

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Метод керування автоматизованим електроприводом механізму переміщення  
заготовок  
Назва теми

КвРАКІТР.2024078.01.03.ПЗ

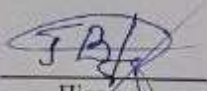
Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»  
Шифр, назва

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка»  
Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка»  
Назва

Виконав:

студент II курсу, група АКІТРм-24-1   
Підпис Владислав ГАЛБРОДА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук, доц.   
Підпис Денис МАКАРИШКІН  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер   
Підпис Галина РАДЕЛЬЧУК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
зав. кафедри АКІТтаР   
Підпис Людмила КОРЕЦЬКА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«16» грудня 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТтаР

Людмила КОРЕЦЬКА

01 вересня 2025р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Галіброді Владиславу Олександровичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Метод керування автоматизованим електроприводом механізму переміщення заготовок

Керівник роботи Макаришкін Денис Анатолійович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 25.08.2025 р. № 65

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 06.12.2025 р.

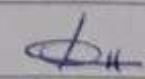
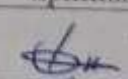
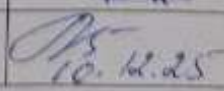

3 Вихідні дані до роботи Аналіз сучасного стану автоматизованих систем керування електроприводом механізмів переміщення заготовок. Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення автоматизованої системи керування електроприводом механізму переміщення заготовок.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Проблематика керування автоматизованим електроприводом механізму переміщення заготовок. Моделювання роботи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Підбір основних елементів автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Дослідження системи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)  
презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Радельчук Г.І., доцент кафедри АКІТтаР	 10.12.25	 11.12.25

7 Дата видачі завдання 01 вересня 2025р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

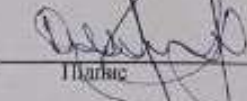
Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1 Вступ	15.09.2025р	виконано
2 Проблематика керування автоматизованим електроприводом механізму переміщення заготовок	30.09.2025р	виконано
3 Моделювання роботи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок	16.10.2025р	виконано
4 Підбір основних елементів автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок	01.11.2025р	виконано
5 Дослідження системи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок	12.11.2025р	виконано
6 Висновки	14.11.2025р	виконано
7 Оформлення пояснювальної записки до КРМ	25.11.2025р	виконано
8 Оформлення презентаційних матеріалів	01.12.2025р	виконано

Студент

  
Підпис

Владислав ГАЛІБРОДА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи

  
Підпис

Денис МАКАРИШКІН  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод керування автоматизованим електроприводом механізму переміщення заготовкою».

Автор роботи: Галіброда Владислав Олександрович.

Керівник роботи: Макаришкін Денис Анатолійович

Пояснювальна записка: 83 с., 27 рис., 2 табл., 4 дод., 70 джерел.

Графічна частина: 14 презентаційних слайдів.

МЕХАНІЗМ ПЕРЕМІЩЕННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, ЕЛЕКТРОПРИВІД,  
ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА  
КЕРУВАННЯ, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН.

**Мета роботи:** розробити автоматизований електропривід механізму переміщення заготовок. Підбрано основні елементи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок, а саме виконано підбір основного обладнання системи, основних елементів силового ланцюга та елементної бази. Проведено розрахунок необхідної потужності електродвигуна для приводу механізму переміщення заготовок, розраховано статичні характеристики та перехідні процеси автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок, також було визначено інтегральні показники перехідних процесів.

Виконано дослідження системи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок, а саме розроблено електричну принципову схему системи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок на основі якої запропоновано програмне забезпечення створене на графічній мові LD з наведенням релейно-контактної діаграми та рівнянь із урахуванням адрес.



Підпис студента

05.12.2025

Дата

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ПРОБЛЕМАТИКА КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗАГОТОВОК .....	8
1.1 Електропривід механізму переміщення заготовок .....	8
1.2 Розрахунок необхідної потужності електродвигуна .....	9
1.3 Вибір основного обладнання .....	17
1.4 Висновки до першого розділу .....	29
2 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗАГОТОВОК .....	31
2.1 Підбір основних елементів силового ланцюга автоматизованого електродвигуна механізму переміщення заготовок .....	31
2.2 Розрахунок статичних характеристик автоматизованого електродвигуна механізму переміщення заготовок .....	32
2.3 Розрахунок параметрів схем включення асинхронного електродвигуна автоматизованого електродвигуна механізму переміщення заготовок.....	37
2.4 Розрахунок перехідних процесів автоматизованого електродвигуна механізму переміщення заготовок .....	38
2.5 Визначення інтегральних показників перехідних процесів.....	41
2.6 Висновки до другого розділу.....	44
3 ПІДБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗАГОТОВОК .....	45
3.1 Розроблення алгоритму роботи механізму переміщення заготовок .....	45
3.1.1 Характеристика технологічного процесу [30-35] .....	45
3.1.2 Розроблення списку сигналів системи автоматизації.....	46
3.2 Розроблення алгоритму автоматизації керування механізмами переміщення заготовок.....	48
3.2.1 Блок керування механізмом підйому .....	49
3.2.2 Блок керування рукою (захватом) .....	50

3.2.3 Блок керування автоматизованими лініями (транспортерами) .....	51
3.3 Розроблення функціональної схеми автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок .....	53
3.4 Підбір елементної бази для автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок .....	55
3.5 Висновки до третього розділу .....	59
4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗАГОТОВОК .....	60
4.1 Розроблення електричної принципової схеми САТП .....	60
4.2 Розроблення програмного забезпечення для системи автоматизації електроприводу механізму переміщення заготовок .....	62
4.3 Висновки до четвертого розділу.....	72
ВИСНОВКИ .....	74
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....	75
Додаток А Стаття №4 2025 р «ВИМІРЮВАЛЬНА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ» .....	83
Додаток Б Характеристики обладнання.....	91
Додаток В Технічні характеристики обладнання.....	94
Додаток Г Технічні параметри обладнання.....	96

## ВСТУП

Сучасні тенденції розвитку систем автоматизації технологічних процесів (САТП) йдуть у напрямку створення автоматичних систем, які здатні виконувати задані функції або процедури без безпосередньої участі людини. Роль людини-оператора полягає в підготовці необхідних вихідних даних, виборі алгоритму роботи (або методу вирішення) і аналізі отриманих результатів. Причому ці тенденції простежуються не тільки при автоматизації складних ТП у промисловості, але й в інших сферах життєдіяльності людини.

У кваліфікаційній роботі розробляється система керування (СК) транспортерами для переміщення заготовок.

Для створення людино-машинного інтерфейсу (НМІ) і вирішення завдань оперативного керування ТП буде використаний пульт керування, на якому оператор зможе вибирати необхідний режим роботи, здійснювати запуск механізму, визначати причину виникнення аварії тощо.

Для приведення механізмів у рух будуть використані асинхронні електродвигуни (АЕД) з короткозамкненим ротором, керування якими буде виконуватись за допомогою частотних перетворювачів (ЧП).

Впровадження даної системи автоматизації дозволить оптимізувати керування встановленими механізмами та зменшити роль людини-оператора в процесі керування.

**Метою роботи** є розв'язання задачі проєктування системи електроприводу та системи автоматизації ділянки переміщення заготовок.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати наступні **завдання**:

- огляд та аналіз конструкції механізмів переміщення готових виробів, підбір вихідних даних для проєктування;
- вибір типу електроприводу, розрахунок необхідної потужності електродвигуна, підбір основного обладнання;
- моделювання роботи автоматизованого електроприводу, підбір основних

елементів силового ланцюга автоматизованого електроприводу, розрахунок статичних характеристик, параметрів схем включення асинхронного електродвигуна та перехідних процесів автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок, визначення інтегральних показників перехідних процесів;

- підбір основних елементів автоматизованого електроприводу, розроблення алгоритму роботи механізму та алгоритму автоматизації керування, розроблення функціональної схеми автоматизованого електроприводу та підбір елементної бази;

- розроблення схеми електричної принципової та переліку елементів, розроблення програмного забезпечення для системи автоматизації.

Об'єктом дослідження є процеси керування автоматизованим електроприводом механізму переміщення заготовок.

Предметом дослідження є методи та алгоритми керування автоматизованим електроприводом механізму переміщення заготовок.

Методи досліджень. Використовувались основні положення теорії моделювання процесів, загальної теорії систем, системного аналізу (ієрархічності, декомпозиції та ін.). Внаслідок проведення моделювання процесу та розроблення методів керування автоматизованим електроприводом ліфтової установки вантажного ліфту використано методи концептуального моделювання, теоретико-множинні підходи, алгебру систем, принципи формування логічного висновку, евристичні оцінки.

Наукова новизна отриманих результатів: розроблено модель системи автоматичного керування автоматизованим електроприводом механізму переміщення заготовок в режимі реального часу.

Практична значимість отриманих результатів: розроблені програмно-технічні засоби для керування автоматизованим електроприводом механізму переміщення заготовок.

Апробація результатів дослідження: опубліковано повнотекстову статтю у

фаховому виданні Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» Випуск №4, 2025 рік.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел, чотирьох додатків. Загальний обсяг роботи складає 83 сторінки комп'ютерного тексту, у тому числі: 27 рисунків та 2 таблиці, перелік джерел посилянь вміщує 70 найменувань.

У вступі сформульовано мету та завдання на роботу, обґрунтована актуальність поставленої задачі, представлено основні отримані результати.

У першому розділі кваліфікаційної роботи магістра описано проблематику керування автоматизованим електроприводом механізму переміщення заготовок, охарактеризовано вимоги до електроприводу механізму переміщення заготовок. Розраховано необхідну потужність електродвигуна для приводу механізму переміщення заготовок, на основі чого виконано підбір основного обладнання системи.

У другому розділі кваліфікаційної роботи магістра проведено моделювання роботи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Виконано підбір основних елементів силового ланцюга автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Розраховано статичні характеристики автоматизованого електроприводу, параметри схем включення асинхронного електродвигуна та перехідні процеси автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок, також було визначено інтегральні показники перехідних процесів.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи магістра проведено підбір основних елементів автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Розроблено алгоритм роботи механізму переміщення заготовок та алгоритм автоматизації керування механізмами переміщення заготовок. На основі яких створено функціональну схему автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок та проведено підбір елементної бази для

автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок.

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи магістра виконано дослідження системи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Було розроблено електричну принципову схему системи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок на основі якої розроблено програмне забезпечення на графічній мові LD з наведенням релейно-контактної діаграми та рівнянь із урахуванням адрес.

У загальних висновках кваліфікаційної роботи магістра представлено отримані результати роботи «Метод керування автоматизованим електроприводом механізму переміщення заготовок».

# 1 ПРОБЛЕМАТИКА КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗАГОТОВОК

Механізм переміщення заготовок призначений для транспортування заготовок між автоматизованими лініями (транспортерами) подачі готових виробів.

Робоча машина містить привід висунення руки 2, АЕД 1 і механізм-захвату 3 (рис. 1.1).

Принцип роботи машини наступний: при натисканні людиною-оператором кнопки «Чергова заготовка» на пульті керування платформа з механізмом переміщення рухається у вертикальній площині і зупиняється навпроти одного з транспортерів.

Потім привід, який відповідає за переміщення руки рухається вперед і чекає спрацьовування механізму-захвату. Після цього рухається назад і зупиняється, чекаючи чергову команду від людини-оператора.

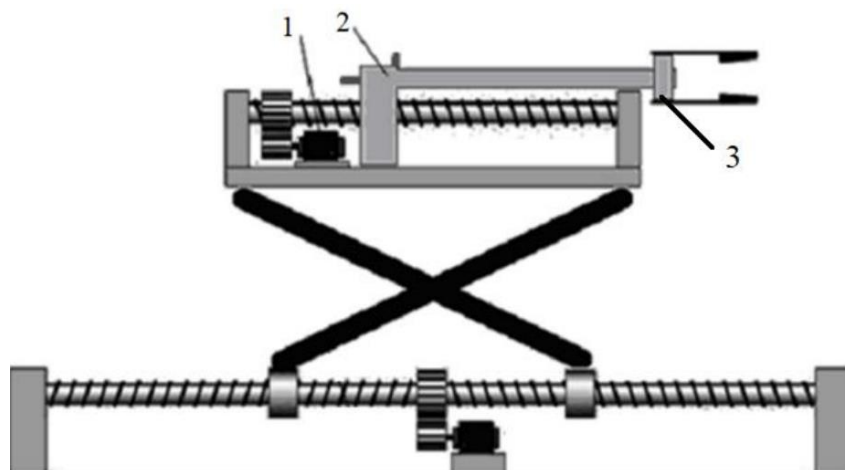


Рисунок 1.1 - Загальний вигляд механізму переміщення заготовок

## 1.1 Електропривід механізму переміщення заготовок

В табличному вигляді наведено технічні дані механізму переміщення заготовок, необхідні для виконання аналітичних розрахунків.

Таблиця 1.1 - Технічні дані механізму переміщення заготовок

Назва показника	Значення
Сила протидії, кН	30
Середній діаметр нарізання гвинта, м	0,2
Приведена маса, т	100
Величина переміщення, м	2
Швидкість гвинта при переміщенні механізму вперед, м/с	0,055
Швидкість гвинта при переміщенні механізму назад, м/с	0,09
Кут тертя при нарізанні гвинта, °	5
Кут підйому нарізки гвинта, °	6
Число циклів роботи, 1/год	30
Коефіцієнт тертя ковзання	0,02
Допустиме прискорення, м/с <sup>2</sup>	0,1
Діаметр шийки ролика, м	0,1
Лінійна жорсткість, МН/м	50
Момент інерції тормозного ролика, кгм <sup>2</sup>	0,4
Момент інерції повздовжнього валу, кгм <sup>2</sup>	5

## 1.2 Розрахунок необхідної потужності електродвигуна

Визначимо час запуску та гальмування  $t_{\text{пуск}}, t_{\text{гальм}}$  до заданого рівня швидкості руху механізму переміщення заготовок при робочому ході згідно наступної формули [1-10]:

$$t_{\text{пуск}} = t_{\text{гальм}} = \frac{v_{\text{роб}}}{\alpha_{\text{дон}}}, \quad (1.1)$$

де  $v_{\text{роб}}$  - заданий рівень швидкості руху, м/с;  $\alpha_{\text{дон}}$  - допустиме прискорення, м/с<sup>2</sup>.

Тепер визначимо час запуску і гальмування при русі механізму вперед:

$$t_{\text{пуск1}} = t_{\text{гальм1}} = \frac{v_{\text{роб}}}{\alpha_{\text{дон}}} = \frac{0,055}{0,1} = 0,55\text{с.}$$

Визначимо час запуску і гальмування при русі механізму назад [1-10]:

$$t_{\text{пуск2}} = t_{\text{гальм2}} = \frac{0,09}{0,1} = 0,9\text{с.}$$

Знайдемо величину шляху, що проходить робоча машина за час пуску і гальмування згідно формули [1-10]:

$$L_{\text{пуск}} = L_{\text{гальм}} = \frac{v_{\text{роб}}^2}{2 \cdot \alpha_{\text{дон}}}. \quad (1.2)$$

Визначимо величину шляху, пройденого за час пуску і гальмування, при русі механізму вперед [1-10]:

$$L_{\text{пуск1}} = L_{\text{гальм1}} = \frac{v_{\text{роб}}^2}{2 \cdot \alpha_{\text{дон}}} = \frac{0,055^2}{2 \cdot 0,1} = 0,015\text{м.}$$

Визначимо величину шляху, пройденого за час пуску і гальмування, при русі механізму назад [1-10]:

$$L_{\text{пуск2}} = L_{\text{гальм2}} = \frac{v_{\text{роб}}^2}{2 \cdot \alpha_{\text{дон}}} = \frac{0,09^2}{2 \cdot 0,1} = 0,04\text{м.}$$

Знайдемо час усталеного режиму руху [1-10]:

$$t_{yсм} = \frac{L - (L_{нyск} + L_{залм})}{v_{роб}}; \quad (1.3)$$

$$t_{yсм1}^P = \frac{L_{yсм1}^P}{v_{роб}} = \frac{L - (L_{нyск1} + L_{залм1})}{v_{роб}} = \frac{2 - (0,015 + 0,015)}{0,055} = \frac{1,97}{0,055} = 35,8с;$$

$$t_{yсм2}^B = \frac{L_{yсм2}^B}{v_{роб}} = \frac{L - (L_{нyск2} + L_{залм2})}{v_{роб}} = \frac{2 - (0,04 + 0,04)}{0,09} = \frac{1,92}{0,09} = 21,3с.$$

Розрахуємо величини статичних моментів робочої машини [1-10].

Визначимо момент сил тертя в підшипниках згідно формули:

$$M_{ТП} = \frac{m_1 \cdot d_c \cdot \mu_{нід} \cdot g}{2}, \quad (1.4)$$

де  $m_1$  - маса деталей і вузлів, що спираються на підшипники, кг ;  $d_c$  - діаметр шийки валу або осі, м;  $\mu_{нід}$  - коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках;  $g$  - прискорення вільного падіння [1-10].

- при русі механізму вперед:

$$M_{ТП}^P = \frac{100 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,02 \cdot 9,8}{2} = 1962Н \cdot м;$$

- при русі механізму назад:

$$M_{ТП}^B = \frac{0,2 \cdot m_1 \cdot d_c \cdot \mu_{нід} \cdot g}{2} = \frac{0,2 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,02 \cdot 9,8}{2} = 392,4Н \cdot м.$$

Момент сил тертя в гвинтовій передачі при висуванні гвинта, що долає силу Q [1-10]:

$$M_{BII1} = \frac{Q \cdot d_{zg}}{2} \cdot \tan(\alpha + \varphi), \quad (1.5)$$

де  $d_{zg}$  - середній діаметр нарізки гвинта, м (див. табл. 1.1);  $\alpha$  - кут підйому нарізки гвинта, рад;  $\varphi$  - кут тертя в нарізці гвинта, рад.

$$M_{BII1} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 0,2}{2} \cdot \tan(6 + 5) = 582H \cdot м.$$

Визначимо величину моменту сил тертя в гвинтовій передачі при зворотному русі гвинта в напрямку в якому діє сила  $Q$  [1-10]:

$$M_{BII2} = \frac{Q \cdot d_{zg}}{2} \cdot [\tan(\alpha + \varphi) - \tan \alpha]; \quad (1.6)$$

$$M_{BII2} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 0,2}{2} \cdot [\tan(6 + 5) - \tan 6] = 267,8H \cdot м.$$

Визначимо момент інерції робочого органу згідно наступної формули:

$$J_{po} = J_1 + J_2 + \dots + (m_1 + m_2 + \dots) \cdot \frac{D^2}{4}, \quad (1.7)$$

де  $J_1, J_2$  - моменти інерції обертових елементів робочої машини;  $m_1, m_2$  - маси поступально рухомих частин, кг;  $D$  - діаметр колеса (зірочки, шківів тощо), м.

Знайдемо момент інерції робочого органу при русі вперед [1-10]:

$$J_{pol} = J_B + m \cdot \frac{D^2}{4};$$

$$J_{po1} = 5 + 100 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,2^2}{4} = 1005_{кг} \cdot м^2.$$

Знайдемо момент інерції робочого органу при русі назад [1-10]:

$$J_{po2} = J_B + 0,2 \cdot m \cdot \frac{D^2}{4};$$

$$J_{po2} = 5 + 0,2 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,2^2}{4} = 205_{кг} \cdot м^2.$$

При заданій величині допустимого прискорення руху розрахуємо динамічні моменти механізму переміщення виробів.

$$M_{родинам} = J_{po} \cdot \frac{2 \cdot a_{доп}}{D}, \quad (1.8)$$

де  $J_{po}$  - момент інерції робочого органу,  $кг \cdot м^2$ ;  $a_{доп}$  - середнє прискорення  $м/с^2$ ;

$D$  - діаметр шківa, м.

При русі робочого органу вперед [1-10]:

$$M_{родинам1} = J_{po1} \cdot \frac{2 \cdot a_{доп}}{D} = 1005 \cdot \frac{2 \cdot 0,1}{0,2} = 1005H \cdot м.$$

При русі робочого органу назад:

$$M_{родинам2} = J_{po2} \cdot \frac{2 \cdot a_{доп}}{D} = 205 \cdot \frac{2 \cdot 0,1}{0,2} = 205H \cdot м.$$

Визначимо повний момент робочої машини згідно із наступною формулою

[1-10]:

$$M_{po} = M_{рост} + M_{родинам}. \quad (1.9)$$

- 1-ша ділянка - розгін механізму вперед до робочого рівня швидкості:

$$M_{po1} = M_{рост1} + M_{родинам1} = 2544 + 1005 = 3549H \cdot м.$$

- 2-га ділянка - рух механізму вперед з робочим рівнем швидкості:

$$M_{po2} = M_{рост1} = 2544H \cdot м.$$

- 3-тя ділянка - гальмування механізму до повної зупинки:

$$M_{po3} = M_{рост1} - M_{родинам1} = 2544 - 1005 = 1539H \cdot м.$$

- 4-та ділянка - розгін механізму назад до рівня швидкості повернення:

$$M_{po4} = M_{рост2} + M_{родинам2} = 660,2 + 205 = 865,2H \cdot м.$$

- 5-та ділянка - рух механізму із рівнем швидкості повернення назад:

$$M_{po5} = M_{рост2} = 660,2H \cdot м.$$

- 6-та ділянка - гальмування механізму до повної зупинки:

$$M_{po6} = M_{рост2} - M_{родинам2} = 660,2 - 205 = 455,2H \cdot м.$$

На рисунку 1.2 представлені графічні залежності рівнів швидкості і моментів від часу, а в таблиці Б.1 (див. Додаток Б) для кожної ділянки вкажемо величини моментів, рівнів швидкостей, моментів інерції та величин пройденого шляху [1-10].

