електрична схема автомата М6-АРУ [1] наведена на рисунку 1.3.

Електроживлення автомата - трифазна чотирьохпровідна мережа напругою 220/380В, частотою 50 Гц.

На вході схеми встановлений лінійний вимикач S1 і автомати захисту F1, F2. При їхньому включенні запалюється лампа Н1 "Мережа".

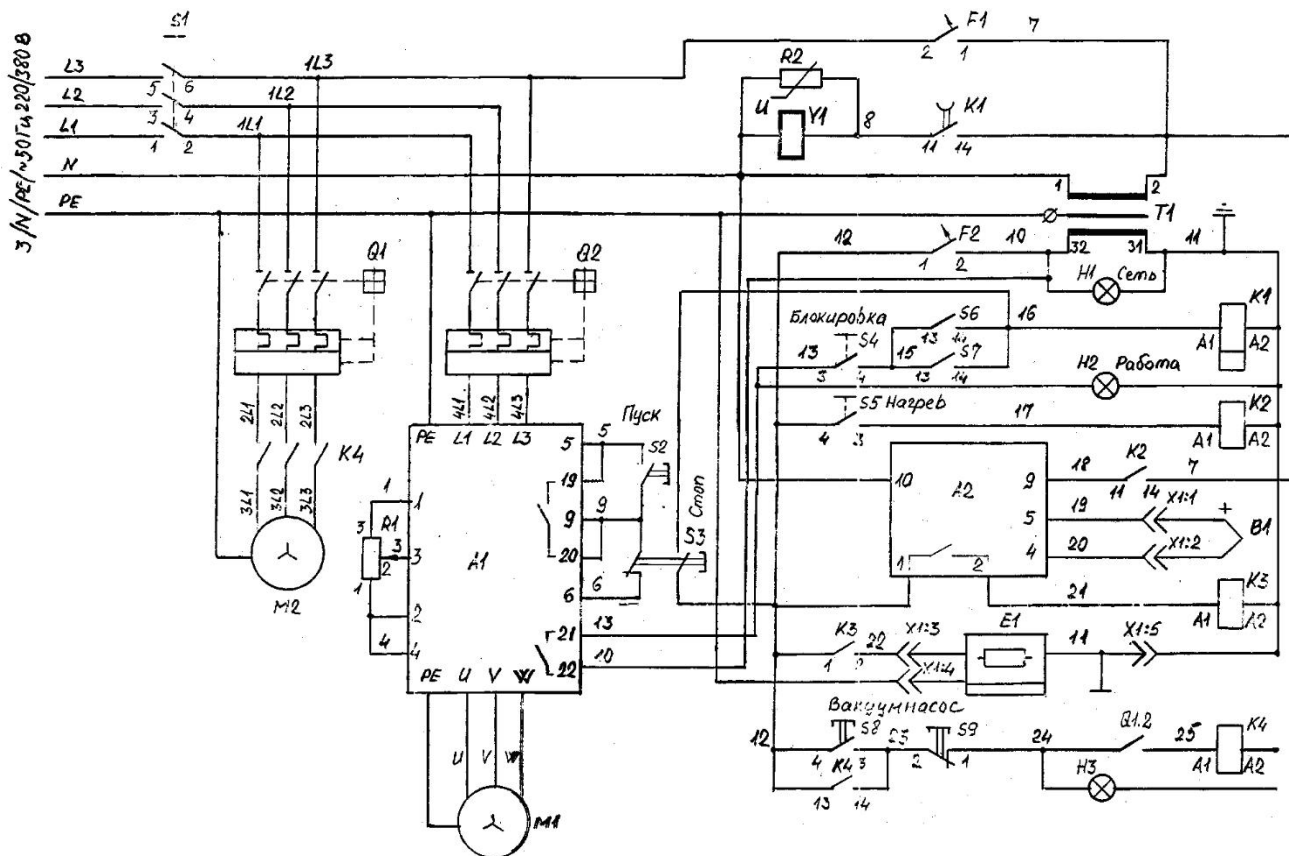


Рисунок 1.3 - Принципова електрична схема автомата М6-АРУ

Для живлення ланцюгів керування змінним струмом 24В встановлений трансформатор Т1. Живлення нагрівача запечатування Е1 24В.

Керування електродвигуна М1 привода автомата здійснюється за допомогою кнопок S2 (Старт) і S3 (Стоп), пускача К1 і перетворювача частоти А1. Про включення електродвигуна сигналізує лампа Н2. Частота обертання встановлюється потенціометром R1.

При відсутності розгортки пакувального матеріалу або при відсутності кришки, тобто при наявності вакууму, спрацьовують вимикачі S6 або S7, що включають проміжне реле К1. При цьому через установлений час на реле часу К3 спрацьовує електромагніт Y1 і відключає муфту зчеплення автомата.

При налагодженні автомата система блокування відключається вимикачем S4.

Нагрівач запечатування Е1 і регулятор температури А2 включаються вимикачем S5. Програмування регулятора температури відбувається відповідно до інструкції по експлуатації на регулятор температури E5CN-R2MTC-500 фірми "OMRON".

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

2.1 Аналіз існуючих видів електродвигунів

Завдяки своїм конструктивним особливостям асинхронна машина позбавлена ряду недоліків, властивим машинам постійного струму. Зокрема, відсутність колектора і щіток в асинхронному короткозамкненому двигуні (АД) обумовлює велику граничну одиничну потужність, кращі масо-габаритні показники, більш високу перевантажувальну здатність і припустиму швидкість зміни моменту, більш високі швидкості обертання, ніж машини постійного струму. 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 [3,4].

В даний час біля половини виробленої електроенергії споживається нерегульованими двигунами перемінного струму, серед яких значну частину складають потужні високовольтні АД. Регулювання швидкості потужних високовольтних АД, виключення режимів прямих пусків - ефективні фактори підвищення продуктивності робочих механізмів, зниження експлуатаційних витрат, економії електроенергії. Робочими механізмами потужних високовольтних електроприводів є: підйомники гірської і металургійної промисловості, вентилятори, насоси, газодувки, компресори гірської, металургійної, хімічної промисловості, атомної енергетики.

В Україні асортимент асинхронних електродвигунів представлений продукцією українського та закордонного виробництва. В цьому сегменті ринку досить міцні позиції посідають саме вітчизняні виробники асинхронних трифазних електродвигунів для різних галузей промисловості. Електродвигуни вітчизняного виробництва в своїй більшості на українському ринку представлений продукцією

ВАТ «Укрелектромаш» (м. Харків), Дніпропетровського електромеханічного заводу, Полтавського заводу «Електромотор», електротехнічного заводу з Нової Каховки «Південелектромаш» та Ужгородським заводом електродвигунів.

Дослідження [10] показують, що український ринок асинхронних електродвигунів в основному орієнтований на вітчизняну продукцію. Двигуни українських виробників в цілому складають 85..95 % місткості вітчизняного ринку. Інша частина ринку – це імпорту асинхронних двигунів з різних країн світу (рисунок 2.1).

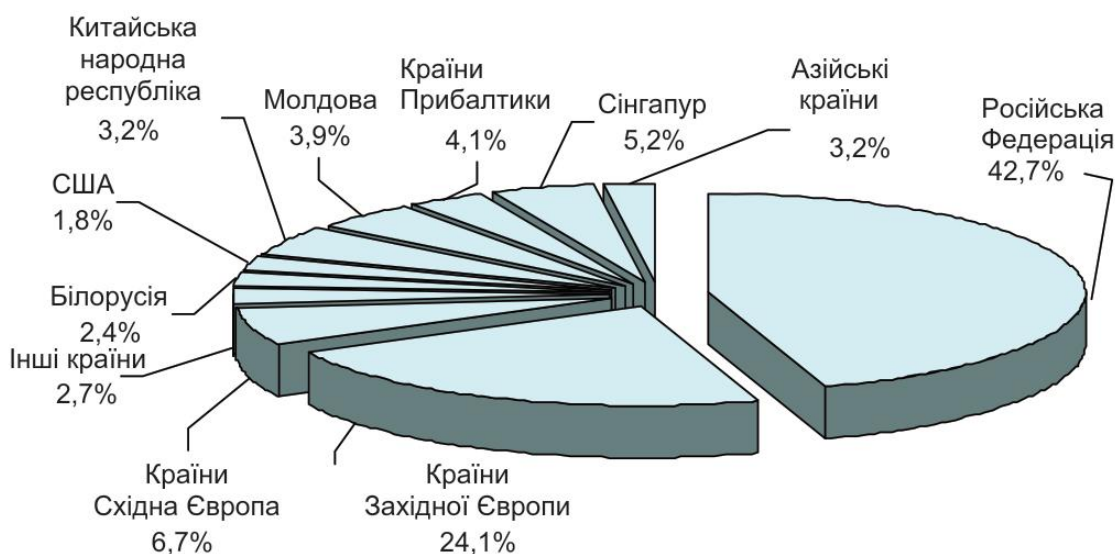


Рисунок 2.1 - Структура імпорту українських електродвигунів в 2010 році

Найбільш цікавою є структура споживчого попиту на асинхронні двигуни за механізмами їх використання. Цей вид електротехнічних виробів має надзвичайно широке використання в самих різних машинах та механізмах. Дослідження показують, що найбільш вживані сфери використання цих двигунів представлені вентиляторами (31 %), насосами (19 %), конвеєрами та транспортерами (17 %). Структура інших сфер використання асинхронних двигунів наведена на рисунку 2.2.

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

інших видів електротехнічних виробів, цей вид електричних машин є найбільш затребуваним в електроприводі.



Рисунок 2.2 - Структура попиту на асинхронні двигуни за механізмами використання

Взагалі, в суспільному виробництві України експлуатуються десятки мільйонів асинхронних двигунів. Тому навіть незначне покращення техніко-економічних показників і властивостей цих виробів (в системі електропривода) в масштабах держави дає суттєву економію електроенергії та забезпечує значний економічний ефект.

З розробкою й освоєнням серійного виробництва потужних силових напівпровідникових приладів з'явилася можливість широкого застосування потужних високовольтних перетворювачів частоти (ПЧ) для живлення обмоток високовольтних АД. Таким чином, з'явилася можливість створення регульованих по швидкості потужних високовольтних асинхронних електроприводів.

Відомо, що механічні і динамічні характеристики, енергетичні показники АД в частотно-регульованому електроприводі визначаються: прийнятим законом частотного керування, способом частотного керування, алгоритмічною й апаратною реалізацією автоматичної системи регулювання (АСР) електропривода.

Виходячи з аналізу технічних характеристик та принципу роботи автомата фасування та пакування плавленого сиру моделі М 6-АРУ, вихідними даними для вибору двигуна **головного привода** фасувально-пакувального автомата є:

- потужність електродвигуна 7,5 кВт;
- швидкість обертання до 1000 об./хв.

В даній роботі зроблена заміна існуючого електродвигуна серії 4А на більш сучасний, найбільш розповсюджений тип АИР.

Для подальшого дослідження системи керування електропривода для існуючих потужності та частоти обертання по каталогу [2] обраний електродвигун типу АИР132М6У3, основні технічні характеристики якого наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 -Технічні характеристики електродвигуна типу АИР132М6У3 [2]

Параметр	Значення
Типорозмір	АИР132М6У3
Потужність електродвигуна P_H , кВт	7,5
Число пар полюсів	3
Синхронна частота обертання ротора, об/хв.	1000
Номінальна частота мережі f , Гц	50
Номінальна напруга U , В	380
Ковзання S_H , %	3,2
ККД %	85
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$,	0,81
Номінальний струм статора при 380 В I_H , А	17,2
Кратність пускового моменту, M_{II} / M_H	2,0
Кратність максимального моменту, $M_{\max} / M_H$	2,5
Кратність пускового струму, I_{II} / I_H	6

2.2 Основні вимоги до електроприводів перемінного струму

До промислового електропривода пред'являються наступні вимоги [4]:

- 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 – 15 %;
- відхиленнях частоти живильної мережі на ± 2 % від номінальної;
- короткочасних провалах миттєвих значень живильної напруги;
- температурі навколишнього повітря від -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$;
- вибухонебезпечному середовищі, що не містить агресивних газів і парів, у концентраціях, що руйнує метали й ізоляцію.

Складові частини електропривода, 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 керування – IP44.

Основними умовами вибору 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.

2.3 Способи керування асинхронними двигунами

Найбільше поширення одержали наступні способи регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна:

- параметричне регулювання;
- частотне регулювання;
- векторне керування.

