

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

Факультет електроенерготехніки та автоматики

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ **Сергій ПЕРЕСАДА**

(підпис)

“ ____ ” _____ 2021 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Електромеханічні системи автоматизації,
електропривод та електромобільність»**

спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва)

на тему: Автоматизований електропривод пластинчатого конвеєра

Виконав (-ла): студент (-ка) III курсу, групи ЕП-п81

(шифр групи)

_____ **Шидловський Артем Борисович** _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник _____ **доцент Теряєв Віталій Іванович** _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по-батькові)

Консультант _____

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Рецензент _____ **доцент Цивінський Сергій Станіславович** _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

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



Студент (-ка) _____

(підпис)

Київ – 2021 р.

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

[illegible]

					141.8120.016.БР						
Змн	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Автоматизований електропривод пластинчатого конвеєра Відомість проекту	Лім		Лист		Листів	
Розроб.	Шидловський А.Б.							2		76	
Перевір	Теряєв В.І.										
Н. контр.											
Зав.каф.	Пересада С.М.										
										НТУУ «КПІ ім. І Сікорського», ФЕА Кафедра АЕМС-ЕП Гр.ЕП-п81	

Пояснювальна записка до дипломного проєкту

на тему: _____ Автоматизований електропривод пластинчатого конвеєра _____

Київ – 2021 р.

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

Факультет електроенерготехніки та автоматики

(повна назва)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій ПЕРЕСАДА

(підпис)

«___» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Шидловському Артему Борисовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту Автоматизований електропривод пластинчатого конвеєра,
керівник проєкту ктн. доцент Теряєв Віталій Іванович _____ ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «___» _____ 2021 р. № _____

2. Термін подання студентом проєкту _____ 9 червня 2021 року _____

3. Вихідні дані до проєкту: розрахункова продуктивність конвеєра $Q=8\text{т/год}$; номінальна щільність матеріалу 1000 кг/м^3 ; матеріал, що транспортується - склотара; кут нахилу конвеєра: 0° ; діапазон регулювання швидкості 100.

4. Зміст пояснювальної записки 1 Аналітичний огляд в області автоматизованого електроприводу систем неперервного транспорту. 2 Визначення потрібної потужності електродвигуна конвеєра. 3 Вибір електродвигуна та силового обладнання. Розробка силової схеми та розрахунок перетворювального пристрою. 4 Математична модель електромеханічного об'єкта. 5 Синтез (проекування) системи керування. 6

Дослідження статичних та динамічних режимів електромеханічної системи. 7 Спецчастина. Автоматизація технологічного процесу. 8 Розробка схеми керування

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 1. Загальний вид установки 2. Схема електрична принципова силова, 3. Результати моделювання

6. Консультанти розділів проєкту

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

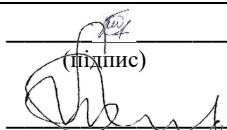
7. Дата видачі завдання 15.03.2021 р.

Календарний план

Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Обсяг, с	Термін виконання
1. Аналітичний огляд в області автоматизованого електроприводу систем неперервного транспорту 1.1. Галузі використання та типові технічні рішення конвеєрних установок (з ілюстраціями) 1.2. Опис конкретного технологічного процесу, промислової установки та системи електроприводу (з ілюстраціями) 1.3. Формулювання вимог до електроприводу, систем автоматичного керування та автоматизації	15	29.03.21
2. Визначення потрібної потужності електродвигуна конвеєра 2.1. Розрахунок тягового зусилля та швидкості електродвигуна 2.2. Обґрунтування вибору потужності електродвигуна	10	12.04.21
3. Вибір електродвигуна та силового обладнання. Розробка (опис) силової схеми перетворювального пристрою	10	26.04.21
4. Математична модель електромеханічного об'єкта. Розрахунок статичних та динамічних параметрів електроприводу	10	10.05.21
5. Синтез (проектування) системи керування 5.1. Обґрунтування принципу керування електроприводом 5.2. Структурно-параметричний синтез системи керування 5.3. Розрахунок параметрів регуляторів і зворотних зв'язків	5	17.05.21
6. Дослідження статичних та динамічних режимів електромеханічної системи (дослідження динаміки шляхом моделювання). Аналіз результатів.	10	24.05.21
7. Спецчастина. Автоматизація технологічного процесу	5	31.05.21
8. Розробка (опис) схеми керування	5	31.05.21
Оформлення пояснювальної записки та графічної частини. Підготовка презентації		05.06.21

Студент

Керівник проєкту


(підпис)

Артем ШИДЛОВСЬКИЙ

Віталій ТЕРЯЄВ

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт містить: сторінок – 76, рисунків - 33, таблиць – 4, графічну частину на 3 листках А1.

В даному дипломному проєкті було виконано автоматизацію електроприводу пластинчастого конвеєру. Проведено огляд в області автоматизованого електроприводу систем неперервного транспорту. Описаний конкретний технологічний процес із застосуванням пластинчастого конвеєра.



Розраховані тягові зусилля та швидкості конвеєра, обґрунтований та обраний електродвигун, перетворювач частоти та відповідна апаратура.

Розраховані параметри схеми заміщення та системи керування

Виконано дослідження динамічних характеристик електроприводу в програмному середовищі MATLAB.

Розроблена система автоматизації технологічного процесу.

ПЛАСТИНЧАТИЙ КОНВЕЄР, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, СХЕМА
ЗАМІЩЕННЯ, РЕГУЛЯТОР ШВИДКОСТІ, ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ,
ЕЛЕКТРОПРИВОД, СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ, МОДЕЛЮВАННЯ

					141.8120.016.БР				
Змн	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Автоматизований електропривод пластинчатого конвеєра Реферат	Лім	Лист	Листів	
Розроб.	Шидловський А.Б.							6	76
Перевір	Теряєв В.І								
Н. контр.						НТУУ «КПІ ім. І Сікорського», ФЕА			
Зав.каф.	Пересада С.М					Кафедра АЕМС-ЕП Гр.ЕП-п81			

SUMMARY

The diploma project contains: pages - 76, figures - 33, tables - 4, graphic part on 3 sheets A1.

In this diploma project the automation of the electric drive of the plate conveyor was performed. The inspection in the field of the automated electric drive of systems of continuous transport is carried out. A specific technological process with the use of a plate conveyor is described.


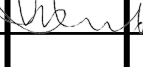
Calculated traction forces and conveyor speeds, justified and selected electric motor, frequency converter and appropriate equipment.

The parameters of the substitution scheme and control system are calculated

A study of the dynamic characteristics of the electric drive in the software environment MATLAB.

The system of automation of technological process is developed.

PLATE CONVEYOR, ASYNCHRONOUS MOTOR, SUBSTITUTION SCHEME, SPEED REGULATOR, VECTOR CONTROL, ELECTRIC DRIVE, SYSTEM SYSTEM

					141.8120.016.BW			
	Latter	№ of doc.	Sign.	Date	Automated electric drive of the plate conveyor Summary	L.	Page.	Pages.
Devel.	A. Shydlovskiy						7	76
Checked	V. Teryaev							
N. Contr.	B. Priymak					NTUU «KPI», FEA Department AEMS-ED gr. EP-p81		
Approved.	S. Peresada							

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1.АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД В ОБЛАСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СИСТЕМ НЕПЕРЕРВНОГО ТРАНСПОРТУ	11
1.1.Галузі використання та типові технічні рішення конвеєрних установок.	11
1.2. Опис технологічної установки та системи електроприводу	19
1.3.Формулювання вимог до електроприводу, систем автоматичного керування та автоматизації.....	25
2.ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРІБНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА КОНВЕЄРА.....	27
2.1. Розрахунок тягового зусилля та швидкості електродвигуна.....	27
3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОДВИГУНА.....	34
3.1 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення.....	35
3.2 Вибір перетворювача частоти	40
3.3 Вибір автоматичного вимикача	40
3.4 Розробка силової схеми асинхронного електроприводу.....	41
3.4.1 Розрахунок випрямляча	42
3.4.2 Розрахунок некерованого випрямляча	43
3.4.3 Розрахунок автономного інвертора напруги.....	44
3.4.4 Розрахунок зарядного кола для заряду конденсаторів фільтру	45
3.4.5 Розрахунок резистора і ключа клампера	46
3.4.6 Розрахунок варистора та вхідного фільтру радіочастот	47
3.4.7 Вибір датчиків струму та напруги.....	49
4 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ КОНВЕЄРА.....	51

5 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПЕРЕВІРКИ ТА ВІДБРАКОВУВАННЯ ДЕФЕКТНОЇ СКЛОТАРИ.....	56
6. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ.....	60
6.1 Дослідження динамічних характеристик при роботі на номінальній швидкості	60
6.2 Динамічні характеристики АД при роботі на нульовій швидкості	63
6.3 Дослідження системи непрямого векторного керування при варіації опору (150%)	66
ВИСНОВКИ.....	70
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	71

ВСТУП

Ефективність виробництва, технічний прогрес, якість продукції, що випускається залежать від випереджаючого розвитку виробництва та застосування нового обладнання, машин, верстатів і апаратів, від проведення техніко-економічного аналізу. Вироби машинобудування використовуються в усіх галузях а саме: транспорту, промисловості, сільського господарства та інших сферах діяльності людини.

Одним з основних факторів успішного створення машин є досконалість технології їх виготовлення. Конструювання і розробка технології - це два взаємопов'язаних, взаємно доповнюючих і стимулюючих один одного процесу, що забезпечують розвиток і вдосконалення техніки.

У широкому сенсі – це комплекс, що об'єднує в собі конвеєри та допоміжне обладнання (наприклад, живильники, бункери, і ін.), технічні засоби керування, що організують роботу, також ремонт і технічне обслуговування. Доцільно застосування конвеєрного транспорту в технологічних комплексах шахт і кар'єрів, на дробильно-збагачувальних і агломераційних фабриках, сільгосп підприємствах і ін., а також при переміщенні вантажів на значну відстань до місць споживання.

Метою даного дипломного проекту є розробка автоматизованого електроприводу пластинчастого конвеєра для транспортування склотари по цеху виробництва.

1.АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД В ОБЛАСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СИСТЕМ НЕПЕРЕРВНОГО ТРАНСПОРТУ

1.1.Галузі використання та типові технічні рішення конвеєрних установок

Конвеєри - спеціалізоване обладнання, що використовується для переміщення штучних, кускових або сипучих вантажів. Вони дозволяють автоматизувати різні виробничі процеси і домогтися їх максимальної ефективності. Транспортери можуть працювати не тільки в якості самостійних одиниць для переміщення вантажів, а й у складі автоматизованих ліній з випуску складних вузлів і деталей.

При виборі оптимального виду конвеєра, що забезпечує максимальний економічний і технічний ефект, необхідно враховувати ряд факторів:

- особливості вантажів, що транспортуються;
- необхідну продуктивність;
- розташування зон навантаження і розвантаження, відстань між ними;
- потрібну ступінь автоматизації виробничого процесу;
- особливості зберігання вантажу в пункті завантаження.

Дуже часто в будівництві, сільському господарстві та промисловості виникає необхідність швидкого переміщення великих кількостей сипучих або одиночних вантажів. У більшості випадків для цього доцільно використовувати спеціальні транспортні системи, засновані на принципі безперервного дії - стрічкові конвеєри.

Конструкція конвеєра включає кілька елементів:

- стрічку;
- натяжний і приводний барабани;
- ролики опор;
- двигун.

Еластична стрічка натягується на барабани, які, в свою чергу, приводяться в дію двигуном. Така схема дозволяє забезпечити безперервне переміщення вантажів

з одного місця в інше. Конструкція подібного виду оптимально підходить для доставки сипучих і кускових матеріалів. Крім того, обладнання часто використовують, якщо необхідно транспортувати штучні об'єкти для подальшої фасування.

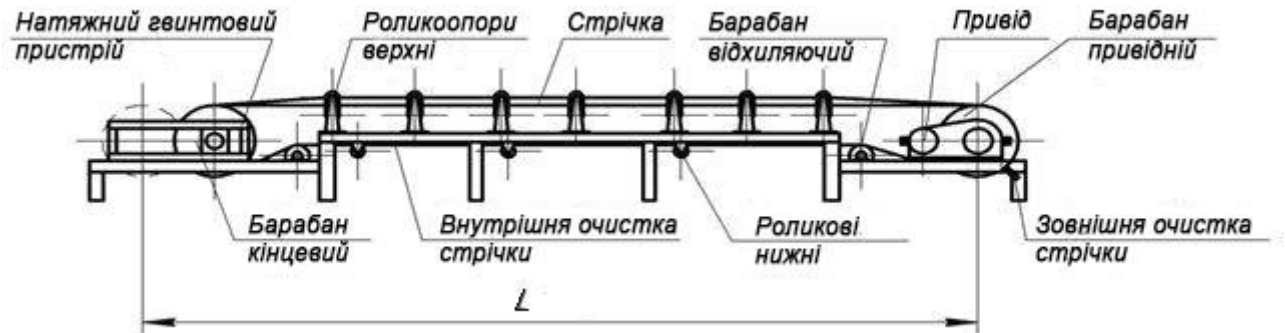


Рисунок 1.1 – Конструкція конвеєра

Подібні пристрої можна зустріти практично в будь-якій галузі: харчової, деревообробної та гірничодобувної промисловості, на підприємствах по виготовленню будівельних сумішей, кормів для худоби, збірці автотранспорту, металургійних заводах, в судноремонтних цехах і ін. Конвеєрні транспортери можуть істотно відрізнятися один від одного в залежності від вимог, конструкції і особливостей конкретної сфери діяльності. [1]

Стрічкові конвеєри мають різну швидкість руху, протяжність, ширину робочої поверхні. Також транспортери відрізняються кутом нахилу. Наприклад, на кондитерських підприємствах використовуються багатоступінчасті горизонтальні стрічки. У гірничодобувній промисловості часто застосовується конвеєр, розташований під кутом до 90 градусів. Для вертикального переміщення вантажів використовують стрічку із спеціальними гофробортами.

Всі конвеєри незалежно від сфери застосування витримують великі навантаження, а також відрізняються стійкістю до стирання. Стрічка виготовляється з якісних, максимально міцних матеріалів. При необхідності її легко помити і витерти. Крім того, якісні стрічки легко зняти без заміни інших

деталей обладнання. Це дозволяє спростити обслуговування і звести до мінімуму небезпеку тривалого простою обладнання.

Конвеєрні системи зі стрічкою активно використовуються в харчовій промисловості. Вони дозволяють підвищити ефективність виробництва і автоматизувати ряд процесів. Конвеєри знайшли широке застосування:

- в рибо-, м'ясо- та птицепереробці;
- хлібобулочної та кондитерської промисловості;
- овочевий і плодово-ягідної галузі;
- на лінії розливу;
- при складській транспортуванні.

У легкій промисловості, де основна мета виробництв - випуск предметів і товарів, які використовуються для масового споживання, конвеєри використовуються на початковій обробці сировини, а також для транспортування матеріалів і готової продукції. [2]

Легка промисловість об'єднує кілька галузей: швейну, текстильну, взуттєву, шкіряну, хутряну. Конвеєри дозволяють домогтися високої ефективності виробництва і значно підвищити його ККД.

Пластинчатий конвеєр представлений на рис. 1.2.

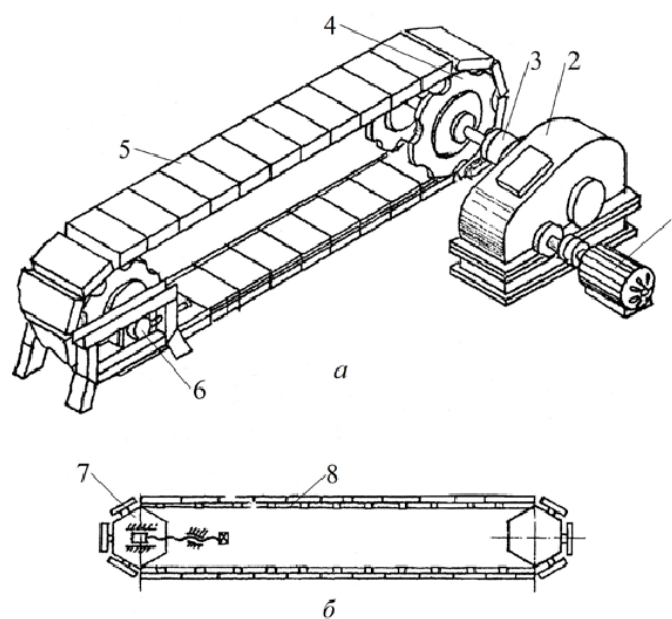


Рисунок 1.2 – Схема пластинчастого конвеєра

Сфери застосування, переміщуваний вантаж та транспортно технологічні функції пластинчастих конвеєрів наступні.

Машинобудування - гарячі поковки, відливки, штампувальні опоки, загострені відходи виробництва; потокові лінії зборки, охолодження, промивання, сушіння, сортування, термічної обробки.

Металургія – крупношматкова руда, гарячий агломерат.

Хімічні заводи і підприємства будівельних матеріалів (наприклад, вапняк).

Теплові електростанції - крупношматкове (неподрібнене) вугілля.

Гірничорудна і вугільна промисловість - крупношматкові, важкі гострі матеріали (руда, вугілля).

Лісова і деревообробна промисловість колод та пиломатеріалів.

В різних галузях промисловості і транспорту також здійснюється переміщення пасажирів по горизонтальних і похилих трасах.

Скребковий конвеєр представлений на рис. 1.3.

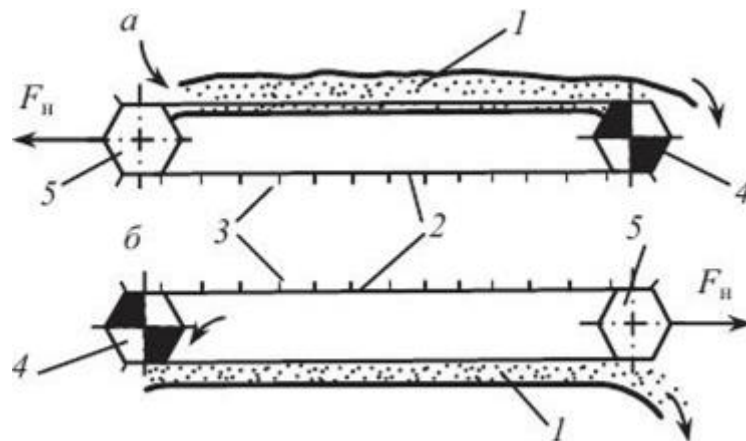


Рисунок 1.3 – Схема скребкового конвеєра

Сфери застосування, переміщуваний вантаж та транспортно технологічні функції скребкових конвеєрів.

Такий вид конвеєрів застосовується в машинобудуванні для переміщення стружки, металургії для транспортування коксу, подрібненої руди, бокситів, формувальної землі, пиловидної глини, піску, концентратів і відходів кольорових металів, хімічній для транспортування карбіду кальцію, вапна, коксових і вугільних

дрібниць, гранульованої сажі, кальцинованої соди, добрив, отрутохімікатів, харчовій – переміщення зерна, круп'яних культур, борошна, висівок, комбікормів та їх численних інгредієнтів, сільському господарстві і скотарстві, для транспортування кукурудзи в качанах, коренеплодів, силосу, бурякового жому, кормів і очищення ферм, залізничному і водному транспорті для завантаження та розвантаження зернових вантажів, добрив, дрібного вугілля, піску.

Стрічковий конвеєр представлений на рис. 1.4.

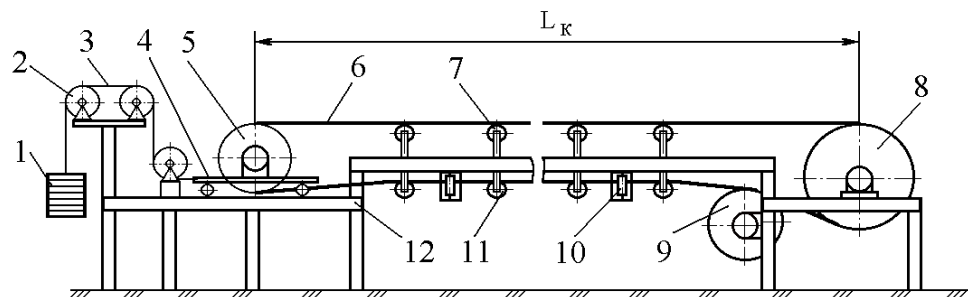


Рисунок 1.4 – Схема стрічкового конвеєра

Сфери застосування, переміщуваний вантаж та транспортно технологічні функції стрічкових конвеєрів.