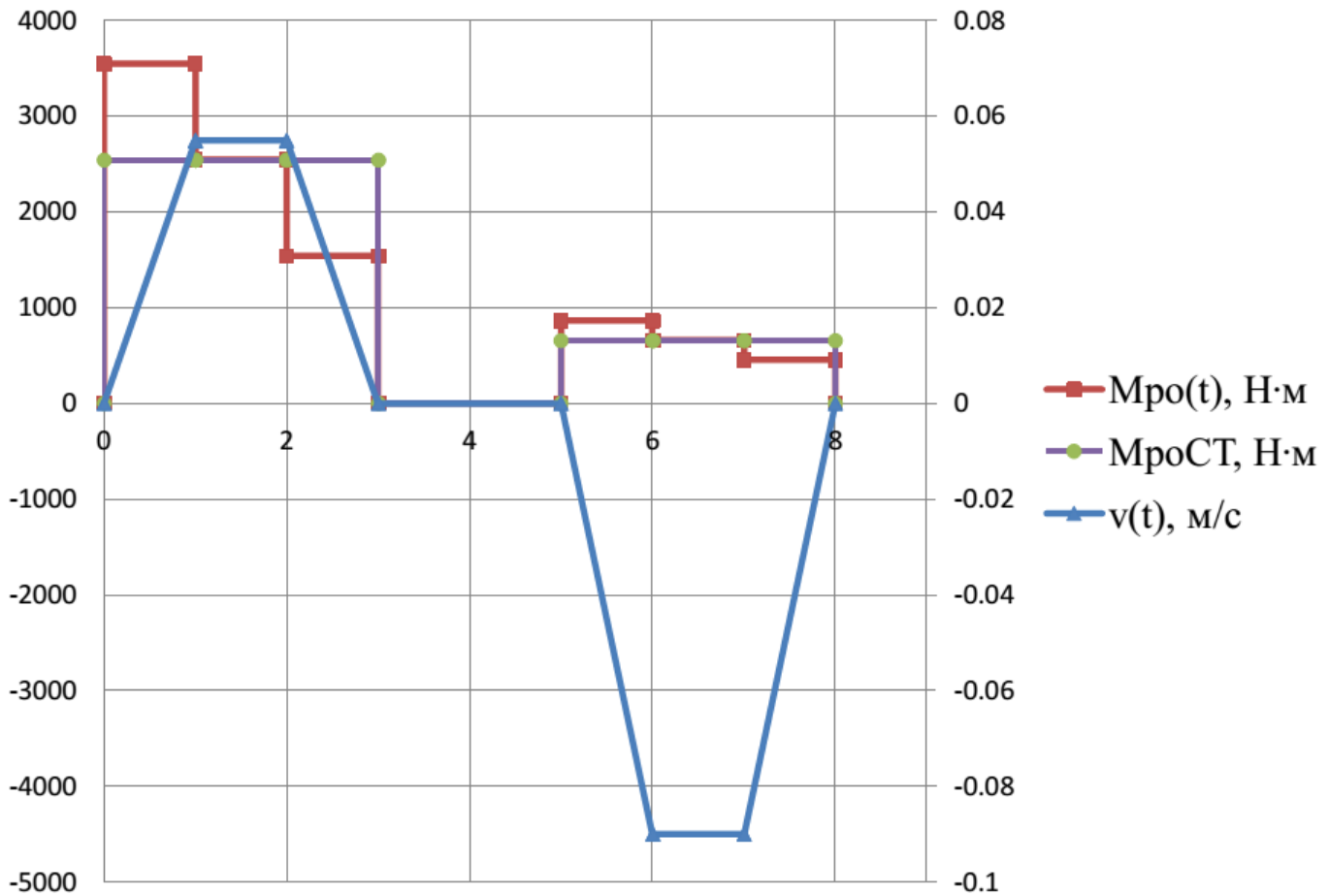


Рисунок 1.2 - Графічні залежності моментів робочого органу і рівнів швидкості

За розрахованими значеннями моментів на кожній ділянці (див. Додаток Б, табл. Б.1) можна визначити середньоквадратичне значення моменту згідно формули [1-10]:

$$M_{серкв} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m M_k^2 \cdot t_k}{\sum_{k=1}^m t_k}}, \quad (1.10)$$

де  $M_k$  - момент на  $k$ -ій ділянці, Н\*м;

$t_k$  - тривалість  $k$ -ої ділянки, с.

Визначимо середньоквадратичне значення моменту:

$$M_{серкв} = \sqrt{\frac{3549^2 \cdot 0,55 + 2544^2 \cdot 35,8 + \dots + 455,2^2 \cdot 0,9}{0,55 + 35,8 + 0,55 + 0,9 + 21,3 + 0,9}} = 2041H \cdot м.$$

Тоді потужність ЕД визначається за наступною формулою:

$$P_{ЕД} = k_1 \cdot M_{серкв} \cdot \frac{2 \cdot v_{роб}}{D} \cdot \sqrt{\frac{TB_{факт}}{TB_{кат}}}, \quad (1.11)$$

де  $k_1$  - коефіцієнт, що враховує тертя kabini при русі по напрямних, приймаємо

$$k_1 = 1,3;$$

$D$  - діаметр нарізки гвинта, м;

$v_{роб}$  - основний рівень швидкості руху, м/с;

$TB_{факт}$  - фактичне значення відносної тривалості включення проєктованого приводу;

$TB_{кат}$  - найближче до  $TB_{факт}$  каталожне значення відносної тривалості включення для ЕД обраної серії.

$$TB_{факт} = \frac{1}{t_u} \cdot \sum_{k=1}^m t_k \cdot 100\%. \quad (1.12)$$

Визначимо час роботи циклу [1-10]:

$$t_u = \frac{3600}{z};$$

$$t_u = \frac{3600}{30} = 120c;$$

$$TB_{факт} = \frac{1}{120} \cdot (0,4 + 24,6 + \dots + 0,08) \cdot 100\% = 50\%.$$

Для АЕД краново-металургійної серії ряд ТВ з каталогу: 15, 25, 40, 60, 100%. Вибираємо найближче ТВ, тобто  $TB_{кат} = 40\%$  [11].

Тоді

$$P_{ЕД} = 1,3 \cdot 2041,5 \cdot \frac{2 \cdot 0,055}{0,2} \cdot \sqrt{\frac{50}{40}} = 1631,9 \text{ Вт}.$$

### 1.3 Вибір основного обладнання

Вибір типу АЕД

З АЕД із короткозамкненим ротором вибираємо електродвигун краново-металургійної серії - 4МТКФ(Н)112L6. Каталогні дані АЕД зведені в таблицю Б.2 (див. Додаток Б) [11].

Вибір редуктора [12-14]

Передаточне відношення редуктора визначається за номінальною швидкістю обертання обраного АЕД і основним рівнем швидкості руху виконавчого органу за наступною формулою [12-14]:

$$i_p = \frac{\omega_{ном} \cdot D}{2 \cdot v_0}, \quad (1.13)$$

де  $D$  - діаметр колеса, що розташоване на вихідному валу редуктора і

перетворює обертання головного валу в поступальний рух виконавчого органу робочої машини,  $m$ ;  $v_0$  - основний рівень швидкості руху виконавчого органу.

Відповідно отримаємо [12-14]:

$$i_p = \frac{92,15 \cdot 0,2}{2 \cdot 0,055} = 167,55.$$

Виберемо редуктор, виходячи з того, що передаточне відношення повинно бути рівним або дещо меншим за розрахункове, при цьому повинні бути враховані умови роботи механізму і рівень швидкості АЕД. Дані редуктора NMRV 025/030 заносимо в таблицю Б.3 (див. Додаток Б) [12-14].

Виконаємо приведення моментів до валу АЕД.

Спочатку виконаємо приведення статичних моментів і моментів інерції до валу АЕД [1-10].

Після вибору АЕД та редуктора визначимо статичні моменти робочої машини, приведені до валу АЕД, за наступною формулою [1-10]:

$$M_{pc} = \frac{M_{рост}}{i_p}, \quad (1.14)$$

де  $M_{рост}$  - статичний момент робочого органу;  $i_p$  - передаточне відношення редуктора.

Тоді, статичний момент робочої машини при русі вперед [1-10]:

$$M_{pc}^p = \frac{M_{рост}^p}{i_p} = \frac{582 + 1962}{150} = 16,96 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Статичний момент робочої машини при русі назад:

$$M_{pc}^{\epsilon} = \frac{M_{pocm}^{\epsilon}}{i_p} = -\frac{267,8 + 392,4}{150} = -4,4H \cdot m.$$

З урахуванням втрат в редукторі статичний момент на валу в рухомому режимі буде визначатись за наступною формулою [1-10]:

$$M_{\epsilon\sigma} = \frac{M_{pc}}{\eta_p}. \quad (1.15)$$

Знайдемо статичний момент при русі вперед в рухомому режимі:

$$M_{\epsilon\sigma}^p = \frac{M_{pc}^p}{\eta_p} = \frac{16,96}{0,97} = 17,49H \cdot m.$$

Знайдемо статичний момент при русі назад в рухомому режимі:

$$M_{\epsilon\sigma}^{\epsilon} = \frac{M_{pc}^{\epsilon}}{\eta_p} = -\frac{4,4}{0,97} = -4,54H \cdot m.$$

При роботі електроприводу в гальмівних режимах моменти на валу АЕД визначають за наступною формулою [1-10]:

$$M_{\epsilon\sigma} = M_{pc} \cdot \eta_p. \quad (1.16)$$

Знайдемо моменти на валу АЕД при русі вперед в гальмівному режимі:

$$M_{\epsilon\sigma}^p = M_{pc}^p \cdot \eta_p;$$

$$M_{\epsilon\sigma}^p = 16,96 \cdot 0,97 = 16,45H \cdot m.$$

Знайдемо моменти на валу АЕД при русі назад в гальмівному режимі [5]:

$$M_{вст}^6 = -M_{рс}^6 \cdot \eta_p;$$

$$M_{вст}^6 = -4,4 \cdot 0,97 = -4,27 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Наведені статичні моменти для системи «електропривод-робоча машина» розраховують для кожної окремої ділянки з урахуванням режиму роботи електроприводу за наступною формулою [1-10]:

$$M_c = M_{вс} + \Delta M_{XX}, \quad (1.17)$$

де  $\Delta M_{XX}$  - момент втрат холостого ходу АЕД.

$$\Delta M_{XX} = \frac{(I_{ном} \cdot U_{ном} \cdot 3 \cdot \cos \varphi_{ном} - P_{ном})}{3 \cdot n_{ном} / 9,55}; \quad (1.18)$$

$$\Delta M_{XX} = \frac{(6,8 \cdot 220 \cdot 3 \cdot 0,73 - 2200)}{3 \cdot 880 / 9,55} = 3,89 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

З урахуванням втрат на холостий хід статичний момент на валу в рухомому режимі розраховується згідно формули (1.17).

З урахуванням втрат на холостий хід статичний момент на валу в гальмівному режимі розраховується за наступною формулою [1-10]:

$$M_c = M_{вс} - \Delta M_{XX}. \quad (1.19)$$

Визначимо статичний момент при русі вперед в режимі руху:

$$M_{cd}^p = 17,49 + 3,89 = 21,38H \cdot m.$$

Визначимо статичний момент при русі назад в режимі руху:

$$M_{cd}^e = -4,54 - 3,89 = -8,42H \cdot m.$$

Визначимо статичний момент при русі вперед в гальмівному режимі:

$$M_{cm}^p = 16,45 - 3,89 = 12,56H \cdot m.$$

Визначимо статичний момент при русі назад в гальмівному режимі:

$$M_{cm}^e = -4,27 - (-3,89) = -0,38H \cdot m.$$

Виконаємо приведення моментів інерції та коефіцієнтів жорсткості до валу АЕД.

Необхідно привести моменти інерції всієї системи до валу АЕД для того, щоб замінити систему на еквівалентну [1-10].

Визначимо сумарний приведений момент інерції згідно формули:

$$J = \delta \cdot J_{ED} + J_{прив}, \quad (1.20)$$

де  $J_{прив}$  - приведений до валу АЕД момент інерції поступально і обертально рухомих частин системи,  $кг \cdot м^2$ ;

$J_{ED}$  - момент інерції ротора обраного АЕД,  $кг \cdot м^2$ ;

$\delta$  - коефіцієнт, що враховує момент інерції інших моментів електроприводу: гальмівного шківа, муфт, редуктора тощо ( $\delta = 1,3 \dots 1,5$ ).

Визначимо наведений момент інерції робочої машини до валу АЕД [1-10]:

$$J_{\text{прив}} = \frac{J_{\text{рo}}}{i_p^2}. \quad (1.21)$$

Тоді

$$J = 1,5 \cdot J_{\text{ЕД}} + m_1 \cdot \frac{v_{\text{рoб}}^2}{\omega_c^2}, \quad (1.22)$$

де  $\omega_c$  - встановлений рівень швидкості АЕД, рад/с.

Встановлений рівень швидкості АЕД знаходимо за наступною формулою:

$$\omega_c = i_p \cdot \frac{2 \cdot v_{\text{рoб}}}{D}. \quad (1.23)$$

Встановлений рівень швидкості АЕД при русі з робочою швидкістю  $v_{\text{рoб}}$ :

$$\omega_c^p = 150 \cdot \frac{2 \cdot 0,055}{0,2} = 82,5 \text{ рад/с.}$$

Встановлений рівень швидкості АЕД при русі зі швидкістю повернення  $v_6$ :

$$\omega_{\text{сн}}^p = 150 \cdot \frac{2 \cdot 0,09}{0,2} = 135 \text{ рад/с.}$$

Визначимо наведений момент інерції вперед при русі із робочим рівнем швидкості  $v_{\text{рoб}}$ :

$$J^p = 1,5 \cdot 0,035 + 100 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,055^2}{82,5^2} = 0,097 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Визначимо наведений момент інерції при русі назад із рівнем швидкості  $v_6$ :

$$J_n^p = 1,5 \cdot 0,035 = 0,0525 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Розрахуємо пускові та гальмівні моменти АЕД, які потрібні для розгону та гальмування всього приводу механізму.

Визначимо пусковий момент згідно формули [1-10]:

$$M_{\text{пуск}} = M_{\text{ст}} + M_{\text{динам}}, \quad (1.24)$$

де  $M_{\text{ст}}$  - статичний момент опору руху, Н·м;

$M_{\text{динам}}$  - динамічний момент, Н·м.

Динамічний момент розраховується за наступною формулою:

$$M_{\text{динам}} = J \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot i_p}{D}. \quad (1.25)$$

Визначимо динамічний момент при русі вперед [1-10]:

$$M_{\text{динам}}^p = J^p \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot i_p}{D};$$

$$M_{\text{динам}}^p = 0,097 \cdot \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 150}{0,2} = 14,55 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначимо динамічний момент при русі назад:

$$M_{\text{динам}}^{\epsilon} = J^{\epsilon} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot i_p}{D};$$

$$M_{\text{динам}}^{\epsilon} = 0,0525 \cdot \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 150}{0,2} = 7,87 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначимо пусковий момент при русі вперед:

$$M_{\text{пуск}}^p = M_{\text{ст}}^p + M_{\text{динам}}^p;$$

$$M_{\text{пуск}}^p = 17,49 + 14,55 = 32,04 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначимо пусковий момент при русі назад:

$$M_{\text{пуск}}^{\epsilon} = M_{\text{ст}}^{\epsilon} + M_{\text{динам}}^{\epsilon};$$

$$M_{\text{пуск}}^{\epsilon} = -8,42 + 7,87 = 0,55 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначимо гальмівний момент згідно наступної формули:

$$|M_{\text{гальм}}| = |M_{\text{динам}}| + M_{\text{ст}}. \quad (1.26)$$

Визначимо гальмівний момент при русі вперед:

$$|M_{\text{гальм}}^p| = |M_{\text{динам}}^p| + M_{\text{ст}}^p;$$

$$|M_{\text{гальм}}^p| = 14,55 - 12,56 = 1,99 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначимо гальмівний момент при русі назад:

$$\begin{aligned} |M_{\text{гальм}}^e| &= |M_{\text{динам}}^e| + M_{\text{ст}}^e; \\ |M_{\text{гальм}}^e| &= 7,87 - 0,38 = 7,49 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Розрахований пусковий момент менше максимально допустимого моменту, значить, величину прискорення знижувати не потрібно.

На жодній ділянці момент при гальмуванні або розгоні не виявився вище максимального моменту АЕД [1-10].

Наведемо крутильну жорсткість робочого валу до валу АЕД згідно формули:

$$C_{\text{прив}} = \frac{C_k}{J_p^2}; \quad (1.27)$$

$$C_{\text{прив}} = \frac{50000000}{150^2} = 2,22 \text{ кН} \cdot \text{м} / \text{рад}.$$

Виконаємо попередню перевірку АЕД на продуктивність і нагрівання.

Метою попередньої перевірки АЕД є уточнення навантажувальних діаграм моменту і рівнів швидкості АЕД з урахуванням моменту інерції попередньо обраного АЕД.

Визначимо час перехідних процесів за наступною формулою [1-10]:

$$t_i = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{\text{сер}} - M_{\text{ст}}}, \quad (1.28)$$

де  $J$  - сумарний приведений до валу двигуна момент інерції,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$\omega_c$  - встановлений рівень швидкості АЕД,  $\text{рад}/\text{с}$ ;

$M_{\text{сер}}$  - середній момент АЕД,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;

$M_{\text{ст}}$  - приведений статичний момент,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ .

Розрахуємо час перехідного процесу для першої ділянки - розгін вперед:

$$t_1 = J_1 \cdot \frac{\omega_c}{M_{cep1} - M_{cm1}};$$

$$t_1 = 0,097 \cdot \frac{82,5}{32,04 - 21,38} = 0,55c.$$

Розрахуємо час перехідного процесу для третьої ділянки руху - гальмування вперед до зупинки:

$$t_3 = J_1 \cdot \frac{\omega_c}{M_{mcep1} + M_{TC1}};$$

$$t_3 = 0,097 \cdot \frac{82,5}{1,99 + 12,56} = 0,55c.$$

Розрахуємо час перехідного процесу для четвертої ділянки руху - розгін назад:

$$t_4 = J_2 \cdot \frac{\omega_6}{M_{cep2} - M_{c2}};$$

$$t_4 = 0,0525 \cdot \frac{-135}{-0,55 - 8,42} = 0,99c.$$

Розрахуємо час перехідного процесу для шостої ділянки руху - гальмування назад до зупинки:

$$t_6 = J_2 \cdot \frac{\omega_6}{M_{mcep2} - M_{TC2}};$$

$$t_6 = 0,0525 \cdot \frac{-135}{-7,49 + 0,38} = 0,99c.$$

Знайдемо кут повороту валу АЕД за час перехідного процесу згідно із

формулою [1-10]:

$$\alpha_i = \frac{\omega_c \cdot t_i}{2}. \quad (1.29)$$

Визначимо кут повороту валу АЕД на відповідних ділянках шляху:

$$\alpha_1 = \frac{\omega_c \cdot t_1}{2} = \frac{82,5 \cdot 0,75}{2} = 22,69 \text{ рад};$$

$$\alpha_3 = \frac{\omega_c \cdot t_3}{2} = \frac{82,5 \cdot 0,55}{2} = 22,69 \text{ рад};$$

$$\alpha_4 = \frac{\omega_6 \cdot t_4}{2} = \frac{135 \cdot 0,79}{2} = 66,83 \text{ рад};$$

$$\alpha_6 = \frac{\omega_6 \cdot t_6}{2} = \frac{135 \cdot 0,95}{2} = 66,83 \text{ рад}.$$

Час роботи зі стабільним рівнем швидкості визначимо згідно із формулою:

$$t_{\text{уст}} = \frac{\alpha - (\alpha_{\text{пуск}} + \alpha_{\text{гальм}})}{\omega_c}, \quad (1.30)$$

де  $\alpha$  - кут повороту валу АЕД, що відповідає величині переміщення в даному режимі, рад;

$\alpha_{\text{пуск}}, \alpha_{\text{гальм}}$  - кут повороту валу АЕД за час пуску і гальмування відповідно, рад.

Кут повороту валу АЕД, що відповідає величині переміщення в даному режимі знайдемо із формули [1-10]:

$$\alpha_{\Sigma} = 2 \cdot L \cdot \frac{j_p}{D}; \quad (1.31)$$

$$\alpha_{\Sigma} = 2 \cdot 2 \cdot \frac{150}{0,2} = 3000 \text{ рад.}$$

Тоді визначимо час роботи зі стабільним рівнем швидкості.

Час роботи при русі із рівнем швидкості  $v_{роб}$  буде рівним:

$$t_2 = \frac{\alpha_{\Sigma} - (\alpha_{пуск} + \alpha_{гальм})}{\omega_c^p} = \frac{3000 - (22,69 + 22,69)}{82,5} = 35,8 \text{ с.}$$

Час роботи при русі із рівнем швидкості  $v_6$ :

$$t_4 = \frac{\alpha_{\Sigma} - (\alpha_{пуск} + \alpha_{гальм})}{\omega_c^6} = \frac{3000 - (66,83 + 66,38)}{135} = 21,2 \text{ с.}$$

Виконаємо попередню перевірку АЕД на нагрівання за величиною середньоквадратичного моменту згідно наступної формули:

$$M_{серкв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \leq M_{дон}, \quad (1.32)$$

$$\text{де } M_{дон} = M_{кат} \cdot \sqrt{\frac{TB_{кат}}{TB_{факт}}}.$$

$$M_{серкв} = \sqrt{\frac{32,04^2 \cdot 0,55 + 21,38^2 \cdot 35,8 + \dots + 7,49^2 \cdot 0,99}{60}} = 17,56 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Знайдемо фактичне значення  $TB$  згідно формули:

$$TB_{факт} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_u} \cdot 100\%;$$

$$TB_{факт} = \frac{60}{120} \cdot 100\% = 50\%.$$

Визначимо момент АЕД при  $TB_{кат}$ , найближчому до  $TB_{факт}$ :

$$M_{кат} = \frac{P_{кат}}{\omega_{кат}};$$

$$M_{кат} = \frac{2200 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 880} = 23,87 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначимо величину допустимого моменту згідно формули:

$$M_{доп} = 23,87 \cdot 0,8 = 19,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Згідно із (1.32) маємо:

$$M_{серв} \leq M_{доп};$$

$$17,56 < 19,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Обраний до монтажу АЕД проходить перевірку за нагріванням. Для кожної ділянки виконано розрахунки, і всі значення занесені в таблицю Б.4 (див. Додаток Б) [1-10].