Параметричне регулювання кутової швидкості асинхронного привода. При всіх різноманітні схемних рішень системи параметричного керування асинхронним двигуном характеризуються однією загальною ознакою: при їхньому використанні регулювання швидкості здійснюється за рахунок зміни ковзання при незмінній частоті напруги, що живить статорні ланцюги, із виділенням енергії ковзання у виді втрат. Отже, до параметричного відносяться такі методи, коли при керуванні з боку статора регулюється амплітуда перемінної напруги, частота якої постійна і дорівнює частоті живильної мережі, а при керуванні з боку ротора (що можливо при використанні двигунів з контактними кільцями) змінюється значення додаткового опору. До цього ж способу відноситься і кероване динамічне гальмування, застосовуване для регулювання швидкості механізмів з активним моментом навантаження і для формування перехідних режимів. Таким чином, клас асинхронних електроприводів із параметричним керуванням охоплює сукупність способів впливу на двигун, заснованих на регулюванні наступних параметрів:

перемінної, постійної напруги (у режимі динамічного гальмування), додаткового опору в роторі [3,16].

Однак припустимий момент асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором при імпульсному параметричному регулюванні зі зниженням кутової швидкості різко падає, а діапазон регулювання звичайно не перевищує значень $(1,15—1,2) : 1$ при тривалому режимі роботи.

Регулювання кутової швидкості асинхронного електропривода зміною напруги. Якщо регулювати напругу, підведену до трьох фаз статора асинхронного двигуна, то можна, незважаючи на вплив параметрів регулюючого пристрою на характеристики двигуна змінювати максимальний момент, не змінюючи критичного ковзання. Пристроєм для регулювання напруги може бути, наприклад, тиристорний регулятор; при цьому в кожній фазі статора двигуна знаходяться два паралельно включених тиристори. Керуючи кутом включення тиристорів (фазове керування), можна плавно змінювати діюче значення напруги.

Критичне ковзання, що не залежить від напруги, залишається незмінним. Не змінюється також і синхронна кутова швидкість, що залежить тільки від частоти живильного напруги і числа пар полюсів двигуна.

Регулювання кутової швидкості двигуна при цьому способі відбувається за рахунок зменшення модуля жорсткості механічних характеристик і здійснюється униз від номінальної кутової швидкості. Плавність регулювання визначається плавністю зміни напруги; при застосуванні тиристорного регулятора напруги кутова швидкість регулюється безступінчасто.

Тому що великі втрати потужності ковзання в двигуні з короткозамкнутим ротором виділяються в самому роторі, то припустимий момент різко зменшується в міру росту ковзання, тому такий неекономічний спосіб регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором можна використовувати тільки при малій потужності двигуна й у короткочасному режимі роботи [4].

Частотне регулювання асинхронних електроприводів. Частотне регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів широко застосовується в індивідуальних установках, коли потрібно одержання дуже високих кутових швидкостей [16].

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

Частотне регулювання кутової швидкості є економічним, тому що керування двигуном виконується при малих ковзаннях. Крім того, у замкнених системах можна керувати двигуном, досягаючи мінімуму втрат у ньому чи мінімуму споживаного двигуном струму чи екстремуму інших енергетичних показників, тому що мається можливість регулювати напругу у функції навантаження. Частотне регулювання кутової швидкості звичайно плавне, безступінчасте. Але вона вимагає застосування складного перетворювача.

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

Переваги векторного регулювання:

- точне відпрацьовування швидкості з компенсацією ковзання (навіть без зворотного зв'язку по швидкості);
- глибокий діапазон регулювання;
- в області малих частот двигун працює плавно й зберігає момент аж до нульової швидкості;
- швидка реакція на стрибки навантаження;
- при різких стрибках навантаження практично не відбувається стрибків швидкості, внаслідок високої динаміки регулювання;
- оптимізація ККД двигуна на низьких частотах;

- за рахунок регулювання струму намагнічування здійснюється оптимізація режиму роботи двигуна й зниження втрат.

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

Переваги систем із частотними перетворювачами (ПЧ):

- енергозбереження. Впровадження системи керування на базі ПЧ замість традиційних систем, реалізованих на релейно-контакторному устаткуванні, дозволяє знизити споживання електроенергії від 1,5 до 2 рази залежно від номінальної потужності електродвигунів. Поліпшення енергетичних показників електропривода;

- плавний запуск і зупинка електропривода автомата. 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.

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

Більшість сучасних частотних перетворювачів підтримують роботу у режимі частотно-струмового керування асинхронним електродвигуном. Цей спосіб дозволяє змінювати швидкість обертання валу двигуна у широких межах.

Проаналізувавши наявні засоби і системи керування швидкістю обертання асинхронного електродвигуна, для керування електропривода пакувального автомата вибираємо тиристорний перетворювач з **частотно-струмовою** системою керування.

На основі проведеного аналізу існуючих типів керування двигунів перемінного струму для керування електродвигуном автомата вибраний перетворювач типу OMRON Varispeed F7.

2.4 Електропривод на базі перетворювача серії OMRON Varispeed F7

Загальнопромислові перетворювачі частоти OMRON насамперед виділяються своєю надійністю, зручністю й універсальністю. Перетворювачі OMRON здатні забезпечити високий пусковий момент і точне регулювання швидкості для застосування в будь-якій машині або технологічній лінії. Завдяки широкому вибору мережних інтерфейсів, спеціалізованих прошивань і додаткових плат входів-виходів ці перетворювачі найбільше широко використовуються в промислових застосуваннях.

Частотні перетворювачі Omron мають багато спеціальних функцій, які часто відсутні в продукції інших виробників. Енергозбереження. Ця особливість дозволяє при виконанні тієї ж роботи економити від 5 до 30% електричної енергії шляхом забезпечення роботи електродвигуна при оптимальному ККД. В цьому режимі інвертор автоматично відстежує струм споживання, визначає параметри навантаження і знижує вихідну напругу. Режим заощадження енергії особливо ефективний при керуванні двигунами, що працюють велику частину часу з малим (або змінним) навантаженням.

Переваги застосування перетворювачів частоти OMRON Varispeed F7:

- трирівневе керування знижує пікові стрибки напруги на обмотках двигуна майже на 50%. Навіть при великій довжині кабелю живлення двигуна дросель змінного струму не потрібно;
- економія електроенергії в разі змінного навантаження, рівного максимальному пусковому моменту;
- підвищений ресурс устаткування;
- широкий вибір додаткових плат: мережеві інтерфейси, плата ПЛК, інтерфейс Mechatrolink, аналогові і дискретні входи / виходи;

- кероване гальмування і автоматичний перезапуск при пропажі мережевої напруги;
- підхоплення обертового електродвигуна. Стабілізація швидкості обертання при зміні навантаження;
- значне зниження акустичного шуму електродвигуна;

Технічні дані перетворювача частоти OMRON Varispeed F7 наведені в таблиці 2.2 [13].

Таблиця 2.2 – Технічні дані перетворювача частоти OMRON Varispeed F7

Модель перетворювача	OMRON CIMR-F7
Область застосування	Насоси, вентилятори, ПТУ, екструдери, намотчики; конвеєри
200 В трифазний	від 0,4 кВт до 110 кВт
400 В трифазний	від 0,4 кВт до 300 кВт
Час розгону/гальмування	від 0,01 до 6000 с
4 режими роботи	
U/f control	Вольт-частотний принцип керування двигуна, ідеальний для керування групою асинхронних двигунів
Open Loop Current Vector	Принцип векторного керування двигуном без датчика зворотного зв'язку
U/f control with PG feedback	Вольт-частотний принцип керування двигуна з використанням сигналу від датчика зворотного зв'язку
Flux vector control	Принцип високоточного векторного керування двигуном з використанням сигналу від датчика зворотного зв'язку
Діапазон регулювання швидкості	1:40 (U/ f-регулювання) 1:100 (векторне керування з розімкнутим контуром) 1:1000 (векторне керування із замкнутим контуром)

Продовження таблиці 2.2

Перевантажувальна здатність і максимальний струм	Підвищене навантаження (низька несуча частота, постійний крутний момент): 150% від номінального вихідного струму протягом хвилини. Звичайне навантаження 1 або 2 (висока/знижена несуча частота, змінний крутний момент): 120% від номінального вихідного струму протягом хвилини
Входи/виходи:	дискретні входи – 7, аналогові входи – 3 (імпульсний – 1), релейні виходи – 4, аналогові виходи – 2, імпульсний вихід – 1
Максимальна вихідна частота	400 Гц (звичайне навантаження); 150 Гц (підвищене навантаження)
Підтримувані мережі	Memobus, Devicenet, PROFIBUS-DP, Canopen, Lonworks, Ethernet, MECHATROLINK-II

Стандартна схема підключення перетворювача показана на рисунку 2.1.

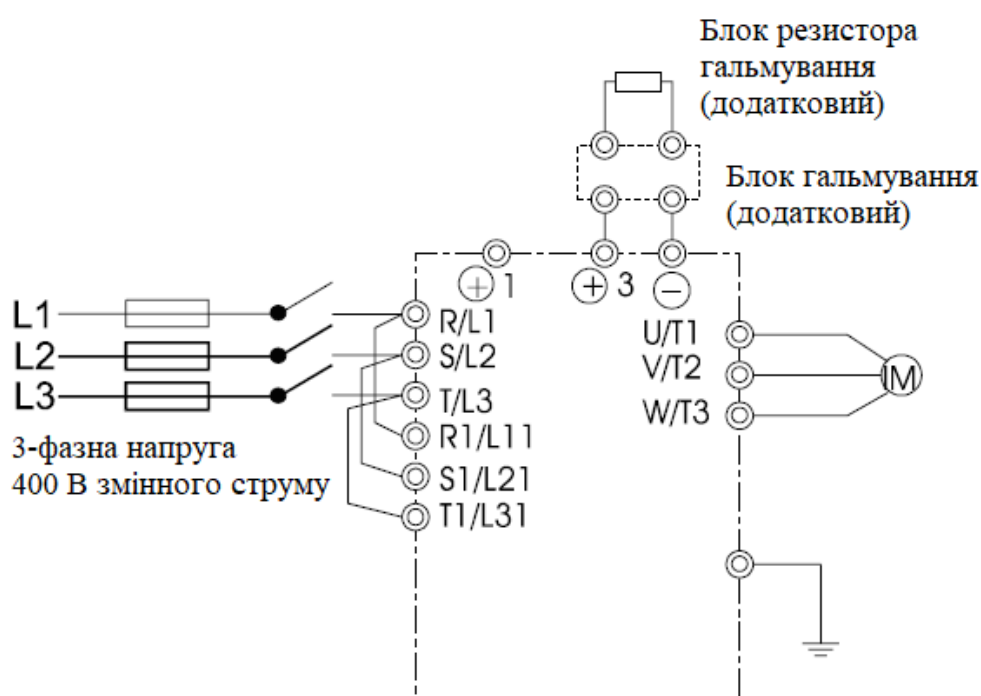


Рисунок 2.2 - Стандартна схема підключення перетворювача OMRON

Загальна схема частотного перетворювача OMRON Varispeed F7 наведена на рисунку 2.2.

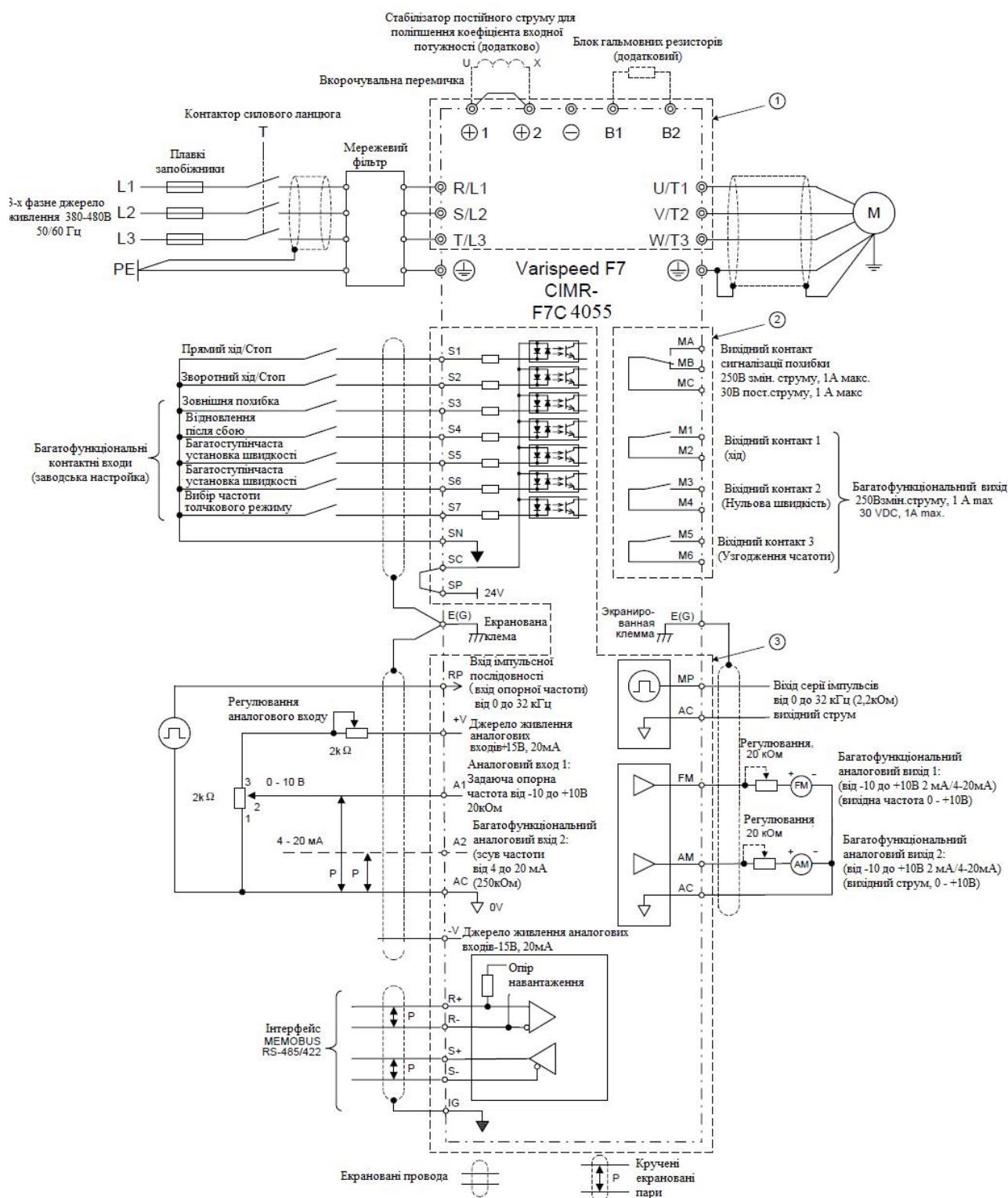


Рисунок 2.2 – Загальна схема частотного перетворювача OMRON Varispeed F7

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Розробка функціональної та структурної схем системи керування