Машинобудування, приладобудування, металургійна, хімічна та інші галузі промисловості, будівництво і різноманітні насипні і штучні вантажі

Відкриті гірничі виробки і шахти - копалини; будівельні матеріали і ґрунт при будівництві гребель; масові вантажі (руда, вугілля які знаходяться на відстані в десятки кілометрів); переміщення корисних копалин на збагачувальні підприємства; вантажно-розвантажувальні роботи з масовими вантажами; сировини на металургійних заводах і палива на теплових електростанціях і ін., об'єкти сільського господарства.

Ковшовий конвеєр (рис. 1.5).

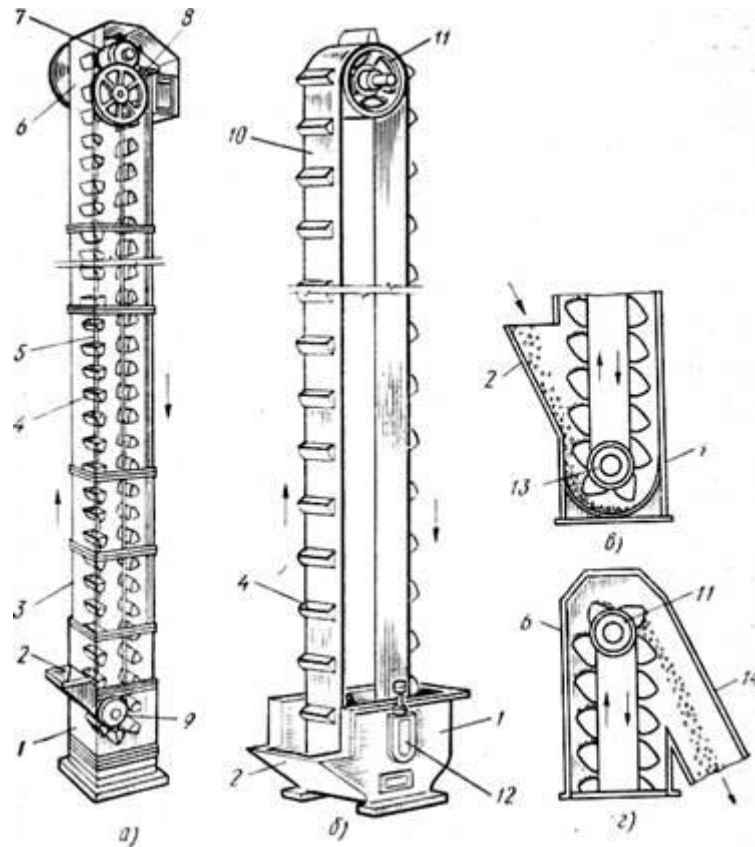


Рисунок 1.5 – Схема ковшового конвеєра

Сфери застосування ковшових конвеєрів та транспортно технологічні функції: хімічні добре сипучі сухі хімікати, енергетичне роздрібнене вугілля, будівельні матеріал, пісок, цемент, дрібний гравій, щебінь та ін.

Підвісний конвеєр (рис. 1.6).

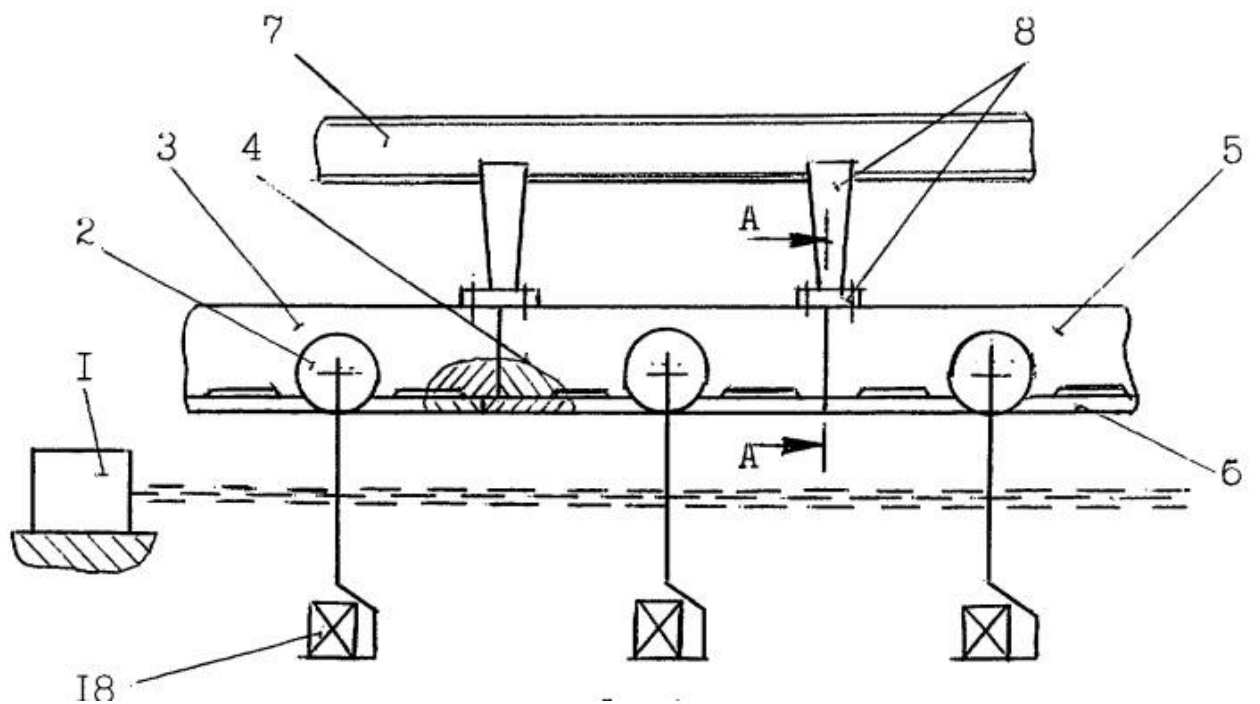


Рисунок 1.6 – Схема підвісного конвеєра

Сфери застосування, переміщувані вантажі та транспортно технологічні функції підвісних конвеєрів: машинобудування, хімічна, приладобудування, харчова, легка та інші галузі з масовим та багатосерійним виробництвом - легкі, середні та важкі штучні вантажі, які потребують переміщення на просторових трасах.

Автоматизовані склади технологічні лінії вантажно - розвантажувальних операцій пакгаузи.

Вантажоведучий конвеєр (рис. 1.7).

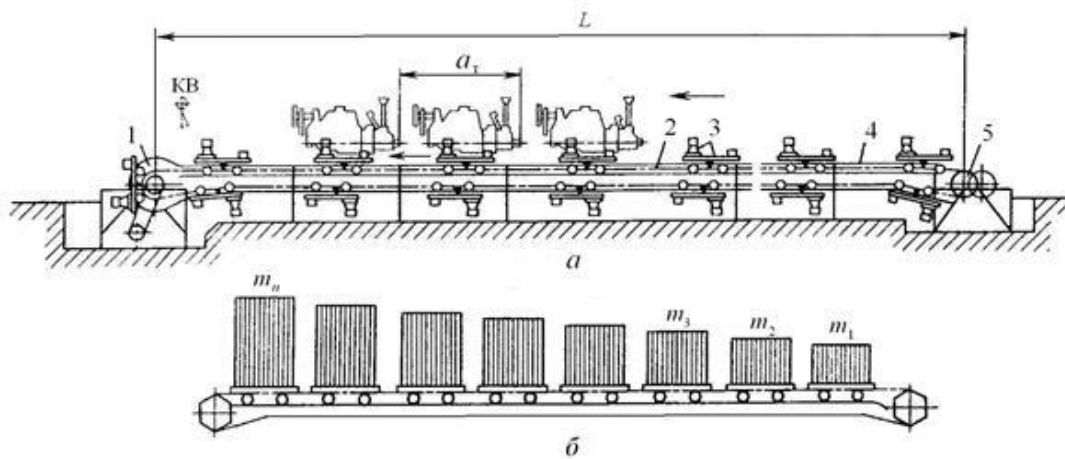


Рисунок 1.8 – Схема вантажоведучого конвеєра

Сфери застосування, переміщуваний вантаж та транспортно технологічні функції грузоведучих конвеєрів.

Застосований даний вид конвеєрів в машинобудівних галузях та при переміщенні інших важких вантажів, що пересуваються на колісному ході, роliках, по направляючих та на спеціальних візках.

Елеватор (рис.1.9).

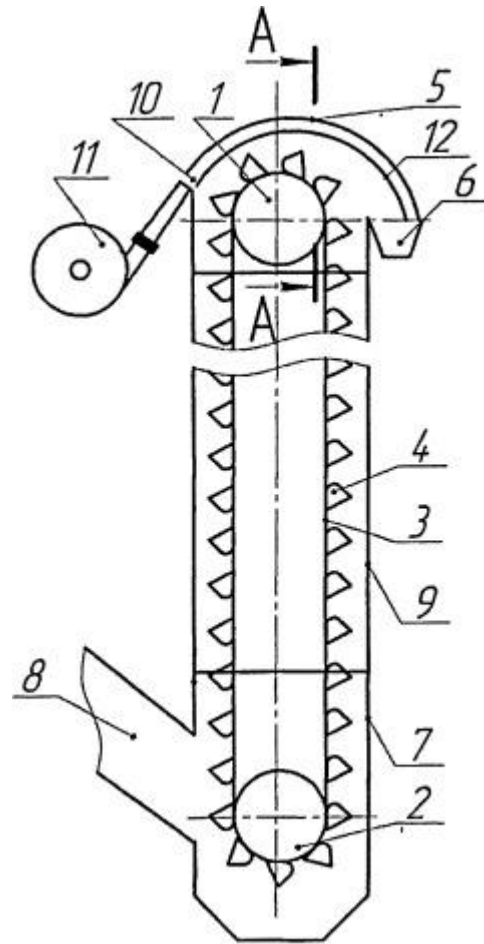


Рисунок 1.9 – Схема елеваторного конвеєра

Сфери застосування, переміщуваний вантаж та транспортно технологічні функції елеваторних конвеєрів: хімічна, харчова, металургійна, машинобудівна промисловість, будівельні матеріали, залізничний і водний транспорт, склади, магазини, розвантажувальні сортувальні роботи

Роликовий транспортер показаний на рис. 1.10.

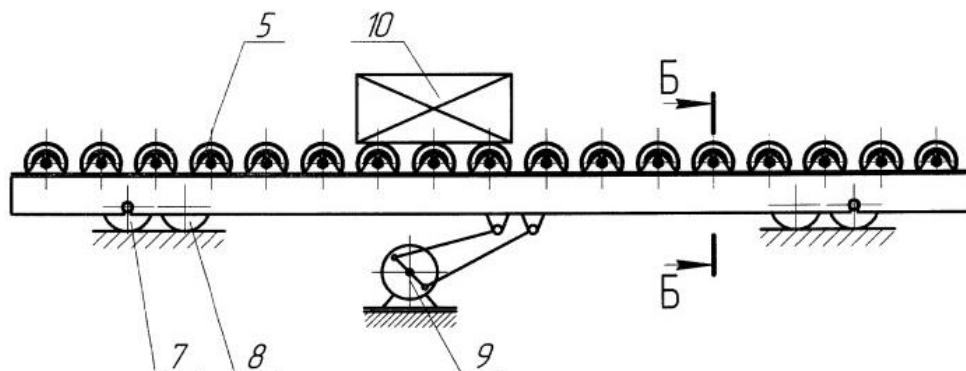


Рисунок 1.10 – Схема роликового конвеєра

Сфери застосування, переміщуваний вантаж та транспортно технологічні функції роликів конвеєрів.

Машинобудування, приладобудування, металургійна, деревообробна, харчова інші галузі промисловості, переміщення по горизонталі або під невеликим кутом штучних вантажів, що мають стійку опорну поверхню (поздовжній прокат, злитки, опоки, труби, колоди, дошки, піддони, ящики, контейнери і т.д.).

1.2. Опис технологічної установки та системи електроприводу

На сучасних підприємствах конвеєр (транспортер) пластинчастий призначений для горизонтального переміщення продукції (пляшок, банок, флаконів, каністр, пакетів або іншої тари) в закритих приміщеннях. Транспортер здійснює зв'язку різного устаткування ліній розливу або використовується при фасуванні продукції хімічної, харчової, медичної та інших виробництв. Тяговим елементом конвеєра є пластинчастий ланцюг.

Особливості конструктивного виконання пластинчастих конвеєрів. Можливо виготовлення конвеєра в 2,3,4 і більше рядів ланцюга. Конвеєр може складатися з прямих і поворотних ділянок. Використання регулювальних огорож за допомогою кронштейнів можливо як по ширині так і по висоті конвеєра. Опори конвеєра можуть бути або зварними з металу, або у виконанні "євростандарт" (пластикові триноги або двоногі).

Регулювання швидкості здійснюється за допомогою частотного перетворювача чи механічного варіатора.

Переваги даних конвеєрів - при складанні використовуються конвеєрні комплектуючі провідних європейських виробників Sistem Plast, Ave, Rexnord. Матеріал пластинчастих ланцюгів - пластик або нержавіюча сталь.

Стосовно до умов виробництва передбачається регулювання швидкості переміщення транспортної ланцюга в межах технічних даних. З цією метою в приводі конвеєра застосовується варіатор або частотний перетворювач. При установці варіатора здійснюється механічне регулювання передаточного числа

редуктора. Якщо використовується частотний перетворювач, то швидкість електродвигуна регулюється за рахунок варіацій частоти і напруги живлення.

Однорядний пластинчастий транспортер призначений для горизонтального переміщення пляшок, банок та іншої тари в лініях розливу рідких харчових продуктів, а також для з'єднання різного обладнання в єдину лінію.

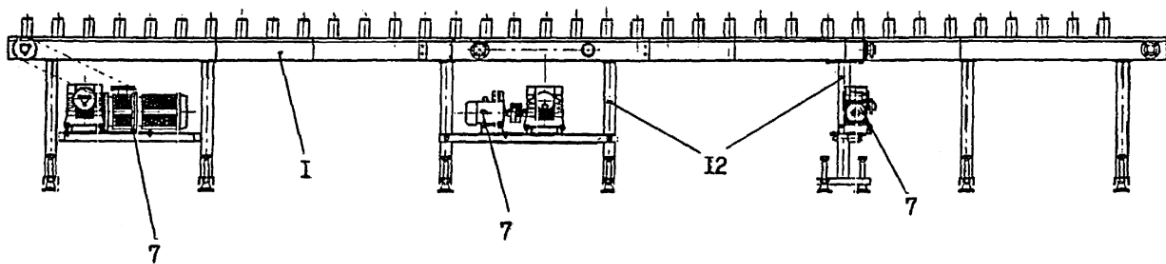


Рисунок 1.11 – Схема транспортера

Система є конвеєром подачі, в якому розподільник потоку виконаний у вигляді дугоподібної направляючої.

Конструкція секції включає в себе у верхній частині раму з гніздами, повздовжні балки з верхніми та нижніми полицями та стінками, які закріплені в рамних балках, що розміщені в жорстких роликоопорах для вантажонесучої і холостої вітки стрічки. Верхні та нижні опори виконані у вигляді рамок з поперечними пружними стійками, при цьому верхні рамки стягнуті між собою жорсткими роликоопорами

Нижні рамки холостої гілки виконані з можливістю деформації пружних стійок рамки і розташування їх нахилів в сторону жорстких роликоопорів.

Працює конвеєр для склотари наступним чином:

Нескінченний пластинчастий ланцюг 4 приводиться в дію за допомогою електродвигуна 7. Вантажна гілка 5 переміщує склотару від печі відпалу до місця контролю якості і їх упакування. При цьому, вантажна гілки 5 і холоста галузь 6 ковзають по фторопластовим підкладках 19, що знижує тертя і знос пластинчастого ланцюга 4

Фторопластові сегменти 18, які встановлені в місцях стикування прямолінійних та радіальних ділянок значно зменшують знос бічних пластин 15.

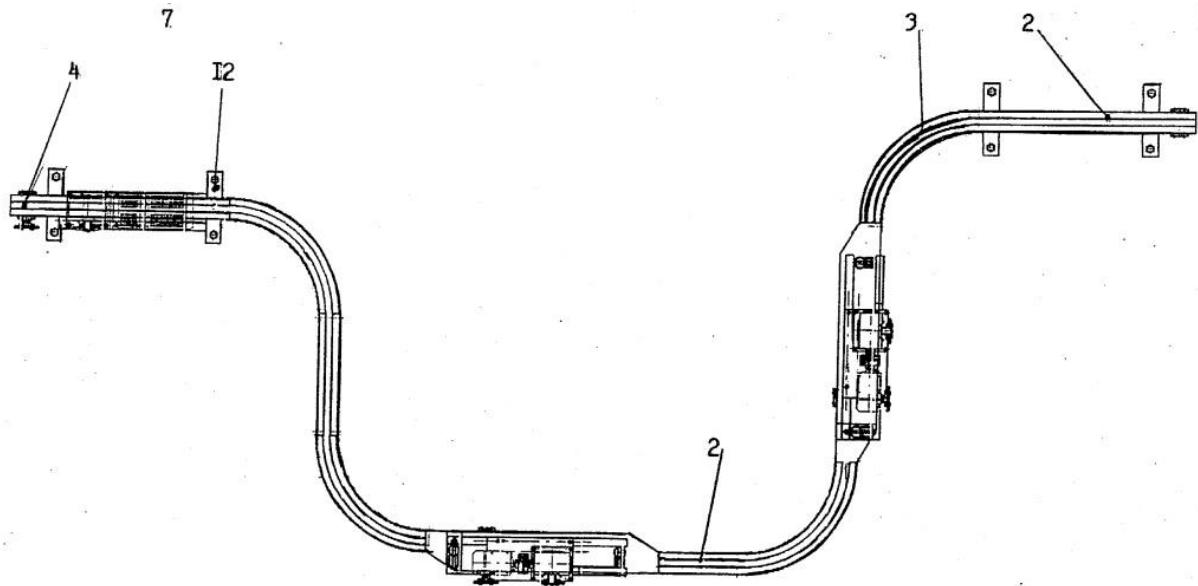


Рисунок 1.12 – Вид конвеєра зверху

1.3 Системи електроприводу конвеєрних установок

Системи електроприводу конвеєрних установок передбачають регулювання швидкості робочого органу.

Використання пристроїв плавного пуску і релейно-контакторних схем дозволяються забезпечити пусковий процес конвеєрів з нерегульованим приводом. Для того щоб реалізувати регулювання швидкості стрічки конвеєра у тривалому режимі або обмежити динамічні навантаження потрібно застосовувати регульований електропривод. В сучасних умовах найбільші перспективи мають частотно-регульовані електроприводи з асинхронними та синхронними двигунами. Частотно-регульований асинхронний привід виконується з перетворювачами частоти на напругу 0,4; 0,69; 1,19; 3,0 (3,3) 6,0 (6,3; 6,6) 10,0 кВ для двигунів відповідної напруги. Керування швидкістю стрічки та запобігання перевищення динамічних навантажень потребує діапазону регулювання швидкості мінімум 10:1.

Низьковольтні ПЧ напругою до 1.19 кВ виконуються з інвертором на базі IGBT транзисторів, та зачасту укомплектовані ПД-регулятором.

На рис. 1.13 показана схема низьковольтного частотно-регульованого асинхронного електроприводу з інвертором напруги. ПЧ будуються на основі напівпровідникових елементів: силових IGBT-модулях, які представляють собою драйвери керування, які конструктивно об'єднані з силовими ключами і мають вбудований інтерфейс з системою управління і елементи захисту.