#### 1.4 Висновки до першого розділу

Описано проблематику керування автоматизованим електроприводом

механізму переміщення заготовок, охарактеризовано вимоги до електроприводу механізму переміщення заготовок. Розраховано необхідну потужність електродвигуна для приводу механізму переміщення заготовок, на основі чого виконано підбір основного обладнання системи.

## 2 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗАГОТОВОК

2.1 Підбір основних елементів силового ланцюга автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок

Вибір ЧП здійснюється на підставі номінальних даних попередньо обраного АЕД згідно наступних формул [1-10]:

$$\begin{aligned} U_{\text{номЧП}} &\geq U_{\text{номл}}; \\ I_{\text{номЧП}} &\geq I_{\text{ном}}. \end{aligned} \quad (2.1)$$

де  $U_{\text{номл}}, I_{\text{ном}}$  - номінальні рівень лінійної напруги і фазної сили струму статора АЕД;

$U_{\text{номЧП}}, I_{\text{номЧП}}$  - номінальні рівень лінійної напруги і сили струму навантаження ЧП [15-19].

До монтажу обираємо ЧП фірми «АВВ» - модель ACS880-01-07A2-3 (рис. 2.1), характеристики зведені до табличного вигляду (див. Додаток В, табл. В.1) [20].

Також необхідна установка автоматичного вимикача, вибір виконується за наступними параметрами:

$$\begin{aligned} U_{AB} &\geq U_{\text{ном}}; \\ I_{AB} &\geq I_{\text{ном}}. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Виходячи з цих умов, виберемо до монтажу автоматичний вимикач фірми Schneider Electric типу A0251 C60N 24349, у якого  $U_{AB} = 220\text{В}, I_{AB} = 10\text{А}$  [21].

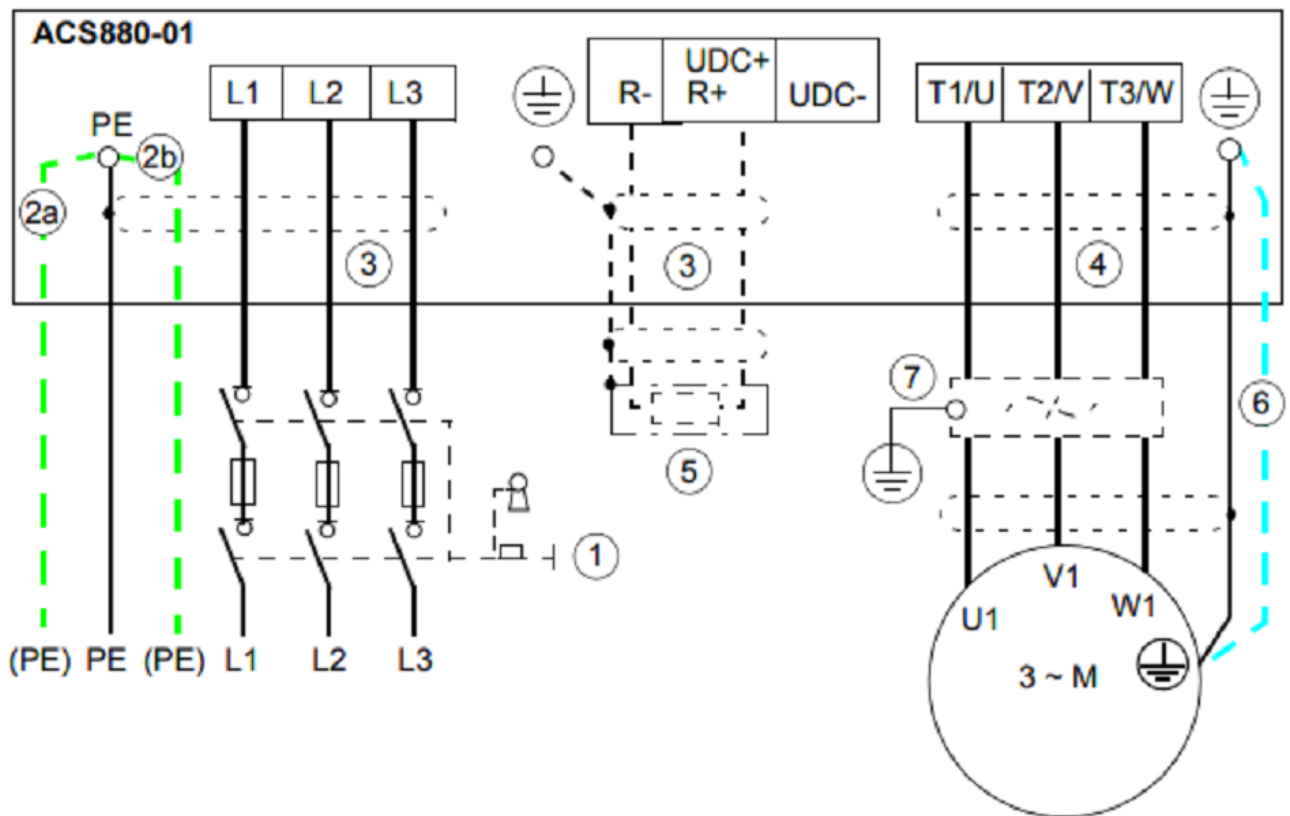


Рисунок 2.1 - Схема підключення ЧП ACS880 [21]

2.2 Розрахунок статичних характеристик автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок

Визначимо синхронний рівень швидкості обертання  $\omega_{0ном}$  згідно наступної формули [1-10]:

$$\omega_{0ном} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1ном}}{p}, \quad (2.3)$$

де  $p$  - число пар полюсів;  $f_{1ном}$  - номінальна частота напруги статора, Гц.

$$\omega_{0ном} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{3} = 104,7 \text{ рад/с.}$$

Знайдемо номінальний момент на валу АЕД згідно формули  $M_{ном}$  :

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}}; \quad (2.4)$$

$$M_{ном} = \frac{2200}{92,15} = 23,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Розрахуємо номінальний електромагнітний момент згідно формули [1-10]:

$$M_{емном} = \frac{3 \cdot U_{1ном} \cdot I_{1ном} \cdot \cos \varphi - 3 \cdot I_{1ном}^2 \cdot r_1}{\omega_{0ном}}; \quad (2.5)$$

$$M_{емном} = \frac{3 \cdot 220 \cdot 6,8 \cdot 0,73 - 3 \cdot 6,8^2 \cdot 2,97}{104,7} = 27,35 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначимо номінальне відносне ковзання згідно формули:

$$s_{ном} = \frac{\omega_{0ном} - \omega_{ном}}{\omega_{0ном}}; \quad (2.6)$$

$$s_{ном} = \frac{104,7 - 92,15}{104,7} = 0,12.$$

Тепер визначимо величину критичного ковзання [1-10]:

$$s_k = s_{ном} \cdot (\mu_k + \sqrt{\mu_k^2 - 1}), \quad (2.7)$$

де  $\mu_k$  - перевантажувальна здатність АЕД.

$$\mu_k = \frac{M_k}{M_{ном}}; \quad (2.8)$$

$$\mu_k = \frac{64}{23,87} = 2,68;$$

$$s_k = 0,12 \cdot (2,68 + \sqrt{2,68^2 - 1}) = 0,62.$$

У вибраній системі електроприводу ЧП-АЕД потрібно визначити частоту  $f_1$  і рівень напруги на статорі  $U_1$ , при яких механічні характеристики будуть проходити через точки усталених режимів. Рівень напруги на статорі визначається законом  $U_1/f_1 = const$  [15-19].

Визначимо синхронну швидкість руху згідно формули [1-10]:

$$\bar{\omega}_{0зад} = \bar{\omega}_{зад} + \Delta\bar{\omega}_{прпр} = \bar{\omega}_{зад} + \bar{M}_{зад} \cdot s_{ном}. \quad (2.9)$$

Тоді на ділянці руху 2 синхронна швидкість:

$$\bar{\omega}_{0зад} = 0,78 + 0,86 \cdot 0,12 = 0,886.0.$$

Тоді на ділянці руху 5 синхронна швидкість:

$$\bar{\omega}_{0зад} = 1,29 + 0,35 \cdot 0,12 = -1,3326.0;$$

$$\omega_{0зад} = \bar{\omega}_{0зад} \cdot s_{ном} \quad (2.10)$$

Звідки на ділянці руху 2 синхронна швидкість буде рівна:

$$\omega_{0зад} = 0,88 \cdot 104,72 = 92,15 \text{ рад/с.}$$

Звідки на ділянці руху 5 синхронна швидкість буде рівна:

$$\omega_{0зад} = -1,29 \cdot 104,72 = -135 \text{ рад/с.}$$

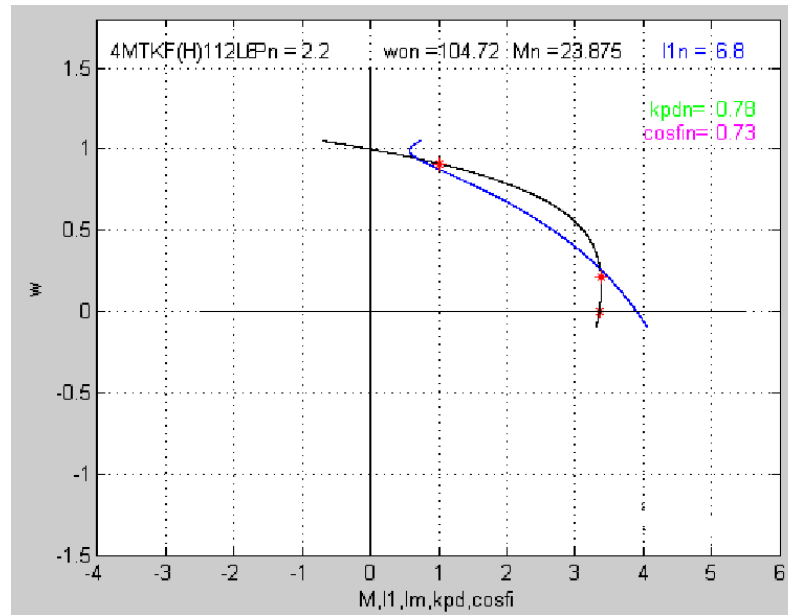


Рисунок 2.2 - Графічна залежність природної характеристики АЕД [22-26]

Визначимо частоту і рівень напруги на статорі АЕД при  $U_1 / f_1 = const$ :

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1ном}} = \omega_{зад}; \quad (2.11)$$

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1ном}; \quad (2.12)$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1ном}. \quad (2.13)$$

Згідно формул (2.11-2.13) на ділянці 2:

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1ном}} = 0,88;$$

$$f_1 = 0,88 \cdot 50 = 44 \text{ Гц};$$

$$U_1 = 0,88 \cdot 220 = 193,6 \text{ В}.$$

Згідно формул (2.11-2.13) на ділянці 5:

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1ном}} = 1,29;$$

$$f_1 = 1,29 \cdot 50 = 64,5 \text{ Гц};$$

$$U_1 = 1 \cdot 220 = 220 \text{ В}.$$

Побудуємо необхідні графічні залежності за допомогою використання пакету MathCad [22-26].

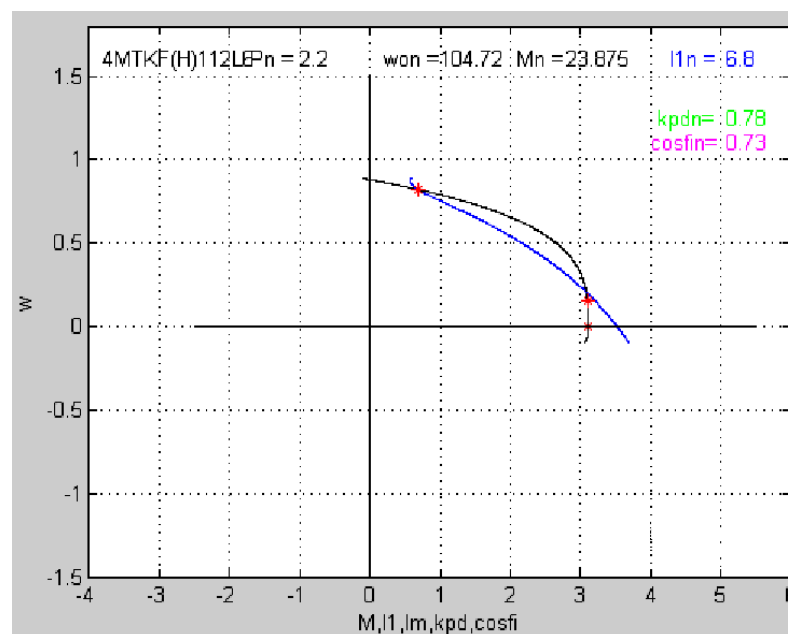


Рисунок 2.3 - Графічна залежність штучної характеристики при русі заготовки вперед [22-26]

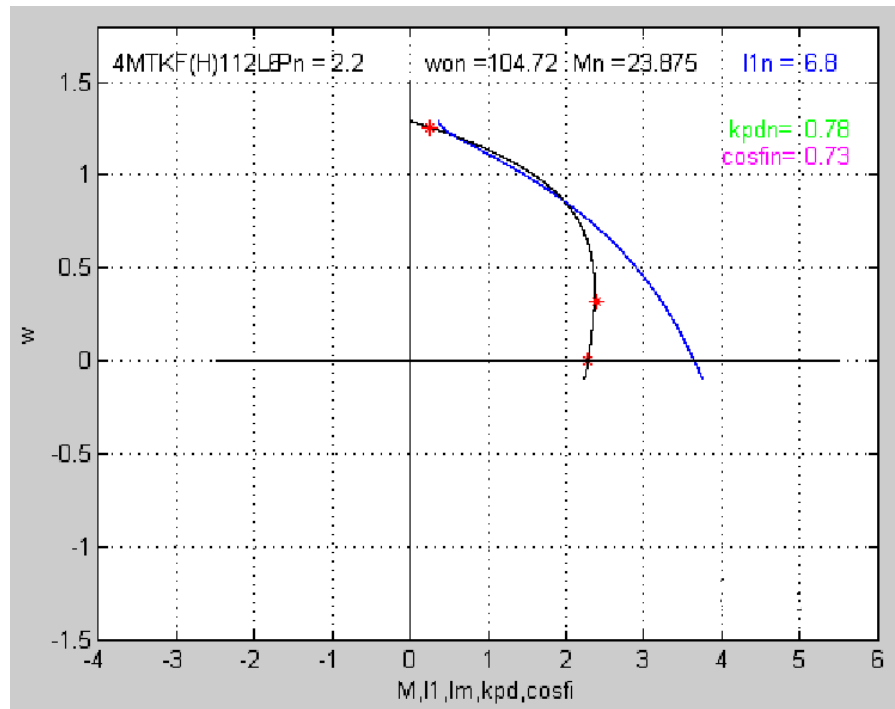


Рисунок 2.4 - Графічна залежність штучної характеристика при русі заготовки назад [22-26]

### 2.3 Розрахунок параметрів схем включення асинхронного електродвигуна автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок

При живленні АЕД від індивідуального ЧП з'являється можливість плавного регулювання рівнів напруги, тому перехідні процеси запуску/гальмування забезпечуються формуванням рівня напруги керування ЧП. У розімкнутій системі ЧП - АЕД найчастіше застосовують лінійне наростання рівнів напруги керування, що визначає лінійне наростання рівнів напруги живлення АЕД [1-10].

Для формування лінійного закону зміни рівнів напруги керування на вхід ЧП підключають інтегральний задавач інтенсивності (ЗІ), вихідний рівень напруги якого при подачі на його вхід стрибка задаючого рівня напруги  $U_{зад}$  змінюється за лінійним законом. При досягненні величини  $U_{зад}$  наростання рівнів напруги на виході ЗІ припиняється. Вихідний рівень напруги ЗІ, таким чином, є керуючим рівнем напруги ЧП, а величина  $U_{зад}$  визначається величиною

базової сталої часу ЗІ  $T_{ЗІ}$ , що чисельно рівна часу досягнення вихідного рівня напруги ЧП від 0 до базового значення  $U_{ном}$  [15-19].

Визначимо базову сталу часу ЗІ згідно формули:

$$T_{ЗІ} = \frac{J \cdot \omega_{ном}}{M_{дин}}. \quad (2.14)$$

Розрахуємо величину сталої часу ЗІ для ділянок, на яких відбувається пуск/гальмування руху заготовки.

- ділянка 1 - пуск вперед:

$$T_{ЗІ1} = \frac{0,097 \cdot 104,72}{14,55} = 0,698;$$

- ділянка 3 - гальмування при русі вперед заготовки до повної зупинки:

$$T_{ЗІ3} = \frac{0,097 \cdot 104,72}{14,55} = 0,698;$$

- ділянка 4 - пуск назад:

$$T_{ЗІ4} = \frac{0,0525 \cdot 104,72}{7,87} = 0,698;$$

- ділянка 6 - гальмування при русі назад до повної зупинки:

$$T_{ЗІ6} = \frac{0,0525 \cdot 104,72}{7,87} = 0,698.$$

#### 2.4 Розрахунок перехідних процесів автоматизованого електроприводу

механізму переміщення заготовок

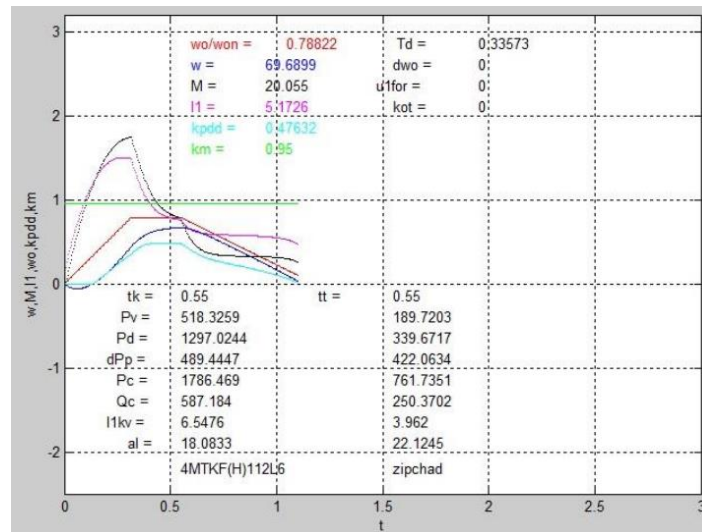


Рисунок 2.5 - Графічні залежності перехідних процесів запуску / гальмування руху вперед ( $0 - v_{роб}, v_{роб} - 0$ ) [27-29]

Розрахунок і побудова характеристик перехідних процесів АЕД виконана за допомогою використання програми zipchad.m в програмному середовищі MATLAB (рис. 2.5-2.8) [27-29].