Принцип роботи електропривода. На рисунку 3.1 представлена функціональна схема системи частотно-струмового керування АД [6,15]. Джерело струму реалізовано на основі керуючого випрямляча КВ, струм навантаження I_n якого задається вихідною напругою u_{PC} регулятора струму РС, пропорційним різниці напруг $u_{3.C.}$ на виході ФП і $u_{3.3.C.}$ датчика струму ДС. Стабілізація швидкості АД забезпечується за рахунок регулятора швидкості РШ, на вході якого порівнюються напруги завдання швидкості $u_{3.ш.}$ і зворотного зв'язку $u_{3.3.ш.}$ з вихода тахогенератора ТГ. Особливість схеми в тому, що тут автоматично формуються сигнали, пропорційні абсолютному ковзанню і завданню синхронної швидкості АД.

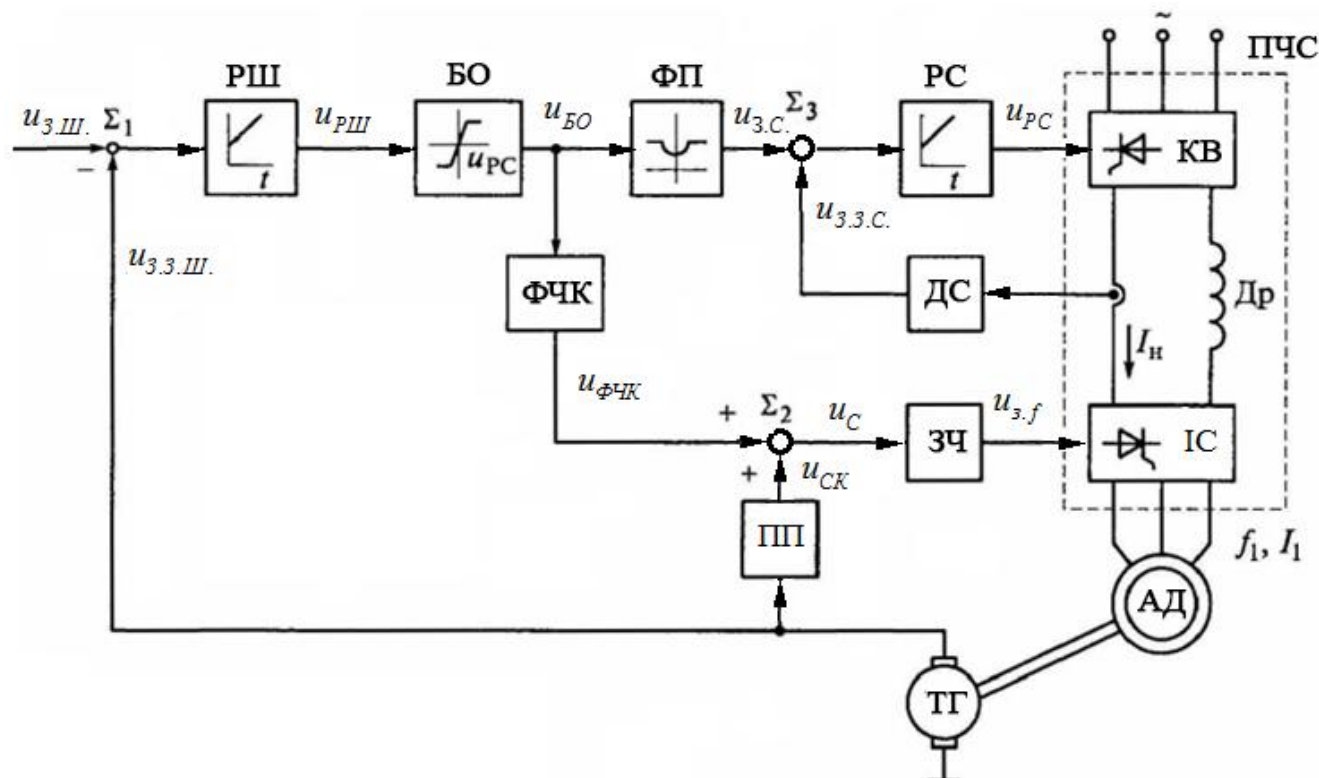


Рисунок 3.1 – Функціональна схема замкнутої системи керування ПЧ-АД
з частотно-струмовим керуванням

Сигнал, пропорційний s_a , формується на виході РШ, оскільки $u_{3.ш.}$ 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 ($u_{3.ш. \min} \neq 0$) 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 буде при цьому створюватися змінним струмом $I_{1\min}$ [16].

3.1.1 Математичний опис структурної схеми електропривода з частотно-струмовим керуванням

Комплектний електропривод OMRON Varispeed F7 [13] 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 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° ; насичення магнітного кола відсутнє.

Диференційні рівняння ідеалізованого асинхронного двигуна у системі координат $x - y$, що обертається з синхронною швидкістю ω_o [3,4]:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= I_1 \cdot r_1 + \frac{d\psi_1}{dt} + j\omega_o\psi_1; \\ 0 &= I_2 \cdot r_2' \frac{d\psi_2}{dt} + j(\omega_o - z_p\omega_2)\psi_2; \\ \psi_1 &= L_1 I_1 + L_o I_2'; \\ \psi_2 &= L_2' I_2' + L_o I_1, \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

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_o – 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

$$M = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot I_m (\psi_1^* \cdot I_1) = \frac{3}{2} \cdot z_p \frac{L_0}{L'_2} \cdot I_m (\psi_2^* \cdot I_1). \quad (3.2)$$

Рівняння руху двигуна

$$M - M_c = I \frac{d\omega}{dt}. \quad (3.3)$$

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 (3.1):

$$\psi_1 = \frac{\Delta^*}{L'_2} \cdot I_1 + \frac{L_0}{L'_2} \cdot \psi_2,$$

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 (3.1) і одержимо:

$$U_{1x} = R_1 I_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_1}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt}; \quad (3.4)$$

$$0 = -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_1 + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{d\psi_{2y}}{dt} + j(\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2y} \quad (3.5)$$

Спроекуємо вирази (3.5) на осі x и y , а також введемо в якості незалежної перемінної I_1 , що спрямована уздовж осі x , при цьому $I_{1x} = I_1$,

$$\left. \begin{aligned} U_{1x} &= R_1 I_{1x} - \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_{1y} + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_{1x}}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt}; \\ U_{1y} &= R_1 I_{1y} - \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_{1x} + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_{1y}}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2y}}{dt}; \\ 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_{1x} + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{d\psi_{2x}}{dt} - (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2y}; \\ 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_{1y} + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{d\psi_{2y}}{dt} + (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2x}. \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

$$\left. \begin{aligned} U_{1x} &= R_1 I_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_1}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt}; \\ U_{1y} &= \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_1 + \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2y}}{dt}; \\ 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_1 + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{d\psi_{2x}}{dt} - (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2y}; \\ 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{d\psi_{2y}}{dt} + (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2x}. \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

Знайдемо момент двигуна з виразу (3.3)

$$M = \frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} I_m \cdot \psi_2^* I_1, \quad (3.8)$$

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

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

Підставимо значення ψ_2^* і I_1 у (3.8) 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

$$M = -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} I_1. \quad (3.9)$$

Запишемо систему рівнянь (3.7) і рівняння (3.9) в операторній формі:

$$\left. \begin{aligned} U_{1x}(p) &= (R_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} p) \cdot I_1(p) - \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2x}(p); \\ U_{1y}(p) &= \omega_0(p) \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} I_1(p) + \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \psi_{2x}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2x}(p); \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_1(p) + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x}(p) + p \psi_{2x}(p) - (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2y}(p); \\ 0 &= \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + p \psi_{2y}(p) + (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2x}(p); \\ M &= -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) I_1(p). \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

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 (3.10) використовуватися не буде.

$$\left. \begin{aligned}
 U_{1x}(p) &= R_1 \left(1 + \frac{\Delta^*}{L_2' R_1} p\right) \cdot I_1(p) - \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2x}(p); \\
 \psi_{2x}(p) &= \frac{L_0}{\left(1 + \frac{L_2'}{R_2} p\right)} \cdot I_1(p) + \left[-\frac{L_2'}{R_2} / \left(1 + \frac{L_2'}{R_2} p\right) \right] \cdot (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2y}(p); \\
 \psi_{2y}(p) &= \left[-\frac{L_2'}{R_2} / \left(1 + \frac{L_2'}{R_2} p\right) \right] \cdot (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2x}(p); \\
 M &= -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) I_1(p).
 \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

На підставі системи рівнянь (3.12) і рівняння (3.3) складемо структурну схему асинхронного двигуна, що представлена на рисунку 3.2 [4,15].

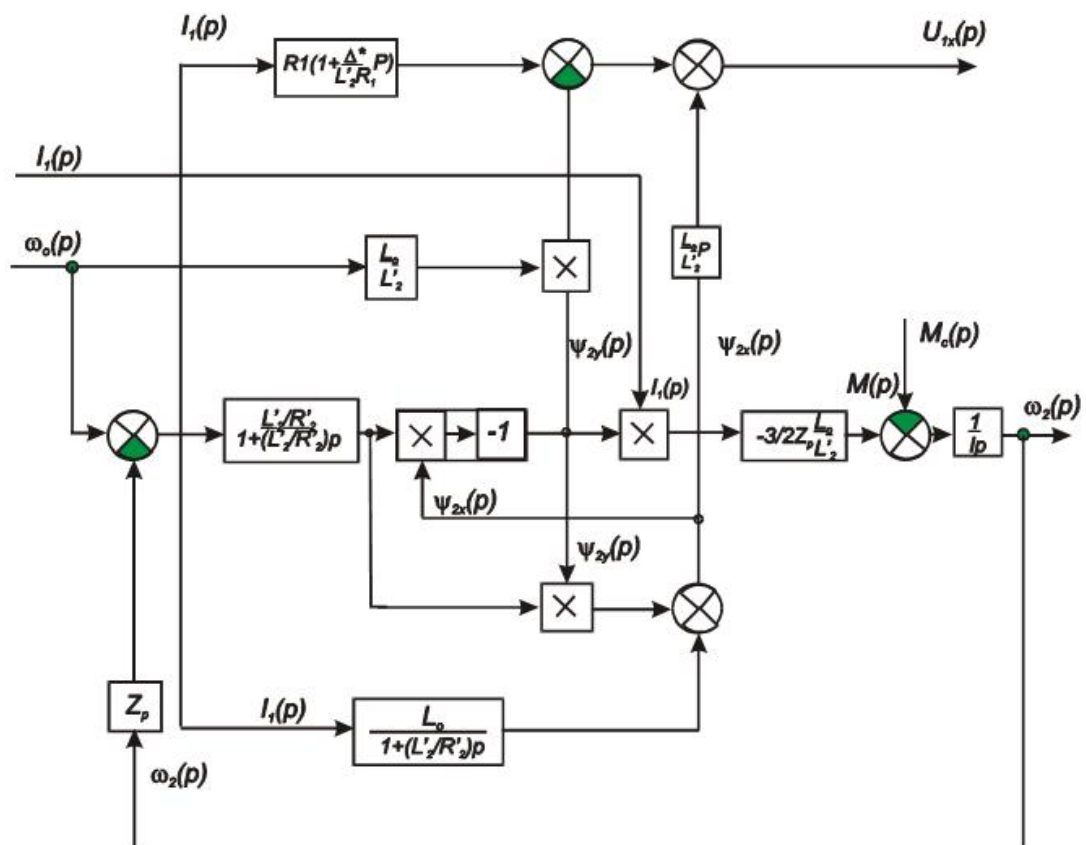


Рисунок 3.2 – Структурна схема асинхронного електродвигуна

Складену структурну схему асинхронного двигуна при керуванні кутовою

частотою напруги статора й за умови сталості потокозчеплення статора (рисунк 3.2) зручніше побудувати, якщо представити координати двигуна у в.о.