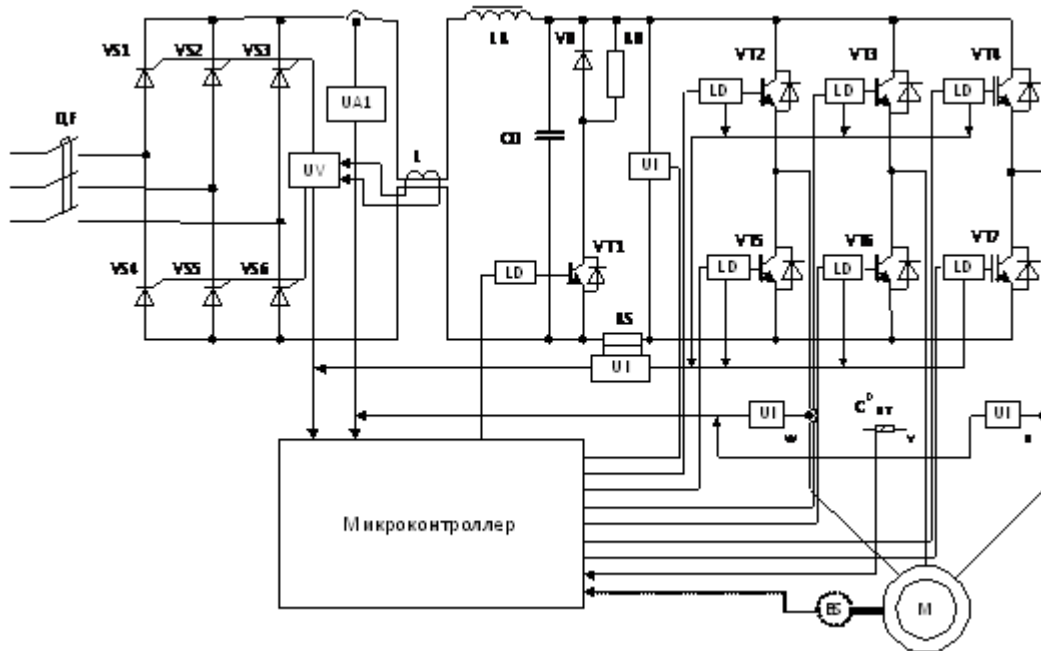


Рисунок 1.13. - Схема низьковольтного частотно-регульованого асинхронного електроприводу з автономним інвертором напруги

Мікроконтролерна система здійснює захист, управління та контролю. Система керування реалізує наступні основні функції:

- цифрове управління усіма елементами перетворювача, включно з управлінням силовими ключами за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ);
 - формує моделі двигуна;
 - програмне регулювання швидкістю або положенням;
 - програмне керування завданням технологічної змінної або швидкістю (частотою) у функції часу;
 - керування вхідним тиристорним ключем для плавного заряду конденсатору в ланці постійного струму;

- керування колом приймання енергії гальмування для розсіювання її на балансовому резисторі;
- визначення додаткових параметрів, завдяки наявності цифрових спостерігачів: витрати електроенергії, споживаної потужності, параметрів технологічних процесів;
- введення числа додаткових налаштувань технологічного процесу з застосуванням інтелектуальних датчиків з віддалених датчиків температури, тиску та інш.

Мікропроцесорна система контролю та захисту реалізує такі основні функції:

- управляє вбудованою системою захисту від зникнення напруги живлення драйверів і від коротких замикань;
- контроль перенапруги в колі постійного струму і струмів витоку;
- контроль перегріву двигуна і автономного інвертора;
- управляє захистом від перекосу фаз і обриву;
- управляє часово струмовим і максимально-струмового захистом.

Під час обґрунтування вибору захисту системи електроприводів конвеєрних систем потрібно брати до уваги, що найкраще застосування має електропривод змінного струму. На короткому конвеєрі малої потужності часто застосовують асинхронні двигуни з глибокопазовим короткозамкненим ротором або ротором, виконаним з подвійною білячою кліткою, які мають збільшений пусковий момент. Потужність таких двигунів не перевищує 100 – 200 кВт, бо якщо буде відбуватись падіння напруги в мережі, то відбудеться зменшення пускового моменту двигуна і це ускладнить запуск конвеєра, який знаходиться під навантаженням.

Недоліком релейно-контакторних пристроїв є те що, під час пуску виникають великі втрати електричної енергії, яка розсіюється через тепло на пускових резисторах.

На даний момент більш поширеними є пристрої плавного пуску, в деяких модифікаціях присутня також функція гальмування. Застосування таких пристроїв дозволяє: захистити двигун від механічних ударів виконавчого механізму, плавно

запустити двигун та обмежити пусковий струм та кутове прискорення, регулювати час гальмування і розгону. Пристрої плавного пуску застосовуються в вентиляторах, насосах, конвеєрах, компресорах, інерційних та важко навантажених механізмах.

Апарат плавного пуску являє собою напівпровідниковий регулятор напруги статора двигуна. Керування напругою здійснюється шляхом управління кута відмикання тиристорів які включені за схемою зустрічно-паралельного з'єднання в обмотці статора двигуна. Схема пристрою плавного пуску показана на рис. 1.14, на ньому присутні наступні позначення:

ТК - тиристорний комутатор;

АТ - асинхронний привод;

СУ - система управління, яка має в собі формувач імпульсів;

ФМ - драйвери та гальванічний поділ ланцюгів управління і силових кіл;

МК - мікроконтролер;

УВВ - пристрій вводу-виводу;

ПУ - пульт керування;

ІП - джерело живлення;

ДТ1, ДТ2, ДТ3 - датчики струму, які призначені для регулювання пускового струму, контролю і захисту від струмів перевантаження;

ДН1, ДН2 - датчики напруги, які встановлені для захисту від перенапруги або суттєвого зниження напруги, та регулювання напруги на контактах статора асинхронного двигуна.

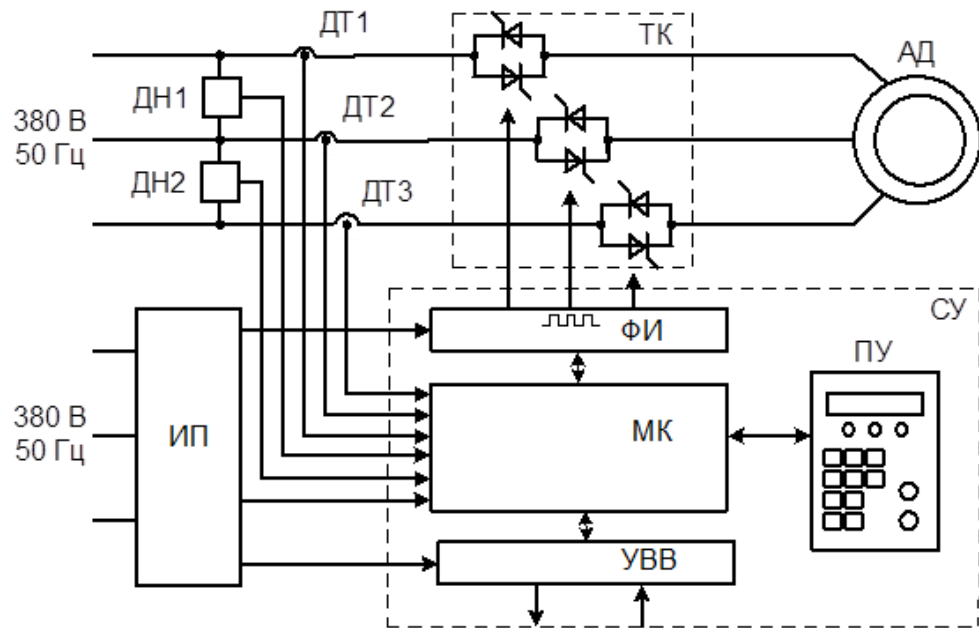


Рисунок 1.14 - Функціональна схема пристрою плавного пуску

Основним пристроєм пристрою плавного пуску є мікроконтролер, який керує роботою вбудованих реле, відмиканням тиристорів, слугує програмним захистом і контролює двигун. На тиристори подаються відкриваючі імпульси, які зсунуті на кут відносно моменту комутації; при цьому напруга на виході ППП знижується до нуля. Закривання тиристорів виконується природньо, коли змінюється полярність синусоїдальної напруги на клеммах анод-катод.

ППП виконує пуск двигуна завдяки плавному збільшенню напруги на статорі, одночасно регулюється струм або момент.

Перевагою ППП над традиційними способами пуску виступає наявність широкої можливості програмним способом використовувати пристрій для конкретних цілей.

Дані можливості дають широкий діапазон управління параметрами діаграми зміни напруги на контактах статора двигуна і вибором способу керування.

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

Вимоги, які застосовуються до електроприводу конвеєрів:

1) Регулювання швидкості потрібно в невеликому діапазоні.

2) Необхідний підвищений пусковий момент через значний за величиною момент тертя спокою щодо моменту тертя руху.

3) Забезпечення плавності перехідних процесів, обмеження ривка та прискорення, щоб запобігти пробуксовці або розгойдуванню механізму, а також при цьому зменшити динамічні навантаження;

4) При роботі з декількома ланцюгами привід повинен забезпечити синхронізацію їх роботи, тобто встановити розрахунковий розподіл тягового зусилля між ланцюгами приводу;

5) Приводи конвеєрів малої потужності з більшою швидкістю руху повинні забезпечити понижену швидкість 2 м/с для можливості проведення огляду.

Висновки до 1 розділу

1. Проведено аналітичний огляд систем неперервного транспортування. На основі аналізу режимів роботи і конструкції пластинчастого конвеєра було сформульовано вимоги до електроприводу.
2. Виконаний порівнювальний аналіз систем керування електроприводом.
3. Виходячи з режимів роботи стрічкового конвеєра найкращою за параметрами обрано систему електроприводу перетворювач частоти – асинхронний двигун, яка і буде реалізована в даному проекті.
4. Отримані результати дозволяють провести розрахунок та вибір елементів електромеханічної системи конвеєра.

2.ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРІБНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА КОНВЕЄРА

2.1. Розрахунок тягового зусилля та швидкості електродвигуна

Розрахунок пластинчастого конвеєра здійснюємо за наступними вихідними даними [3].

Транспортується матеріал: склотара.

Продуктивність конвеєра: 8 т/год.

Номінальна щільність матеріалу: 1000 кг/м³

Кут нахилу конвеєра: 0°.

Виходячи з матеріалу, що транспортується, приймаємо наступний тип пластинчастого конвеєра: БХ - бортовий хвилястий

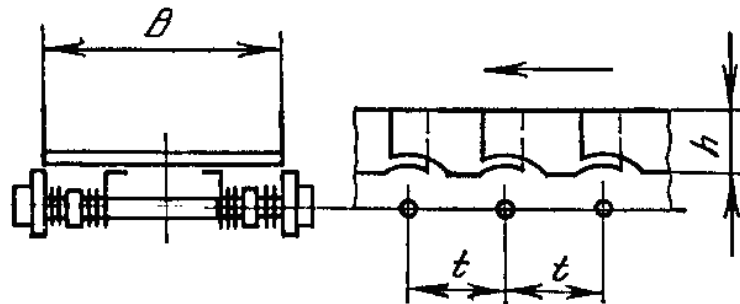


Рисунок 2.1 - Конвейер БХ

За даними проекту ширина настилу 1600 мм.

Розрахуємо ширину настилу з урахуванням продуктивності і вибираємо найбільш раціональну її ширину. Ширина настилу з бортами

$$B = \sqrt{\left[Q / (900 \cdot v \cdot p \cdot k_{\beta} \cdot \operatorname{tg}(0.4 \cdot \varphi)) \right] + \left[(2 \cdot h \cdot \psi) / (k_{\beta} \cdot \operatorname{tg}(0.4 \cdot \varphi)) \right]^2} - (2 \cdot h \cdot \psi) / (k_{\beta} \cdot \operatorname{tg}(0.4 \cdot \varphi)) \quad (2.1)$$

де $\varphi = 55^\circ$ кут природного відкосу вантажу в стані спокою;

$h = 160$ мм висота бортів;

$\psi = 0.65 \dots 0.8$ коефіцієнт, що характеризує ступінь використання висоти бортів, прийmemo = 0,8;

$k_{\beta} = 1$ коефіцієнт, що залежить від кута нахилу конвеєра.

Продуктивність розрахункова конвеєра

$$Q^m = Q^v * \rho = 80 * 0.5 = 40 \text{ т/ч},$$

отримуємо

$$B = \sqrt{\left[40 / \left(900 \cdot 0.2 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot \operatorname{tg}(0.4 \cdot 55^\circ)\right)\right] + \left[(2 \cdot 0.16 \cdot 0.8) / \left(1 \cdot \operatorname{tg}(0.4 \cdot 55^\circ)\right)\right]^2} - (2 \cdot 0.16 \cdot 0.8) / \left(1 \cdot \operatorname{tg}(0.4 \cdot 55^\circ)\right) = 0.59(\text{м}) \quad (2.2)$$

Тоді остаточно приймемо ширину настилу $B=650$ мм. Приймаємо крок ланцюга тягового органу 250 мм. Швидкість ходової частини конвеєра $v = 0,2$ м/с. В якості тягового органу попередньо приймаємо дві пластинчасті, каткові з ребордами на ковзанках, розбірні ланцюги з суцільними валиками і руйнівним навантаженням $F_{\text{роз}}, 450$ кН.

Визначимо погонну масу вантажу:

$$q_{mp} = Q / (3.6 \cdot v) \quad (2.3)$$

Отримаємо:

$$q_{mp} = 40 / (3.6 \cdot 0.2) = 55.55(\text{кг} / \text{м}) \quad (2.4)$$

Визначення погонних навантажень:

- погонна маса ходової частини конвеєра:

$$q_{X.K.} = 60 + B + K \quad (2.5)$$

$K = 70$ - коефіцієнт, що залежить від характеру вантажу по щільності $= 0,5$ т/м³ і параметрів конвеєра при ширині настилу $B = 650$ мм і типі конвеєра БХ.

Отримуємо:

$$q_{X.K.} = 60 \cdot 0,65 + 70 = 109 (\text{кг} / \text{м}). \quad (2.6)$$

Коефіцієнт опору $\omega = 0,09$.

По ширині настилу визначаємо довжину і ширину завантажувальної воронки бункера:

$B_6=430$ мм. $L_6=1500$ мм.

Проведемо попередні розрахунки параметрів конвеєра необхідних для проведення подальших розрахунків:

Горизонтальна проекція конвеєра $L_2^{a1} = L = 8$ м.

Висота підйому вантажу по похилому ділянці конвеєра $H = 0$ м.

Опір на натяжних зірочках:

$$F_{нов} = F_{наб} \cdot (k_n - 1) \quad (2.7)$$

де - $F_{наб}$ натяг тягового органу в набігає гілки на зірочку, k_n коефіцієнт збільшення натягу тягового органу:

при куті обхвату $\alpha = 180^\circ$ $k_n = 1,05 \dots 1,07$

прийmemo $\alpha = 180^\circ$, $k_n = 1,07$,

$$F_{нов} = F_{наб} \cdot (1,07 - 1) = 0,07 \cdot F_{наб} \quad (2.8)$$

Опір на приводних зірочках:

$$F_{нов} = F_{наб} \cdot (k_n - 1) \quad (2.9)$$

Де $F_{наб}$ - натяг тягового органу в набігаючий гілки на зірочку k_n коефіцієнт збільшення натягу тягового органу.

- при куті обхвату $\alpha = 180^\circ$, $k_n = 1,05 \dots 1,07$

- прийmemo $\alpha = 180^\circ$, $k_n = 1,05 \dots 1,07$ $F_{наб} \cdot (1,05 - 1) = 0,05 \cdot F_{наб}$

Опір переміщення на робочих ділянках конвеєра:

$$F = \left(\omega \cdot g \cdot \left[q_{zp} \cdot L_z^n + q_{x,y} \cdot L \right] \right) + q \cdot g \cdot H \quad (2.10)$$

Де L_z^n - горизонтальна проекція ділянки конвеєра.

L -довжина горизонтальної ділянки конвеєра.

Знак "+" при підйомі, "-" при спуску.

Отримуємо по ділянках конвеєра:

- ділянка 4 – 5

$$L_{4-5} = L - 2 = 6, \text{м.} \quad (2.11)$$

$$F_{4-5} = (0,09 \cdot 9,81 \cdot [27,8 \cdot 6 + 154 \cdot 6]) = 963, H \quad (2.12)$$

Опір переміщення на неробочих (холостих) ділянках конвеєра.

$$F = \left(\omega \cdot g \cdot \left[q_{x,y} \cdot L_z^x \right] \right) + q_{x,y} \cdot g \cdot H \quad (2.13)$$

де L_x^x горизонтальна проекція ділянки конвеєра,

L - довжина горизонтальної ділянки конвеєра.

Отримуємо по ділянках конвеєра:

Ділянку 1 – 2;

$$F_{1-2} = 0.09 \cdot 9.81 \cdot (154 \cdot 8) = 1088 \quad (2.14)$$

Опору на натяжних зірочках при $\omega = 180^\circ$.

Ділянка 2 – 3;

$$F_{2-3} = F_{наб} \cdot (1,05 - 1) = 0,05 \cdot F_{наб} \quad (2.15)$$

Опір на ділянці завантаження конвеєра:

$$F_{зат} = (Q \cdot g \cdot v) / 36 \quad (2.16)$$

Ділянка 3 – 4;

$$F_{3-4} = (40 \cdot 9,81 \cdot 0,4) / 36 = 5 \quad (2.17)$$

Визначимо натяг в характерних точках.

Проводимо обхід траси конвеєра починаючи з точки 1 (розрахункова траса конвеєра). Прийнемо найменший натяг в точці 1 $F_1 = 1000$ Н.

Точка 2

$$F_2 = F_1 + F_{1-2} \quad (2.18)$$

Точка 3

$$F_3 = F_2 + 0,05 \cdot F_2 \quad (2.19)$$

Точка 4

$$F_4 = F_3 + F_{3-4} \quad (2.20)$$

Точка 5

$$F_5 = F_4 + F_{4-5} \quad (2.21)$$

Підставляємо знайдені раніше величини опорів і $F_1 = 1000$ Н. Знаходимо натягу в характерних точках конвеєра:

Точка 1

$$F_1 = 1000, \text{ Н.} \quad (2.22)$$

Точка 2

$$F_2 = 1000 + 1088 = 2088, \text{ Н.} \quad (2.23)$$

Розрахункове значення руйнівного навантаження менше ніж $F_{раз} = 450 \text{ кН}$ у прийнятій раніше.

Потужність на приводному валу конвеєра

$$P_o = F_o \cdot v \cdot 10^{-3} = 4320 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 0,864, \text{ кВт.} \quad (2.24)$$

Необхідна потужність двигуна.

$$P_{\partial\partial} = (k \cdot P_o) / \eta \quad (2.25)$$

де $k = 1,2$ коефіцієнт запасу

$\eta = 0,94$ ккд передач від двигуна до приводного барабану, отримуємо:

$$P_{\partial\partial} = (1,2 \cdot 0,864) / 0,94 = 1,103, \text{ кВт.} \quad (2.26)$$

Приймаємо електродвигун:

тип 4A90L6Y3 [2]

потужність двигуна $P_{\text{дв}} = 1,5 \text{ кВт.}$

частота обертання $n_{\partial\partial} = 920 \text{ об / хв.}$

Частота обертання приводного валу конвеєра

$$n_{n.в.} = (60 \cdot v) / (Z \cdot t) \quad (2.27)$$

Отримаємо $n_{n.в.} = (60 \cdot 0,2) / (6 \cdot 0,25) = 8, \text{ об / хв.}$

Необхідну передавальне число приводу

$$u = n_{\partial\partial} / n_{n.в.} = 920 / 8 = 115 \quad (2.28)$$

Прийmemo наступну кінематичну схему приводу конвеєра (див. рис. 2.8).

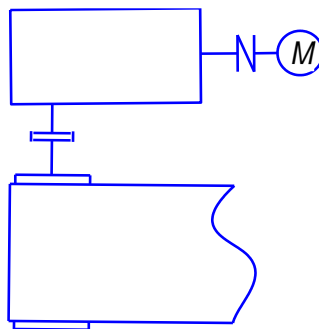


Рисунок 2.2 - Кінематична схема приводу конвеєра

Проведемо розбивку загального передавального відношення в усіх передачах приводу $u = u_{ред} = 118$. Прийнемо стандартний редуктор КЦ2-500 з передавальним відношенням $u_{ред} = 118$, тоді $920/118 \quad n_{н.в.} = 7,92 \text{ об / хв.}$ Уточнимо продуктивність конвеєра з урахуванням нового передавального числа:

$$Q_{\phi} = 900 \cdot B \cdot V_{\phi} \cdot \rho \cdot [B \cdot K_{\beta} \cdot \operatorname{tg}(0.4 \cdot 55) + 4 \cdot h \cdot \psi] = 46.66, \text{ м/год} \quad (2.29)$$

Таблиця 2.1 - Паспортні дані двигуна 4A90L6Y3 [4]

Номінальна потужність	$P_n = 1.5, \text{ кВт}$
Номінальна лінійна напруга статора	$U_n = 380, \text{ В}$
Номінальна швидкість	$n_n = 1000, \text{ об/хв}$
Число пар полюсів	3
Момент інерції	$0.0066, \text{ кг/м}^2$
Коефіцієнт корисної дії	0.76
Перевантажувальна здатність	2.2
Номінальне ковзання	0.064
Критичне ковзання	0.31
Номінальна частота напруги статора	$f = 50, \text{ Гц}$
Параметри Г-подібної схеми заміщення (відносні одиниці)	
Індуктивний опір розсіювання статора	$x_1' = 0.11$
Активний опір статора	$R_1' = 0.011$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$x_2'' = 0.21$
Приведений активний опір ротора	$R_2'' = 0.088$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$x_{\mu} = 1.8$

Пусковий момент:

$$M_n = 2,2 \cdot M_{oe} = 2,2 \cdot 15,59 = 34.29, \text{ Мн}; \quad (2.30)$$

Для з'єднання валів двигуна і редуктора вибираємо муфту зубчаста МЗ 2, здатну передавати момент $31,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ і має момент інерції $J = 0.135, \text{ кг/м}^2$.