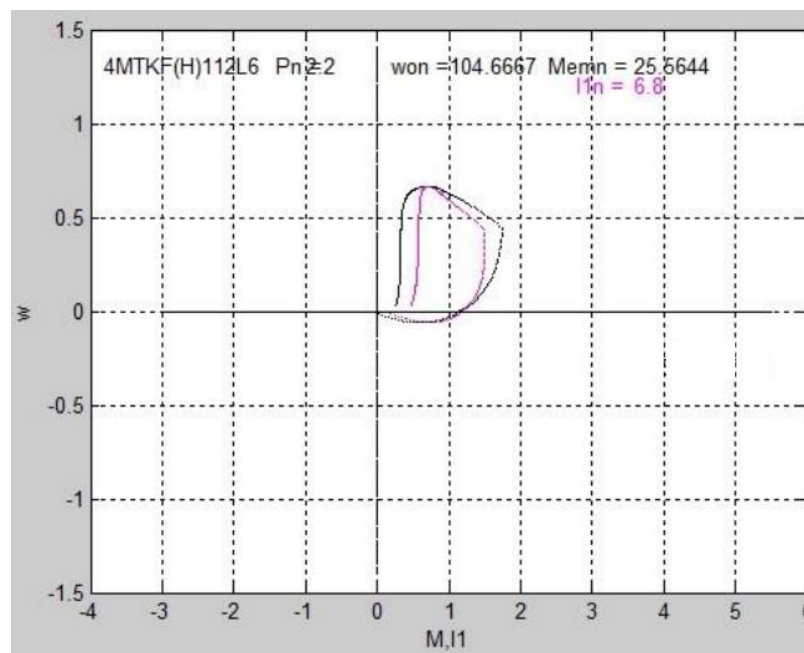


Рисунок 2.6 - Графічна залежність  $\omega_{ном}$  від  $M, I_1$  руху вперед

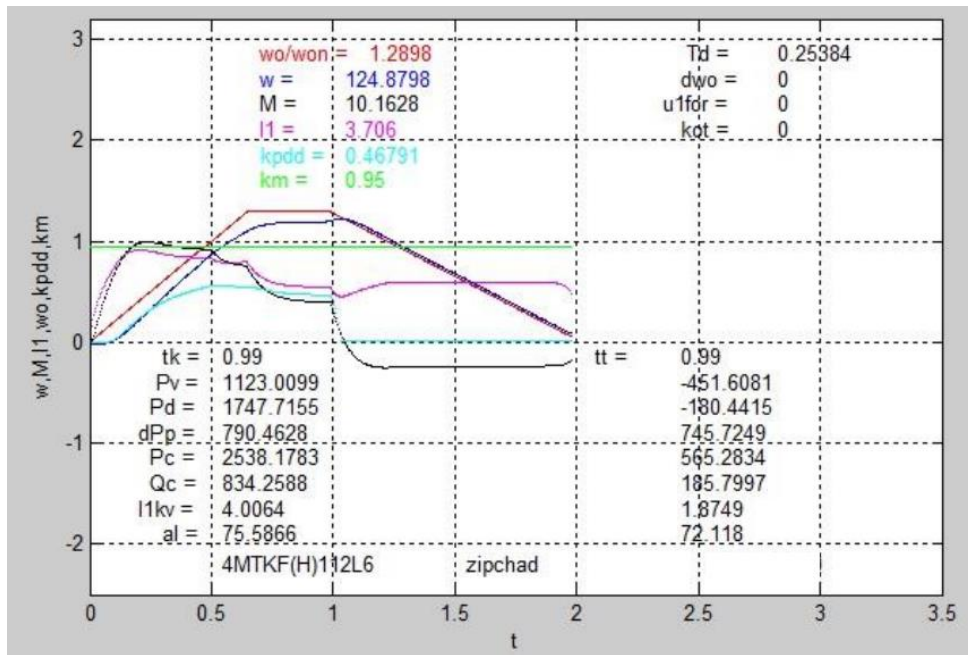


Рисунок 2.7 - Графічні залежності перехідних процесів запуску / гальмування руху назад ( $0 - v_{роб}, v_{роб} - 0$ )

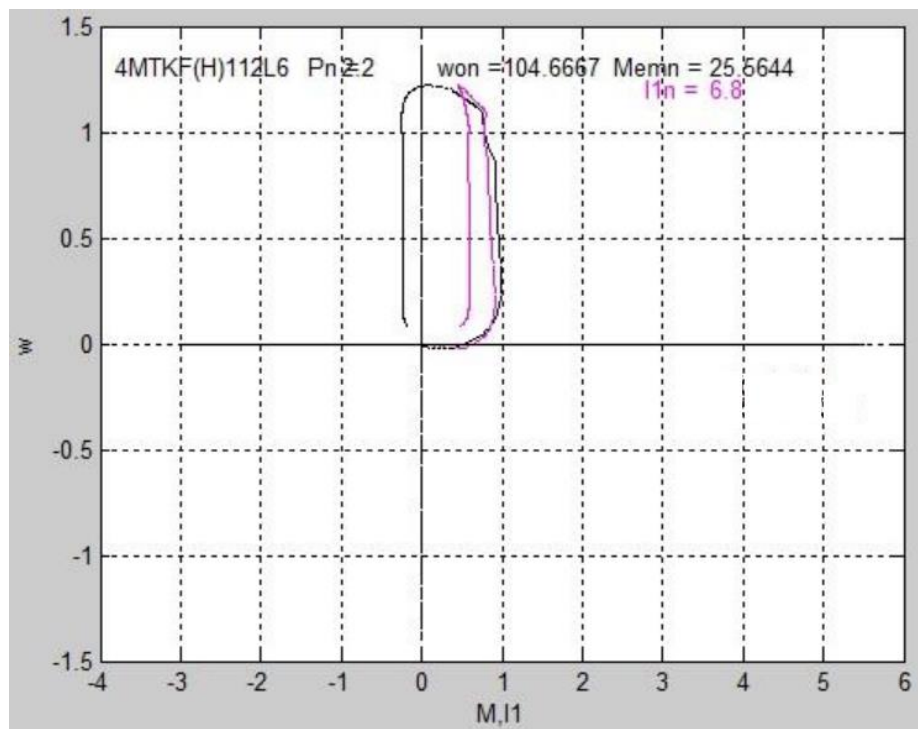


Рисунок 2.8 - Графічна залежність  $\omega_{ном}$  від  $M, I_1$  руху назад

$$(0 - v_{роб}, v_{роб} - 0)$$

## 2.5 Визначення інтегральних показників перехідних процесів

Спочатку виконаємо перевірку на перевантажувальну здатність

Обрані АЕД і ЧП рівнів напруги виконують вимоги перевантажувальної здатності, оскільки навантажувальні діаграми показують, що максимальні значення сили струму і моменту АЕД не перевищують допустимі значення.

Виконаємо перевірку нагрівання АЕД і ЧП.

Для цього визначимо величину еквівалентної сили струму [1-10]:

$$I_{екв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} \leq I_{дон}, \quad (2.15)$$

де  $I_i$  - середньоквадратичне значення сили струму на  $i$ -ій ділянці;  $\Delta t_i$  - тривалість  $i$ -ої ділянки роботи;  $\beta_i$  - коефіцієнт погіршення тепловіддачі АЕД;  $I_{дон}$  - допустима сила струму за нагріванням.

Середньоквадратична сила струму на ділянці інтегрування за період часу  $\Delta t_k$

$$I_{kv} = \sqrt{\int_0^{t_1} I_i^2 dt} = \sqrt{\sum_{k=1}^i I_i^2 \cdot \Delta t_k}. \quad (2.16)$$

На рисунках 2.5 та 2.7 наведено значення середньоквадратичної сили струму  $I_{kv}$  за час пуску  $t_k$ , за час гальмування  $t_i$  для однієї ділянки руху.

Коефіцієнт погіршення тепловіддачі зупиненого АЕД  $\beta_0$  залежить від конструктивного виконання конструювання та умов вентиляції. Приблизні значення  $\beta_0$  наведені в табличному вигляді (див. Додаток В., табл. В.3).

Погіршення умов охолодження АЕД в перехідних режимах враховується

коефіцієнтом погіршення тепловіддачі  $\beta_i$ , якому, залежно від швидкості обертання, можна присвоїти значення з таблиці В.4 (див. Додаток В).

Визначимо величину еквівалентної сили струму за формулою (2.15):

$$I_{екв} = \sqrt{\frac{5,61^2 \cdot 0,55 + 2,76^2 \cdot 0,55 + 4,18^2 \cdot 0,9 + 2,09^2 \cdot 0,9}{0,55 \cdot 1 + 0,55 \cdot 1 + 0,9 \cdot 1 + 0,9 \cdot 1}} = 3,76 A.$$

Тоді, величина допустимої за нагріванням сили струму АЕД буде рівна [1-10]:

$$I_{доп} = I_{кат} \cdot \sqrt{\frac{TB_{кат}}{TB_{факт}}};$$

$$I_{доп} = 6,8 \cdot \sqrt{\frac{0,4}{0,5}} = 6,08 A.$$

$I_{екв} < (0,85...0,9)I_{доп}$  - отже, АЕД проходить перевірку за нагріванням.

Виконаємо перевірку за нагріванням ЧП.

Перевірка виконується порівнянням середньоквадратичної сили струму АЕД за час роботи з номінальною вихідною силою струму ЧП [1-10]:

$$I_{серкв} = \sqrt{\frac{1}{t_p} \cdot \sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}. \quad (2.17)$$

На рисунках 2.5 та 2.7 представлено значення середньоквадратичної сили струму  $I_{kv}$  за час пуску  $t_k$ , за час гальмування  $t_t$  і за час усталеного режиму роботи.

$$I_{серв} = \sqrt{\frac{5,61^2 \cdot 0,55 + 2,76^2 \cdot 0,55 + 4,18 \cdot 0,9 + 2,09^2 \cdot 0,9}{60}} = 0,82 A.$$

$I_{серв} < I_{НПР}$ , отже, обраний ЧП виконує умови по нагріванню.

Виконаємо розрахунок енергетичних показників електроприводу.

Для оцінки циклового ККД слід брати до обрахунку відрізки часу, початку і кінцю яких відповідає однакова величина енергії, запасена в елементах приводу. Для механізмів, що розглядаються таким відрізком є цикл роботи, коли механізм повертається у вихідне положення.

Для розрахунку енергетичних показників використовуємо раніше отримані за допомогою ЕОМ дані, а саме рисунки 2.5 і 2.7. З яких отримуємо наступні вирази для різних видів енергії.

Механічна енергія за цикл буде рівною [1-10]:

$$P_{вц} = 575,15 - 374,92 + 1226,91 - 622,38 = 804,76 \text{ Вт}.$$

Активна енергія з мережі за цикл буде рівною:

$$P_{сц} = 315,9 + 138,9 + 490,1 + 216,4 = 1161,3 \text{ Вт}.$$

Визначимо величину реактивна енергії за цикл роботи:

$$Q_{сц} = 103,8 + 456,59 + 161,1 + 711,13 = 1432,6 \text{ Вт}.$$

Циклові значення ККД і  $\cos \varphi$  визначимо за наступними формулами:

$$\eta_{ц} = \frac{P_{вц}}{P_{сц}};$$

$$\eta_u = \frac{804,76}{1161,3} = 0,69;$$

$$\cos \varphi_u = \frac{P_{cu}}{\sqrt{P_{cu}^2 + Q_{cu}^2}};$$

$$\cos \varphi_u = \frac{1161,3}{\sqrt{1161,3^2 + 1432,6^2}} = 0,63.$$

## 2.6 Висновки до другого розділу

Проведено моделювання роботи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Виконано підбір основних елементів силового ланцюга автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок.

Розраховано статичні характеристики автоматизованого електроприводу, параметри схем включення асинхронного електродвигуна та перехідні процеси автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок, також було визначено інтегральні показники перехідних процесів.

### 3 ПІДБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗАГОТОВОК

#### 3.1 Розроблення алгоритму роботи механізму переміщення заготовок

##### 3.1.1 Характеристика технологічного процесу [30-35]

Роботизований комплекс (РК) (рис. 3.1) призначений для переміщення заготовок з автоматизованих ліній (транспортів) 5 і 6 на транспортер 7.

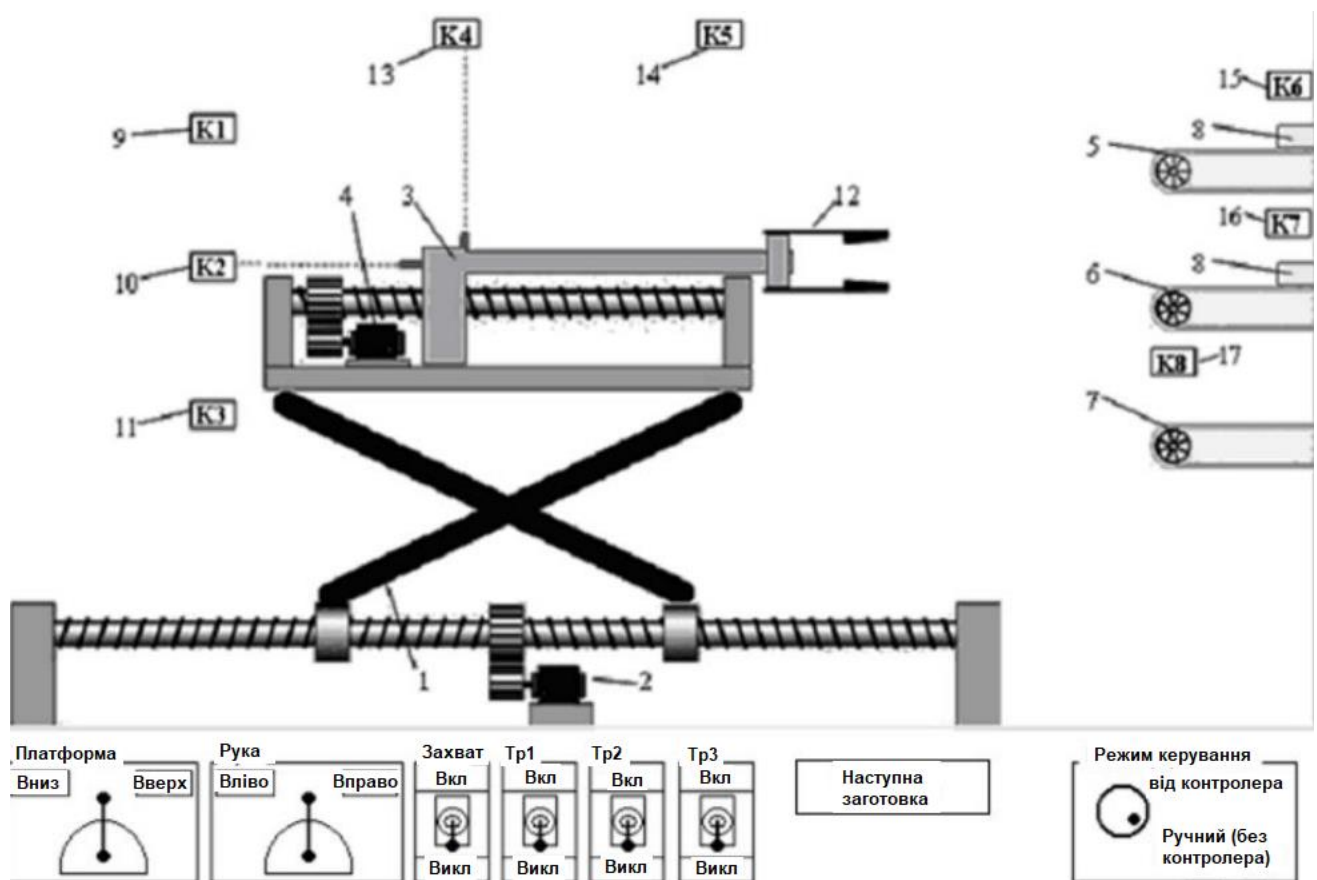


Рисунок 3.1 - Загальний вигляд РК переміщення заготовок

Безпосередньо РК (рис. 3.1) містить механізм підйому 1, керований від АЕД 2, привід висування руки 3 з АЕД 4, захват 12, керований пневмоклапаном. Вертикальні переміщення маніпулятора контролюються трьома індуктивними давачами 9, 10, 11 (давачі K1, K2, K3), встановленими прямо навпроти

відповідних автоматизованих ліній для транспортування заготовки. По горизонталі привід руки контролюється двома давачами 13 і 14 (давачі К4, К5) крайніх лівого/правого положень. Наявність заготовок визначається спрацюванням давачів 15, 16 і 17 (давачі К6, К7, К8). Переміщення заготовок виконується за допомогою використання нереверсивних транспортерів 5, 6 і 7, при цьому дві автоматизовані лінії 5 і 6 включаються для подачі заготовок вліво, а автоматизована лінія 7 - вправо.

Цикл роботи автоматизованої системи наступний. При натисканні кнопки «Наступна заготовка» (у нижній частині екрану) з'являється заготовка на подаючій автоматизованій лінії 5 або 6 і переміщується без участі маніпулятора до спрацювання давача К6 або К7. Система повинна включити відповідний транспортер (команди Тр1 або Тр2) до відключення того ж давача. Після цього відбувається переміщення маніпулятора по вертикалі і горизонталі до даної заготовки (вихідне положення захвату передбачається розкрите) до спрацювання давачів К1/К2 і К5, закриття захвату (команда Захват) і відхід маніпулятора назад до кінцевого положення К4. Якщо на третій автоматизованій лінії 7 відсутня заготовка, маніпулятор переміщається вниз (Вн) і вправо (Впр) до спрацювання давачів К3 і К5, в іншому випадку система чекає звільнення цієї автоматизованої лінії (відсутності сигналу давача К8). Після установки руки маніпулятора біля третьої автоматизованої лінії 7 захват розтискається (розкрите положення), і при наявності сигналу давача К8 вмикається транспортер Тр3 і працює до зникнення сигналу давача К8. Далі цикл повторюється.

### 3.1.2 Розроблення списку сигналів системи автоматизації

З наведеного вище опису ТП та послідовності роботи механізму випливає, що САТП повинна забезпечити безперервну роботу в двох режимах: ручному та автоматичному.

САТП повинна формувати наступні вихідні команди:

- включення приводу механізму підйому для руху вниз (ПВн);
- включення приводу механізму підйому для руху ввєрх (ПВв);
- включення приводу руки для руху вліво (РВл);
- включення приводу руки для руху вправо (РВпр);
- включення приводу захвату (ПЗахв);
- включення приводів транспортеру 1, 2 та 3 (Тр1, Тр2, Тр3).

Крім команд на виконавчі механізми, необхідно задіяти вихідні сигнали на індикацію і сигналізацію стану СК, для зручності експлуатації та усунення несправностей. На пульт оператора будуть виводитися наступні сигнали:

- сигнал «Живлення» (Живл);
- сигнал «Аварія» (Аварія);
- сигнал «Несправність приводу механізму підйому» (АврМ);
- сигнал «Несправність приводу руки» (АврР);
- сигнал «Несправність приводу захвату» (АврЗахв);
- сигнал «Несправність приводу транспортера 1, 2 чи 3» (АврТр1, АврТр2, АврТр3);
- сигнал «Несправність давачів» (АврД).

Для керування САТП використовується пульт керування оператора (рис. 3.2), що представляє собою панель з блоками кнопок, які формують наступні вихідні сигнали:

- сигнал «Живлення» (кнЖивл);
- сигнал «Ручний режим» (РучР);
- сигнал «Автоматичний режим» (АврР);
- сигнал «Скидання аварії» (СкидА);
- сигнал «Наступна заготовка» (кнНЗ);
- сигнал «Платформа ввєрх» (кнПВв);
- сигнал «Платформа вниз» (кнПВн);
- сигнал «Рука вліво» (кнРВл);
- сигнал «Рука вправо» (кнРВпр);

- сигнал «Захват» (кнЗх);
- сигнал «Транспортер 1» (кнТР1);
- сигнал «Транспортер 2» (кнТР2);
- сигнал «Транспортер 3» (кнТР3).

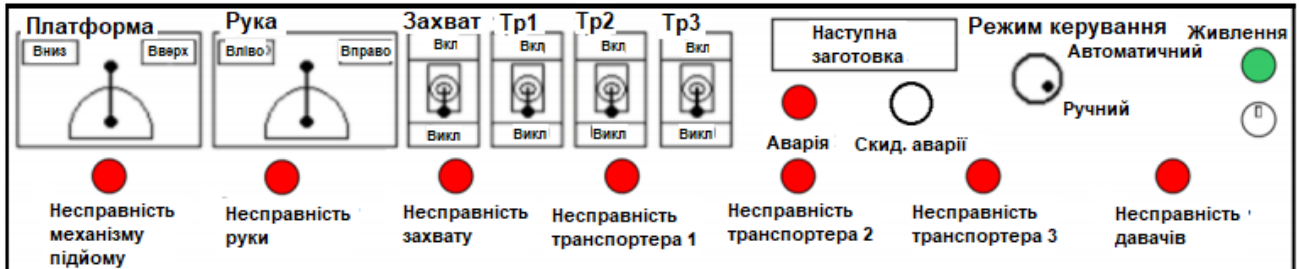


Рисунок 3.2 - Загальний вигляд пульта керування (ПК) оператора

Для автоматизації роботи САТП необхідно мати інформацію про стан системи, тому необхідно використовувати наступні датчики технологічної інформації (див. рис. 3.1):

- датчик, що сигналізує про крайнє верхнє положення платформи (К1);
- датчик, що сигналізує про початкове положення платформи (К2);
- датчик, що сигналізує про крайнє нижнє положення платформи (К3);
- датчик, що сигналізує про крайнє лівє положення руки (К4);
- датчик, що сигналізує про крайнє правє положення руки (К5);
- датчик, що сигналізує про наявність заготовки на транспортері 1 (К6);
- датчик, що сигналізує про наявність заготовки на транспортері 2 (К7);
- датчик, що сигналізує про наявність заготовки на транспортері 3 (К8).

### 3.2 Розроблення алгоритму автоматизації керування механізмами переміщення заготовок

Програму для логічного контролера (PLC) умовно класифікуємо на 4 блоки: «блок керування механізмом підйому», «блок керування рукою (захватом)», блок керування автоматизованими лініями (транспортерами) і

«блок аварійних сигналів».