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

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

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

$$, \quad (3.13)$$

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

$$\frac{\Delta\bar{M}(p)}{\Delta\bar{\omega}_1(p) - \Delta\bar{\omega}(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{1}{T_E p + 1}. \quad (3.14)$$

Відповідно на підставі рівняння (3.11) маємо

$$\frac{\Delta\bar{M}(p)}{\Delta\bar{\omega}_1(p) - \Delta\bar{\omega}(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{1}{T_M p}, \quad (3.15)$$

де $T_M = \frac{J \omega_{0н}}{M_{п.ф.н.}}$ – механічна постійна часу двигуна, с.

Спрощена структурна схема асинхронного двигуна при частотно-струмовому керуванні побудована на підставі виразів (3.14), (3.15), показана на рисунку 3.3.

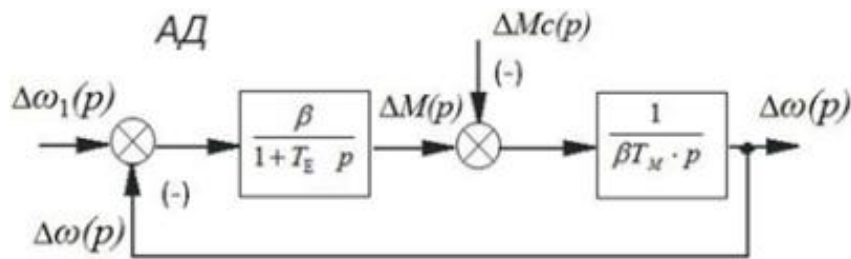


Рисунок 3.3 – Спрощена структурна схема асинхронного двигуна при частотно-струмовому керуванні

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.

На рисунку 3.4 наведена структурна схема такого привода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна.

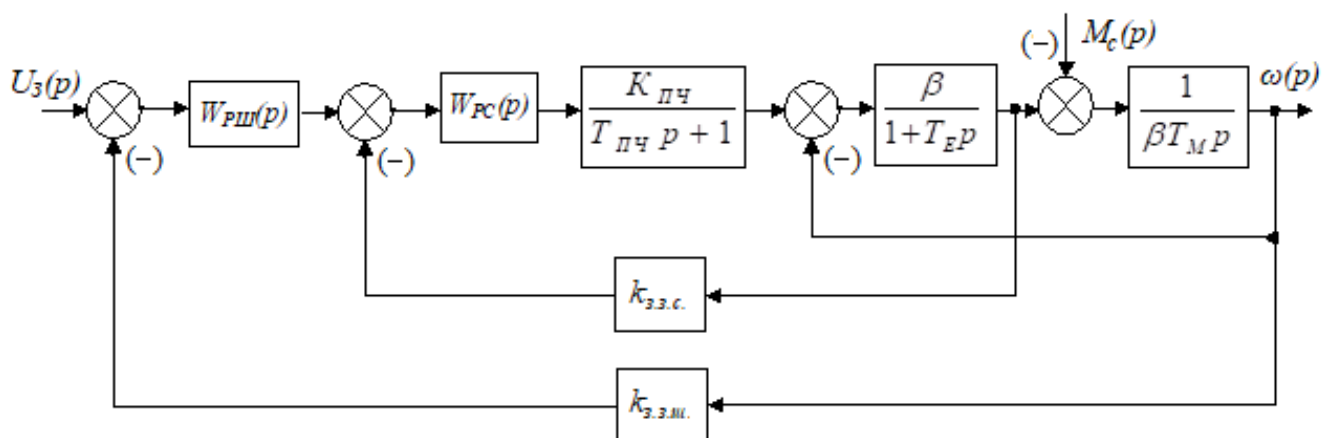


Рисунок 3.4 – Структурна схема електропривода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна

3.2 Розрахунок та вибір параметрів регуляторів електропривода

Розглянемо докладніше структурну схему зображену на рисунку 3.4.

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;

$K_{ПЧ}$ – передатний коефіцієнт перетворювача частоти;

$T_{ПЧ}$ – постійна часу кола керування ЧП, яка при високих частотах модуляції вихідної напруги промислових ЧП (2...50 кГц) не перевищує 0,001с.

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

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

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

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

Структурна схема з наведеними передатними функціями регуляторів зображена на рисунку 3.5.

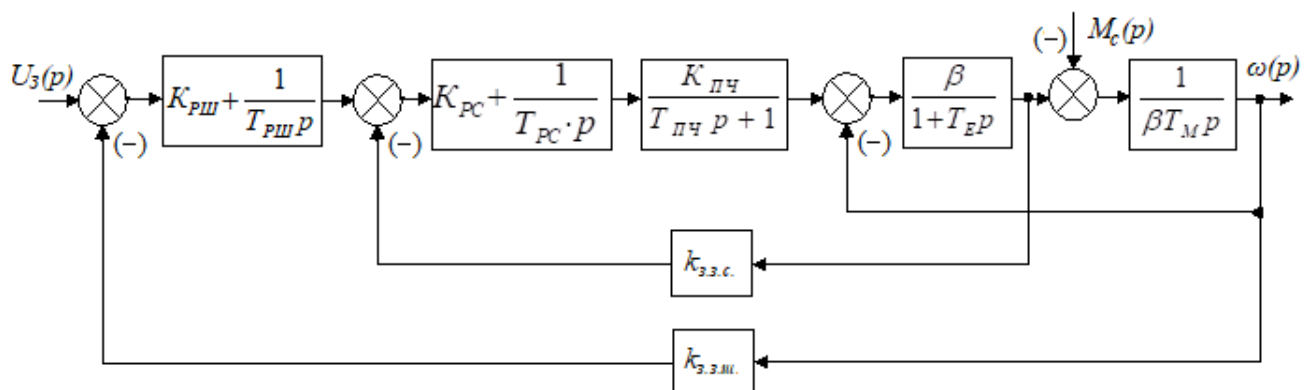


Рисунок 3.5 – Структурна схема електропривода

Розрахуємо параметри елементів структурної схеми (рисунк 3.5).

Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні технічні характеристики електродвигуна АИР100L4УЗ[2].

Параметр	Значення
Типорозмір	АИР132М6УЗ
Потужність електродвигуна P_H , кВт	7,5
Число пар полюсів (всього 6 полюсів)	3
Синхронна частота обертання ротора, об/хв.	1000
Номінальна частота мережі f , Гц	50
Номінальна напруга U , В	380
Струм при 380 В, I_H , А	17,2
Ковзання S_H , %	3,2
Критичне ковзання S_κ , %	26
ККД %	81

Виконуємо розрахунок чисельних даних для елементів структурної схеми.

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

$$\omega_{ДВ} = \frac{\pi \cdot n_{ДВ}}{30};$$

$$\omega_{ДВ} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,7 \text{ с}^{-1}.$$

Номінальний момент двигуна M_H , Н·м,

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_{ДВ}};$$

$$M_H = \frac{7500}{104,7} = 71,6 \text{ Н·м}.$$

Критичний момент електродвигуна M_{κ} , Н·м,

$$M_{\kappa p} = 3 \cdot M_H;$$

$$M_{\kappa p} = 3 \cdot 71,6 = 214,8 \text{ Н·м.}$$

Кутова номінальна частота напруги, підведеної до статора при його номінальній частоті живлення ($f_{\text{ном}} = 50$ Гц), ω_H , с⁻¹,

$$\omega_H = 2\pi \cdot f_H;$$

$$\omega_H = 2\pi \cdot 50 = 314,15 \text{ с}^{-1}.$$

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

$$\beta = \frac{2M_{\kappa p}}{\omega_{\text{ДВ}} \cdot S_{\text{КР}}},$$

де $S_{\kappa} = 0,26$ - критичне ковзання, (з таблиці 3.1).

$$\beta = \frac{2 \cdot 214,8}{104,7 \cdot 0,26} = 15,78 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}^{-1}}.$$

Електромагнітна постійна часу T_E , с,

$$T_E = \frac{1}{\omega_{\text{ДВ}} \cdot S_{\text{КР}}};$$

$$T_E = \frac{1}{314,15 \cdot 0,26} = 0,01 \text{ с.}$$

Електромеханічна постійна часу T_M , с,

$$T_M = 4T_e;$$

$$T_M = 4 \cdot 0,01 = 0,04 \text{ с.}$$

Постійна часу частотного перетворювача, $T_{ПЧ}$, с,

$$T_{ПЧ} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f},$$

де f – частота живлення двигуна (номінальна), Гц.

У нашому випадку $f = 50$ Гц,

тоді

$$T_{ПЧ} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0033 \text{ с.}$$

Коефіцієнт підсилення частотного перетворювача приймаємо $K_{ПЧ} = 10$.

Для первинних розрахунків приймаємо, що величина постійної часу регулятора швидкості $T_{РШ}$ дорівнює величині постійної часу двигуна $T_{Д} = T_{М}$, а регулятора струму $T_{РС}$ – постійній часу частотного перетворювача $T_{ПЧ}$.

Вважаємо коефіцієнти підсилення $K_{ДС} = k_{з.з.с}$ та $K_{ДШ} = k_{з.з.ш}$ рівними 10.

Приймаємо вхідну напругу $U_3 = 10$ В. Таким чином, вважаючи у сталому режимі похибку рівною 0, маємо

$$k_{з.з.ш} = \frac{U_3}{\omega_{ДВ}};$$

$$K_{з.з.ш} = \frac{10}{104,7} = 0,096 \text{ В} \cdot \text{с.}$$

Аналогічно при розрахунку коефіцієнта підсилення зворотного зв'язку за струмом, $k_{з.з.с}$, $\frac{B \cdot A}{H \cdot M}$,

$$k_{з.з.с} = \frac{U_{РС}}{M_H / I_H};$$

$$K_{з.з.с} = \frac{10}{71,6 / 17,2} = 0,008 \frac{B \cdot A}{H \cdot M}.$$

3.3 Аналіз динамічних властивостей системи керування автомата

фасування та пакування

Визначення параметрів здійснюється за допомогою перехідних характеристик. Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 - Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики	$\frac{H \cdot m}{c^{-1}}$	$\beta = 15,78$
Постійна часу регулятора швидкості	с	$T_{PII} = 0,04$
Постійна часу перетворювача	с	$T_{ПЧ} = 0,0033$
Постійна часу регулятора струму	с	$T_{PC} = 0,0033$
Коефіцієнт підсилення (передачі) перетворювача	-	$K_{ПЧ} = 10$
Передатний коефіцієнт по швидкості	В·с	$k_{3,3,ш} = 0,096$
Передатний коефіцієнт по струму	$\frac{B \cdot A}{H \cdot m}$	$k_{3,3,c} = 0,008$
Електромагнітна стала часу	с	$T_E = 0,01$
Електромеханічна постійна часу	с	$T_M = 0,04$
Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості	-	$K_{PII} = 10$
Коефіцієнт підсилення регулятора струму	-	$K_{PC} = 10$

Після розрахунків усіх величин, що входять у структурну схему, вони були внесені у розрахункову модель системи керування (рисунок 3.6).