Висновки до 2 розділу

1. Виконано тяговий розрахунок конвеєра, в результаті чого було обрано асинхронний двигун типу 4A90L6У3 потужністю 1.5 кВт.
2. Проведено розрахунок натягу точок.
3. Завдяки отриманим результатам, можемо виконати розрахунок елементів та синтезу системи керування.

3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Кутова частота напруги статора:

$$\omega_{H0} = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 50 = 314.159, \text{ рад / с. [5]} \quad (3.1)$$

Швидкість ідеального холостого ходу:

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_0}{p} = \frac{314.159}{3} = 104.7, \text{ рад / с.} \quad (3.2)$$

Номінальна швидкість двигуна:

$$\omega_H = \omega_{xx} \cdot (1 - S_n) = 104.7 \cdot (1 - 0.064) = 98, \text{ рад / с.} \quad (3.3)$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{1500}{98} = 15.30, \text{ Н} \cdot \text{ м.} \quad (3.4)$$

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

$$M_K = \lambda \cdot M_H = 2.2 \cdot 15.30 = 33.66, \text{ Н} \cdot \text{ м.} \quad (3.5)$$

Номінальні діючі значення фазної напруги та струму статора:

$$U_H = \frac{U_{IH}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220, \text{ В,} \quad (3.6)$$

$$I_H = \frac{P_n}{3U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{1500}{3 \cdot 220 \cdot 0.76 \cdot 0.75} = 3.98, \text{ А.} \quad (3.7)$$

Амплітудні значення фазної напруги і струму статора

$$U_{na} = \sqrt{2} \cdot U_n = \sqrt{2} \cdot 220 = 310.268, \text{ В.} \quad (3.8)$$

$$I_{na} = \sqrt{2} \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 3.98 = 5.62, \text{ А.} \quad (3.9)$$

Амплітудне значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу при $R_1 = 0$:

$$\psi_{1xx} = \frac{U_{na}}{\omega_{n0}} = \frac{310.268}{314.159} = 0.98, \text{Вб.} \quad (3.10)$$

3.1 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення

Математична модель АД отримана для Т-подібної схеми заміщення, що показана на рис. 3.1, в той час як приведені каталожні параметри відповідають Г-подібній схемі заміщення, рис. 3.2. Для перерахунку параметрів з Г-подібної схеми в Т-подібну використовується наступна методика:

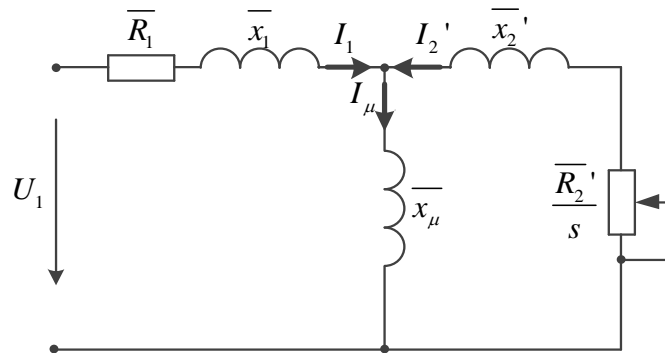


Рисунок 3.1 - Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

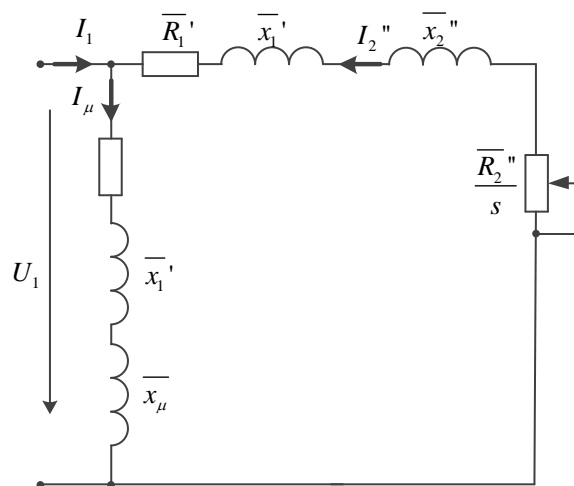


Рисунок 3.2 - Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

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

$$c_1 = \frac{\bar{x}_\mu \sqrt{\bar{x}_\mu^2 + 4\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_\mu}}{2 \cdot \bar{x}_\mu} = \frac{1.8 \sqrt{(1.8)^2 + (4 \cdot 0.11 \cdot 1.8)}}{2 \cdot 1.8} = 1.003. \quad (3.11)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення у відносних одиницях:

$$\bar{x}_1 = \frac{\bar{x}_1}{c_1} = \frac{0.11}{1.003} = 0.109, \quad (3.12)$$

$$\bar{x}_2 = \frac{\bar{x}_2}{c^2} = \frac{0.21}{1.003^2} = 0.208, \quad (3.13)$$

$$\bar{R}_1 = \frac{\bar{R}_1}{c_1} = \frac{0.011}{1.003} = 0.0109, \quad (3.14)$$

$$\bar{R}_2 = \frac{\bar{R}_2}{c^2} = \frac{0.088}{1.003^2} = 0.087. \quad (3.15)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях запишуться:

$$x_1 = \bar{x}_1 \cdot \frac{U_n}{I_n} = 0.109 \cdot \frac{220}{3.98} = 6.025, \text{ Ом}, \quad (3.16)$$

$$x_2 = \bar{x}_2 \cdot \frac{U_n}{I_n} = 0.208 \cdot \frac{220}{3.98} = 11.49, \text{ Ом}, \quad (3.17)$$

$$R_1 = \bar{R}_1 \cdot \frac{U_n}{I_n} = 0.0109 \cdot \frac{220}{3.98} = 0.602, \text{ Ом}, \quad (3.18)$$

$$R_2 = \bar{R}_2 \cdot \frac{U_n}{I_n} = 0.087 \cdot \frac{220}{3.98} = 4.80, \text{ Ом}, \quad (3.19)$$

$$x_\mu = \bar{x}_\mu \cdot \frac{U_n}{I_n} = 1.8 \cdot \frac{220}{3.98} = 99.4, \text{ Ом}. \quad (3.20)$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора:

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{\omega_0} = \frac{6.025}{314.157} = 0.019, \text{ Гн}, \quad (3.21)$$

$$L_{2\sigma} = \frac{x_2}{\omega_0} = \frac{11.49}{314.157} = 0.0365, \text{ Гн}. \quad (3.22)$$

Індуктивність намагнічуючого контуру:

$$L_m = \frac{x_\mu}{\omega_0} = \frac{99.4}{314.157} = 0.316, \text{ Гн}. \quad (3.23)$$

Індуктивності статора і ротора:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 0.316 + 0.019 = 0.335, \text{ Гн}, \quad (3.24)$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 0.316 + 0.0365 = 0.352, \text{ Гн}. \quad (3.25)$$

На основі проведених розрахунків обчислюємо значення параметрів a , a_1 , β , γ , σ , μ_1 :

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2} = \frac{4.8}{0.352} = 13.63, \text{ Ом/Гн}, \quad (3.26)$$

$$\alpha_1 = \frac{R_1}{L_1} = \frac{0.602}{0.335} = 1.79, \text{ Ом/Гн}, \quad (3.27)$$

$$\sigma = L_1 \cdot \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} \right) = 0.335 \cdot \left(1 - \frac{0.316^2}{0.335 \cdot 0.352} \right) = 0.0513, \text{Гн}, \quad (3.28)$$

$$\beta = \frac{L_m}{L_2 \cdot \sigma} = \frac{0.316}{0.352 \cdot 0.0513} = 17.49, 1/\text{Гн}, \quad (3.29)$$

$$\gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha \cdot L_m \cdot \beta = \frac{0.602}{0.0513} + (13.63 \cdot 0.316 \cdot 17.49) = 87.06, \text{Ом}/\text{Гн}, \quad (3.30)$$

$$\mu_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0.316}{0.352} = 1.34. \quad (3.31)$$

Таблица 3.1 - Параметры двигателя 4А90Л6У3

P_n , кВт	1.5	R_1 , Ом	0.602
ω_{xx} , рад/с	104.7	R_2 , Ом	4.8
ω_n , рад/с	98	L_1 , Гн	0.335
M_n , Н · м	15.3	L_2 , Гн	0.352
M_k , Н · м	33.66	L_m , Гн	0.316
λ	2,2	α , Ом/Гн	13.63
I_n , А	3.98	α_1 , Ом/Гн	1.79
ψ_{xx} , Вб	0.98	σ , Гн	0.0513
η	0.76	β , 1/Гн	17.49
$\cos\varphi$	0.75	γ , Ом/Гн	87.06
J_d , кг · м ²	0.0066	μ_1	1.34

$$J_d = 0,0066 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; J_{\text{барабан}} = 0,0080 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_{\text{редуктор}} = 0,16 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; i_p = 118.$$

1) Приведений до валу двигуна сумарний приведений момент інерції електроприводу J_{Σ} може бути виражений загальною формулою:

$$J_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + \sum_{i=2}^{i=n} \frac{J_i}{i_{1i}^2} + \sum_{j=1}^{j=k} m_j \rho_{1j}^2 \quad (3.32)$$

$$\text{де } \rho_{1j} = \frac{v_i}{\omega_1}; \rho_{1j} = \frac{v_i}{\omega_1}$$

v – лінійна швидкість руху стрічки;

ω – кутова швидкість валу двигуна;

m_j – маса стрічки конвеєра з вантажем;

J_i – момент інерції редуктора;

i_{1i} – передаточне число редуктора.

2) З попередніх розрахунків ми визначили, що маса стрічки дорівнює 27,4 кг/м. Визначимо вагу стрічки конвеєра для всіх ділянок:

$$m_0 = L \cdot q_0 = 18 \cdot 27.4 = 439.2, \frac{\text{кг}^2}{\text{м}}; \quad (3.33)$$

де $L_{\Sigma} = 18 \text{ м}$;

$q_0 = 27,4$ – маса стрічки конвеєра без вантажу, (кг/м).

3) Визначимо вагу вантажу, що знаходиться на робочій області конвеєра:

$$m_p = L \cdot q = 8 \cdot 109 = 872, \frac{\text{кг}^2}{\text{м}}; \quad (3.34)$$

де $L = 8 \text{ м}$ – робоча область конвеєра;

$q = 166,6 \text{ кг/м}$ – лінійна маса транспортуємого вантажу.

4) Визначимо радіус приведення:

$$\rho = \frac{R_6}{i} = \frac{0.25}{113} = 0.002; \quad (3.35)$$

$$J_{\Sigma} = 0,0066 + \frac{0,135}{118^2} + (439.2 + 872) \cdot 0.0021^2 = 0,012, \text{кг} \cdot \text{м}^2; \quad (3.36)$$

3.2 Вибір перетворювача частоти

На основі отриманих параметрів асинхронного двигуна та технологічного режиму конвеєра, обираємо частотний перетворювач.

Перетворювач частоти — це пристрій, який за допомогою широтно-імпульсної модуляції перетворює вхідну синусоїдальну напругу з фіксованою частотою та амплітудою у вихідну імпульсну напругу змінної амплітуди та частоти. Отже таким чином, поступово збільшуючи амплітуду і частоту напруги, живлення, яка подається на статорні обмотки двигуна, забезпечується плавне керування швидкістю обертання валу двигуна.

Перетворювач частоти потрібно вибирати за струмом, а потім вже по потужності.

Таблиця 3.2 - Паспортні дані частотного перетворювача ABB ACS355 [6]

Потужність	$P_n = 1.5$, кВт
Напруга живлення	$U_n = 380$, В
Номінальний струм	$I_n = 4.1$, А
$M_{\max}(1 \text{ хв})$	150 %
Максимальна частота на виході	400, Гц
Габарити перетворювача	165x101.5x154.5, мм
Скалярне керування	Наявне
Векторне керування з ЗЗ	Наявне
Векторне керування без ЗЗ	Наявне
Наявність ПІД регулятора	Наявне

Даний перетворювач підходить систем безперервної дії.

3.3 Вибір автоматичного вимикача

Автомати (вимикачі автоматичні) – це електроприлади, які застосовуються для захисту кіл електроживлення від струмів, що виникають при короткому

замиканні, а також від позаштатних ситуацій, що виникають при перевантаженні в мережі живлення.

Таблиця 3.3 - Паспортні дані автоматичного вимикача ВА47-29 ИЭК [7]

Номинальний струм	$I_n = 5, A$
Типу напруги	АС
Відмикаюча здатність	4.5, кА
Кількість полюсів	3

3.4 Розробка силової схеми асинхронного електроприводу

Технічні характеристика основних виробників ПЧ, таких як ABB, Siemens, Mitsubishi, Alien Bradley, Danfoss та ін., можливо сформулювати загальні вимоги, які ставляться споживачем до сучасних асинхронних електроприводів:

- вихідна частота 0...400 Гц.

- напруга живлення – 3ф · 380 В. 50 Гц або 220 В 50 Гц однофазна;

Алгоритми керування що реалізуються перетворювачами:

- векторне керування з датчиком швидкості.

- традиційне частотне керування з квадратичною або лінійною U/f характеристикою з можливістю IR-компенсації та компенсації ковзання;

- векторне бездатчикове керування;

В стандартній конфігурації електропривод має відповідати наступним мінімальним інтерфейсним можливостям:

- аналоговий вхід 0...10 В;

- дискретні гальванічно-розв'язані входи – 6;

- виходів релейного типу – 2;

- аналогових виходів 0...10 В – 1 канал, 4...20мА – 1 канал;

- гальванічно розв'язані інтерфейси зв'язку з системами верхнього рівня RS-485, CAN;

- вбудований ПД-регулятор технологічного параметру;

- можливість підключення фотоімпульсного датчика швидкості (енкодера);
- внутрішній ключ клампера на малих потужностях (до 15 кВт);
- наявність джерел живлення +10 В та +24 В для обслуговування зовнішніх підключень аналогових та дискретних сигналів.

Функціональна схема сучасного приводу змінного струму, яка побудована на основі ПЧ з ланкою постійного струму, показана на (рис. 3.3).

Як видно з рис. 3.3, основу асинхронного електроприводу складає ПЧ, що поєднує в собі керуючий та перетворювальний пристрій з класичного визначення електроприводу.

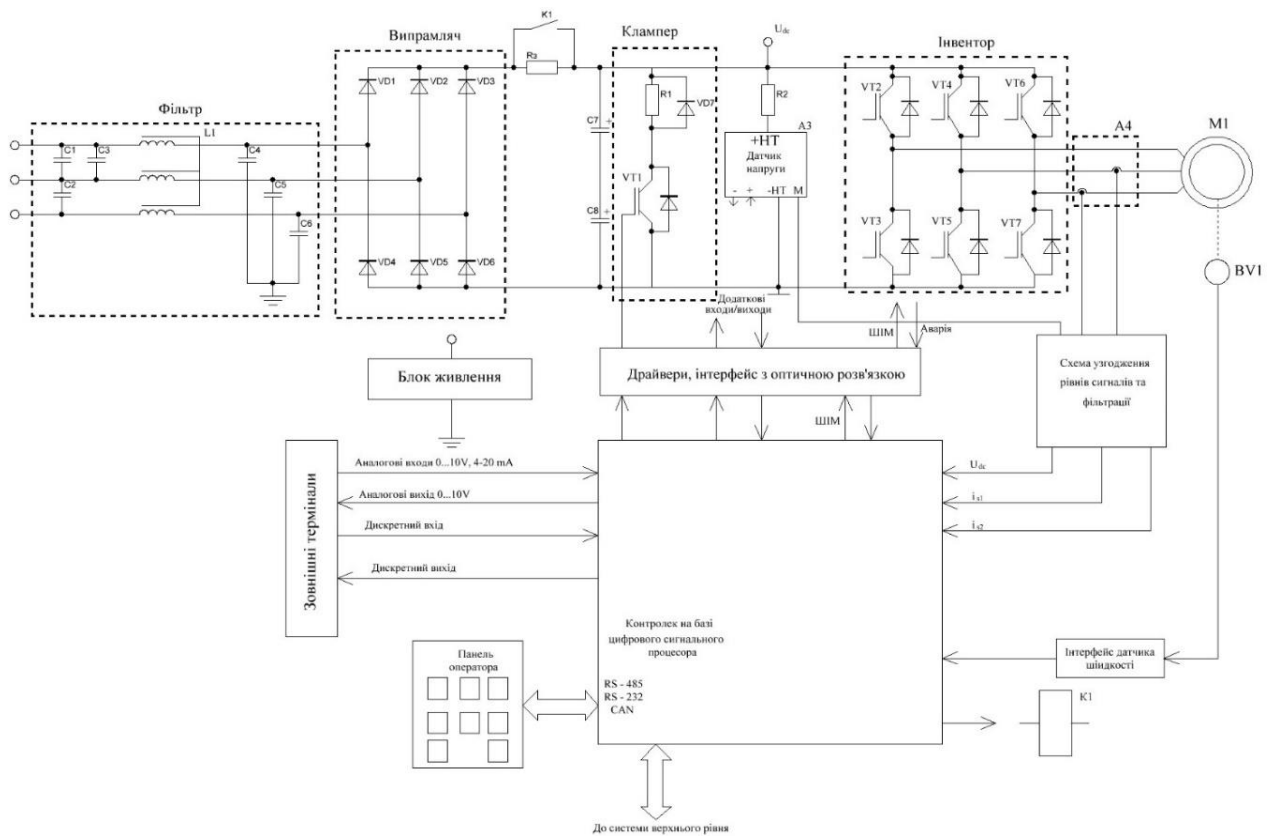


Рисунок – 3.3. Схема асинхронного електроприводу

3.4.1 Розрахунок випрямляча

Випрямляч – це статичний перетворювач електричної енергії змінного струму в електричну енергію постійного струму. Випрямлячі класифікуються за такими ознаками:

- за схемою випрямлення: однофазні, трифазні, багатофазні.

- за типом керування: керовані, некеровані.

Керовані випрямлячі дають змогу змінювати величину вихідної постійної напруги, а також забезпечують можливість повернення енергії в мережу при роботі приводу в генераторних режимах. Недоліком керованих випрямлячів є необхідність використання системи керування, що суттєво ускладнює та збільшує вартість такого пристрою. На сьогоднішній день, більшість перетворювачів частоти, які випускаються, використовують некеровані випрямлячі.

3.4.2 Розрахунок некерованого випрямляча

Діоди випрямляча обираються, завдяки розрахунку величини діючого струму, що протікає через діод, при цьому слід враховувати коефіцієнт запасу.

Розрахунок номінального значення випрямленого струму:

$$I_{dc} = \frac{k_{ovl} \cdot P_n}{U_{dcn} \cdot \eta \cdot \eta_{inv}} = \frac{1.75 \cdot 1500}{540 \cdot 0.76 \cdot 0.96} = 6.66, A; \quad (3.37)$$

$$U_{dcn} = \sqrt{2} \cdot U_{grid} = 537, B; \quad (3.38)$$

де P_n – номінальна потужність перетворювача; ($U_{grid} = 380$ В) номінальне значення випрямленої напруги; $(0,95 \div 0,97)$ – коефіцієнт корисної дії перетворювача. η_{inv} – коефіцієнт корисної дії перетворювача.

При виборі IGBT транзисторів та діодів для автономних інверторів, потрібно враховувати що їх максимально – допустима напруга, має бути вищою мінімум в 1.5 разів, а ніж максимальна напруга в ланці постійного струму, тобто $U_{cc} > 1.5 \cdot U_{dcmax}$.

Максимальна напруга в колі постійного струму, визначається допустимою напругою встановлених електролітичних конденсаторів фільтру, і становить приблизно 750 В для перетворювачів з трифазним живленням $U_{grid} = 380$ В, і 375 В для перетворювачів з однофазним живленням $U_{grid} = 220$ В. Отже:

$$U_{ce} = 1.5 \cdot 750 = 1125, B; \quad (3.39)$$

IGBT транзистори та силові діоди, що випускаються наразі мають стандартні ряди

максимальних напруг колектор-емітер: 250, 600, 1200, 1700, 3300, 4500, 6500 В

Вибір силових діодів здійснений на сайтах виробників по каталогу за критерієм:

$$I_{VD} > I_{\max}, U_{VD\max} > U_{cc}; \quad (3.40)$$

$$I_{VD} > 275, U_{VD\max} > 1125; \quad (3.41)$$

де, $U_{VD\max}$ та I_{VD} – відповідно зворотна напруга та тривалий струм діода, данні яких вказані в паспортних даних.