### 3.2.1 Блок керування механізмом підйому

Сигнал на включення приводу механізму підйому для руху платформи ввєрх спрацьовує в автоматичному режимі, якщо на Тр1 (див. рис. 3.1) з'являється заготовка до крайнього верхнього положення платформи (К1) або при наявності заготовки на Тр3 до початкового положення платформи (К2), за відсутності сигналу «Аварія» і руху руки. У ручному режимі сигнал на включення приводу механізму підйому для руху ввєрх виникає при правому положенні важеля «Платформа вгору» та відсутності сигналу «Аварія». Опишемо це математично [34-47]:

$$ПВв = ((ПВв1 + ПВв2) \cdot \overline{РВл} \cdot \overline{РВпр} \cdot \overline{Аварія} \cdot \overline{АвтР} + kнПВв \cdot РучР);$$

$$ПВв1 = (К6 + ПВв1) \cdot \overline{К1};$$

$$ПВв2 = (К8 + ПВв2) \cdot \overline{К2}.$$

Сигнал на включення приводу механізму підйому для руху платформи вниз спрацьовує в автоматичному режимі (див. рис. 3.1), якщо платформа знаходиться в крайньому верхньому (К1) або початковому положенні (К2) і працює привід захвату до крайнього нижнього положення платформи (К3), за відсутності сигналу «Аварія» і руху руки. У ручному режимі сигнал на включення приводу механізму підйому для руху платформи вниз виникає при лівому положенні важеля «Платформа вниз» і відсутності сигналу «Аварія», математично [34-47]:

$$ПВн = ((ПВн1 + ПВн2) \cdot \overline{К3} \cdot \overline{РВл} \cdot \overline{РВпр} \cdot \overline{Аварія} \cdot \overline{АвтР} + kнПВн \cdot РучР);$$

$$PB_{H1} = K1 \cdot ПЗх + PB_{H1};$$

$$PB_{H2} = K2 \cdot ПЗх + PB_{H2}.$$

### 3.2.2 Блок керування рукою (захватом)

Сигнал на включення приводу механізму руки (захвату) для руху вправо спрацьовує в автоматичному режимі (див. рис. 3.1), якщо платформа знаходиться в крайньому верхньому положенні (K1) і на Тр1 є заготовка (K6) або в початковому положенні платформи (K2) на Тр2 є заготовка (K7) або в крайньому нижньому положенні платформи (K3) і відсутності на Тр3 заготовки (K8), за відсутності сигналу «Аварія» і крайнього правого положення руки (K5). У ручному режимі сигнал на включення механізму приводу руки (захвату) для руху вправо спрацьовує в лівому положенні важеля «Рука вправо» і за відсутності сигналу «Аварія», математично [34-47]:

$$PB_{np} = ((PB_{np1} + PB_{np2} + PB_{np3}) \cdot \overline{K5} \cdot \overline{Аварія} \cdot АвтP + k_{нPB_{np}} \cdot РучP);$$

$$PB_{np1} = K1 \cdot K6 + PB_{np1};$$

$$PB_{np2} = K2 \cdot K7 + PB_{np2};$$

$$PB_{np3} = K3 \cdot \overline{K8} + PB_{np3}.$$

Сигнал на включення приводу механізму руки (захвату) для руху вліво спрацьовує в автоматичному режимі (див. рис. 3.1), якщо платформа знаходиться в крайньому верхньому положенні (K1) і на Тр1 немає заготовки (K6) або в початковому положенні платформи (K2) на Тр2 немає заготовки (K7) або в

крайньому нижньому положенні платформи (К3) і наявності на Тр3 заготовки (К8), за відсутності сигналу «Аварія» і крайнього лівого положення руки (К4). У ручному режимі сигнал на включення приводу руки для руху механізму руку (захвату) вліво виникає в правому положенні важеля «Рука вліво» і за відсутності сигналу «Аварія», математично [34-47]:

$$PBл = ((K1 \cdot \overline{K6} + K2 \cdot \overline{K7} + K3 \cdot K8 + PBл) \cdot \overline{K4} \cdot \overline{ПЗх} \cdot \overline{Аварія} \cdot АвтP + кнPBл \cdot РучP).$$

Сигнал на включення приводу захвату виникає в автоматичному режимі (див. рис. 3.1), якщо рука знаходиться в крайньому правому положенні (К5), і платформа знаходиться в крайньому верхньому положенні (К1) і є заготовка на Тр1 (К6) або в початковому положенні платформи (К2) і наявності заготовки на Тр2 (К7), за відсутності сигналу «Аварія», до тих пір, поки заготовка не опиниться на Тр3 (К7). У ручному режимі сигнал на включення приводу захвату спрацьовує при натиснутій кнопці «Захват» і відсутності сигналу «Аварія», математично [34-47]:

$$ПЗх = ((ПЗх1 + ПЗх2) \cdot \overline{K8} \cdot \overline{Аварія} \cdot АвтP + кнПЗх \cdot РучP);$$

$$ПЗх1 = K1 \cdot K6 \cdot K5 + ПЗх1;$$

$$ПЗх2 = K2 \cdot K7 \cdot K5 + ПЗх2.$$

### 3.2.3 Блок керування автоматизованими лініями (транспортерами)

Сигнал на ввімкнення Тр1 спрацьовує в автоматичному режимі, якщо натиснута кнопка «Наступна заготовка» до тих пір, поки не спрацює давач наявності заготовки на Тр1 (К6), за відсутності сигналу «Аварія» (див. рис. 3.1). У ручному режимі сигнал на ввімкнення Тр1 спрацьовує при натиснутій кнопці

«Тр1» і відсутності сигналу «Аварія», математично [34-47]:

$$Tr1 = (кнНЗ + Tr1) \cdot \overline{K6} \cdot \overline{Аварія} \cdot АвтP + кнTr1 \cdot РучP.$$

Сигнал на включення Тр2 спрацьовує в автоматичному режимі, якщо натиснута кнопка «наступна заготовка» до тих пір, поки не спрацює давач наявності заготовки на Тр2 (К7), за відсутності сигналу «Аварія» (див. рис. 3.1). У ручному режимі сигнал на включення Тр2 спрацьовує при натиснутій кнопці «Тр2» і відсутності сигналу «Аварія», математично [34-47]:

$$Tr2 = (кнНЗ + Tr2) \cdot \overline{K7} \cdot \overline{Аварія} \cdot АвтP + кнTr2 \cdot РучP.$$

Сигнал на включення Тр3 спрацьовує в автоматичному режимі, якщо заготовка потрапляє на Тр3, доки не буде натиснута кнопка «Наступна заготовка» за відсутності сигналу «Аварія» (див. рис. 3.1). У ручному режимі сигнал на включення Тр3 спрацьовує при натиснутій кнопці «Тр3» і відсутності сигналу «Аварія» [34-47]:

$$Tr3 = (K8 + Tr3) \cdot \overline{кнНЗ} \cdot \overline{Аварія} \cdot АвтP + кнTr3 \cdot РучP.$$

### 3.2.4 Блок аварійних сигналів

Сигнал «Аварія» виникає при несправності механізмів і давачів, при відсутності натиснутої кнопки «Скидання аварії», математично [34-47]:

$$Аварія = (АврМ + АврP + АврС + АврTr1 + АврTr2 + АврTr3 + АврД + \overline{+Аварія}) \cdot \overline{СкидАвар.}$$

### 3.3 Розроблення функціональної схеми автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок

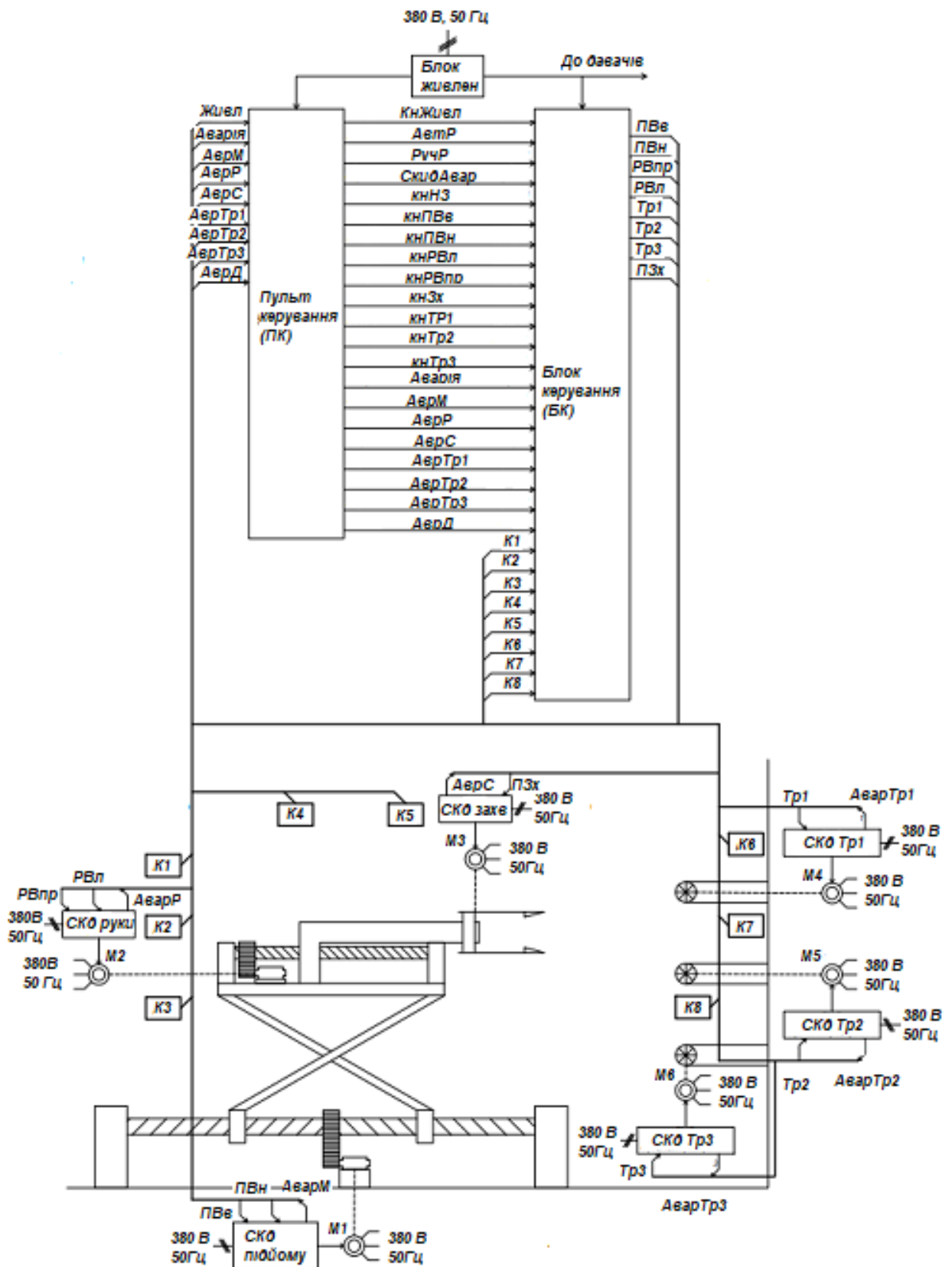


Рисунок 3.3 - Електрична функціональна схема САТП

На основі опису ТП, об'єкта, що автоматизується, вхідних і вихідних команд складена електрична функціональна схема, представлена на рисунку 3.3.

На електричній функціональній схемі представлено взаємозв'язок окремих елементів САТП (рис. 3.3) [49-60].

У розглянутій САТП можна виділити наступні функціональні елементи [49-60]:

- пульт керування (ПК);
- блок керування (БК);
- системи керування АЕД (СКд);
- приводний АЕД (М1) механізму підйому;
- приводний АЕД (М2) руки;
- приводний АЕД (М3) захвату;
- приводний АЕД (М4) Тр1;
- приводний АЕД (М5) Тр2;
- приводний АЕД (М6) Тр3;
- сигнальні лампи (НЛ1, НЛ2, НЛ3);
- датчі інформації (К1, К2, К3...);
- блок живлення (БЖ).

На пульті керування передбачено розміщення (рис. 3.2 та 3.3):

- індикаційні світлодіодні лампи з метою індикації стану системи (режиму роботи): «Живлення», «Аварія», «Несправність приводу механізму підйому», «Несправність приводу руки», «Несправність приводу захвату», «Несправність приводу захоплення», «Несправність приводу Тр1», «Несправність приводу Тр2», «Несправність приводу Тр3», «Несправність датчів»;

- кнопки керування роботою електроприводів «Наступна заготовка», «Захват», «Тр1», «Тр2», «Тр3» та кнопка «Скидання аварії», а також важелі «Платформа рух вгору/вниз» і «Рука рух вліво/вправо»;

- перемикач положень автоматичного/ручного режиму роботи (рис. 3.2).

Живлення ПЛК, ПК і датчів виконується від БЖ, що перетворює змінну

трифазну силу струму з рівнем напруги 380В в постійну силу струму рівня напруги 24В [49-60].

3.4 Підбір елементної бази для автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок

В якості блоку керування виберемо до монтажу ПЛК Direct LOGIC 06 [61]. ПЛК включає в себе фіксовану кількість точок вводу/виводу (20 вхідних і 16 вихідних сигналів, при необхідних для виконання поставленого завдання 20 вхідних та 16 вихідних) із 4 додатковими слотами розширення.



Рисунок 3.4 - Зовнішній вигляд ПЛК Direct LOGIC 06 [61]

Для визначення положень платформи та руки захвату, а також наявності заготовки виберемо до монтажу оптичний датчик ОХ ІТ61Р-56-8000-Л-С фірми «ТЕКО» [62]. Давач складається з випромінювача і приймача, вбудованих в один корпус. Оптичне випромінювання інфрачервоного спектра від випромінювача потрапляє на катафот і, відбиваючись від нього, потрапляє в приймач давача. Контрольований об'єкт, потрапляючи в зону дії давача, перериває оптичне

випромінювання і викликає зміну вихідного сигналу давача.



Рисунок 3.5 - Зовнішній вигляд оптичного давача OX IT61P-56-8000[62]

Технічні характеристики оптичного давача, наведені в табличному вигляді в додатках (див. Додаток Г, табл. Г.1) [62].

Вибір блоку живлення - необхідно виконувати з урахуванням потужності всіх споживачів, що живляться від нього (PLC, давачі і ПК).

Тому необхідно визначити дану потужність згідно формули [1-10]:

$$P_{\text{спож}} = U_{\text{ПЛК}} \cdot I_{\text{ПЛК}} + 8 \cdot U_{\text{давач}} \cdot I_{\text{давач}}; \quad (3.1)$$

$$P_{\text{спож}} = 24 \cdot 1 + 8 \cdot 24 \cdot 1 = 216 \text{ Вт.}$$

За отриманою потужністю виберемо до монтажу блок живлення SPV-300-24 загальною потужністю 300 Вт, виробництва компанії «Mean Well» серії SPV [63]. Технічні характеристики представлені в табличному вигляді в додатках (див. Додаток Г, табл. Г.2).

Вибір пульта керування - в системі автоматизації РК переміщення виробів буде представляти собою сенсорну панель DOP-W157B фірми «Delta Electronics» [64]. Характеристики панелі представлені в табличному вигляді в додатках (див.

Додаток Г, табл. Г.3), а зовнішній вигляд представлений на рисунку 3.7.



Рисунок 3.6 - Загальний вигляд блоку живлення SPV-300-24



Рисунок 3.7 - Загальний вигляд сенсорної панелі DOP-W157B [64]

Основні переваги використання DOP-W157B [64]:

- високонадійний сенсорний екран з високою роздільною здатністю та підвищеною яскравістю;
- підвищена стійкість до вібрацій та інших умов збурень навколишнього середовища завдяки використанню алюмінієвого корпусу;
- підвищена продуктивність завдяки вбудованому високошвидкісному процесору 1ГГц;

- багатомовний інтерфейс: крім цифр та англійських символів підтримується 16 мов з локалізованими інтерфейсами;
- підтримка інсталяційного інтерфейсу відповідно до стандарту VESA, що спрощує настінний монтаж.

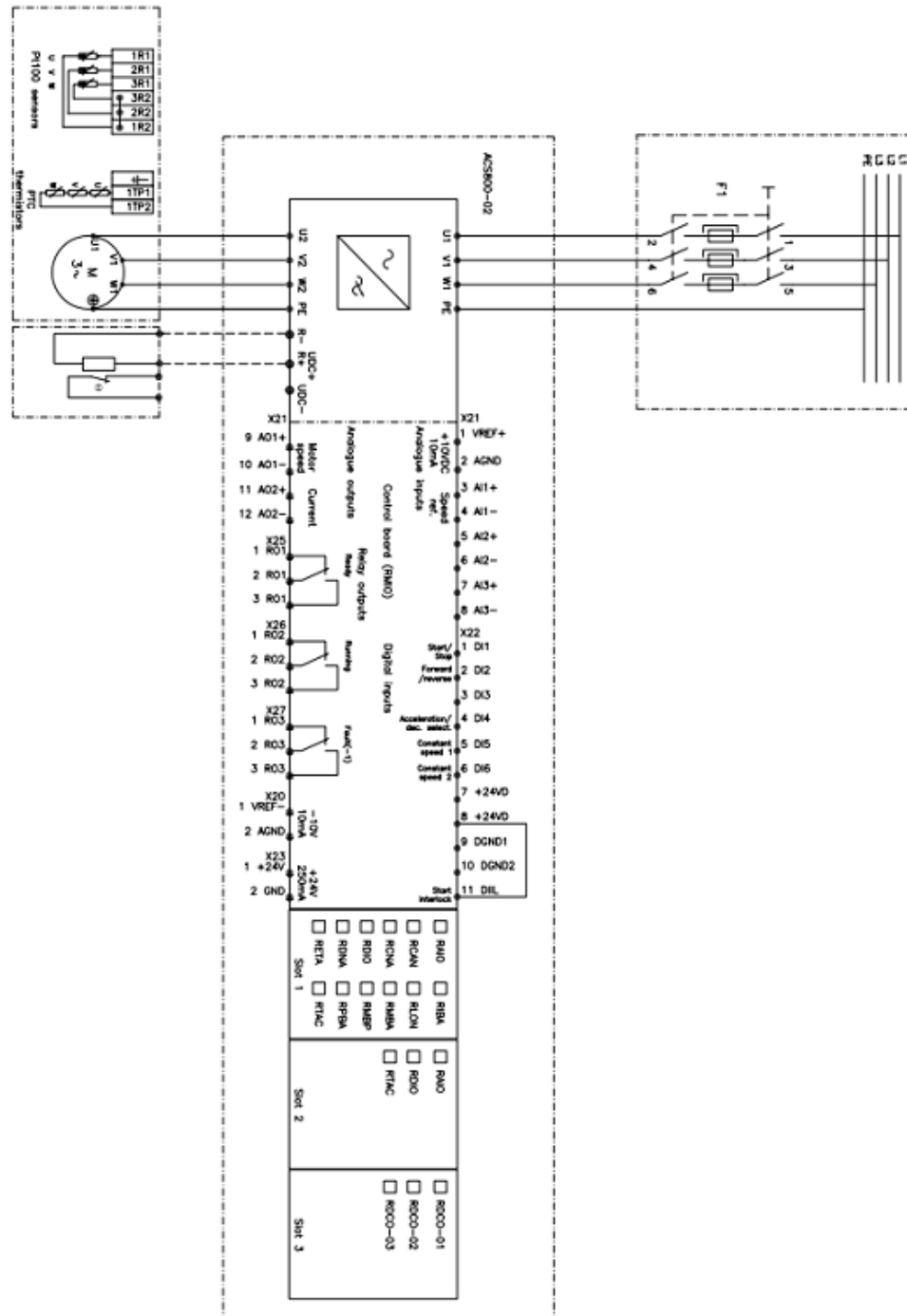


Рисунок 3.8 - Електрична схема підключення силових ланцюгів САТТ

### 3.5 Висновки до третього розділу

Проведено підбір основних елементів автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Розроблено алгоритм роботи механізму переміщення заготовок та алгоритм автоматизації керування механізмами переміщення заготовок. На основі яких створено функціональну схему автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок та проведено підбір елементної бази для автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок.

## 4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗАГОТОВОК

### 4.1 Розроблення електричної принципової схеми САТП

Відповідно до обраної елементної бази та розробленої функціональної схеми САТП (див. рис. 3.3) було розроблено електричну принципову та структурну схеми x1-10ї.

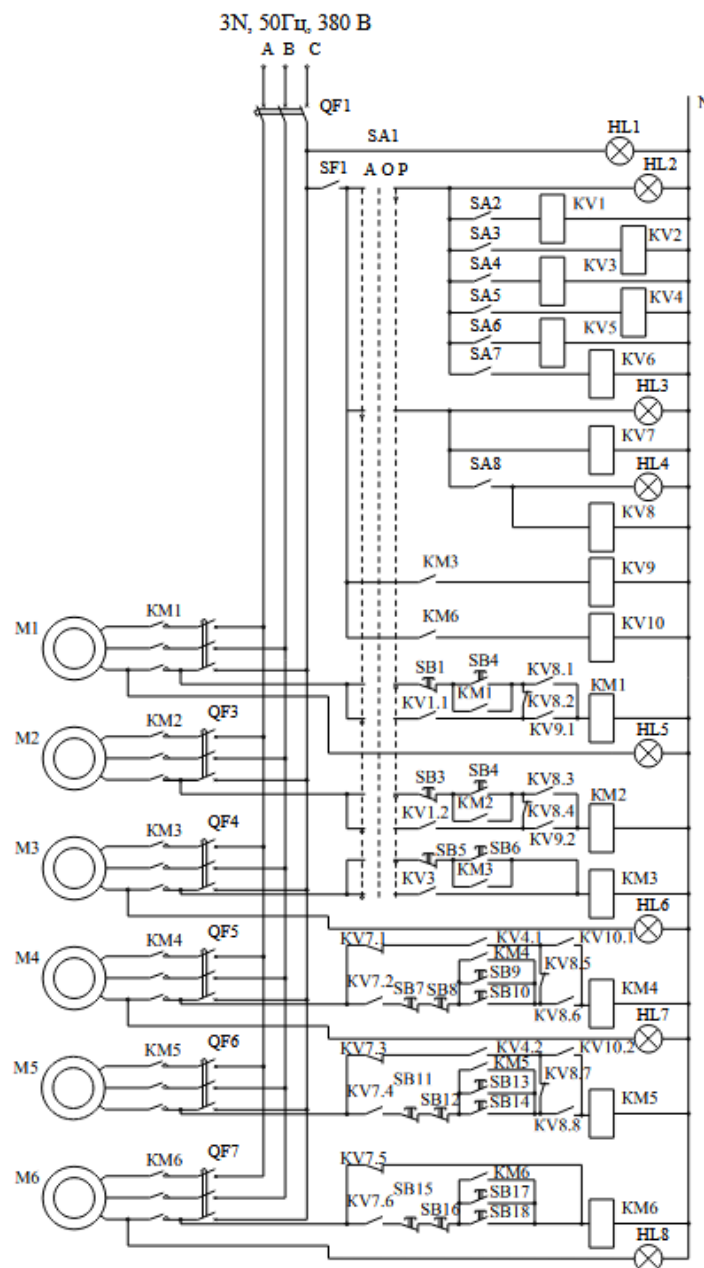


Рисунок 4.1 - Електрична принципова схема САТП

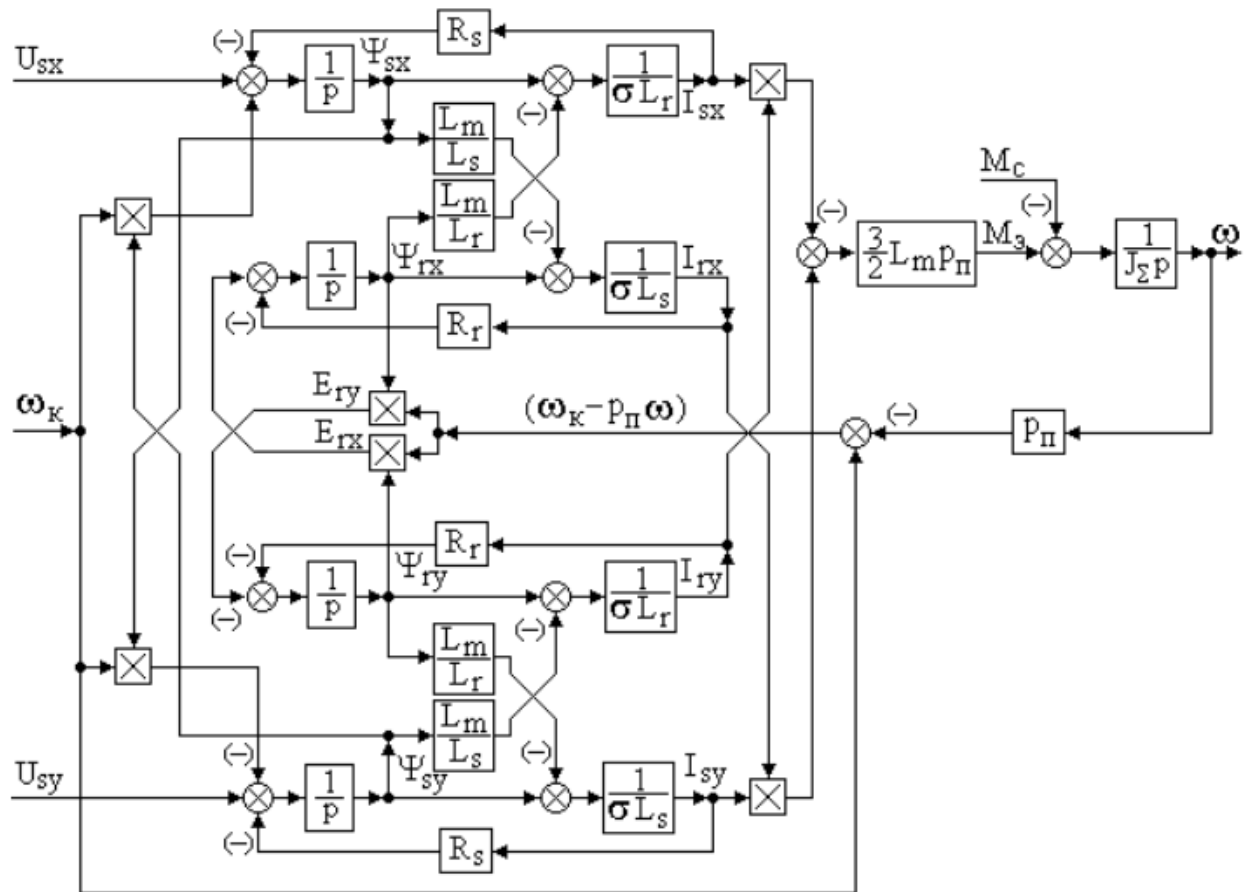


Рисунок 4.2 - Структурна схема керування АЕД

Автоматичний вимикач  $QF1$  забезпечує живлення всієї САТП, а також здійснює захист від виникнення сили струмів КЗ.