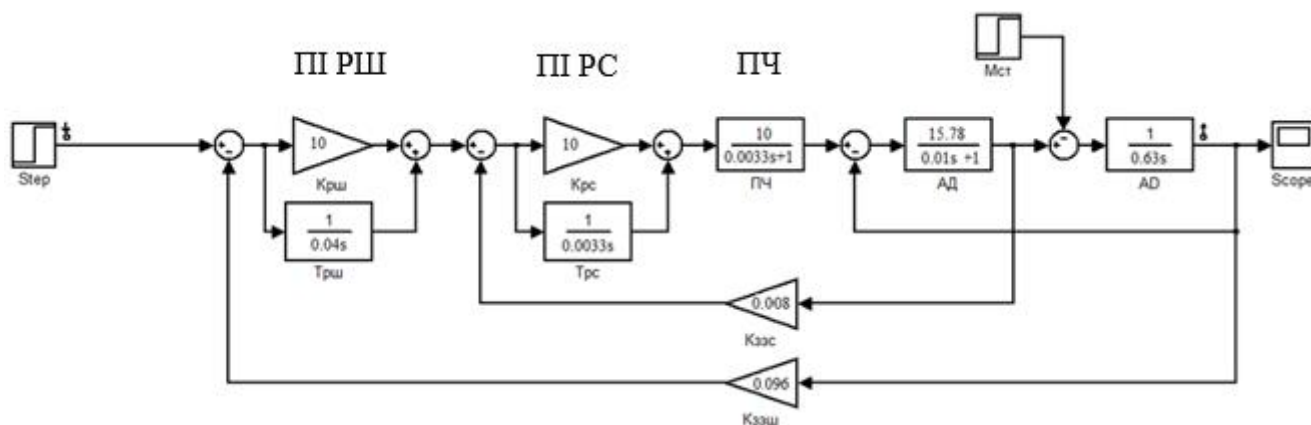


Рисунок 3.6 – Розрахункова динамічна модель САК

Моделювання виконувалося у середовищі програми Simulink пакету «MATLAB» [5].

На схемі зображено:

«Step» – джерело східчастого впливу величиною 10 В;

«Scope» – використовується для отримання графіку перехідного процесу за швидкістю та струмом відповідно.

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

На основі структурної схеми електропривода (рисунок 3.5) та її параметрів за допомогою програмного забезпечення "MATLAB" здійснюємо побудову перехідних характеристик системи частотно-струмового керування асинхронним двигуном.

На рисунках 3.7 та 3.8 наведені результати моделювання перехідних процесів при східчастому впливі величиною 10 В.

При зміні на 30 % навантаження після режиму, що встановився, перехідний процес повертається до заданого значення без помилки.

На рисунку 3.7 наведена перехідна характеристика по швидкості.

На рисунку 3.8 наведена перехідна характеристика струму статора.

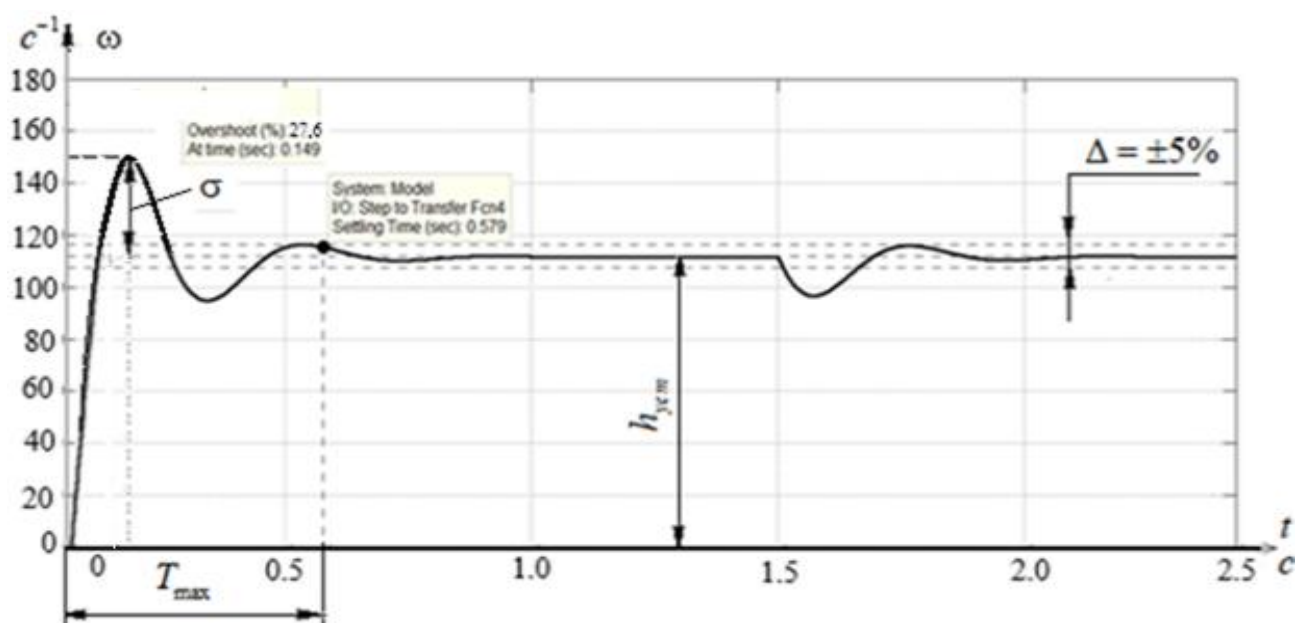


Рисунок 3.7 – Графік перехідного процесу по швидкості

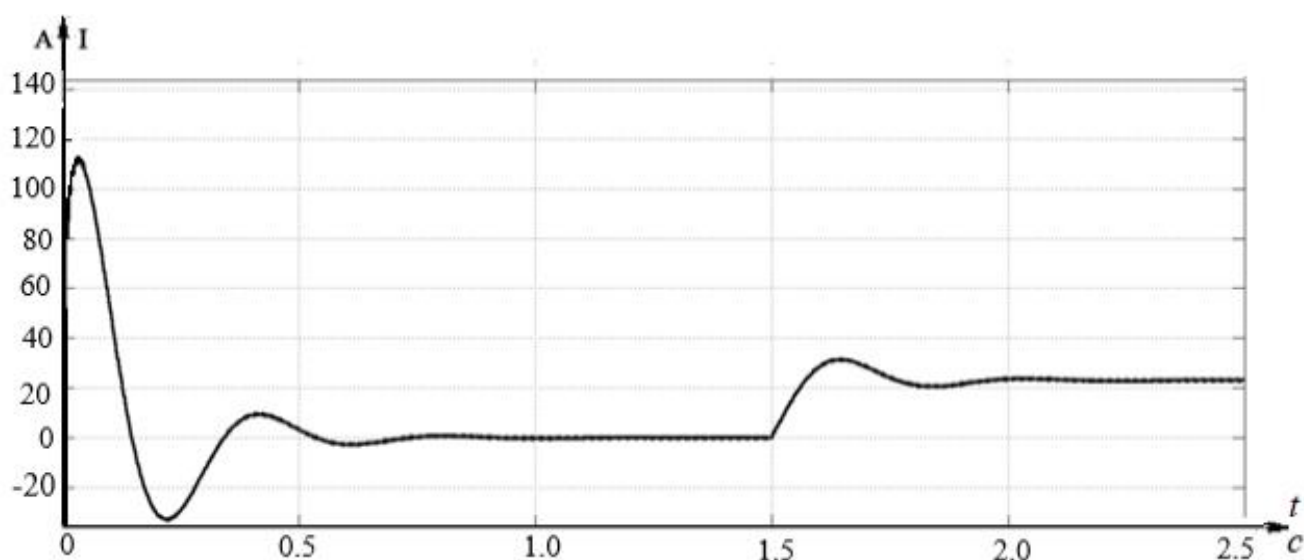


Рисунок 3.8 – Графік перехідного процесу по струму

З графіку перехідного процесу **по швидкості** (Рисунок 3.7) видно, що система має наступні показники якості керування швидкістю:

- час перехідного процесу $T_{\max} = 0,65$ с;
- перерегулювання $\sigma = 27,6$ %;
- похибка $\varepsilon = 0\%$;
- коливальність $N = 1$.

З графіку перехідного процесу **по струму** (Рисунок 3.8) видно, що система працює задовільно, тобто максимальний пусковий струм не перевищує допустимий струм короткого замикання, який в десятки разів перевищує номінальний.

Крім того, з характеристик електродвигуна видно, що система працює задовільно, тобто максимальний пусковий струм $I_{\text{пуск}}$ не перевищує допустимий струм короткого замикання, який в десятки разів перевищує номінальний. Після подання навантаження на вал двигуна струм виходить на номінальний режим.

Тому що такі показники якості задовольняють вимогам до системи керування, можна зробити висновок, що дана модернізація покращила динамічні характеристики системи керування.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА АВТОМАТА ФАСУВАННЯ

Охорона праці – система правових, соціально – економічних, організаційно – технічних, санітарно – гігієнічних і лікувально – профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

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

У разі, коли міжнародними договорами або угодами, в яких бере участь Україна, встановлено більш високі вимоги до охорони праці, ніж ті, що передбачено законодавством України, то застосовуються правила міжнародного договору або угоди.

На сьогодні на більшій частині підприємств уже впроваджена нова система управління охороною праці, заснована на управлінні ризиками, відповідно до стандарту OHSAS 18001.

Цілком безпечних і нешкідливих виробництв не існує. Задачі охорони праці - звести до мінімуму імовірність поразки чи захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Охорона праці містить у собі:

- виробничу санітарію - система організаційних заходів і технічних засобів, що запобігають чи зменшують вплив на працюючих шкідливих виробничих факторів;

- техніку безпеки, - система організаційних заходів і технічних засобів, що запобігають чи зменшують вплив на працюючих небезпечних виробничих факторів;

- пожежну і вибухобезпеку;

- законодавство по охороні праці.

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при експлуатації електропривода автомата фасування та пакування

Небезпечними факторами називають такі чинники життєвого середовища, які призводять до травм, опіків, обморожень, інших пошкоджень організму або окремих його органів і навіть до смерті [7].

Шкідливими факторами прийнято називати такі чинники життєвого середовища, які призводять до погіршення самопочуття, зниження працездатності, захворювання і навіть до смерті як наслідку захворювання.

Небезпечними і шкідливими виробничими факторами можуть бути частини механізмів, що рухаються, вібрації, шум, вплив електричного струму на людину, пожежонебезпеку. (ДСТ12.0.003-74 Небезпечні й шкідливі виробничі фактори. Класифікація).

Робота на фасувальному автоматі може супроводжуватися наявністю ряду шкідливих і небезпечних виробничих факторів, у тому числі: електричний струм; підвищений рівень вібрації; вузли машини, що рухаються, вироби і механізми, що пересуваються.

Охорона праці при експлуатації електропривода пакувального обладнання є комплексом організаційних та технічних заходів, спрямованих на запобігання ураженню електричним струмом, на уникання механічних травм та пожеж.

Робота повинна виконуватись з урахуванням стандартів системи безпеки праці: ДСТ 12.3. 002-75 "Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки"; ДСТ 12.1. 004-91 "Пожежна безпека. Загальні вимоги"; ДСТ 12.3. 002-75 "Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки".

Експлуатація електричних установок відноситься до розряду робіт, виконуваних в умовах підвищеної небезпеки. Для такого твердження є глибокі підстави, оскільки експлуатація електроустаткування з погляду техніки безпеки істотно відрізняється від експлуатації будь-якого іншого виду виробничого встаткування.

Дія та наслідки ураження електричним струмом.

Порушення цілісності електричного кола може виникнути через коротке замкнення, перевантаження або механічні пошкодження. Це може привести до враження людини електричним струмом.

Електричний струм - це спрямоване переміщення електричних зарядів усередині провідної речовини (усередині металів, рідких провідників і т. д.).

Наслідок ураження людини електричним струмом залежить від багатьох факторів: опору тіла, тривалості протікання струму, шляху струму, роду і частоти струму, напруги.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, обумовлює перетворення електричної енергії в інші види і спричиняє термічну, електролітичну та біологічну дії.

Термічна дія полягає в тому, що струм, проходячи через тіло людини, нагріває його, як і будь-який провідник, через який він проходить, що може викликати опіки та обуглювання тканин і всього тіла.

Електролітична дія полягає в тому, що електричний струм має властивість розщеплювати кислотні, лужні й інші провідні рідкі розчини на складові частини. Проходячи через тіло людини він справляє подібну електролітичну дію, розщеплюючи протоплазму і кров. У результаті клітини втрачають спроможність до нормального існування, обміну речовин і т. д.

Біологічна дія електричного струму полягає в тому, що при його входженні відбувається подразнення і збудження живих тканин організму і порушення внутрішніх біологічних процесів. У результаті можуть відбуватися мимовільні рухи кінцівок, голови, інших органів; може змінитися ритм биття серця; порушується робота легень.

Механічна дія електричного струму може призводити до розриву тканин внаслідок електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари з тканинної рідини і крові; до вивихів, переломів. Дія електричного струму може призвести як до травм, так і до летальних наслідків.

Електротравми - опіки, електричні знаки (специфічне ураження тканин); металізація шкіри (частина розплавленого металу); електрофтальмія (запалення зовнішніх оболонок очей під дією ультрафіолетових променів електричної дуги); механічні ушкодження (розірвання шкіри, вивихи, переломи і т. д., викликані мимовільним скороченням м'язів).