Згідно вище розрахованих параметрів обрано діод випрямляча **DSA2-16A** [8]: напруга – 800 – 1600 В; струм – 7 А.

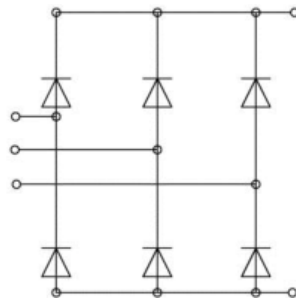


Рисунок 3.4 – Схема електрична принципова діодного випрямляча

3.4.3 Розрахунок автономного інвертора напруги

Прийнявши перевантажувальну здатність для приводу конвеєра $k_{ov1} = 1.75$, розрахуємо максимальний струм на виході перетворювача:

$$I_{\max} = k_{ov1} \cdot I_{na} = 1.75 \cdot 7 = 12.25, \text{А}; \quad (3.42)$$

Після цього можна вибрати IGBT за такими критеріями:

$$I_c > I_{c\max}, U_{cc\max} > U_{cc}; \quad (3.43)$$

$$I_c > 12.25, U_{cc\max} > 1125; \quad (3.44)$$

де $U_{cc\max}$ та I_c – напруга колектор-емітер та тривалий струм колектора, значення яких вказані в паспортних даних IGBT. Обов'язково повинна бути наявний антипаралельний діод, який в більшості є вбудованим в корпус із транзистором і не потребує окремого

розрахунку.

За даних умов обрано 6 IGBT **IKW15N120H3** [9]: напруга –1200 В; струм –15 А;

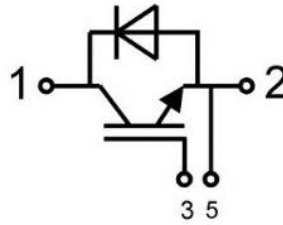


Рисунок 3.5 – Схема електрична принципова IGBT IKW15N120H3

3.4.4 Розрахунок зарядного кола для заряду конденсаторів фільтру

Під час ввімкнення перетворювача потрібно зарядити конденсатори фільтру з обмеженням струму, щоб вирішити цю задачу включаємо в ланку постійного струму резистор з шунтуючим контактом (рисунок 3.6, б). Схема керування реле представлена на рис. 3.6, а.

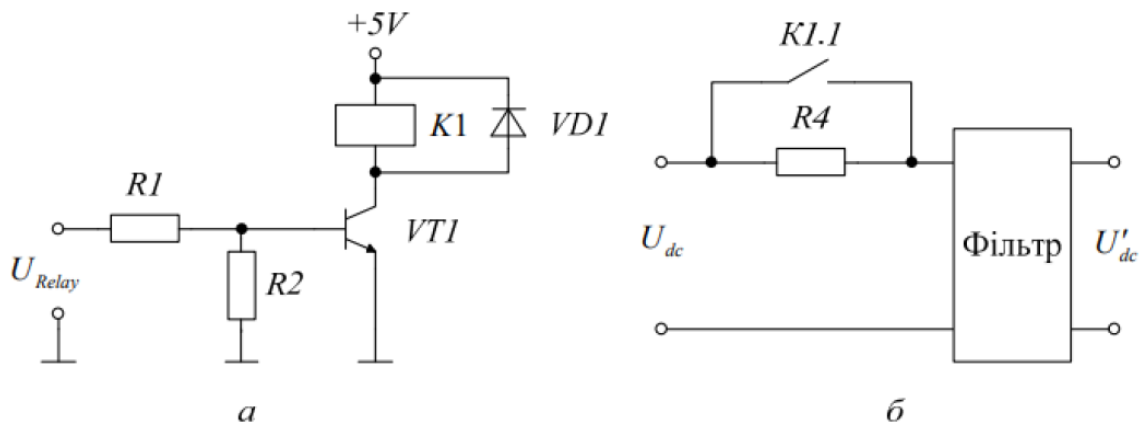


Рисунок 3.6 – схема електрична принципова зарядного кола конденсаторів фільтра (а – схема керування реле, б – резистор з шунтуючим контактом)

Резистор R4 розраховується таким, щоб зарядний струм не перевищував допустимого для діодів випрямляча значення:

$$R_4 = \frac{U_{dcn}}{I_{c\max}} = \frac{540}{12.25} = 44,0 \text{ Ом}; \quad (3.45)$$

Вибрано резистор 22 Ом 5% (2 шт) [10], та реле ETI MER2-005 [11].

За напругою U_{KE} , та за максимальним струмом колектора, що відповідає пусковому струму реле $I_{Kmax} = I_{реле_пуск}$ обрано транзистор TIP41 [12].

3.4.5 Розрахунок резистора і ключа клампера

Клампер складається з діода, напівпровідникового ключа та резистора. Напівпровідниковий ключ підключає резистор паралельно в ланку постійного струму за для розсіювання надлишкової енергії, яка появляється в гальмівному режимі двигуна.

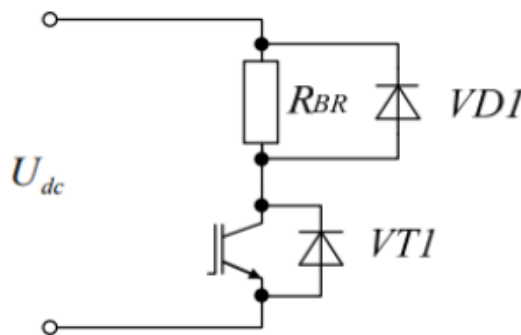


Рисунок 3.7 – Схема електрична принципова

Ключ клампера вибирається за струмом, який протікає через нього в тривалому режимі. Якщо в процесі роботи вся активна потужність передається у ланку постійного струму, то:

$$I_{BR} = \frac{P_{cp}}{U_{dc\max}} = \frac{390}{800} = 0.48, A; \quad (3.46)$$

Обрано транзистор IRFBF20SPBF [13], напруга – 900 В; струм – 1.7 А.

Діод клампера обрано 1N4007 [14], напруга – 1000 В струм – 1 А.

Знайдемо середнє за робочий цикл значення потужності, яку необхідно розсіювати на резисторі клампера з врахуванням того, що генераторний режим займає 25 - 30% - від загального часу циклу:

$$P_{cp} = 0.26 \cdot P_n = 0.26 \cdot 1500 = 390, Bm; \quad (3.47)$$

Необхідний опір резистора клампера буде складати:

$$R_{BR} = \frac{U_{DCmax}^2}{P_{cp}} = \frac{800^2}{390} = 1641,0 \text{ Ом}; \quad (3.48)$$

де $U_{DCmax} = 800 \text{ В}$ – максимальне значення напруги в ланці постійного струму.

Обрано резистор С42ТF 450 Вт 1.6 кОм [15], опором 1.6 кОм, та потужністю 450Вт. Для забезпечення необхідного опору.

3.4.6 Розрахунок варистора та вхідного фільтру радіочастот

Синфазний дросель – це феритове осердя, на якому намотано дві незалежні обмотки з однаковою кількістю витків (від одиниць до декількох десятків витків), водночас напрямки намотки обмоток має бути протилежним, рис. 4.7.

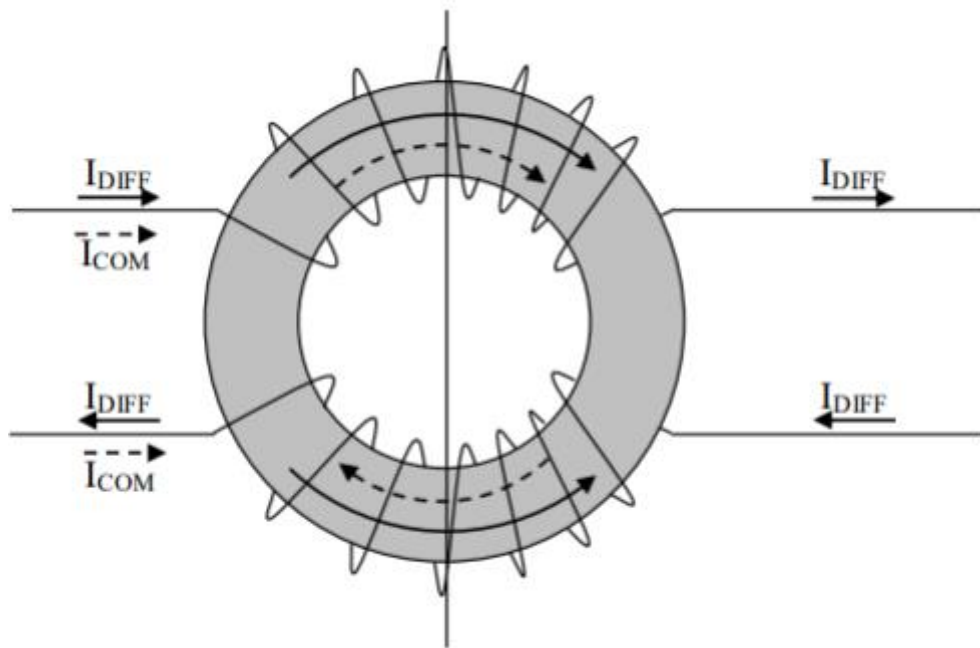


Рисунок 3.8 - Синфазний дросель

На рисунку 4.8 показана структура трифазного вхідного фільтру. Y- та X конденсатори – це спеціально розроблені конденсатори, які призначені для побудови фільтрів електромагнітних перешкод. Їх особливістю є здатність витримувати значні імпульсні перенапруги. X-конденсатори встановлюються між фазами ліній живлення, і допускають імпульси перенапруги до 4 кВ. Y

конденсатори підключаються між фазою і нейтраллю (або землею), мають обмежену ємність для запобігання високих струмів витоку на землю та допускають імпульсну перенапругу до 8 кВ.

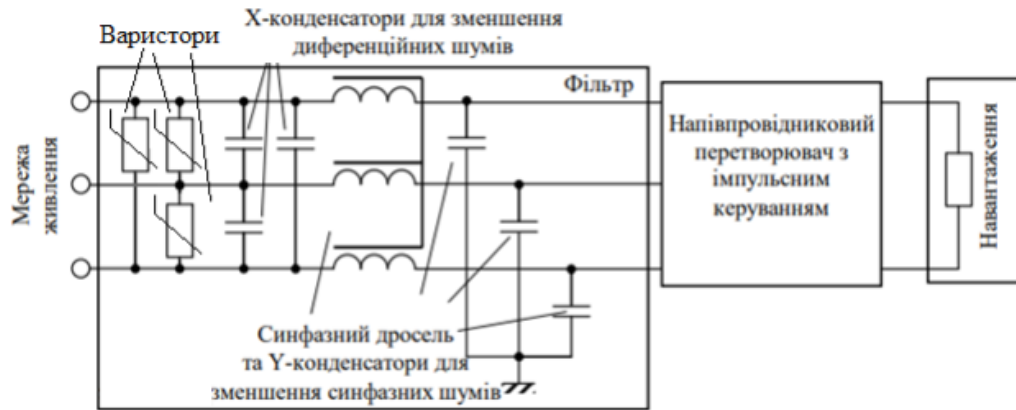


Рисунок 3.9 – Типова структура трифазного входного фільтра

Як уже відмічалось, проектування фільтра електромагнітних перешкод є складною задачею. Спрощена процедура проектування передбачає:

Вибір ємності X-конденсаторів здійснюється у діапазоні від 0,01 мкФ до 2,2 мкФ в залежності від потужності. Обрано конденсатори типу R474R410050A1K KEMET [16] з параметрами $C = 1 \text{ мкФ}$, $U = 440 \text{ В}$;

Вибір ємності Y-конденсаторів, залежно від допустимого витоку, здійснюється за формулою:

$$C_y = \frac{I_{\text{доп}}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U} = \frac{0.3}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 220} = 4.3, \text{ мкФ}; \quad (3.49)$$

де $I_{\text{доп}}$ – допустимий струм витоку;

U – діюче значення напруги відносно землі;

f – частота напруги.

Вибрано конденсатори типу C4AQSBU4450A12J KEMET [17] ємністю $C = 4.3 \text{ мкФ}$ та максимальною напругою 1500 В. Потрібна робоча напруга фільтра та ємність отримується паралельним з'єднанням конденсаторів.

Синфазний дросель обирається в залежності від величини струму, дросель

має декілька витків в перетворювачах частоти які виконані дротом його діаметр розраховується відповідно за номінальним вхідним струмом перетворювача. Враховуючи вхідний струм перетворювача який дорівнює $I_{dc} = 5 \text{ A}$.

Обрано синфазний дросель типу 7448040707[18] з параметрами: $I_H = 7 \text{ A}$; $U_H = 440 \text{ V}$.

Варистори вибираються із значення амплітудної лінійної напруги, яка рівна $U_{na} = 311 \text{ V}$, коефіцієнт запасу $k_3 = 1.1$, рахують значення класифікаційної напруги варистора за формулою (3.50).

$$U_{VAR} = U_{na} \cdot k_3 = 311 \cdot 1.1 = 342.1, \text{ V}; \quad (3.50)$$

Відповідно до розрахунку обираємо варистор V230LU40CPX570 [19], $U_{VAR} = 354 \text{ V}$,

$$U_{AC} = 230 \text{ V}.$$

3.4.7 Вибір датчиків струму та напруги

Датчики струму обираються за максимальним значенням струму, який потрібно вимірювати. Струми вимірюється на виході перетворювача.

Якщо не потребується вимірювання струму для керування двигуном, а датчики здійснюють вимірювання лише за для захисту системи, то за для здешевлення перетворювача можна встановлювати датчики струму лише в ланці постійного струму.

Нариклад, достатньо встановити та обрати датчиком в ланці постійного струму, по розрахованому значенню I_{dc} .

Вибрано датчик струму типу AC1015 [20], номінальний струм якого складає 15 A .

Канал вимірювання напруги ланки постійного струму буде побудований з використанням датчика напруги типу DVL 750 [21].

Згідно документації датчика зазначено максимальний струм кола $I_{p \max} = 50 \text{ mA}$,. Таким чином значення опору резистора R1 дорівнює:

$$R_1 = \frac{U_{DC\max}}{I_{p\max}} = \frac{800}{0.050} = 16, \text{кОм}; \quad (3.51)$$

Обираємо резистор CF-100 (C1-4) 1 Вт, 16 кОм, 5% [22].

Перелік елементів функціональної схеми представлений в додатку 1.

Висновки до 3 розділу

1. Виконано розрахунок параметрів двигуна.
2. Розраховано параметри Т-подібної схеми заміщення та визначено сумарний момент інерції системи
3. Обрано частотний перетворювач який має векторне керування
4. Складена силова схема та розраховані її елементи.
5. Отримані результати дають змогу скласти структуру системи керування та отримати його математичну модель.

4 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ КОНВЕЄРА

При векторному керуванні, завдяки застосуванню багатоконтурної системи управління електропривода, досягається незалежне управління 2х основних параметрів – швидкості обертання та моменту на валу.

В систему керування електропривода закладено математичну модель, яка дає змогу порахувати момент та швидкість обертання на валу, для цього потребується лише датчик струму фаз статора.

В даний час визначилося 2 класи системи векторного керування – системи з ЗЗ по швидкості та бездатчикові системи (без датчика швидкості на валу двигуна)

Переваги двигуна з векторним керуванням:

- досить висока точність регулювання швидкістю навіть без наявності датчика швидкості;
- плавний хід двигуна на мінімальних значеннях швидкості;
- змога забезпечити номінальний момент при 0 швидкості з датчиком швидкості;
- можливість забезпечити максимальний момент електроприводу під час пуску та гальмуванні, значення яких перевищують значення критичного моменту;

Стрічковий конвеєр призначений для безперервного транспортування, тому електропривод повинен працювати в тривалому режимі.

Вимога регулювання продуктивності конвеєра, узгодження швидкостей і рівномірного розподілу навантажень в багатодвигунному електроприводі, зумовлюють необхідність регулювання швидкості електроприводу, діапазон якого залежить від вимог конкретного технологічного процесу.

Модель електродвигуна у двофазній системі:

$$\dot{\theta} = \omega; \quad (4.1)$$

$$\dot{\omega} = \frac{1}{J}(M - M_c); \quad (4.2)$$

$$M = \frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{L_2} (\Psi_{2d} i_{1q} - \Psi_{2q} i_{1d}); \quad (4.3)$$

$$\dot{i}_{1d} = -\gamma i_{1d} + \omega_0 i_{1q} + a\beta \Psi_{2d} + \beta p_n \omega \Psi_{2q} + \frac{1}{\sigma} u_{1d}; \quad (4.4)$$

$$\dot{i}_{1q} = -\gamma i_{1q} - \omega_0 i_{1d} + a\beta \Psi_{2q} - \beta p_n \omega \Psi_{2d} + \frac{1}{\sigma} u_{1q}; \quad (4.5)$$

$$\dot{\Psi}_{2d} = -\alpha \Psi_{2d} + (\omega_0 - p_n \omega) \Psi_{2q} + aL_m i_{1d}; \quad (4.6)$$

$$\dot{\Psi}_{2q} = -\alpha \Psi_{2q} - (\omega_0 - p_n \omega) \Psi_{2d} + aL_m i_{1q}; \quad (4.7)$$

$$\dot{\varepsilon}_0 = \omega_0, \varepsilon_0(0) = 0; \quad (4.8)$$

Складаємо структуру алгоритму непрямого векторного керування:

– розімкнутий регулятор модуля вектора потокозчеплення:

$$\begin{aligned} \dot{i}_{1d}^* &= \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \psi^* + \dot{\psi}^*) ; \\ \dot{i}_{1d}^* &= \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \dot{\psi}^* + \ddot{\psi}^*) ; \\ \dot{\varepsilon}_0 &= \omega_0 = \omega p_n + \alpha L_m \frac{\dot{i}_{1q}}{\psi^*} + \phi ; \end{aligned} \quad (4.9)$$

де ψ^* , $\dot{\psi}^*$, $\ddot{\psi}^*$ – задане значення модуля вектора потокозчеплення ротора та його першу та другу похідну відповідно, ϕ – робастифікуючий зв'язок. В стандартному випадку $\phi = 0$.

– регулятор струму по осі (d) (польової складової струму статора):

$$\begin{aligned} u_{1d} &= \sigma (\gamma \dot{i}_{1d}^* - \omega_0 i_{1q} - \alpha \beta \psi^* + \dot{i}_{1d}^* - k_i \tilde{i}_{1d} - x_d), \\ \dot{x}_d &= k_{ii} \tilde{i}_{1d}, \end{aligned} \quad (4.10)$$

де $\tilde{i}_d = i_{1d} - i_{1d}^*$ – похибка відпрацювання струму по осі (d) , u_{1d} – компонента вектора напруги статора по осі (d) , $(k_i, k_{ii}) > 0$ – коефіцієнти пропорційної та інтегральної складових регуляторів струму.

– регулятор кутової швидкості:

$$\begin{aligned} \dot{i}_{1q}^* &= \frac{1}{\mu\psi^*} (-k_\omega \tilde{\omega} + \dot{M}_c + \dot{\omega}^* + v\omega^*) ; \\ \dot{M}_c &= -k_{\omega i} \tilde{\omega} ; \\ \dot{i}_{1q}^* &= \frac{1}{\mu\psi^*} \left[-k_\omega (-k_\omega \tilde{\omega} + \mu\psi^* \tilde{i}_q) + \dot{M}_c + \ddot{\omega}^* + v\dot{\omega}^* \right] - \frac{\dot{\psi}^*}{\psi^*} i_{1q}^* ; \end{aligned} \quad (4.11)$$

де $\omega^*, \dot{\omega}^*, \ddot{\omega}^*$ – задана кутова швидкість, перша і друга похідні відповідно, $\tilde{\omega} = \omega - \omega^*$ – похибка відпрацювання кутової швидкості, $(k_\omega, k_{\omega i}) > 0$ – коефіцієнти пропорційної та інтегральної складових регулятора кутової швидкості.