За допомогою контактора  $KM1$  реалізовано нульовий захист АЕД, який виключає самозапуск АЕД при зникненні або різкому зниженні рівня напруги мережі живлення. При повороті ключа  $SA1$  подається живлення на силові ланцюги і на ПК, після її відпускання відбувається самопідхоплення. У разі натискання кнопки  $SB1$  силові ланцюги розриваються.

Автоматичні вимикачі  $QF2...QF7$  забезпечують живлення систем керування АЕД і захищають їх від виникнення сил струмів КЗ.

Блок живлення  $G1$  з вихідною напругою рівня 24 В постійної сили струму подає живлення на основні низьковольтні елементи ПК  $A1$ , PLC  $A2$  і датчі  $SQ1...SQ8$ .

ПК А1 забезпечує керування всім ТП в ручному чи автоматичному режимі, а також повну індикацію аварійних режимів.

Автоматизація ТП реалізується використанням PLC А2. Вхідні сигнали надходять з ПК А1, давачів інформації *SQ1...SQ8*, а вихідні сигнали подаються на ЧП АЕД *UZ1...UZ6* і індикацію ПК *HL1...HL9*.

У даній САТП для фіксації положень механізмів використовуються давачі *SQ1...SQ8*, виходи яких підключені до PLC А2.

#### 4.2 Розроблення програмного забезпечення для системи автоматизації електроприводу механізму переміщення заготовок

Сучасні PLC, зазвичай, програмуються за допомогою використання 5 мов програмування, описаних у стандарті ІЕК 61131-3 [65]. Серед них 3 мови є графічними та дві - математичні. Мова релейно-контактних діаграм Ladder Diagram (LD) є саме графічною мовою згідно стандарту [65-69]. Доволі часто зустрічаються інші назви: релейна логіка, релейні діаграми, релейно-контактна логіка, релейно-сходинова логіка або багатоступенева логіка. Незважаючи на те, що мова LD з'явилася відносно давно, вона і далі продовжує використовуватись для програмування PLC, хоча в більшості випадків для програмування простих завдань.

Графічна мова LD вперше з'явилася у вигляді простих електричних схем, які склалися із контактів і обмоток електромагнітних реле.

Програми, створені на мові LD, складаються зі гілок, які виконуються PLC послідовно, зліва направо. Гілка складається з набору графічних елементів (комірок), обмежених зліва і справа умовними шинами живлення. Умовна сила струму в ланцюзі гілки протікає зліва направо. Права шина живлення на діаграмах LD не відображається, але мається на увазі, що вона там є. Кілька гілок виконуються PLC послідовно зверху вниз. Гілка може складатись із кількох рядків і колонок, розділених на дві окремі зони — перевірочну зону і

зону дій. Найпростіші перевірочні елементи і елементи дії займають один рядок і одну колонку гілки.

Набір графічних елементів мови LD включає наступні:

- входи/виходи PLC - кнопки, кінцеві вимикачі, контакти реле, індикаторні лампи, сигнали давачів тощо;
- логічні, арифметичні та спеціальні операції;
- стандартні керуючі системні функції - лічильники, таймери тощо;
- внутрішні перемінні PLC.

Для використання в логіці LD [65-69] використовуються 2 системи — комбінаційна та послідовна логіка.

Комбінаційна логіка LD [65-69] - це спеціальний ланцюг, в якому послідовно або паралельно об'єднуються 2 чи більше вхідних логічних елементи і результат передається на вихідні логічні елементи, такі, як таймери, котушки реле, лічильники або інші прикладні програми.

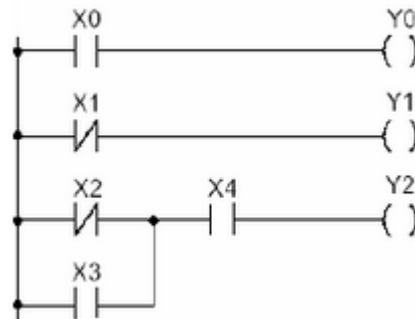


Рисунок 4.3 - Загальний вигляд релейно-контактної схеми комбінаційної логіки

Дискретні входи PLC і результати виконання логічних операцій представлені у вигляді умовних контактів реле, нормально розімкнутих (нормально відкритих, або інакше контактів типу А) і нормально замкнутих (нормально закритих, інверсних, або інакше контактів типу В). Нормально розімкнуті контакти замикаються при появі сигналу на відповідному вході або істинності поставленого у відповідність даному контакту логічного виразу

(тобто логічної одиниці). У першій гілці на рисунку 4.3 використовується нормально розімкнутий вхідний контакт PLC  $X0$ . Логіка роботи нормально замкнутих контактів - зворотна, вони розмикаються при появі сигналу або істинності логічного виразу (тобто логічної одиниці). У другій гілці на рисунку 4.3 використовується нормально замкнутий вхідний контакт PLC  $X1$ . У третій гілці використовується декілька різних вхідних контактів PLC -  $X2, X3, X4$ .

Дискретні виходи PLC або результати виконання даної гілки представляються у вигляді обмотки реле, живлення на якій з'являється після проходження сигналу від лівої умовної шини живлення через всі елементи, що знаходяться на гілці  $Y0, Y1, Y2$  (див. рис. 4.3).

На графічній мові LD можуть бути запрограмовані логічні операції «І» ( $AND$ ), «АБО» ( $OR$ ), «НЕ» ( $NOT$ ) та ін. Послідовне з'єднання контактів рівнозначне логічній операції  $AND$ , паралельне -  $OR$ , логічна операція  $NOT$  реалізується використанням інверсного контакту. Сила струму в обмотці реле з'являється після замикання (розмикання) контактів і виконання всіх вказаних в гілках логічних умов. Для третьої гілки (див. рис. 4.3), можна записати логічне рівняння функціонування:  $Y2 = ((NOT X2) OR X3) AND X4$ .

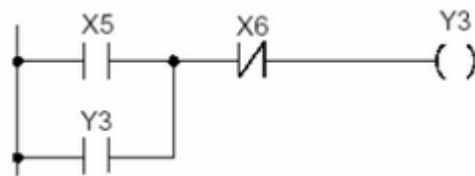


Рисунок 4.4 - Загальний вигляд релейно-контактної діаграми послідовної логіки

Послідовна логіка - розглядається як ланцюг із зворотним зв'язком. Вихідний сигнал із діаграми подається як вхідний на ту саму діаграму. Послідовна логіка реалізує діаграми із пам'яттю стану - вихідний сигнал залишається в тому самому рівні, навіть якщо вхідний сигнал повернеться до

вихідного (пасивного) рівня [65-69].

Діаграма представлена на рисунку 4.4 - це діаграма самоблокування реле. При замиканні вхідного нормально відкритого контакту  $X5$  реле  $Y3$  спрацьовує, його нормально відкритий контакт  $Y3$  замикається і блокує нормально відкритий контакт  $X5$ . У цьому стані контакт  $X5$  може і розмикнутися, реле  $Y3$  все одно залишиться у включеному стані. Вимкнення реле відбувається при розмиканні нормально закритого контакту  $X6$ , при цьому нормально відкритий контакт реле  $Y3$  розмикається і схема повертається в початковий стан, замикання нормально закритого контакту  $X6$  не призведе до спрацьовування реле  $Y3$ .

У PLC операції релейно-контактної логіки емулюються мікропроцесором. У PLC використовується метод сканування (послідовного опитування) для контролю станів вхідних елементів і вихідних котушок, потім використовується програма релейно-контактної логіки для емуляції результатів. Оскільки є всього один процесор, PLC повинен послідовно вивчити і виконати програму з першого до останнього кроку, потім повернутися до першого кроку і виконати в циклі всю послідовність операцій. Тривалість виконання одного такого повторюваного режиму роботи носить назву час сканування. Час сканування - одна з найважливіших характеристик PLC. Стандартний PLC виконує приблизно 1000 етапів перемикаць контактів за 0,33 мсек, тобто час сканування одного контакту становить 0,33 мсек. Тривалість сканування всієї діаграми залежить від розміру. Процес сканування релейно-контактної схеми в PLC представлено на рисунку 4.5.

Релейно-контактну діаграму можливо умовно розділити на ряд невеликих комірок, об'єднаних у рядки та стовпці. В одній комірці може розташовуватися лише один елемент.

Контакт (рис. 4.6) [65-69] - це елемент із двома можливими станами - замкнутий або розімкнутий. Один тип контактів називається «Вхідний контакт» ( $X$  з довідковим номером) і його стан визначається лише зовнішніми вхідними

сигналами з блоку вхідних клем. Інший тип контактів називається «Релейний контакт» і його стан відповідає стану реле. У PLC є наступні види контактів: контакт А ( $X0, X2$ ), контакт В ( $X1, X3$ ), диференціальні контакти «вгору»  $TU$  ( $X10, Y4$ ), диференціальні контакти «вниз»  $TD$  ( $X5, M6$ ) і контакти «розімкнуто/замкнуто» *Open / Short* (відсутність або наявність лінії зв'язку).

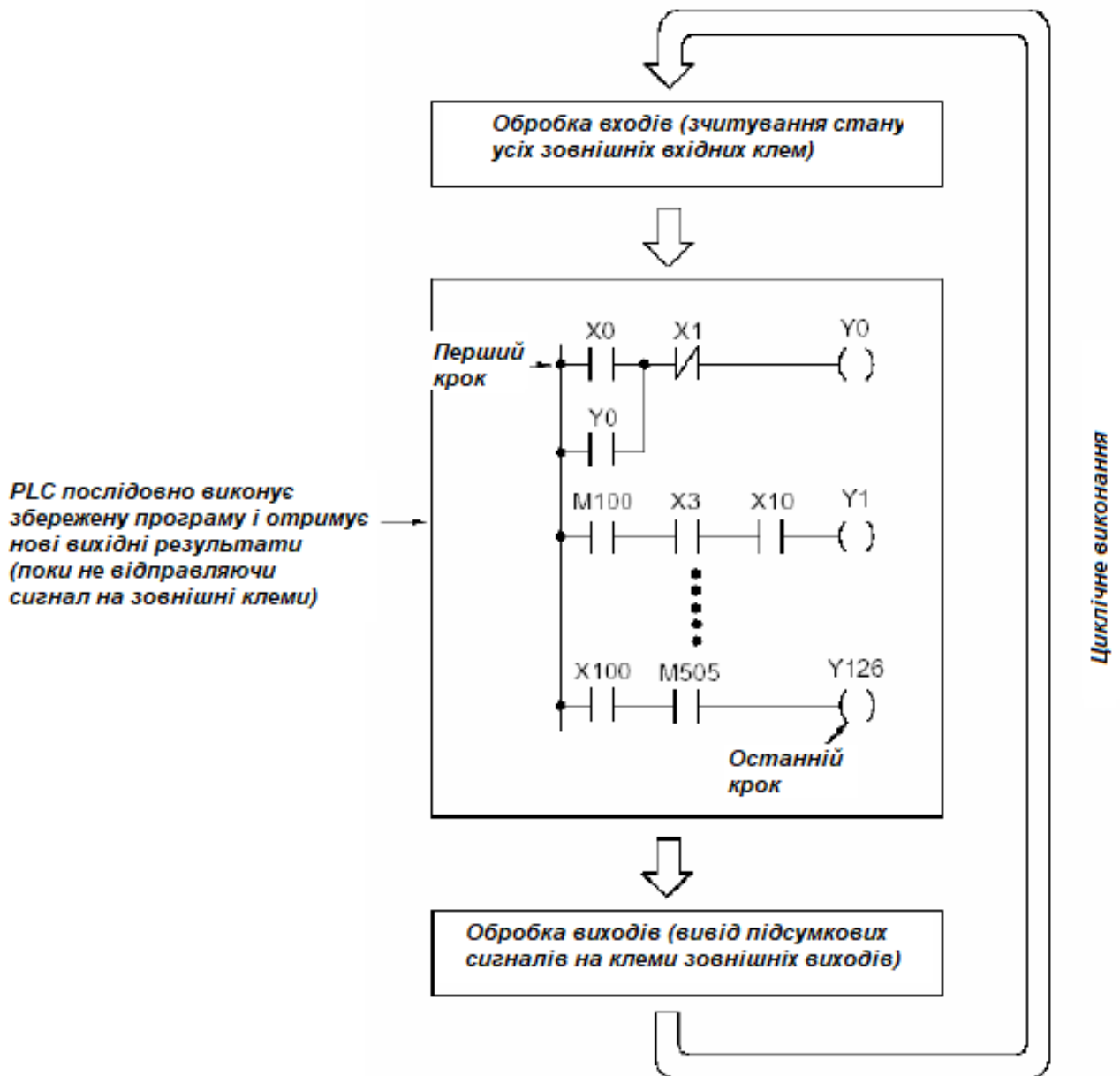


Рисунок 4.5 - Загальний вигляд процесу сканування релейно-контактної діаграми

[65-69]

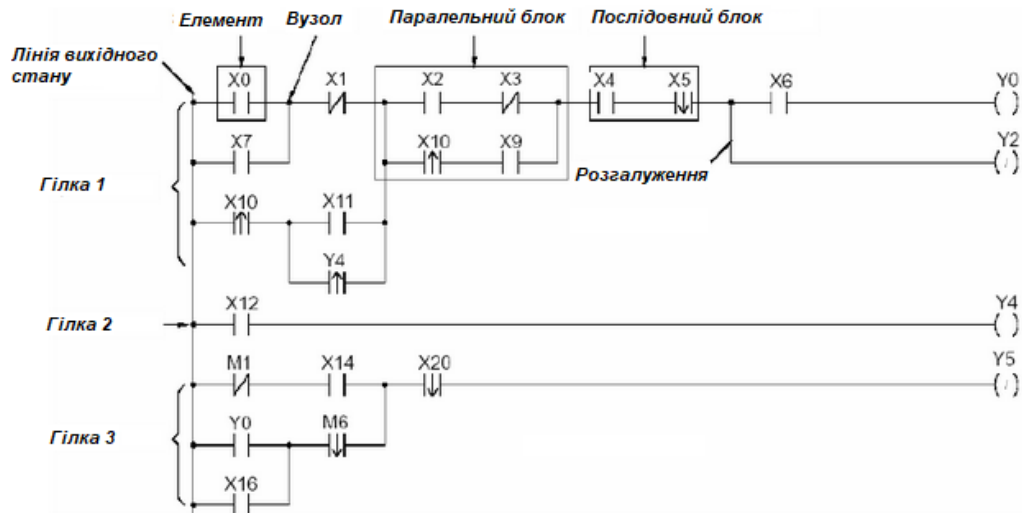


Рисунок 4.6 - Загальний вигляд релейно-контактної діаграми [65-69]

Реле складається з котушки (обмотки) і контактів (рис. 4.7).

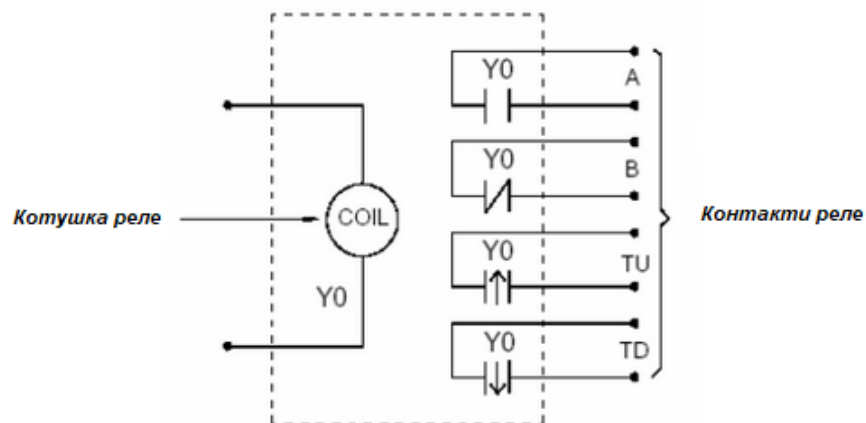


Рисунок 4.7 - Загальний вигляд діаграми реле [65-69]

Для вмикання реле потрібно подати силу струму в його котушку. Якщо реле  $Y_0$  знаходиться в стані логічна одиниця, то контакт А буде знаходитися в стані логічна одиниця, контакт В - в стані логічний нуль. Контакти  $TU$  ( $TD$ ) приймають стан логічна одиниця в інтервалі часу сканування, коли реле переходить зі стану логічний нуль в стан логічна одиниця (з «1» в «0») відповідно. У PLC використовуються 4 типи реле: вихідні  $Y$ , внутрішні (меркерна пам'ять)  $M$ , крокові  $S$ , тимчасові  $TR$ . Стани вихідних реле  $Y$  передаються на блок вихідних клем.

Таблиця 4.1 - Адреси перемінних PLC

№	Назва перемінної	Зв'язуючий елемент	Позначення перемінної	Адреса
Вхідні сигнали САТП				
1	Перемикач «Ручний режим»	SA2.2	РучР	X1
2	Перемикач «Автоматичний режим»	SA2.1	АвтР	X0
3	Кнопка «Наступна заготовка»	SB3	кнНЗ	X3
4	Кнопка «Скидання Аварії»	SB2	СкиДА	X2
5	Важіль «Платформа рух ввєрх»	SA3.1	кнПВв	X4
6	Важіль «Платформа рух вниз»	SA3.2	кнПВн	X5
7	Важіль «Рука рух вліво»	SA4.1	кнРВл	X6
8	Важіль «Рука рух вправо»	SA4.2	кнРВпр	X7
9	Кнопка «Захват»	SB4	кнЗх	X10
10	Кнопка «Тр1»	SB5	кнТр1	X11
11	Кнопка «Тр2»	SB6	кнТр2	X12
12	Кнопка «Тр3»	SB7	кнТр3	X13
13	Давач, що сигналізує про крайнє верхнє положення платформи	SQ1	К1	X14
14	Давач, що сигналізує про початковє положення платформи	SQ2	К2	X15
15	Давач, що сигналізує про крайнє нижнє положення платформи	SQ3	К3	X16
16	Давач, що сигналізує про крайнє лівє положення руки	SQ4	К4	X17
17	Давач, що сигналізує про крайнє правє положення руки	SQ5	К5	X20
18	Давач, що сигналізує про наявність заготовки на Тр1	SQ6	К6	X21

Продовження таблиці 4.1

19	Давач, що сигналізує про наявність заготовки на Тр2	SQ7	К7	X22
20	Давач, що сигналізує про наявність заготовки на Тр3	SQ8	К8	X23
21	Індикаторна лампа «Несправність приводу механізму підйому платформи»	HL2	АврМ	X24
22	Індикаторна лампа «Несправність приводу механізму руки»	HL3	АврР	X25
23	Індикаторна лампа «Несправність приводу захвату»	HL4	АврС	X26
24	І.л. «Несправність приводу Тр1»	HL5	АврТр1	X27
25	Індикаторна лампа «Несправність приводу Тр2»	HL6	АврТр2	X30
26	Індикаторна лампа «Несправність приводу Тр3»	HL7	АврТр3	X31
27	Індикаторна лампа «Несправність давачів»	HL8	АврД	X32
Вихідні сигнали САТП				
28	Індикаторна лампа «Аварія»	HL9	Аварія	Y0
29	Вмикання приводу механізму підйому платформи для руху вверх	UZ1	ПВВ	Y1
30	Вмикання приводу механізму підйому платформи для руху вниз	UZ1	ПВн	Y2
31	Вмикання приводу механізму руки для руху вправо	UZ2	РВпр	Y3
32	Вмикання приводу механізму руки для руху вліво	UZ2	РВл	Y4

Кінець таблиці 4.1

33	Вмикання приводу механізму Захвату	UZ3	ПЗх	Y10
34	Вмикання приводу механізму Тр1	UZ4	Тр1	Y5
35	Вмикання приводу механізму Тр2	UZ5	Тр2	Y6
36	Вмикання приводу механізму Тр3	UZ6	Тр3	Y7

На рисунку 4.6 представлені вихідна котушка  $Y0$ , інверсна вихідна котушка  $Y2$ .