Основні причини нещасних випадків від дії електричного струму:

- випадковий дотик, наближення на небезпечну відстань до струмопровідних частин, що перебувають під напругою;
- поява напруги дотику на металевих конструктивних частинах електроустаткування (корпусах, кожухах тощо) у результаті пошкодження ізоляції або з інших причин;
- поява напруги на відключених струмопровідних частинах, на яких працюють люди, внаслідок помилкового включення установки;
- виникнення напруги кроку на поверхні землі через замикання проводу на землю.

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).

Шум відноситься до шкідливих факторів виробництва як і звук, виникає при механічних коливаннях у твердих, рідких і газоподібних середовищах. Шумом являються різні звуки, що заважають нормальній діяльності: людини і викликають неприємні відчуття. Звук являє собою коливальний рух пружного середовища, сприйманий людським органом слуху. 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.

Шум, що виникає при роботі машини, широкополосний постійний і при тривалому впливі на людину приводить до розвитку професійних захворювань, пов'язаних із втратою слуху, що приводить до втрати працездатності.

Вібрація викликає порушення фізіологічного і функціонального стану людини. Вплив вібрації не тільки погіршує самопочуття працюючого і знижує його продуктивність праці, але часто приводить до важкого професійного захворювання - віброхвороби. Основним критерієм умов праці вібронебезпечних професій є рівень впливу вібрації. Розрізняють наступні умови праці і вібровпливу на людину: комфортні - не викликають дратівного впливу; нормальні - не знижують працездатності; вібробезпечні - не викликають несприятливого біологічного впливу; вібронебезпечні - можливі патологічні зміни в організмі і віброхвороби.

Виникнення пожеж. 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.

Охорона праці при роботі з пакувальним обладнанням є критично важливою для запобігання травматизму, оскільки ці машини часто мають рухомі механізми, нагрівальні елементи та електричні вузли.

Під час роботи забороняється дотикатися до рухомих частин робочих органів.

Всі ремонтні роботи та регулювання машини виконувати тільки в непрацюючому стані. Ремонт електрообладнання дозволяється виконувати тільки електромонтеру.

Категорично забороняється виймати блоки із робочої зони руками чи скребками під час роботи автомата.

Живлення ланцюгів керування виконується пониженою напругою 36 В і всі струмоприймачі заземлено.

Наявність аварійних кнопок СТОП з грибовидним штовхачем дозволяє зупинити машину в зоні обслуговування з усіх сторін.

4.2 Розробка заходів щодо безпечної експлуатації автомата

З метою створення безпечних умов праці на фасувальному автоматі повинні бути передбачені наступні способи й засоби, що забезпечують безпечне ведення робіт:

- всі частини, механізмів що рухаються, повинні бути закриті захисними кожухами й огороженнями, що забезпечують надійний захист від можливих механічних ушкоджень й ударів;

- у процесі роботи стежити за справністю кінцевих перемикачів (кулачків переключення), що обмежують робочі рухи;

Для створення безпечних умов праці на автоматі повинні бути передбачені наступні захисні пристрої:

- від поразки електричним струмом передбачене заземлення всіх вузлів, які можуть виявитися під напругою й захист всіх струмоведучих каналів ізоляційними матеріалами й кожухами;

- установка сигнальної лампи для світлової сигналізації.

Захист від поразки струмом електроустаткування. Основними заходами захисту від поразки струмом є: забезпечення неприступності струмоведучих частин, що перебувають під напругою, для випадкового дотику; електричний поділ мережі; усунення небезпеки поразки з появою напруги на корпусах, кожухах і інших частинах електроустаткування, що досягається застосуванням малих напруг, використанням подвійної ізоляції, вирівнюванням потенціалу, захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням та ін.; застосування спеціальних електрозахисних засобів - переносних приладів і пристосувань; організація безпечної експлуатації електроустановок [14].

Все обладнання, що споживає електроенергію, повинне бути заземлене відповідно до «Правил устрою електроустановок».

Захист від дії електромагнітного випромінювання. Вибір того чи іншого способу захисту від дії електромагнітних випромінювань залежить від робочого

діапазону частот, характеру виконуваних робіт, напруженості та щільності потоку енергії ЕМП, необхідного ступеня захисту.

До числа заходів зменшення впливу на працівників ЕМП належать: організаційні, інженерно-технічні та лікарсько-профілактичні.

Рівні ЕМП необхідно контролювати не рідше 1 разу на рік. Якщо вводиться в дію новий об'єкт або здійснюється реконструкція старих об'єктів, то заміри рівня електромагнітних випромінювань проводяться перед введенням їх в експлуатацію.

Захист людини від шуму можна забезпечити, як колективними засобами та методами, так і індивідуальними. Колективні засоби захисту діляться на засоби, що знижують шум в його джерелі, та засоби, що знижують шум на шляху його розповсюдження від джерела до об'єкту, який захищають.

Методи зниження шуму: зниження шуму в джерелі його виникнення; звукоізоляція; екранування; будівельно-акустичні заходи.

Зниження шуму в джерелі виникнення досягається за рахунок зміни конструкції або принципу дії автомата.

При акустичній обробці приміщення шум знижується внаслідок зниження інтенсивності відбитих хвиль. Ефективність звукопоглинаючого облицювання залежить від акустичних параметрів вибраних матеріалів, способу їх розташування джерел шуму. Санітарні норми виробничого шуму встановлює ДСН 3.3.6.037-99.

Виходячи з гігієнічних нормативів, витікає, що знижувати потрібно не будь-яку віброакустичну активність обладнання, а тільки ту, яка шкідливо впливає на людський організм, тобто за рівнем, вищим за гранично допустимий норматив.

Захист від вібрації. Причиною низькочастотних вібрацій, як правило, є дисбаланс роторів, що виникає внаслідок нерівномірності густини матеріалу машин, неправильного вибору допусків і посадок, урізнення коефіцієнтів об'ємного розширення або зносостійкості окремих елементів машин. Параметри вібрації на робочих місцях повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.012-90 та Державних санітарних норм виробничої загальної та локальної вібрації - ДСН 3.3.6.039-99.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра досліджена система керування автоматизованого електропривода автомата для фасування та пакування.

Результати даної кваліфікаційної роботи бакалавра:

- в роботі розглянутий ввтомат для дозування і упаковки плавленого сиру моделі M6-ARU;
- проведене обґрунтування вибору асинхронного електродвигуна серії АИР132М6У3 потужністю 7,5 кВт;
- проведений аналіз існуючих систем керування АД, на основі якого для даного електродвигуна вибраний комплектний електропривод серії OMRON Varispeed F7 з частотно-струмовим керуванням;
- на основі функціональної схеми обранного електропривода та проведених розрахунків всіх його елементів була складена структурна схема;
- на основі математичного опису та розрахунків елементів системи складена розрахункова динамічна модель системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей;
- в результаті розрахунків були отримані такі параметри настроювання регуляторів, які забезпечили необхідні динамічні властивості системи;
- аналіз показників якості перехідного процесу показав, що перегулювання $\sigma_{\max} = 27,6 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,65$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка $\varepsilon = 0 \%$. Такі показники якості задовольняють вимогам до систем керування електроприводів розглянутого обладнання.

З графіку перехідного процесу по струму видно, що система працює задовільно, тобто максимальний пусковий струм не перевищує допустимий струм короткого замикання, який в десятки разів перевищує номінальний. Після подання навантаження на вал двигуна струм виходить на номінальний режим.

В роботі розглянуті питання охорони праці при роботі з електрообладнанням пакувального обладнання, наведені рекомендації для зменшення негативного впливу шкідливих факторів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Автомат для упаковки плавленого сиру М6-ARU промислової групи «ПРОМФ». [Електронний ресурс] : Режим доступу: http://www.hakur.ru/doc/inverter/f7_man_ru.pdf<https://promf.com/ua/2013-01-11-21-23-51/reactors-ru/232-catalog-equipments-ua/food-equipment-ua/dairy-equipment-ua/dairy-packing-ua/1484-avtomat-dlia-upakovky-plavlenoho-syru-aru-18102902.html>
2. Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором серии АИР. Каталог общепромышленных двигателей. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://elmo.ua/wp-content/uploads/2018/07/tehopisanie-air-ru.pdf> . Назва з екрана.
3. **Бахо́вець Б. О.** Автоматизований електропривод. Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2010. – 238 с.
4. **Видмиш А. А.** Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
5. **Гераїмчук М. Д.** Моделювання систем у середовищі MATLAB-SIMULINK: Комп'ютерний практикум / М.Д. Гераїмчук, Ю.Ф. Лазарєв, Т.О. Толочко. – К.:, 2006. – 175с.
6. **Грабко В.В.** Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини. Навчальний посібник. / В.В. Грабко, М.П. Розводюк, С.М. Левицький, М.О. Казак – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 197 с.
7. **Жидецький В. Ц.** Основи охорони праці [Текст] : підручник / В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников — Вид. 2-е, стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.
8. **Казачковський М. М.** Комплектні електроприводи: Навч.посібник/ М. М. Казачковський. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. 226 с.
9. **Коваленко І. В.** Пакувальне обладнання. Конспект лекцій: Навч. посіб. з курсу для студ. спец. 7.090223 – «Машини і технології пакування» / І. В. Коваленко. – К.: 2014. – с.: іл. бібліогр.: с /.

10. Маркетинговий аналіз кон'юнктури ринку асинхронних електродвигунів та перспективи підвищення їх енергоефективності / **Т.О. Кобєлева** // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2012. - № 3. - С. 22-33. - [Електронний ресурс] : Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecee_2012_3_6.

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

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

13. **Електропривод OMRON Varispeed F7.** Інструкція з експлуатації.

14. **ДНАОП 0.00-1.32-01** Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.

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

16. **Теорія автоматичного керування** : навчальний посібник / П. В. Леонтьєв та ін. ; за заг. ред. П. В. Леонтьєва. – Суми : Сумський державний університет, 2024. – 296 с.

17.

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Черешнєв Руслан Юрійович

Кваліфікаційна робота магістра на тему:

"Модернізація системи керування електропривода автомата для
фасування та пакування"

Керівник роботи – Васильєв О.Г.

Слайд 1 мультимедійної презентації

АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

Актуальність теми.

У сучасній економіці якісний готовий продукт – це не лише його вміст, а й товарний зовнішній вигляд.

Упаковка захищає товар від зовнішніх впливів, продовжує його термін зберігання, зберігає товарний вигляд і забезпечує зручність транспортування.

Ключову роль у цьому відіграє фасувальне та пакувальне обладнання для пакування продуктів.

Потреба сучасних технологій і зростаючий рівень конкуренції серед виробників викликає необхідність вдосконалення машин цього виду.

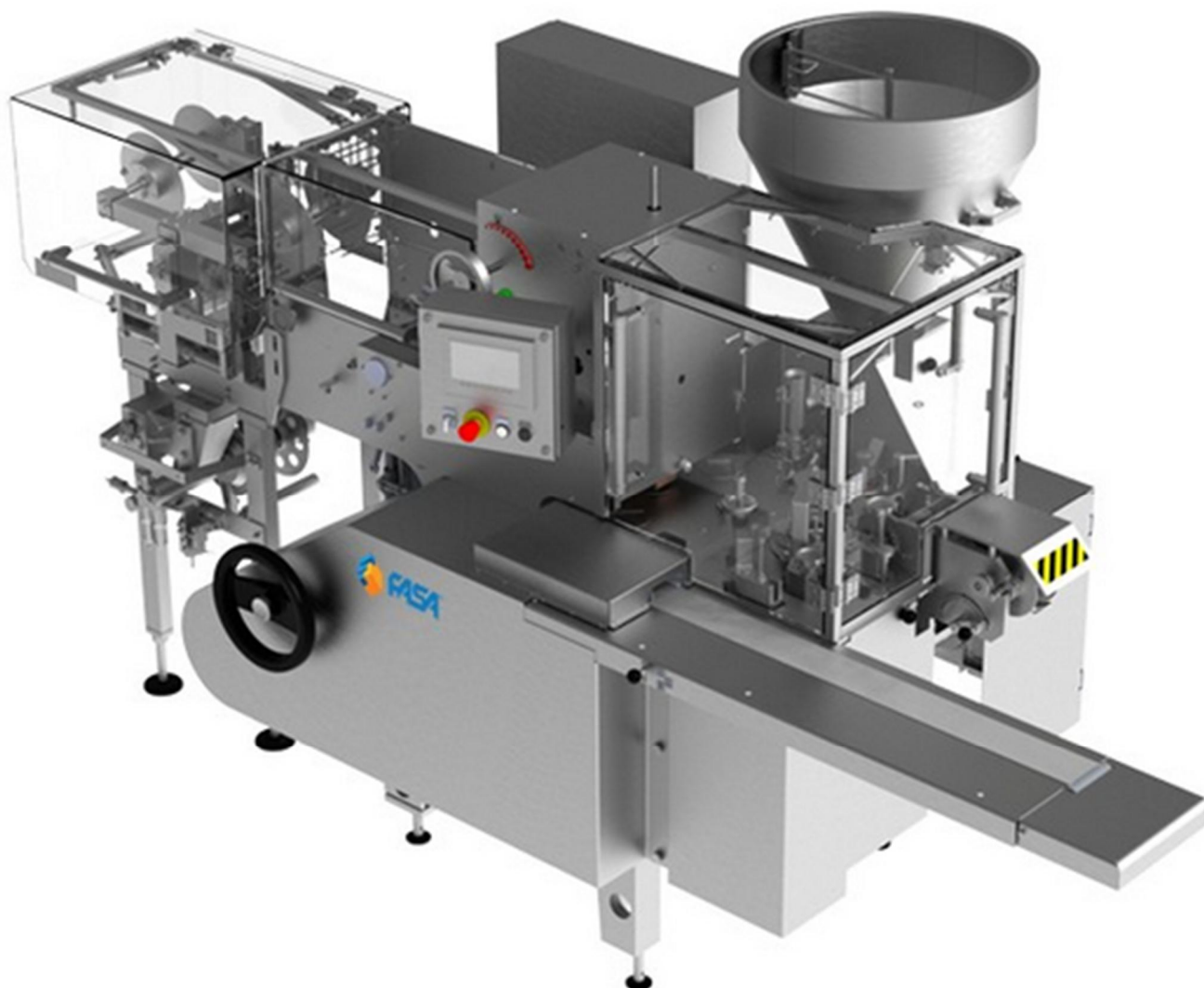
Автоматизація фасувально-пакувального процесу значно підвищує продуктивність виробництва, скорочує промислові витрати, тому модернізація електропривода пакувальної машини актуальною темою.