– регулятор струму по осі (q) (моментної складової струму статора)

$$\begin{aligned} u_{1q} &= \sigma(\gamma i_{1q}^* + \omega_0 i_{qd} + \beta \omega p_n \psi^* + i_{1q}^* - k_{iq} \tilde{i}_q - x_q) ; \\ \dot{x}_q &= k_{ii} \tilde{i}_{1q} ; \end{aligned} \quad (4.12)$$

де $\tilde{i}_q = i_{1q} - i_{1q}^*$ – похибка відпрацювання струму по осі (q) , u_{1q} – компонента вектора напруги статора по осі (q) .

Визначившись з типом керування та ознайомившись з рівняннями непрямого векторного керування потрібно розібратися з алгоритмом роботи обраної системи для цієї цілі використовуємо моделювання для перевірки відпрацювання завдання. З цією метою створюємо структурну схему рисунок 4.1.

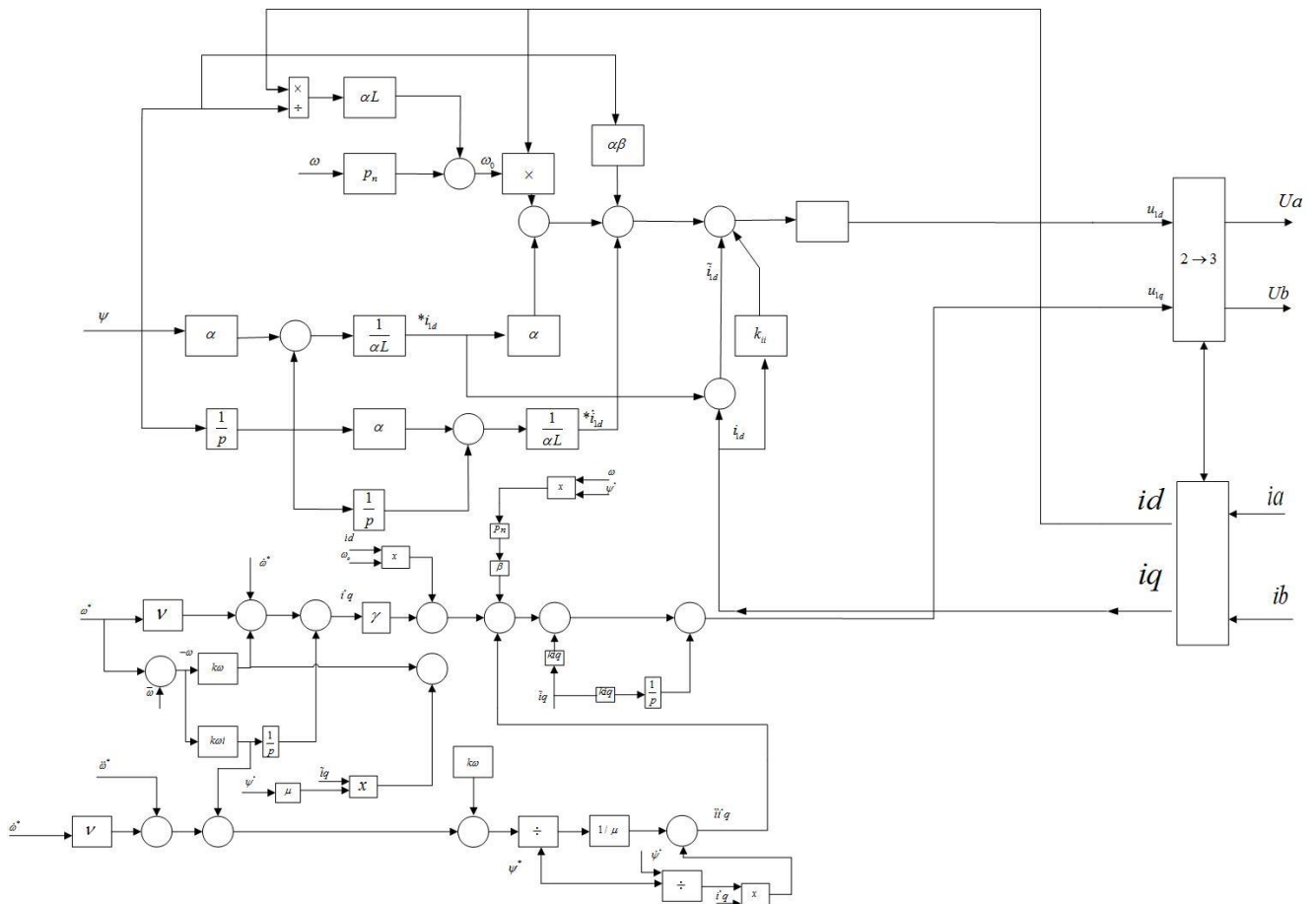


Рисунок 4.1 - Структурна схема системи стандартного непрямого векторного керування

На даній функціональній схемі (рисунок 4.1) представлена система непрямого векторного керування. Даний алгоритм фізично відбувається в мікроконтролері, за допомогою якого формується сигнали на закривання IGBT ключів. На представленій схемі з лівої сторони можливо побачити задані значення, це ті значення які формуються згідно алгоритму роботи. З правої сторони представлені величини які, приходять з силової частини перетворювача. Дані величини можна поділити на дві категорії - перша, це сигнали з датчиків; за допомогою цих сигналів відбувається компенсація похибок. Швидкість знімається за допомогою тахогенератора. Вихідні змінні, які формують алгоритм керування IGBT ключами, проходять через перетворення Парка-Горева з двофазної системи в трифазну.

Висновки до 4 розділу

1. Отримано математичну модель непрямого векторного керування.

2. Складена структурна схема стандартного непрямого векторного керування
3. Отримані результати дають змогу в подальшому дослідити динамічні параметри нашої системи шляхом моделювання.

5 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПЕРЕВІРКИ ТА ВІДБРАКОВУВАННЯ ДЕФЕКТНОЇ СКЛОТАРИ

Виконаємо автоматизацію системи перевірки та відбраковування дефектної склотари. Схема контрольної ділянки конвеєра зображена зображена на рис 5.1.

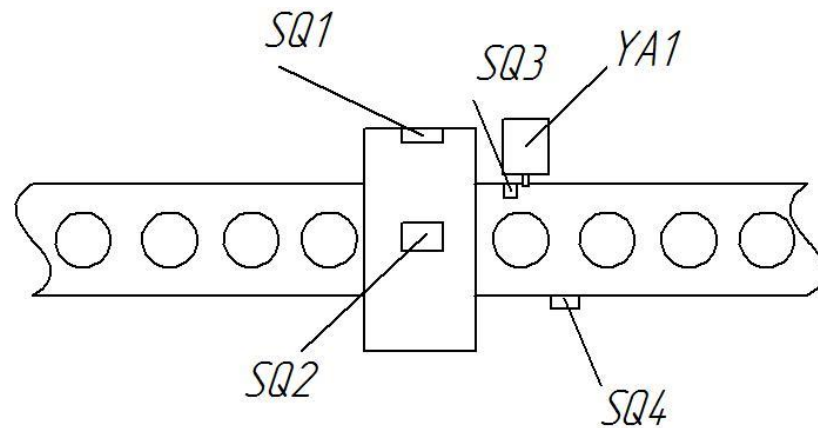


Рисунок 5.1 – Схема автоматизації процесу перевірки та відсіювання
дефектної склотари

На рисунку позначені

- безконтактний датчик SQ1, встановлений на траверсі, призначений для вимірювання товщини стінок скла;
- безконтактний датчик SQ2, для вимірювання товщини дна пляшки;
- безконтактний датчик SQ3 наближення пляшки до місця здуву;
- безконтактний датчик SQ4 контролює покидання пляшки з дефектом лінії;
- виконавчий електромагніт YA1.

Складемо логічні умови роботи системи: після натискання кнопки «Пуск» (логічна змінна *a*), подається живлення на магнітний пускач QF1 (на схемі не показаний), який в свою чергу вмикає двигун конвеєра і починає подачу склотари. Після того, як склотара проходить через оптичні датчики SQ1 та SQ2, які виявляють наявність дефектів, при подальшому її проходженні через датчик положення SQ3 спрацьовує електромагніт YA1 та відкриває потік повітря, який здуває пляшку з конвеєру, а датчик SQ4 контролює те, що склотара з дефектом покидає лінію виробництва та вимикає електромагніт YA1. Відбраковування відбувається, якщо

виявляється наявність дефекту з будь якого датчика ($SQ1=1$ або $SQ2=1$). Кнопка стоп (логічний сигнал b) зупиняє при необхідності роботу системи.

Записуємо кількість станів:

1. Вихідний стан
2. $a = 1, YA2 = 1$
3. $SQ1 = 1, SQ2 = 1$
4. $SQ3 = 1, YA1 = 1$
5. $SQ4 = 1, YA1 = 0$

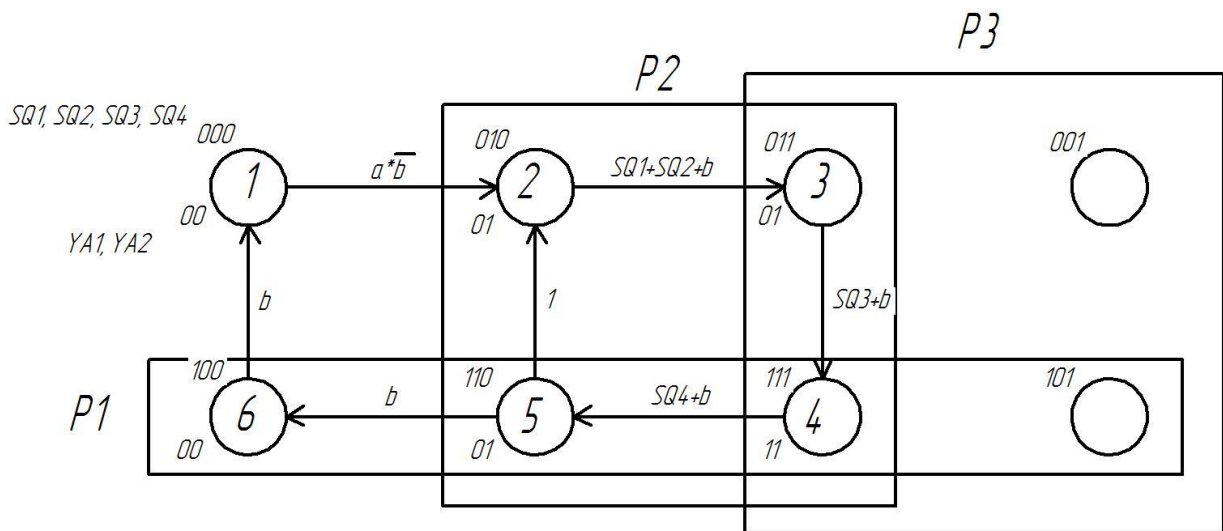


Рисунок 5.2 – Графоперехід

Рівняння тригерів:

$$Sp1 = (SQ3 + b)P2 \cdot P3$$

$$Sp3 = (SQ1 + SQ2 + b)\overline{P1} \cdot P2$$

$$Rp1 = P2 \cdot \overline{P3} + b \cdot \overline{P2} \cdot \overline{P3}$$

$$Rp3 = (SQ4 + b)P1 \cdot P2$$

$$Sp2 = (a \cdot \overline{b})\overline{P1} \cdot \overline{P3}$$

$$YA1 = P1 \cdot P2$$

$$Rp2 = b \cdot P1 \cdot \overline{P3}$$

$$YA1 = P2$$

Обираємо ПЛК, виходячи з потрібної кількості входних та вихідних сигналів а саме, входних сигналів повинно бути мінімум 6 та вихідних 2. Відповідно було прийнято рішення обрати ПЛК фірми SIEMENS 6ED1052-1CC08-0BA1 (рис 5.3), який живиться від напруги 220 В.



Рисунок 5.3 – SIEMENS 6ED1052-1CC08-0BA1

Виконаємо заміну :

$$\begin{array}{llll}
 QF1 \rightarrow Q1 & SQ2 \rightarrow I3 & b \rightarrow I6 & p_3 \rightarrow M3 \\
 a \rightarrow I1 & SQ3 \rightarrow I4 & p_1 \rightarrow M1 & \\
 SQ1 \rightarrow I2 & SQ4 \rightarrow I5 & p_2 \rightarrow M2 &
 \end{array}$$

Складаємо рівняння для ПЛК:

$$I4 - M2 - M3 - \uparrow M1$$

$$I6 - m2 - m3 - \downarrow M1$$

$$M2 - m3 - - \perp$$

$$I1 - i6 - - - (M3$$

$$M3 - m1 - m3 - \uparrow M2$$

$$I6 - M1 - m3 - \downarrow M2$$

$$I2 - m1 - M2 - \uparrow M3$$

$$I3 \perp$$

$$I6 \perp$$

$$I5 - M1 - M2 - \downarrow M3$$

$$I6 \perp$$

$$M1 - M2 - - - (Q1$$

$$M2 - - - - (Q2$$

Схема електрична принципова з'єднання елементів контролера зображена в Додатку 1.

Висновки до 5 розділу

1. Складено схему автоматизації процесу перевірки та відсіювання дефектної склотари.
2. Складено логічні умови роботи даної системи
3. Відповідно до умов складений графоперехід та рівняння для тригерів.
4. Обрано відповідний контролер який задовільняє потреби даної системи та складена для нього програма

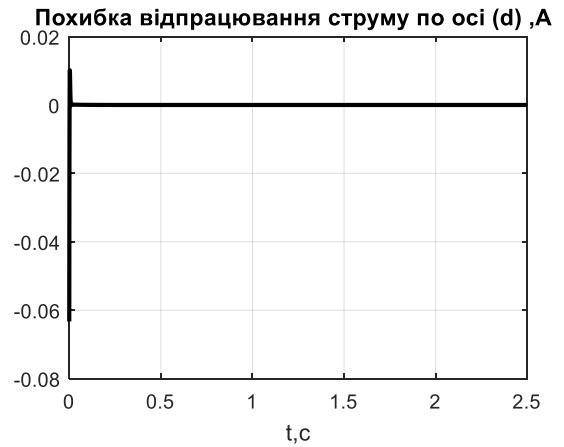
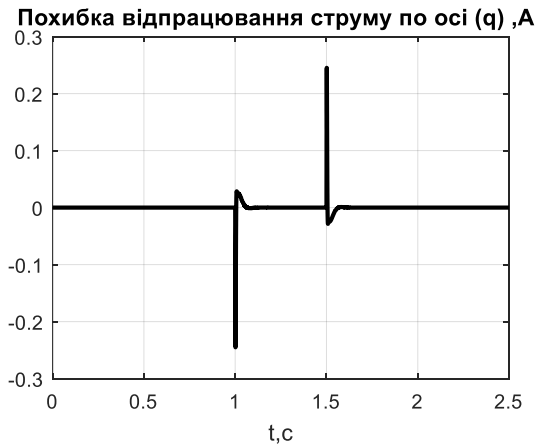
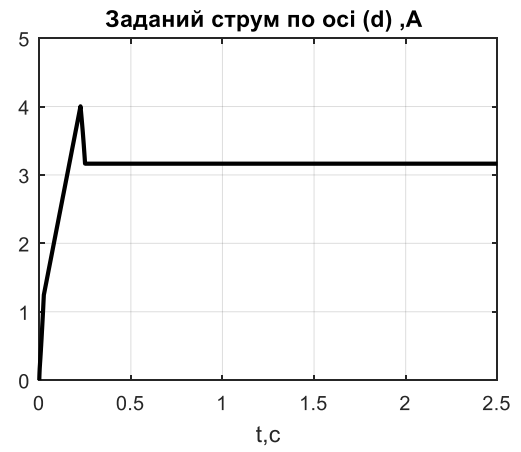
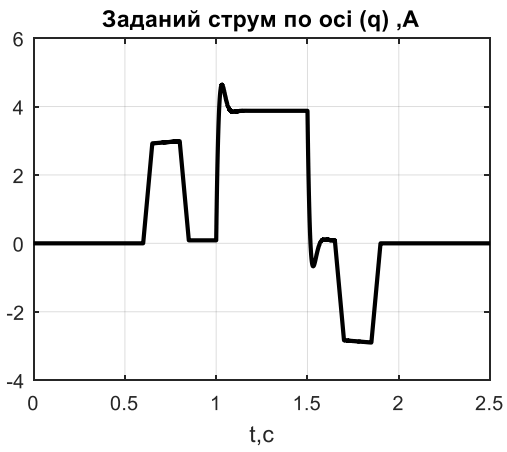
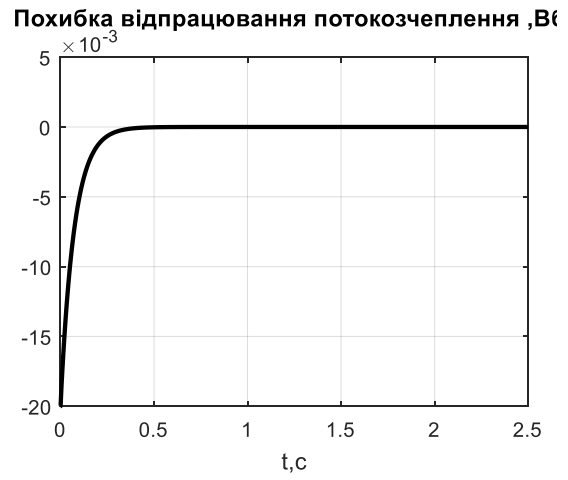
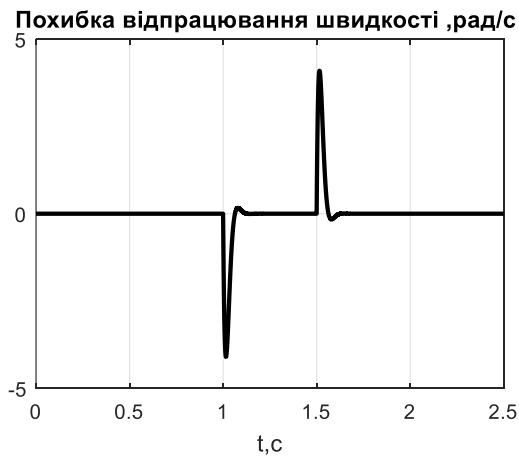
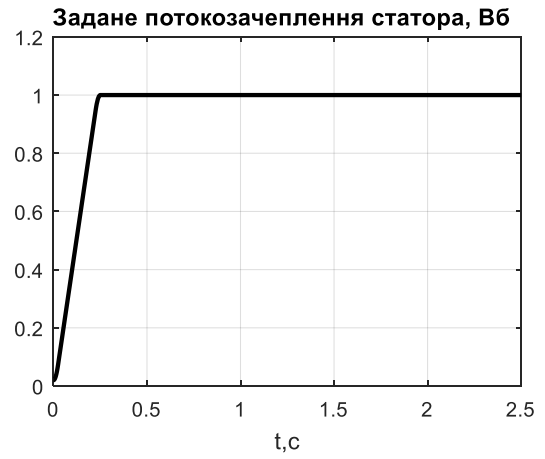
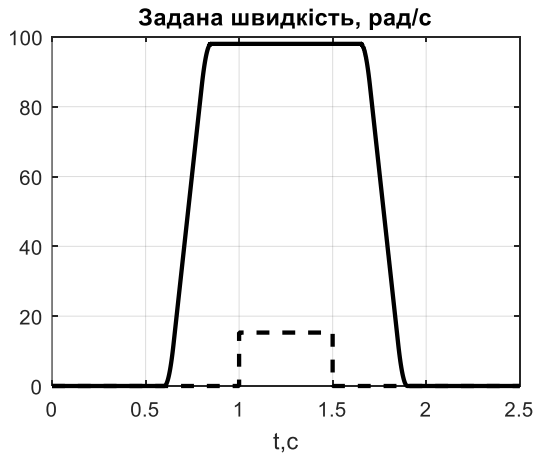
6. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Послідовність проведення дослідження роботи приводу на моделі:

1. Збудження машини відбувається протягом 0.25 с.
2. В час 0.6 с. починаємо розгін двигуна від нуля до номінальної швидкості
 $\omega_n = 98$ рад/с;
3. Тримаємо швидкість номінальною протягом 1 с;
4. Прикладаємо $M_n = 15.4$ Нм в час 1 с.;
5. Знімаємо M_c в час 1.5 с;
6. Зупиняємо двигун в час 2.2 с.
7. $k_i = 1000$ на основі досвіду проектування [23]
8. $k_\omega = 100$ на основі досвіду проектування

6.1 Дослідження динамічних характеристик при роботі на номінальній швидкості

На рисунку 6.1 зображено перехідні процеси АД при непрямому керуванні.