На основі вище наведених логічних рівнянь, а також з урахуванням підключення вхідних і вихідних ланцюгів до ПЛК, представленого на електричній принциповій схемі (див. рис. 4.1), створимо програму. Програма в подальшому призначена для запису в ПЛК DL06 [61].

Перш ніж записувати програму, присвоїмо перемінним логічних рівнянь адреси PLC. Результати представлення перемінних в адресах PLC для вхідних, вихідних і проміжних сигналів представлені в табличному вигляді (див. табл. 4.1).

Напишемо рівняння з врахування адрес для ПЛК та релейно-контактних діаграм (рис. 4.8 - 4.9) [34-47]:

- для команди  $Y0$ :

$$Y0 = (X24 + X25 + X26 + X27 + X30 + X31 + X32 + Y0) \cdot \overline{X2}; \quad (4.1)$$

- для команди  $Y1$ :

$$Y1 = (((X21 + Y1) \cdot \overline{X14} + (X23 + Y1) \cdot \overline{X15}) \cdot \overline{Y3} \cdot \overline{Y4} \cdot X0 + X4 \cdot X1) \times \overline{Y0}; \quad (4.2)$$

- для команды  $Y_2$ :

$$Y_2 = (((X_{14} + X_{15}) \cdot Y_{10} + Y_2) \cdot \overline{X_{16}} \cdot \overline{Y_3} \cdot \overline{Y_4} \cdot X_0 + X_5 \cdot X_1) \cdot \overline{Y_0}; \quad (4.3)$$

- для команды  $Y_3$ :

$$Y_3 = (((X_{14} \cdot X_{21} + X_{15} \cdot X_{22} + X_{16} \cdot \overline{X_{23}} + Y_3) \cdot \overline{X_{20}} \cdot X_0 + X_7 \cdot X_1) \cdot \overline{Y_0}; \quad (4.4)$$

- для команды  $Y_4$ :

$$Y_4 = (((X_{14} \cdot \overline{X_{21}} + X_{15} \cdot \overline{X_{22}} + X_{16} \cdot X_{23} + Y_4) \cdot \overline{X_{17}} \cdot \overline{Y_{10}} \cdot X_0 + X_6 \cdot X_1) \cdot \overline{Y_0}; \quad (4.5)$$

- для команды  $Y_5$ :

$$Y_5 = (X_3 + Y_5) \cdot \overline{X_{21}} \cdot X_0 + X_{11} \cdot X_1) \cdot \overline{Y_0}; \quad (4.6)$$

- для команды  $Y_6$ :

$$Y_6 = (X_3 + Y_6) \cdot \overline{X_{22}} \cdot X_0 + X_{12} \cdot X_1) \cdot \overline{Y_0}; \quad (4.7)$$

- для команды  $Y_7$ :

$$Y_7 = (X_{23} + Y_7) \cdot \overline{X_3} \cdot X_0 + X_{13} \cdot X_1) \cdot \overline{Y_0}; \quad (4.8)$$

- для команды  $Y_{10}$ :

$$Y_{10} = (((X_{14} \cdot X_{21} + X_{15} \cdot X_{22}) \cdot X_{20} + Y_{10}) \cdot \overline{X_{23}} \cdot X_0 + X_{10} \cdot X_1) \cdot \overline{Y_0}; \quad (4.9)$$

### 4.3 Висновки до четвертого розділу

Виконано дослідження системи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Було розроблено електричну принципову схему системи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок на основі якої розроблено програмну забезпечення на графічній мові LD з наведенням релейно-контактної діаграми та рівнянь із урахуванням адрес.

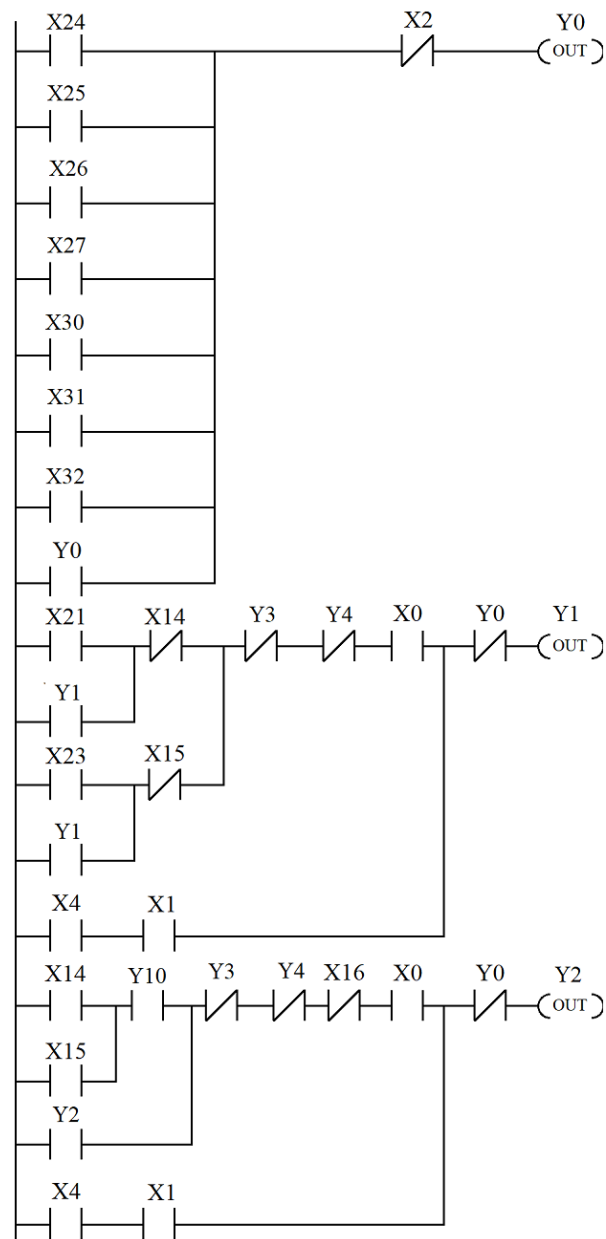


Рисунок 4.8 - Початок релейно-контактної діаграми для САТІ

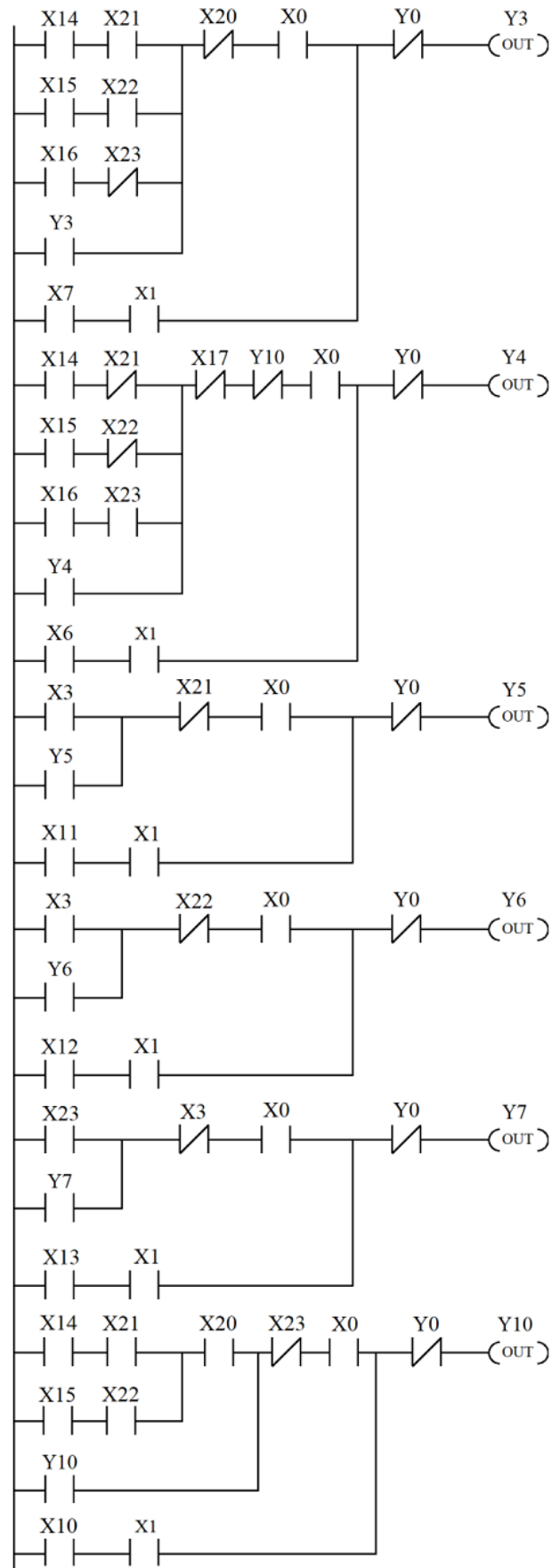


Рисунок 4.9 - Закінчення релейно-контактної діаграми для САТП

## ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи було розроблено метод керування автоматизованим електроприводом механізму переміщення виробів.

Виконано розрахунок потужності електродвигуна та побудова навантажувальних діаграм швидкостей і моменту, на підставі яких був обраний асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором типу 4МТКФ(Н)112L6 і було обрано до монтажу двоступеневий редуктор NMRV 025/030.

Були побудовані природні та штучні (за заданими точками) механічні характеристики асинхронного електродвигуна. Було виконано перевірку електроприводу на перевантажувальну здатність, нагрів асинхронного електродвигуна та частотного перетворювача.

Розроблено систему автоматизації електроприводу механізму переміщення виробів. Було розроблено алгоритм роботи системи автоматизації у вигляді логічних математичних рівнянь. Також було розроблено пульт керування системою автоматизації електроприводу механізму переміщення виробів.

На основі вказаних вимог до системи автоматизації електроприводу механізму переміщення виробів, алгоритму роботи автоматики окремих механізмів і обраної елементної бази були розроблені функціональна і принципова схеми.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Куценко Ю.М., Яковлев В.Ф., та ін. Електричні машини і апарати: навчальний посібник. Київ, 2013. 449 с.
2. Полешко О.П., Дубнюк В.Л. Деталі машин і основи конструювання: Вибір двигуна, кінематичний і силовий розрахунок приводу: Курсовий проєкт [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів вищої освіти спеціальностей 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування. Київ, 2022. 36 с.
3. Навчальний посібник з дисципліни "Електротехніка та електропостачання" для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології». Полтава, 2019. 177 с.
4. Кінаш А.Т. Електротехніка. Електричні машини: навчальний посібник. Миколаїв, 2003. 152 с. ISBN 5-87848-080-8.
5. Василега П.О. Електропривод робочих машин: підручник. Суми, 2022. 290 с. ISBN 978-966-657-900-6.
6. Видмиш А.А., Ярошенко Л.В. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1: навчальний посібник. Вінниця, 2020. 387 с.
7. Зеленов А.Б. Теорія електропривода. Методика проектування електроприводів: підручник. Луганськ, 2010. 670 с.
8. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: навчальний посібник. Харків, 2012. 340 с.
9. Основи електропривода : підручник / Ю.М. Лавріненко та ін. Київ : Видавництво Ліра-К, 2017. 524 с.
10. Павленко Т.П., Донець О.В., Петренко О.М. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів: конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка). Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 132 с.

11. Кранові електродвигуни МТН, МТФ, МТКН, МТКФ. URL: <https://slemz.com.ua/elektrodviguni/kranovi> (дата звернення: 15.09.2025).
12. Інженерна механіка (Деталі машин): посібник-практикум (Частина 1) / О.О. Дреза та ін. Мелітополь : ВПЦ «Люкс», 2020. 143 с.
13. Кірієнко О.А., Гузенко Ю.М. Теорія механізмів і машин. Деталі машин: розрахунки механічних передач. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 188 с.: іл.
14. Пастух І.М. Проектування приводів : навчальний посібник. Хмельницький : ХНУ, 2013. 243 с. ISBN978-966-330-156-3
15. Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода: навч. посібник / М.В. Загірняк та ін. 2-ге вид., переробл. і доповн. Харків : Видавництво «Точка», 2017. 206 с. ISBN 978-617-7470-78-5.
16. Казачковський М.М. Автономні перетворювачі та перетворювачі частоти: навчальний посібник. Дніпропетровськ : НГА України, 2000. 197 с.
17. Сенько В.І., Трубіцин К.В., Чибеліс В.І. Інвертори і перетворювачі частоти: навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. 300 с. ISBN 978-617-7844-11-1.
18. Комплексний посібник з вибору правильного перетворювача частоти для ваших промислових і побутових потреб. URL: <https://ukrprommotor.com.ua/blog/kompleksnij-posibnik-z-viboru-peretvoryuvacha-chastoti?srsltid=AfmBOoryq3mfW5PsO-CdgU5fvBeSJVuOmN3VM817t4GEFW8a2ltW4qp9> (дата звернення: 10.10.2025).
19. Частотні перетворювачі. URL: [https://elib.tsatu.edu.ua/dep/enf/etem\\_3/1/index1.html](https://elib.tsatu.edu.ua/dep/enf/etem_3/1/index1.html) (дата звернення: 10.10.2025).
20. ACS880-01-07A2-3 Частотний перетворювач ACS880 3.0кВт 3-ф/380. URL: <https://chastotnik.ua/abb-r-acs880-01-07a2-3?srsltid=AfmBOoryWtwBzQnp22LEamDdlXRP0wXPу9eOkq28F0gYAMye3KgrBTsu> (дата звернення: 10.10.2025).
21. Автоматичний вимикач іС60N 3P 25A С Schneider Electric A9F79325. URL: <https://schneider.kiev.ua/avtomatichnij-vimikach-ic60n-3p-25a-c-schneider->

electric-a9f79325/ (дата звернення: 10.10.2025).

22. Бойко Т.В., Квітка О.О., Шахновський А.М. Комп'ютерна техніка та організація обчислювальних робіт: Організація розрахунків у середовищі MathCAD [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 64 с.

23. Бородай В.А., Воскобойник В.Е. Методичні вказівки до виконання лабораторних та самостійних робіт з дисципліни “Обчислювальна техніка в розрахунках електромеханічних систем” (пакет MathCAD) для студентів напряму 0922 Електромеханіка. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2003. 64 с.

24. Литвин О. М., Нечуйвітер О. П., Першина Ю. І. Система комп'ютерної математики Mathcad в науково-технічних розрахунках: навч.-метод. посібник для студентів денної та заочної форм навчання інж. та інж.-пед. спеціальностей / Українська інж.-пед. акад. Харків : [б. в.], 2017. 64 с.

25. Квітка О.О., Шахновський А.М. Комп'ютерне моделювання процесів і систем: Організація розрахунків у середовищі MathCAD [Електронний ресурс]: навчальний посібник для самостійної роботи студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Електронні текстові дані (1 файл 4,84 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 89 с.

26. Довідник. Програмування в Mathcad / В.Г. Дзісь та ін. Вінниця : Видавничий центр ВНАУ, 2015. 187 с.

27. Лазарєв Ю.Ф. Довідник з MATLAB: електронний навчальний посібник з курсового і дипломного проектування. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 132 с.

28. Лазарєв Ю.Ф. Моделювання динамічних систем у Matlab: електронний навчальний посібник. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 421 с.

29. Гоблик Н.М., Гоблик В.В. MATLAB в інженерних розрахунках. Комп'ютерний практикум: навчальний посібник. 3-тє вид., доповн. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. 190 с.: іл., табл., схеми, графіки.

ISBN 978-966-941-510-3.

30. Цвіркун Л.І., Грулер Г. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / під заг. ред. Л.І. Цвіркуна ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. 3-тє вид., переробл. і доповн. Дніпро : НГУ, 2017. 224 с. ISBN 978-966-350-645-6.

31. Трет'як А.В., Кльон А.М. Основи робототехніки: навчальний посібник для студентів спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Полтава : Видавництво Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2024. 135 с.

32. Струтинський В.Б., Гуржій А.М. Наземні роботизовані комплекси: монографія. Житомир : ПП «Рута», 2023. 524 с.

33. Поліщук М.М., Ткач М.М. Робототехнічні системи та комплекси: мобільні роботи довільної орієнтації: підручник для студентів спеціальності «Інформаційні системи та технології». Електронні текстові дані (1 файл: 14,7 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 301 с. ISBN 978-966-990-076-0.

34. Солона О.В., Купчук І.М., Замрій М.А. Інтелектуальні мехатронні системи керування. Методичні вказівки до виконання практичних та самостійних робіт для студентів денної та заочної форми навчання другого (магістерського) освітнього рівня галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Вінниця: ВНАУ, 2023. 110 с.

35. Муляр Ю.І., Репінський С.В. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина II : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2020. 123 с.

36. Невлюдов І.Ш., Новоселов С.П., Сичова О.В. Технологія програмування промислових контролерів в інтегрованому середовищі CODESYS : навчальний посібник. Харків : ХНУРЕ, 2019. 264 с. ISBN 978-966-659-265-4. DOI: 10.30837/978-966-659-265-4.

37. Основи побудови комп'ютерно-інтегрованих систем [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спец. 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освіт.-проф. програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кіберенергетичних систем» / уклад.: С.В. Любицький, П.В. Новіков ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 1,5 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 77 с.

38. Галкін П.В., Ключник І.І. Програмування ПЛК в CODESYS : навч. посіб. - Харків : ФОП Панов А. М., 2019. - 92 с. - ISBN 978-617-7722-62-4.

39. Технічні засоби автоматизації. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт.-проф. програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спец. 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Г.С. Тимчик, В.С. Антонюк, В.Г. Здоренко, Н.М. Защепкіна, С.М. Лісовець, Т.Р. Ключко. - Електронні текстові дані (1 файл: 1,17 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. - 174 с. - Назва з екрана.

40. Зубков О.В. Програмування промислових контролерів Siemens в прикладах і задачах : навч. посіб. - Харків, 2011. - 122 с.

41. Куцик А.С., Місюренко В.О. Автоматизовані системи керування на програмованих логічних контролерах : навч. посіб. - Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. - 200 с.

42. Khazarov V.G. Programmable Logic Controller (SIEMENS S7-1200) Trainer. Automation Studio. 2014. Vol. 1, No. 2. P. 37-39.

43. Khazarov V.G. Programmable Logic Controller (SIEMENS S7-1500). Automation Studio. 2017. Vol. 3. P. 21-32.

44. Kutsik A.S. PL7 Micro Software. Installation Manual for Application-specific Functions. 2017. Vol. 33. P. 44-51.

45. Serhane A., Raad M., Raad R., Susilo W. Programmable logic controllers based systems (PLC-BS): Vulnerabilities and threats. SN Applied Sciences. 2019. Vol.

1. P. 924.

46. Kayan H., Nunes M., Rana O., Burnap P., Perera C. Cybersecurity of industrial cyber-physical systems: A review. ACM Computing Surveys (CSUR). 2022. Vol. 54. P. 1-35.

47. Ghaleb A., Zhioua S., Almulhem A. On PLC network security. International Journal of Critical Infrastructure Protection. 2018. Vol. 22. P. 62-69.

48. Основи автоматичної та робототехніки : навчальний посібник / А. Гуржій та ін. Дніпро : Гарант СВ, 2021. 243 с.

49. Штіфзон О.Й., Новіков П.В., Бунь В. Теорія автоматичного управління : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 144 с.

50. Інтелектуальні системи автоматизації (монографія) / О. Г. Аврунін та ін. Кременчук : НОВАБУК, 2021. 322 с. ISBN 978-617-639-347-4.

51. Автоматизація виробничих процесів. Технічні засоби автоматизації : навчальний посібник / В. Тичков та ін. Черкаси : ЧДТУ, 2020. 321 с.

52. Любицький С., Новіков П. Основи побудови комп'ютерно-інтегрованих систем : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 77 с.

53. Технічні засоби автоматизації : навчально-методичний посібник / ред. А. Бабіченко. Харків : Мадрид, 2021. 217 с.

54. Дудюк Д., Мазепа С. Гнучке автоматизоване виробництво і роботизовані комплекси : навчальний посібник. Київ : Ліра, 2019. 278 с.

55. Верба І.І., Даниленко О.В., Самойленко О.В. Обладнання автоматизованого виробництва. Сучасні тенденції розвитку систем автоматизації : Начальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 260 с.

56. Пупена О. Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI : наівчальний посібник. Київ : Ліра-К, 2020. 594 с.

57. Складанний Д., Тюріна Є. Промислові комп'ютерні мережі: навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 54 с.

58. Абракітов В.Е. Конспект лекцій з курсу «Автоматизація технологічних процесів» (для студентів 1 курсу денної форми навчання освітнього рівня «бакалавр» галузі знань 26 - Цивільна безпека спеціальності 263 - Цивільна безпека. Охорона праці). Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 80 с.

59. Шевченко В.В., Тимчик Г.С. Основи автоматизації технологічних процесів. Конспект лекцій. Навчальний посібник. КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023

60. Автоматизація технологічних процесів підземних гірничих робіт : підручник / А. В. Бубликов та ін. ; під заг. ред. В. В. Ткачова. Д. : Національний гірничий університет, 2012. 304 с. ISBN 978-966-350-416-2.