Мета роботи – Метою даної кваліфікаційної роботи бакалавра є модернізація системи керування автомата для фасування та пакування за рахунок удосконалення системи керування автоматизованого електропривода.

Задачі:

- скласти математичні моделі і досліджувати фізичні процеси, що відбуваються в об'єкті, на базі сучасних комп'ютерних програм і методів розрахунку;
- провести теоретичне і комп'ютерне дослідження значень динамічних властивостей системи керування;
- проаналізувати результати моделювання й обґрунтувати правильність вибору системи керування для розглянутого обладнання.

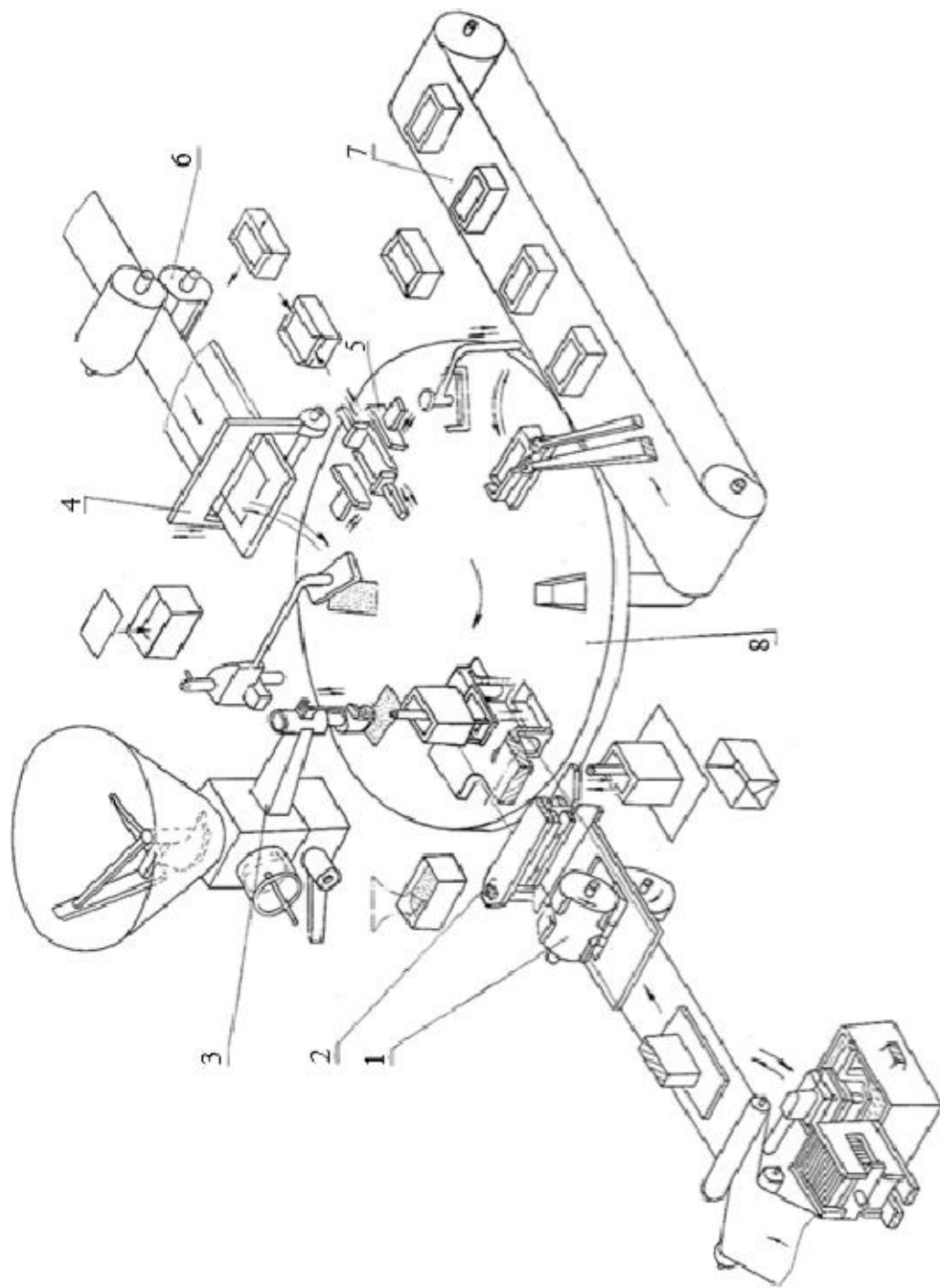
АВТОМАТ ДЛЯ ДОЗУВАННЯ І УПАКОВКИ ПЛАВЛЕНОГО СИРУ МОДЕЛІ M6-ARU



Загальний вид автомата для дозування і упаковки плавленого сиру в алюмінієву фольгу, із смужкою або без неї продуктивністю до 55 брикетів за хвилину та наклейкою на них паперової етикетки