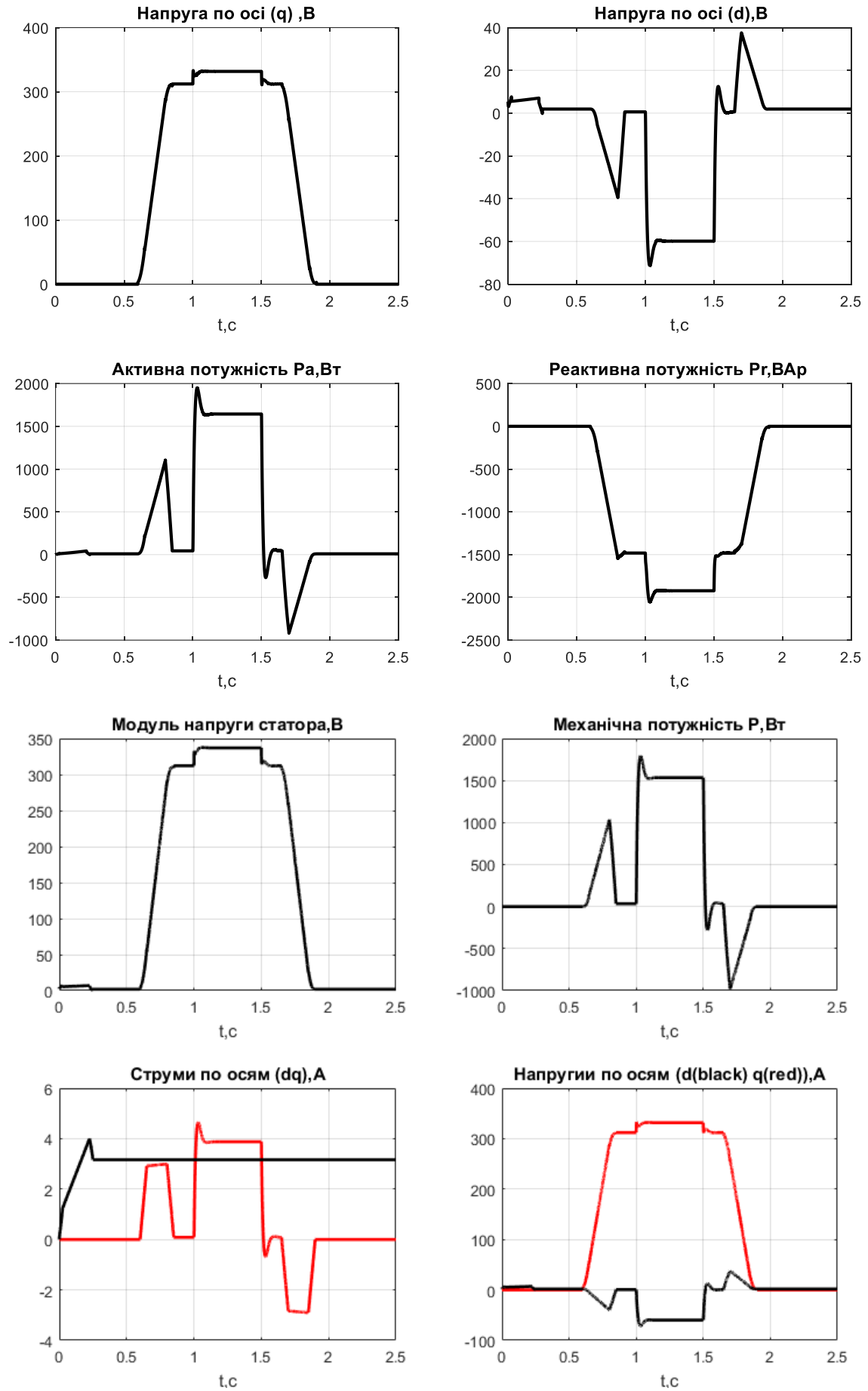


Рисунок 6.1 – Перехідні процеси АД при непрямому керування при $\omega^* = \omega_n$

Як видно з графіку перехідного процесу (рис.6.1) система відпрацьовує задане потокозчеплення, похибка відпрацювання асимптотично спадає до 0.

При відпрацюванні двигуном заданої траєкторії швидкості похибка відсутня, а при накиданні та скиданні моменту навантаження з'являється похибка, яка спадає до нуля.

При входженні потокозчеплення в усталене значення струм i_d знаходиться на своєму піку та не перевищує номінального розрахованого значення струму (I_n).

За графіком реактивної потужності можна зробити висновок, що у весь період роботи двигуна на $\omega \neq 0$, реактивна потужність споживається з мережі.

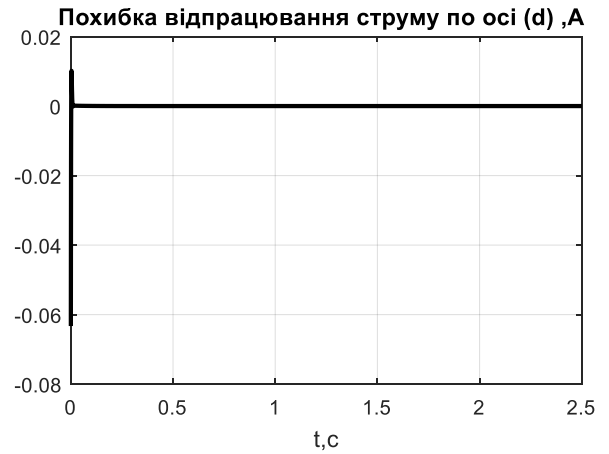
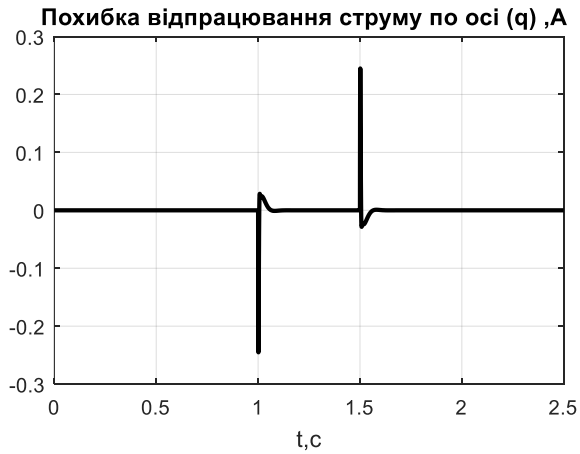
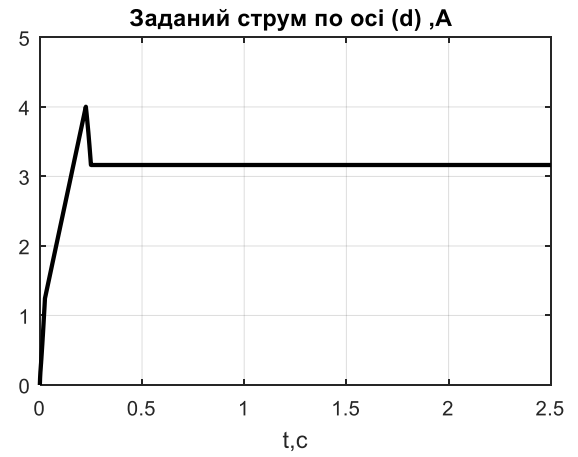
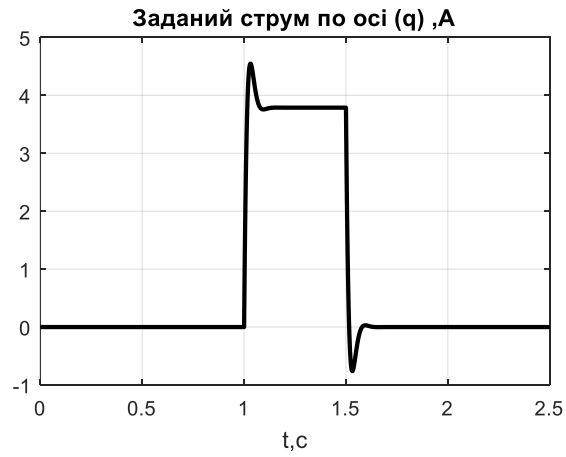
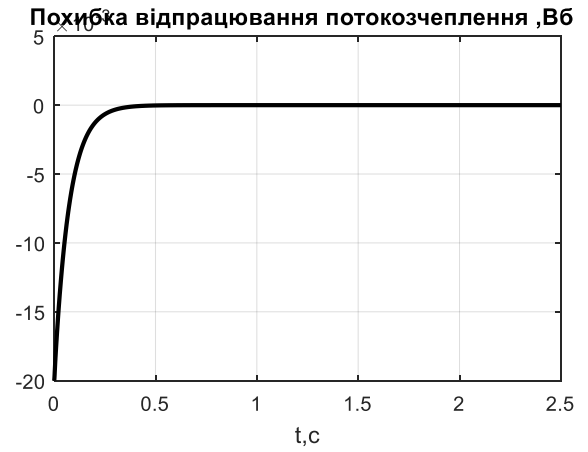
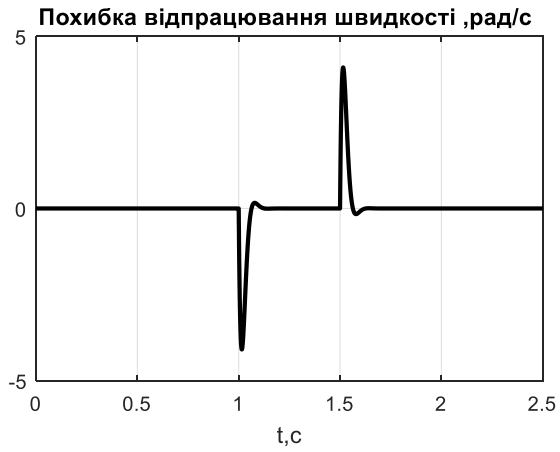
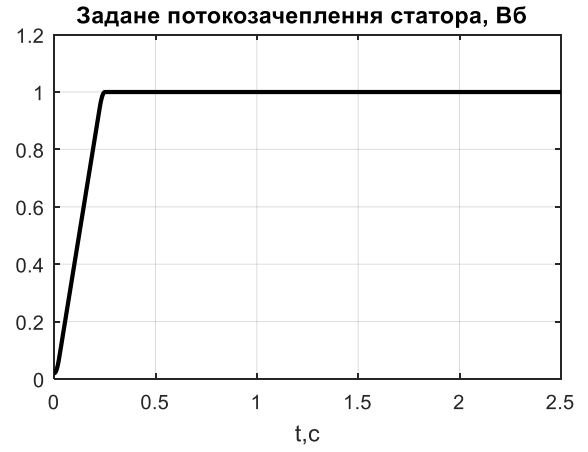
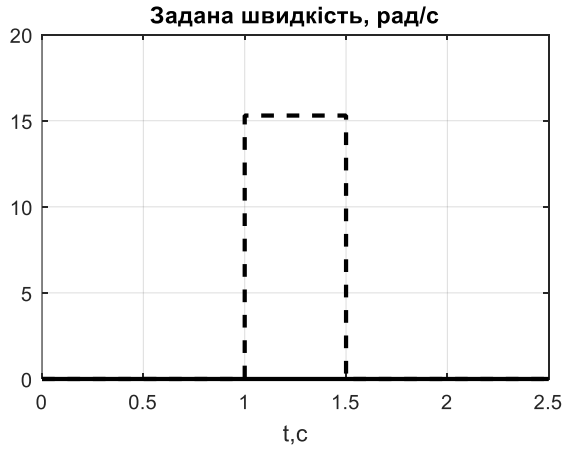
За графіком перехідного процесу напруги u_d видно, що перехідні процеси цієї компоненти обумовлені зміною струму i_d , тобто напруга u_d підтримує задане значення струму i_d . Таку саму ситуацію бачимо з напругою та струмом по осі q , напруга відпрацьовує таку траєкторію, при якій похибка струму i_q залишається рівною нулю.

Як видно з графіку i_q , значення цієї компоненти струму не перевищує розраховане значення I_n при накиданні номінального моменту навантаження.

За графіками активної та реактивної потужності видно, що в момент розгону двигуна та при накиданні навантаження потужність зростає. Але при гальмуванні двигуна потужність стає зі знаком мінус, тобто двигун переходить в рекуперативний режим та віддає активну потужність в мережу.

6.2 Динамічні характеристики АД при роботі на нульовій швидкості

На рисунку 6.2 показано перехідні процеси АД при непрямому керуванні та нульовій швидкості.



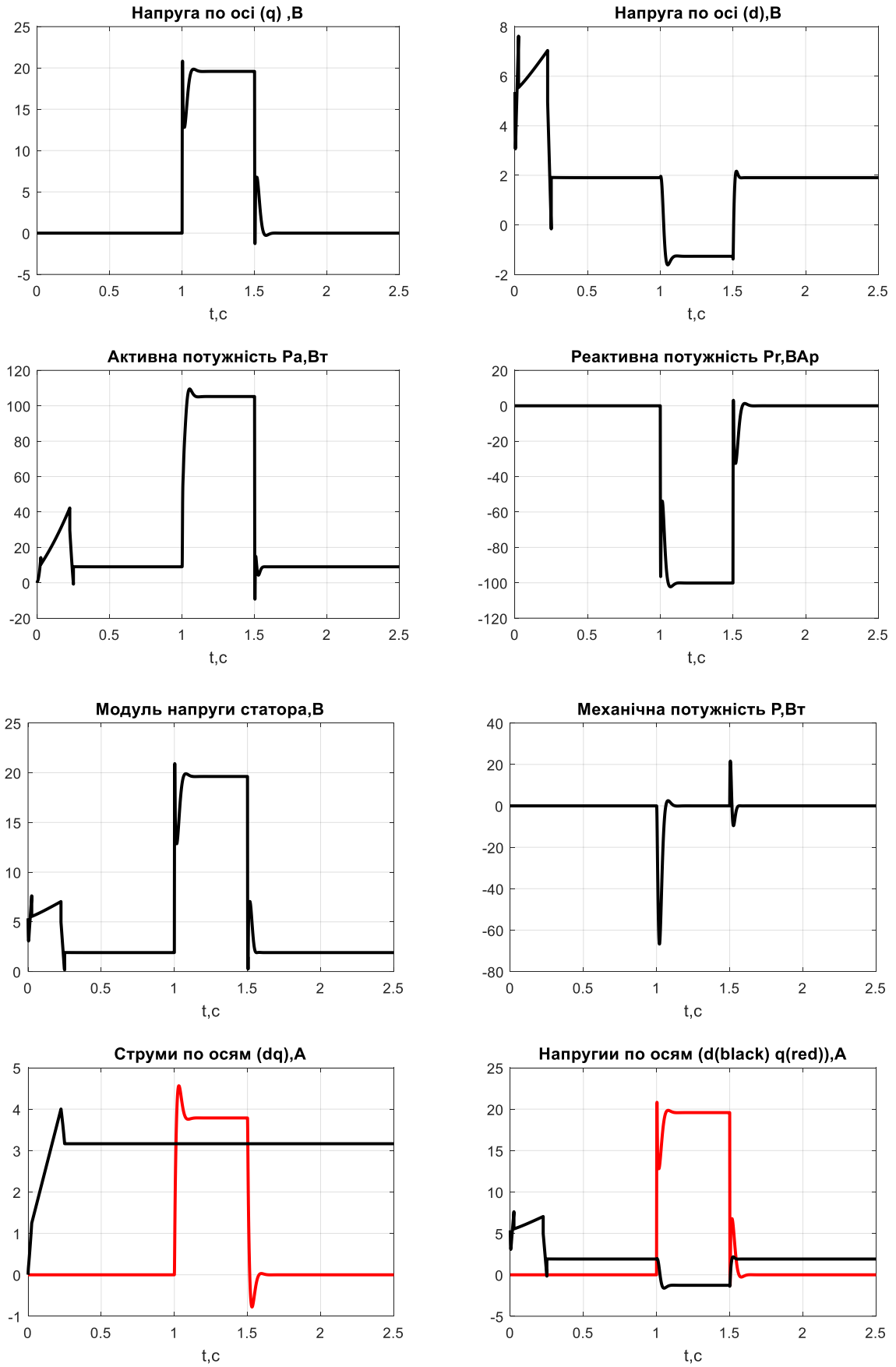


Рисунок 6.2 – Перехідні процеси АД при непрямому керуванні та нульовій швидкості

При входженні потокозчеплення в усталене значення струм i_d знаходиться на своєму піку та не перевищує номінального розрахованого значення струму (I_n).

При нульовій заданій швидкості системи потокозчеплення відпрацьовує похибку асимптотично, зменшуючи її до нуля.

Як видно з графіку i_q , значення цієї компоненти струму не перевищує розраховане значення I_{na} при накиданні номінального моменту навантаження.

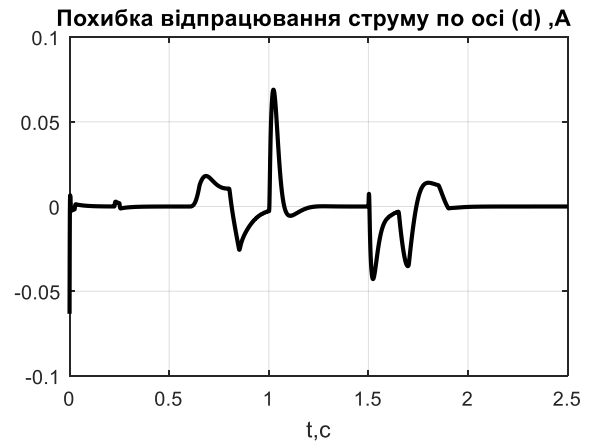
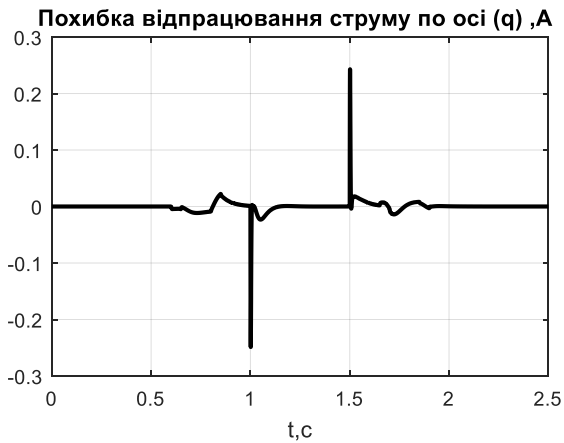
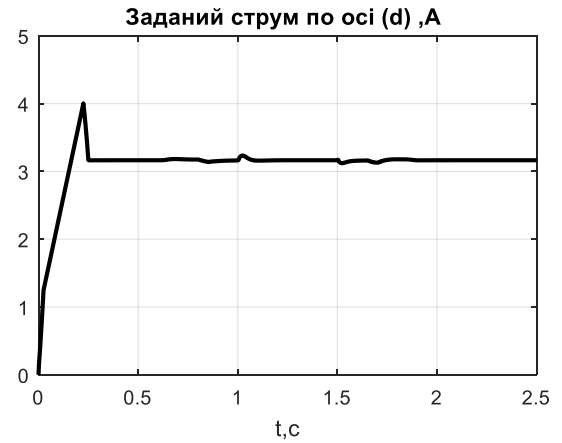
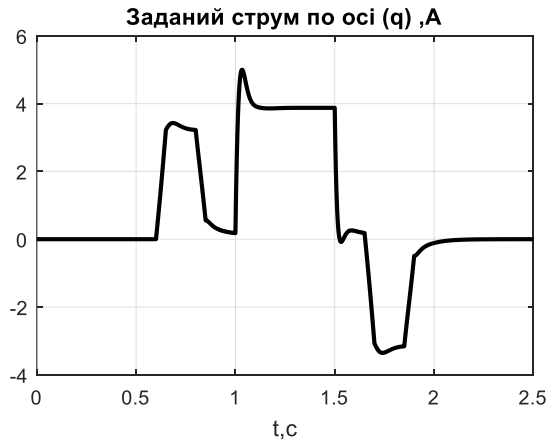
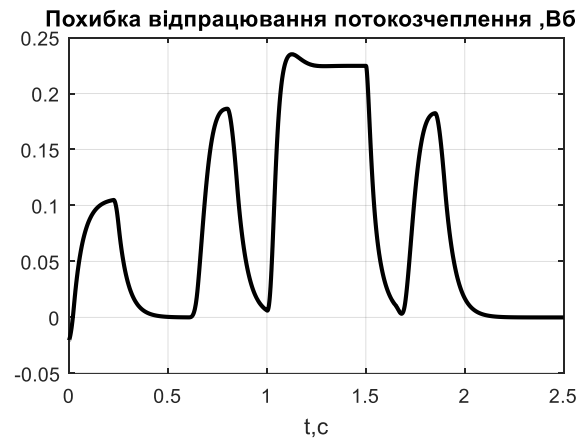
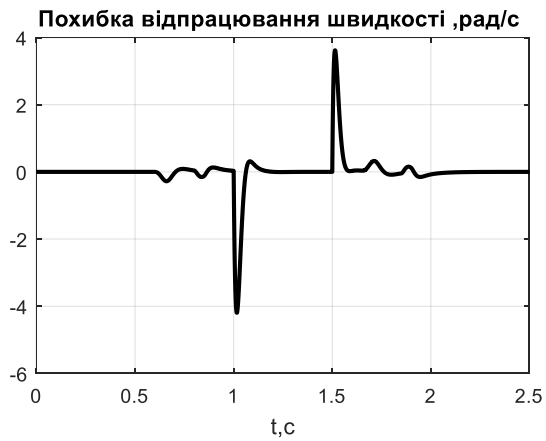
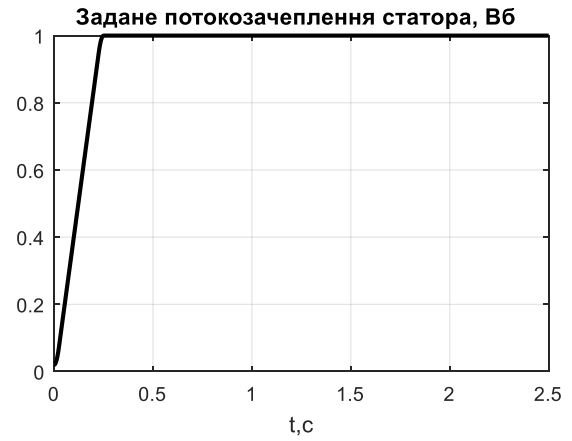
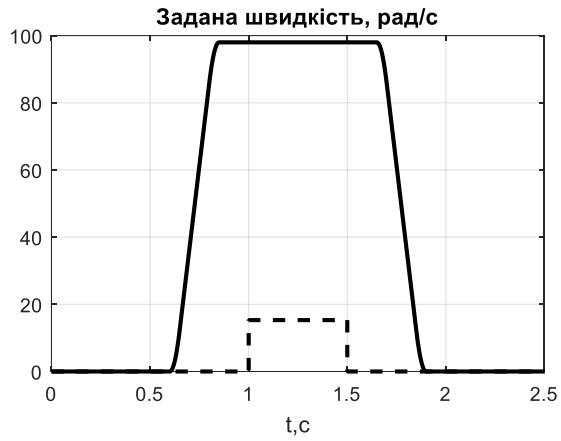
При відпрацюванні двигуном заданої траєкторії швидкості, бачимо що при розгоні та гальмуванні двигуна похибка відсутня, а при накиданні/скиданні моменту навантаження з'являється похибка, яка за 0.1 с спадає до нуля.

За графіком реактивної потужності можна зробити висновок, що при накиданні навантаження реактивна потужність споживається з мережі.

За графіками активної та реактивної потужності видно, момент накидання навантаження потужність зростає.

6.3 Дослідження системи непрямого векторного керування при варіації опору (150%)

На рисунку 6.4 наведені перехідні процеси АД при непрямому керуванні, номінальних параметрах та варіації опору роторного кола 150%



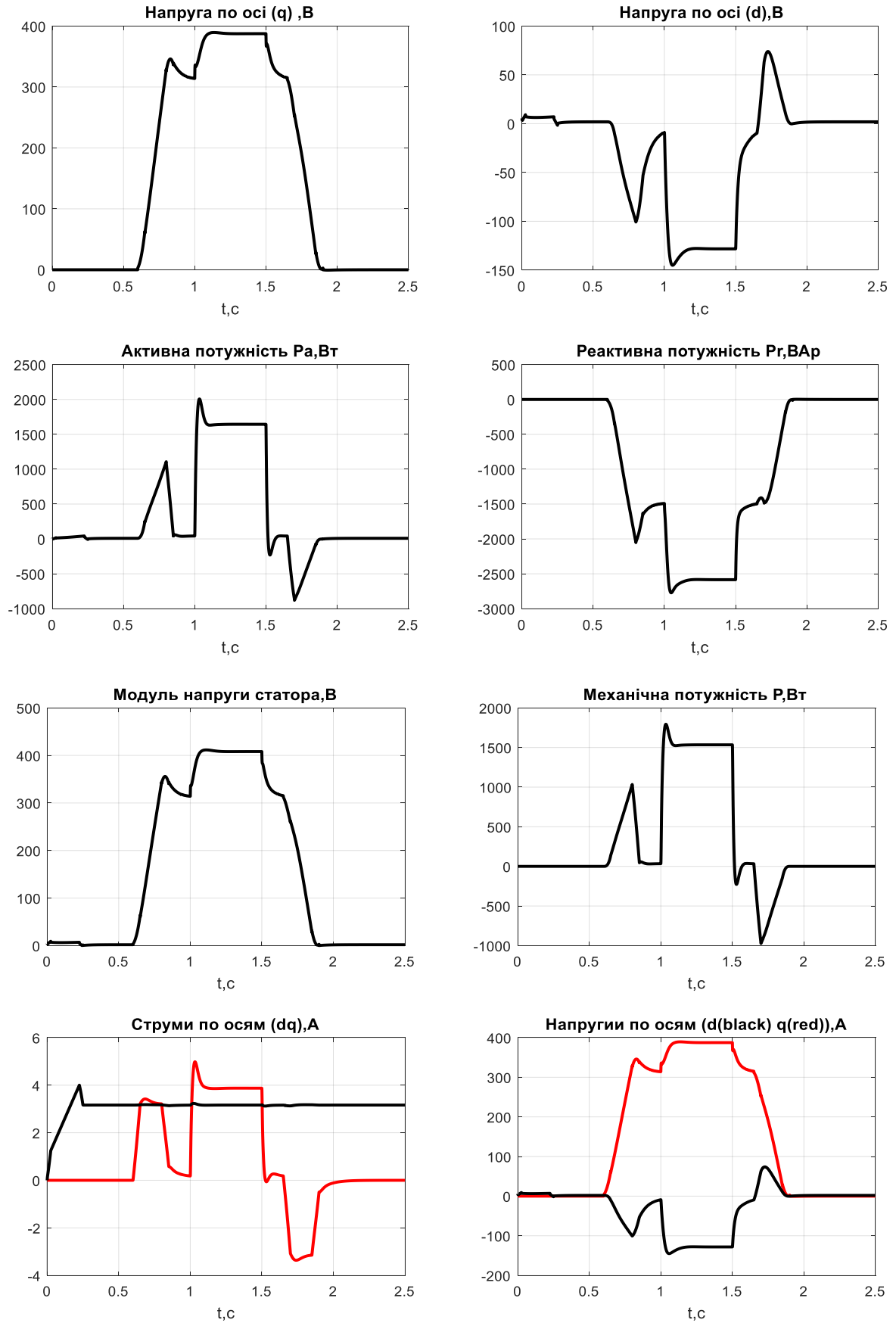


Рисунок 6.4 – Перехідні процеси АД при непрямому керуванні, номінальних параметрах та варіації опору роторного кола 150%

Як видно з графіку перехідного процесу (рис. 6.4) похибка з'явилася не тільки при наростанні потокозчеплення, але й в усталеному режимі. З'явилися похибки відпрацювання траєкторії швидкості. З'явилися похибки струму i_q при розгоні та гальмуванні двигуна, що вплинуло на похибку відпрацювання швидкості, а також з'явилася похибка струму i_d при наростанні потокозчеплення, а також при усталеному режимі.

За графіком перехідного процесу реактивної потужності бачимо значний ріст порівняно з попередніми дослідженнями.

Як бачимо за графіками u_q , u_d та модуля напруги похибки значно зросли, що говорить про те, що напруга намагається відпрацьовувати похибки струмів, які в свою чергу відпрацьовують похибки потокозчеплення та швидкості.

Для отримання робастності системи, наступним чином змінимо рівняння алгоритму керування:

$$u_{ld} = \sigma \left(\gamma i_{ld}^* - \omega_0 i_{lq} - \alpha \beta \psi^* + \dot{i}_{ld}^* - k_i \tilde{i}_d \right) ; \quad (6.1)$$

$$\dot{\varepsilon}_0 = \omega_0 = \omega p_n + \alpha L_m \frac{\dot{i}_{lq}}{\psi^*} + \frac{1}{\psi^*} \gamma_1 \beta \omega \tilde{i}_d . \quad (6.2)$$

Висновки до 6 розділу

1. Отримано графіки перехідних процесів при роботі двигуна на номінальній швидкості $M_c = M_n$.
2. Графіки при роботі на нульовій швидкості $\omega = 0$.
3. Графіки при введенні додаткового опору в коло ротора, що імітує нагрів обмоток ротора

ВИСНОВКИ

1. Виконуючи даний дипломний проект, вирішена поставлена задача з розробки системи автоматизованого електроприводу для пластинчастого конвеєра заводу з виготовництва склотари.

2. За результатами аналізу науково-технічної літератури були сформовані вимоги до електроприводу та систем автоматики пластинчастих конвеєрів.

3. Тяговий розрахунок конвеєра та визначення потужності на валу дали змогу визначити потрібну потужність електродвигуна 1.5 кВт. Вибрано електродвигун серії 4А.

4. Розраховано та обрано елементи перетворювального пристрою, що дозволило розробити схему електричну принципову.

5. Складена математична модель системи непрямого векторного керування, що в подальшому дало змогу дослідити динамічні режими електроприводу.

6. Виконана автоматизація системи виявлення дефектів склотари та в подальшому усунення її з лінії транспортування.

7. Досліджено роботу електроприводу в статичних та динамічних режимах в середовищі MATLAB, даний дослід дав змогу оцінити характеристики системи та впевнитись в правильності вибору її параметрів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Конвеєр пластинчатий [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://stankiexpert.ru/tehnologicheskaya-osnastka/prisposobleniya/konvejer-plastinchatyj.html>
2. Грузоподъёмные и транспортные устройства: Учебник для средних специальных учебных заведений – 2-е изд. перераб. и доп. – М. Машиностроение 1990.
3. Романін Н.Е. Конструкція та розрахунок конвеєрів. Довідник 2011
4. Кравчик А.Э. «Асинхронные двигатели серии 4А», 1982.
5. Теорія мехатронних систем – 1: Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи для студентів заочної форми навчання напрямку підготовки 6.050702 – "Електромеханіка" спеціальності "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод" / Уклад: С. М. Пересада, С. М. Ковбаса. –К.: НТУУ "КПІ", 2011 р. –96 с.
6. Технічна документація на перетворювач частоти ACS355-03E-04A1-4 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://new.abb.com/products/3AUA0000058186/acs355-03e-04a1-4-acs355-03e-04a1-4-pn-1-5kw-i2n-4-1a-ip20> (дата звернення: 10.06.2021).
7. Технічна документація на автоматичний вимикач ВА47-29 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.iek.ua/products/catalog/detail.php?ID=2485012> (дата звернення: 10.06.2021).
8. Технічна документація на діод IXYS 1600V 7A, Silicon Junction Diode, 2-Pin DSA2-16A [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ua.rsdelivers.com/product/ixys/dsa2-16a/ixys-dsa2-16a-%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%B4/1684672> (дата звернення: 10.06.2021).
9. Технічна документація на транзистор IGBT IKW15N120H3, 15A 1200V [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://radiostore.com.ua/p718741610-tranzistor-igbt-ikw15n120h3.html> (дата звернення: 10.06.2021).

10. Технічна документація на резистор 1Вт 22 Ом 5% [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://electronoff.ua/good/rezistor-1vt-22-om-5-10sht.php> (дата звернення: 10.06.2021).
11. Технічна документація на реле MER2-005DC 2р ETI 2473030 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://electrocontrol.com.ua/rele/promezhutochnoe-rele-mer2-005dc-2r-eti-2473030> (дата звернення: 10.06.2021).
12. Технічна документація на транзистор TIP41 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.radiolibrary.ru/reference/transistor-imp/tip41.html> (дата звернення: 10.06.2021).
13. Технічна документація на транзистор IRFBBF20SPBF [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ru.mouser.com/ProductDetail/Vishay-Semiconductors/IRFBBF20SPBF?qs=cval6ThkwxsA0lm4IkW4iw==> (дата звернення: 10.06.2021).
14. Технічна документація на діод низкочастотный 1N4007 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://radiodetali.com.ua/product/diod-nizkochastotnyy-1n4007-63099?gclid=CjwKCAjw2ZaGBhBoEiwA8pfP_nTrJrQCOvlnUxrV-YMxRJIYpNiFjavuGel-9bt7ChfGKvQRwAAXUhoC7p8QAvD_BwE (дата звернення: 10.06.2021).
15. Технічна документація на резистор C42TF [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ru.farnell.com/vishay/c42tf-1500-5/resistance-1-5kohm/dp/2578633> (дата звернення: 10.06.2021).
16. Технічна документація на X – конденсатор фільтра радіо частот R474R410050A1K KEMET. URL: <https://www.tme.eu/ie/en/details/r474r410050a1k/x1-polypropylene-capacitors/kemet/> (дата звернення: 10.06.2021).
17. Технічна документація на Y – C4AQSBU4450A12J KEMET. URL: <https://www.tme.eu/ru/details/c4aqsbu4450a12j/kondensatory-polipropilenovye-standart/kemet/> (дата звернення: 10.06.2021).
18. Технічна документація на синфазний дросель 7448040707. URL: <https://ru.mouser.com/ProductDetail/Wurth->

<Elektronik/7448040707?qs=Zt3UNFD9mQio6uLFtbDs6g%3D%3D>

(дата

звернення: 10.06.2021).

19. Технічна документація на варистор V230LU40CPX570. URL:

<https://m.littelfuse.com/products/varistors/radial-leaded/ciii/v230lu40cpx570.aspx>

(дата звернення: 10.06.2021).

20. Технічна документація на датчик струму AC1015. URL:

<https://www.chipdip.ru/product/ac-1015> (дата звернення: 10.06.2021).

21. Технічна документація на датчик напруги DVL 750. URL:

<https://www.lem.com/ru/dvl-750> (дата звернення: 10.06.2021).

22. Технічна документація на резистор CF-100 (C1-4) 1 Вт, 16 кОм, 5% URL:

<https://www.chipdip.by/product0/37557> (дата звернення: 10.06.2021).

23. Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи з дисципліни “Теорія

мехатронічних систем ” для студентів денної форми навчання зі спеціальності “

Електромеханічні системи автоматизації та електропривід” / Укл. Пересада

С.М., Ковбаса С.М. - К. : НТУУ “КПІ” , 2011 . – 82с.

ДОДАТОК 1

Перелік елементів функціональної схеми

Позначення	Найменування	Кіль- кість	Примітка
1	2	3	4
Двигун			
M1	4A90L6Y3	1	
Частотний перетворювач			
UZ1	ABB ACS355	1	
Автоматичний вимикач			
QF	BA47-29 ИЭК	1	
Контролер			
U	SIEMENS 6ED1052-1CC08-0BA1	1	
Випрамляч			
VD	DSA2-16A	6	
IGBT			
VT1-VT6	IKW15N120H3	6	
Резистор зарядного кола			
R	Резистор 22 Ом 5%	2	
Шунтуюче реле зарядного кола			
K1	ETI MER2-005	1	

					141.8120.016.БР		
Змн.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			
Розроб.	Шидловський А.Б.						
Перевір	Теряєв В.І.						
Н. контр.							
Зав.каф.	Пересада С.М.						
					Автоматизований електропривод пластинчатого конвеєра		
					Реферат		
					Лім	Лист	Листів
						7	71
					НТУУ «КПІ ім. І Сікорського», ФЕА Кафедра АЕМС-ЕП Гр.ЕП-п81		

Продовження переліку елементів функціональної схеми

Транзистор в схемі керування зарядного кола			
VT	TIP41	1	
Транзистор клампера			
VT	IRFBBF20SPBF	1	
Діод клампера			
VD	1N4007	1	
Резистор клампера			
R	C42TF	1	
Конденсатор фільтра радіочастот			
Cx	R474R410050A1K KEMET	1	
Cy	C44UNGT6650M81K KEMET	1	
Синфазний дросель			
L	7448040707	1	
1	2	3	4
Варистор			
R	V230LU40CPX570	1	
Датчик струму			
ДС1-2	AC1015	2	
Датчик напруги			
-	DVL 750	1	
Резистор			
R1	1Вт 16 кОм 5%	1	

					141.8120.016.БР		
Змн	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Автоматизований електропривод пластинчатого конвеєра Реферат		
Розроб.	Шидловський А.Б.						
Перевір	Теряєв В.І.						
Н. контр.							
Зав.каф.	Пересада С.М.						
					Лім	Лист	Листів
						7	71
					НТУУ «КПІ ім. І Сікорського», ФЕА Кафедра АЕМС-ЕП Гр.ЕП-п81		

ДОДАТОК 2

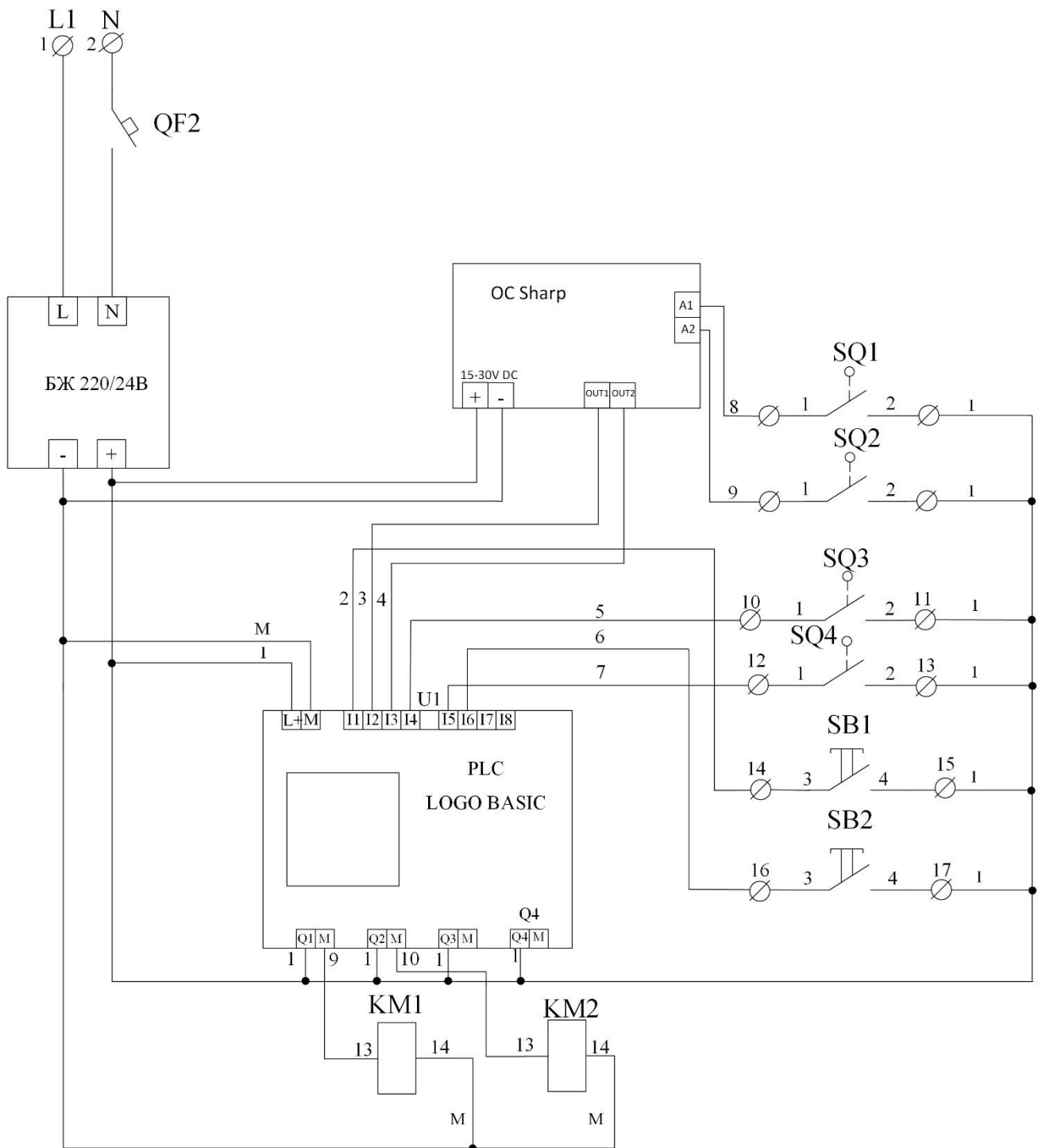


Рисунок Д2.1 – Схема підключень ПЛК