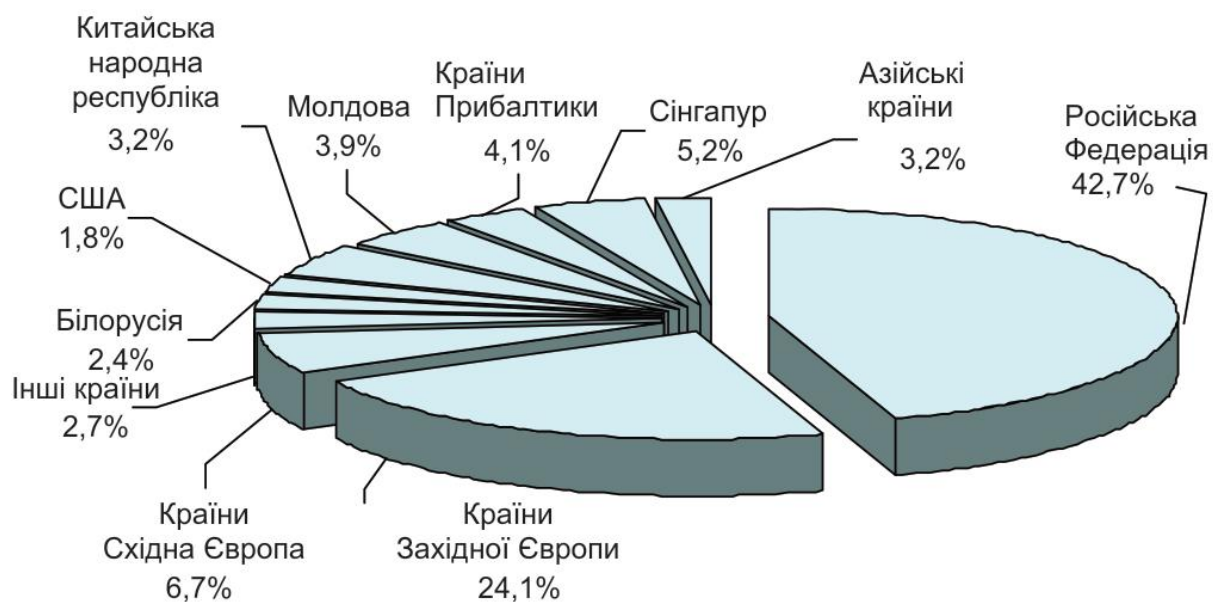
Слайд 3 мультимедійної презентації

КОНСТРУКТИВНІ СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ АВТОМАТА ФАСУВАННЯ ТА ПАКУВАННЯ

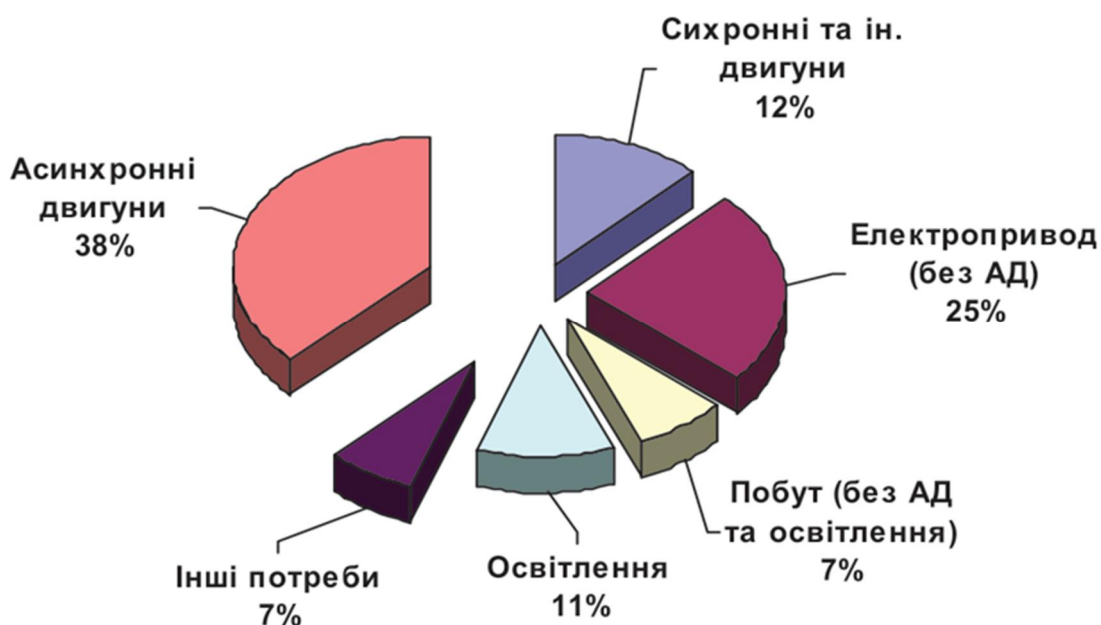


Слайд 4 мультимедійної презентації

АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА СПОЖИВЧОГО ПОПИТУ НА АСИНХРОННІ ЕЛЕКТРОДВИГУНИ

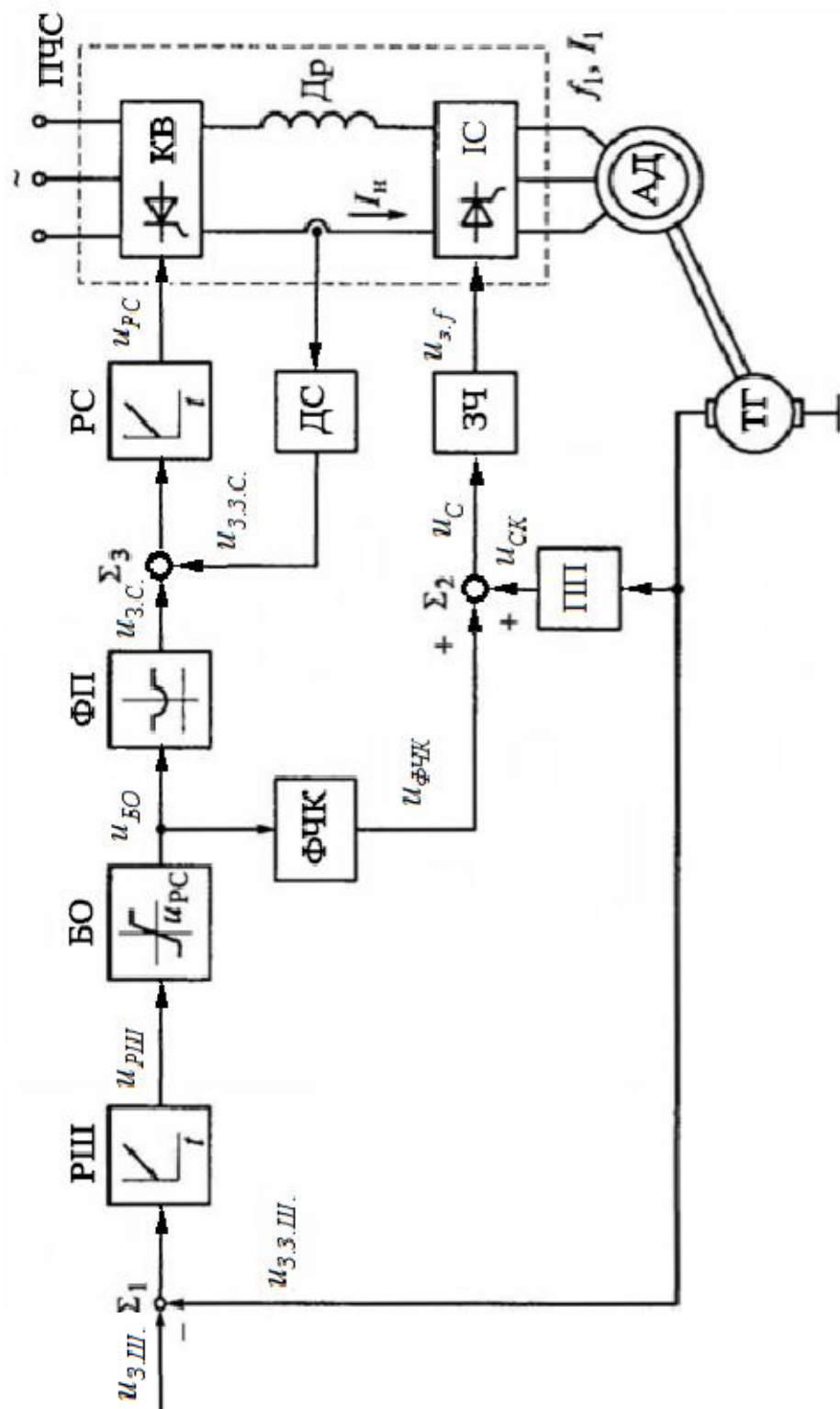


Структура імпорту українських електродвигунів

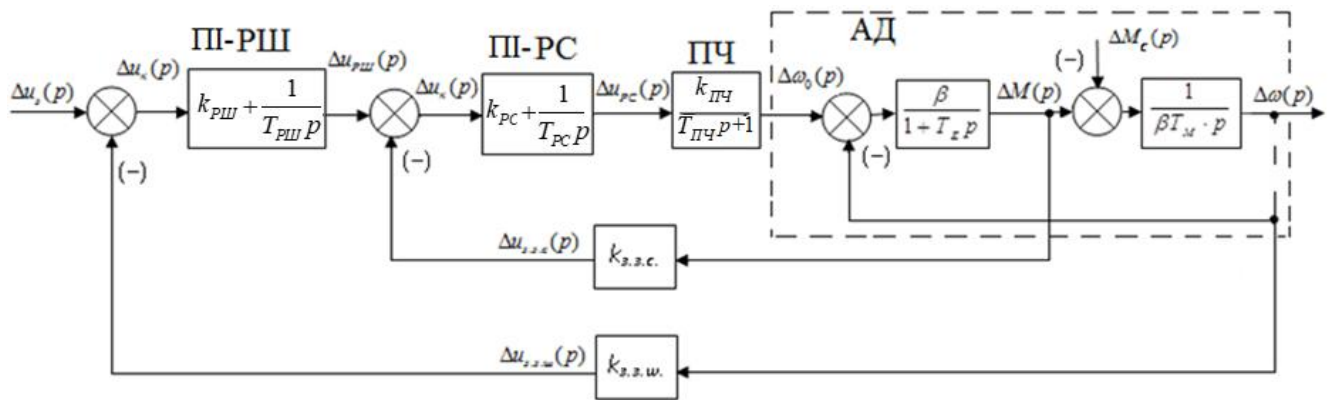


Структура споживання електричної енергії в Україні

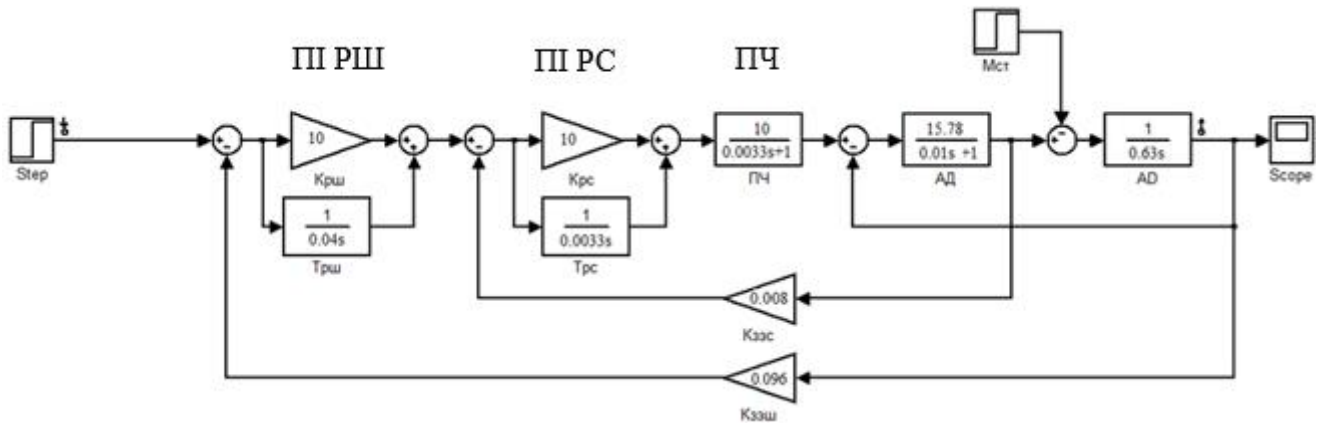
ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ЗАМКНУТОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПЧ-АД ІЗ ЧАСТОТНО-СТРУМОВИМ КЕРУВАННЯМ



СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

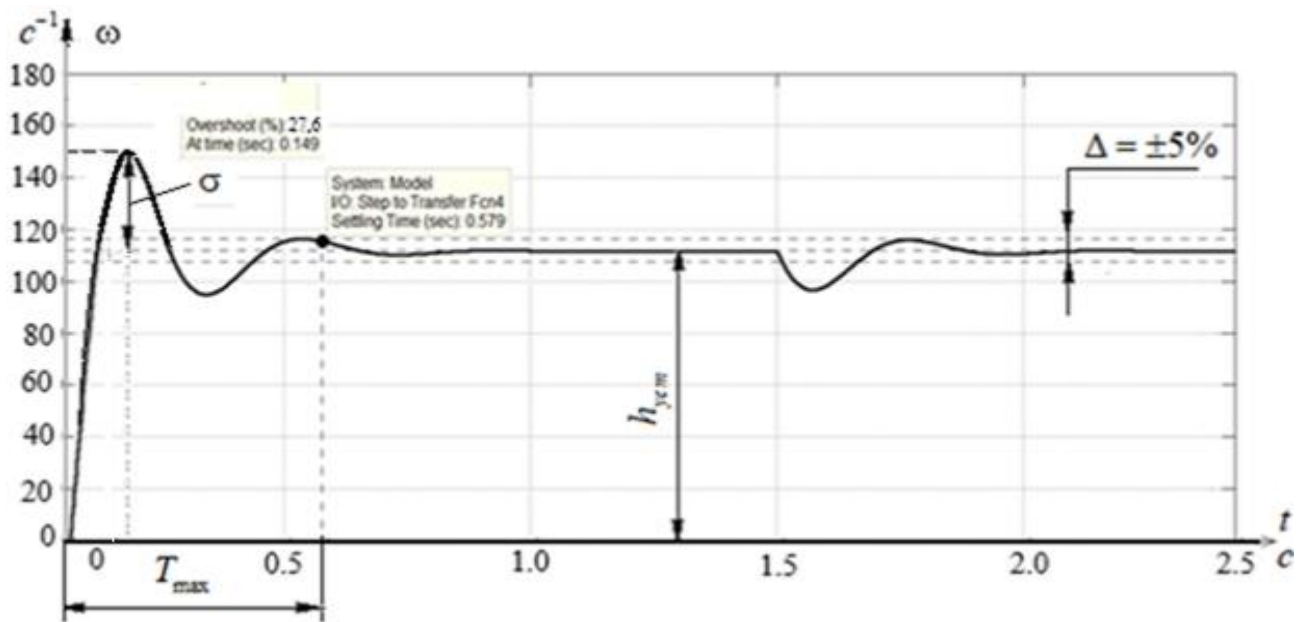


Структурна схема системи керування електропривода

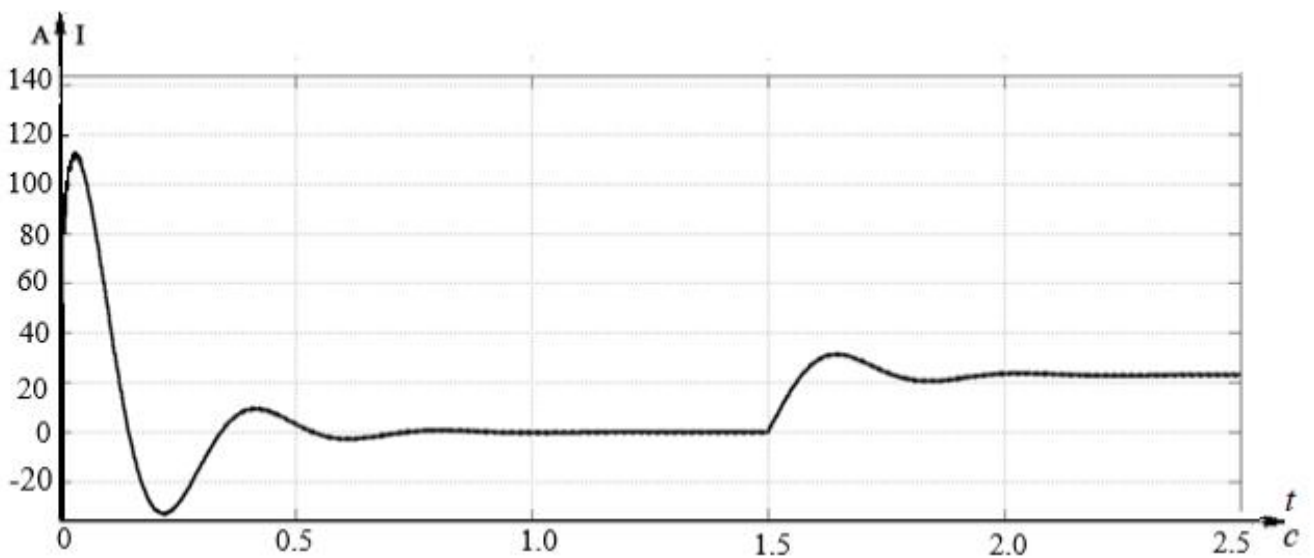


Розрахункова динамічна модель системи керування

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



Перехідний процес по швидкості



Перехідний процес по струму

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра досліджена система керування автоматизованого електропривода автомата для фасування та пакування.

Результати даної кваліфікаційної роботи бакалавра:

- в роботі розглянутий ввтомат для дозування і упаковки плавленого сиру моделі M6-ARU;
- проведене обґрунтування вибору асинхронного електродвигуна серії АИР132М6У3 потужністю 7,5 кВт;
- проведений аналіз існуючих систем керування АД, на основі якого для даного електродвигуна вибраний комплектний електропривод серії OMRON Varispeed F7 з частотно-струмовим керуванням;
- на основі функціональної схеми обраного електропривода та проведених розрахунків всіх його елементів була складена структурна схема;
- на основі математичного опису та розрахунків елементів системи складена розрахункова динамічна модель системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей;
- в результаті розрахунків були отримані такі параметри настроювання регуляторів, які забезпечили необхідні динамічні властивості системи;
- аналіз показників якості перехідного процесу показав, що перегулювання $\sigma_{\max}$ менше 30 %, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,65$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка $\varepsilon = 0$ %. Такі показники якості задовольняють вимогам до систем керування електроприводів розглянутого обладнання.

З графіку перехідного процесу по струму видно, що система працює задовільно, тобто максимальний пусковий струм не перевищує допустимий струм короткого замикання. Після подання навантаження на вал двигуна струм виходить на номінальний режим.

В роботі розглянуті питання охорони праці при роботі з електрообладнанням пакувального обладнання, наведені рекомендації для зменшення негативного впливу шкідливих факторів.

Слайд 9 мультимедійної презентації