61. DL06 User Manual. URL: [https://www.soliton.com.br/koyo/Manuais/DL06\\_User\\_Manual\\_Vol1.pdf](https://www.soliton.com.br/koyo/Manuais/DL06_User_Manual_Vol1.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).

62. ТЕКО. URL: <https://www.sensor.ua/shop/category/datchiki/teko/?page=2> (дата звернення: 21.11.2025).

63. SPV-300-24 Mean Well Блок живлення 300 Вт, 24 В, 12.5 А У корпусі з ККМ. URL: <https://meanwell.in.ua/acdc/kkm/spv-300-24> (дата звернення: 21.11.2025).

64. Сенсорна панель оператора, TFT дисплей 15. URL: <https://deltaww.com.ua/dop-w157b-sensornaya-panel-operatora-tft-display-15?dsort=added&dorder=DESC> (дата звернення: 21.11.2025).

65. ДСТУ EN 61131-3:2022 Програмовані контролери. Частина 3. Мови програмування (EN 61131-3:2013, IDT; ІЕС 61131-3:2013, IDT). Вид. ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»), 2022.

66. Тігарєв А.М. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи “Програмування ПЛК. Вивчення мови релейних діаграм (LD)” / А. М. Тігарєв. Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2016. 20с.

67. Програмно-технічне забезпечення комп'ютерно-інтегрованих систем.

Мови програмування стандарту ІЕС 61131-3 : практикум та курсова робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / уклад. М. В. Коржик ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл 1 МБайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 72 с.

68. ІЕС 61131-3. Programmable controllers. Part 3. Programming languages. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2003. 226 p.

69. Parr E. A. Programmable Controllers : An Engineer's Guide. Oxford : Newnes, 2014. 336 p.

70. Кваліфікаційна робота : метод. рек. і настанови до виконання кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти за спец. 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / В. В. Мартинюк, Л. О. Корецька, М. В. Федула, О. С. Савенко. Хмельницький : ХНУ, 2024. 25 с.

# Додаток А Стаття №4 2025 р «ВИМІРЮВАЛЬНА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ»

УДК 681.1

DOI:

**ГАЛІБРОДА В.О.**

Студент АКІТРМ-24-1

**МАЙДАН П.С.**

<https://orcid.org/0000-0003-3319-8730>

[maidanps@gmail.com](mailto:maidanps@gmail.com)

**МАКАРИШКІН Д.А.**

<https://orcid.org/0000-0003-3447-811X>

[makaryshkinde@khmnu.edu.ua](mailto:makaryshkinde@khmnu.edu.ua)

**СОКОЛАН К.С.**

<https://orcid.org/0000-0002-3513-8312>

[sokolank@khmnu.edu.ua](mailto:sokolank@khmnu.edu.ua)

Хмельницький національний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗАГОТОВОК

*Сучасні тенденції розвитку систем автоматизації технологічних процесів йдуть у напрямку створення автоматичних систем, які здатні виконувати задані функції або процедури без безпосередньої участі людини. Роль людини-оператора полягає в підготовці необхідних вихідних даних, виборі алгоритму роботи (або методу вирішення) і аналізі отриманих результатів. Причому ці тенденції простежуються не лише при автоматизації складних технологічних процесів у промисловості, але й в інших сферах життєдіяльності людини.*

*Для приведення механізмів у рух будуть використані асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором, керування якими буде виконуватись за допомогою частотних перетворювачів. Впровадження даної системи автоматизації дозволить оптимізувати керування встановленими механізмами та зменшити роль людини-оператора в процесі керування.*

*В роботі виконано дослідження роботи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Описано проблематику керування автоматизованим електроприводом механізму переміщення заготовок, охарактеризовано вимоги до електроприводу механізму переміщення заготовок. Виконано підбір основного обладнання системи та основних елементів силового ланцюга автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Розраховано статичні характеристики автоматизованого електроприводу, параметри схем включення асинхронного електродвигуна та перехідні процеси автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок, також було визначено інтегральні показники перехідних процесів.*

*Ключові слова: механізм переміщення, моделювання, електропривід, частотний перетворювач, автоматизована система керування, асинхронний двигун.*

**HALIBRODA Vladyslav, MAIDAN Pavlo,  
MAKARYSHKIN Denys, SOKOLAN Kateryna**  
Khmelnitskyi National University

## RESEARCH ON THE OPERATION OF AN AUTOMATED ELECTRIC DRIVE FOR A WORKPIECE TRANSFER MECHANISM

*Current trends in the development of technological process automation systems are moving towards the creation of automatic systems capable of performing specified functions or procedures without direct human involvement. The role of the human operator is to prepare the necessary input data, select the operating algorithm (or solution method), and analyze the results obtained. Moreover, these trends can be observed not only in the automation of complex technological processes in industry, but also in other areas of human activity.*

*Asynchronous electric motors with short-circuited rotors will be used to set the mechanisms in motion, which will be controlled by frequency converters. The implementation of this automation system will optimize the control of the installed mechanisms and reduce the role of the human operator in the control process.*

*The paper presents research the operation of an automated electric drive for a workpiece transfer mechanism. The problems of controlling the automated electric drive of the workpiece transfer mechanism are described, and the requirements for the electric drive of the workpiece transfer mechanism are characterized. The main equipment of the system and the main elements of the power circuit of the automated electric drive of the workpiece transfer mechanism have been selected. The static characteristics of the automated electric drive, the parameters of the asynchronous electric motor connection circuits, and the transient processes of the automated electric drive of the workpiece transfer mechanism are calculated, and the integral indicators of the transient processes are determined.*

*Keywords: movement mechanism, modeling, electric drive, frequency converter, automated control system, asynchronous motor.*

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОКІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ**

Сучасні тенденції розвитку систем автоматизації технологічних процесів (САТП) йдуть у напрямку створення автоматичних систем, які здатні виконувати задані функції або процедури без безпосередньої участі людини. Роль людини-оператора полягає в підготовці необхідних вихідних даних, виборі алгоритму роботи (або методу вирішення) і аналізі отриманих результатів. Причому ці тенденції простежуються не лише при автоматизації складних ТП у промисловості, але й в інших сферах життєдіяльності людини.

Для створення людино-машинного інтерфейсу (НМІ) і вирішення завдань оперативного керування ТП буде використаний пульт керування, на якому оператор зможе вибрати необхідний режим роботи, здійснювати запуск механізму, визначати причину виникнення аварії тощо.

Для приведення механізмів у рух будуть використані асинхронні електродвигуни (АЕД) з короткозамкненим ротором, керування якими буде виконуватись за допомогою частотних перетворювачів (ЧП). Впровадження даної системи автоматизації дозволить оптимізувати керування встановленими механізмами та зменшити роль людини-оператора в процесі керування.

### **АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ**

У сучасних наукових дослідженнях механізми переміщення заготовок розглядаються як важлива складова автоматизованих, гнучких та роботизованих виробничих систем. Значна кількість публікацій присвячена підвищенню ефективності транспортних операцій, скороченню допоміжного часу та інтеграції механізмів переміщення заготовок із технологічним обладнанням [1-3].

У працях вітчизняних і зарубіжних авторів наведено різні підходи до класифікації механізмів переміщення заготовок залежно від принципу дії, типу приводу та характеру руху. Найбільш поширеними є конвеєрні системи (стрічкові, роликові, ланцюгові), підйомно-транспортні пристрої та автоматизовані маніпулятори. У роботах [4] детально розглядаються конструктивні особливості таких механізмів та умови їх ефективного застосування в машинобудівному виробництві.

Значний пласт досліджень присвячений використанню електромеханічних приводів у транспортних механізмах. У працях [5-7] аналізуються характеристики АЕД, сервоприводів і частотно-керованих приводів, які забезпечують необхідну точність, плавність руху та можливість регулювання швидкості транспортування заготовок. Автори відзначають, що застосування сервоприводів дозволяє підвищити точність позиціонування та спростити інтеграцію транспортних механізмів у автоматизовані системи керування.

Окрему увагу в наукових публікаціях приділено робототехнічним системам переміщення заготовок. У роботах [8-10] механізми переміщення розглядаються як частина маніпуляційних комплексів, що виконують функції подачі, орієнтації та позиціонування деталей. Підкреслюється важливість синхронізації роботи механізмів транспортування з верстатами з ЧПК, роботами-маніпуляторами та складськими системами.

Сучасні дослідження також спрямовані на застосування методів комп'ютерного моделювання та цифрового проєктування механізмів переміщення заготовок. У працях [11-13] описано використання CAD/CAE-систем для аналізу кінематики, динаміки та міцності елементів механізмів транспортування заготовок, а також для імітаційного моделювання їх роботи у складі виробничих ліній. Це дозволяє зменшити кількість експериментальних випробувань та підвищити обґрунтованість конструкторських рішень.

Таким чином, аналіз досліджень і публікацій показує, що механізми транспортування заготовок є об'єктом активного розвитку. Основні тенденції пов'язані з автоматизацією транспортних процесів, використанням інтелектуальних приводів, робототехнічних засобів та комп'ютерного моделювання. Водночас актуальними залишаються питання підвищення універсальності транспортних механізмів, зниження енерговитрат і забезпечення їх адаптації до змінних умов виробництва.

Тому механізм переміщення заготовок повинен бути призначений для транспортування заготовок між автоматизованими лініями (транспортерами) подачі готових виробів. Робоча машина повинна містити привід висунення руки 2, АЕД 1 і механізм-захвату 3.

Принцип роботи машини буде наступним: при натисканні людиною-оператором кнопки «Чергова заготовка» на пульті керування платформа з механізмом переміщення рухається у вертикальній площині і зупиняється навпроти одного з транспортерів. Потім привід, який відповідає за переміщення руки рухається вперед і чекає спрацювання механізму-захвату. Після цього рухається назад і зупиняється, чекаючи чергову команду від людини-оператора.

#### ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

**Метою роботи є:** дослідження роботи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок.

#### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Роботизований комплекс (РК) (рис. 1) призначений для переміщення заготовок з автоматизованих ліній (транспортерів) 5 і 6 на транспортер 7.

Безпосередньо РК (рис. 1) містить механізм підйому 1, керований від АЕД 2, привід висунення руки 3 з АЕД 4, захват 12, керований пневмоклапаном. Вертикальні переміщення маніпулятора контролюються трьома індуктивними давачами 9, 10, 11 (давачі К1, К2, К3), встановленими прямо навпроти відповідних автоматизованих ліній для транспортування заготовки. По горизонталі привід руки контролюється двома давачами 13 і 14 (давачі К4, К5) крайніх лівого/правого положень. Наявність заготовок визначається спрацюванням давачів 15, 16 і 17 (давачі К6, К7, К8). Переміщення заготовок виконується за допомогою використання нереверсивних транспортерів 5, 6 і 7, при цьому дві автоматизовані лінії 5 і 6 включаються для подачі заготовок вліво, а автоматизована лінія 7 – вправо.

Цикл роботи автоматизованої системи наступний. При натисканні кнопки «Наступна заготовка» (у нижній частині екрану) з'являється заготовка на подаючій автоматизованій лінії 5 або 6 і переміщується без участі маніпулятора до спрацювання давача К6 або К7. Система повинна включити відповідний транспортер (команди Тр1 або Тр2) до відключення того ж давача. Після цього відбувається переміщення маніпулятора по вертикалі і горизонталі до даної заготовки (вихідне положення захвату передбачається розкрите) до спрацювання давачів К1/К2 і К5, закриття захвату (команда Захват) і відхід маніпулятора назад до кінцевого положення К4. Якщо на третій автоматизованій лінії 7 відсутня заготовка, маніпулятор переміщається вниз (Вн) і вправо (Впр) до спрацювання давачів К3 і К5, в іншому випадку система чекає звільнення цієї автоматизованої лінії (відсутності сигналу давача К8). Після установки руки маніпулятора біля третьої автоматизованої лінії 7 захват розтискається (розкрите положення), і при наявності сигналу давача К8 вмикається транспортер Тр3 і працює до зникнення сигналу давача К8. Далі цикл повторюється.

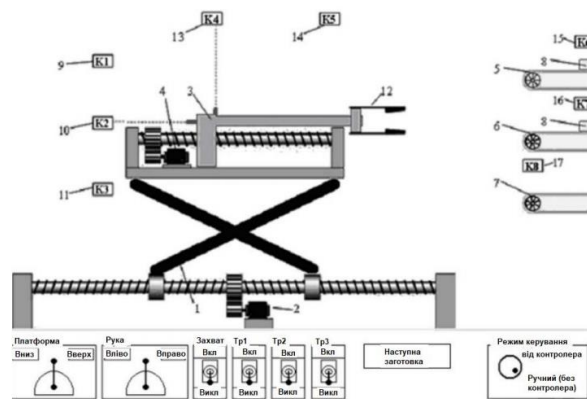


Рис.1. Загальний вигляд РК переміщення заготовок

В якості АЕД із короткозамкненим ротором для конструкції РК переміщення заготовок вибираємо електродвигун краново-металургійної серії - 4МТКФ(Н)112L6 [14] із редуктором NMRV 025/030. Було виконано приведення статичних моментів і моментів інерції до валу АЕД, попередню перевірку АЕД та визначено час перехідного процесу на різних ділянках роботи АЕД перевірку за нагріванням.

Для керування АЕД використаємо частотний перетворювач (ЧП) фірми «ABB» - модель ACS880-01-07A2-3 (рис. 2).

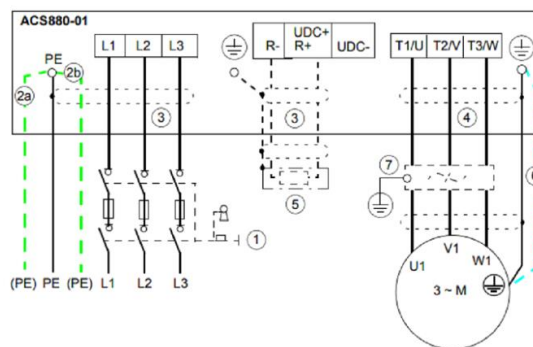


Рис.2. Схема підключення ЧП ACS880 [15]

У вибраній системі електроприводу ЧП-АЕД потрібно визначити частоту  $f_1$  і рівень напруги на статорі  $U_1$ , при яких механічні характеристики будуть проходити через точки усталених режимів. Рівень напруги на статорі визначається законом  $U_1/f_1 = const$  [16, 17].

Визначимо синхронну швидкість руху, частоту і рівень напруги на статорі АЕД, згідно загальновідомих формул [18, 19] а тоді побудуємо необхідні графічні залежності за допомогою використання пакету MATLAB [20, 21].

При живленні АЕД від індивідуального ЧП з'являється можливість плавного регулювання рівнів напруги, тому перехідні процеси запуску/гальмування забезпечуються формуванням рівня напруги керування ЧП. У розімкнутій системі ЧП - АЕД найчастіше застосовують лінійне наростання рівнів напруги керування, що визначає лінійне наростання рівнів напруги живлення АЕД [18, 19].

Для формування лінійного закону зміни рівнів напруги керування на вхід ЧП підключають інтегральний задавач інтенсивності (ЗІ), вихідний рівень напруги якого при подачі на його вхід стрибка

задаючого рівня напруги  $U_{зад}$  змінюється за лінійним законом.

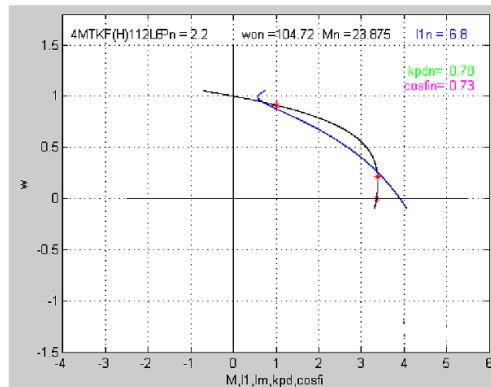


Рис.3. Графічна залежність природної характеристики АЕД

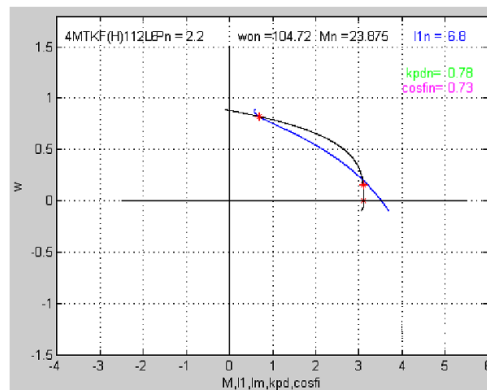


Рис. 4. Графічна залежність штучної характеристики при русі заготовки вперед

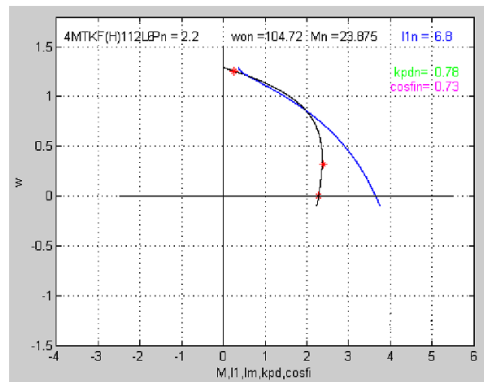


Рис.5. Графічна залежність штучної характеристика при русі заготовки назад

При досягненні величини  $U_{зад}$  наростання рівнів напруги на виході ЗІ припиняється. Вихідний рівень напруги ЗІ, таким чином, є керуючим рівнем напруги ЧП, а величина  $U_{зад}$  визначається величиною базової

сталой часу  $3I_{T31}$ , що чисельно рівна часу досягнення вихідного рівня напруги ЧП від 0 до базового значення  $U_{ном}$  [16, 17].

Проведемо розрахунок перехідних процесів автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Розрахунок і побудова характеристик перехідних процесів АЕД виконана за допомогою використання програми zipchad.m в програмному середовищі MATLAB (рис. 6-9) [20, 21].

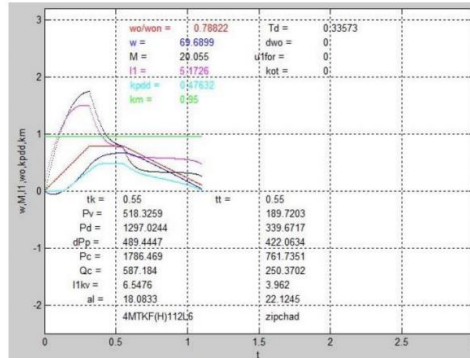


Рис.6. Графічні залежності перехідних процесів запуску/гальмування руху вперед

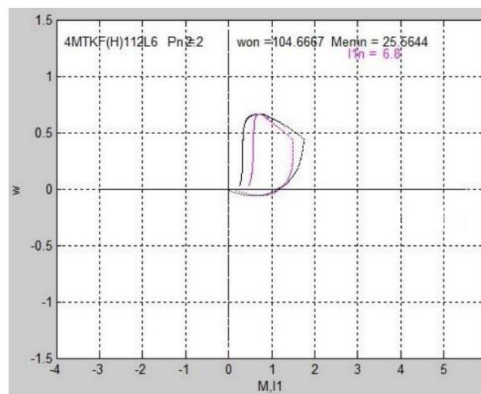


Рис.7. Графічна залежність  $\omega_{ном}$  від  $M, I_1$  руху вперед ( $0 - v_{роб}, v_{роб} - 0$ )

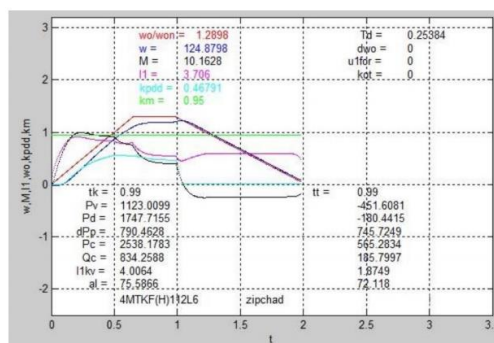


Рис.8. Графічні залежності перехідних процесів запуску/гальмування руху назад

Далі визначимо інтегральних показників перехідних процесів. Виконаємо перевірку на перевантажувальну здатність - обрані АЕД і ЧП рівнів напруги виконують вимоги перевантажувальної здатності, оскільки навантажувальні діаграми показують, що максимальні значення сили струму і моменту АЕД не перевищують допустимі значення.

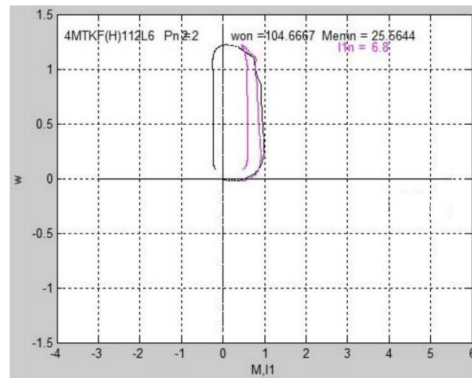


Рис.9. Графічна залежність  $\omega_{\text{ном}}$  від  $M, I_1$  руху назад ( $0 - v_{\text{роб}}, v_{\text{роб}} - 0$ )

Необхідно також виконати перевірку нагрівання АЕД і ЧП, для цього визначимо величину еквівалентної сили струму згідно загальновідомих формул [18, 19].

На рисунках 6 та 8 наведено значення середньоквадратичної сили струму  $I_{\text{kv}}$  за час пуску  $t_k$ , за час гальмування  $t_l$  для однієї ділянки руху.

Коефіцієнт погіршення тепловіддачі зупиненого АЕД  $\beta_0$  залежить від конструктивного виконання конструювання та умов вентиляції. Погіршення умов охолодження АЕД в перехідних режимах враховується коефіцієнтом погіршення тепловіддачі  $\beta_i$ , якому, залежно від швидкості обертання, можна присвоїти значення з таблиць.

Виконаємо розрахунок енергетичних показників електроприводу. Для оцінки циклового ККД слід брати до обрахунку відрізки часу, початку і кінцю яких відповідає однакова величина енергії, запасена в елементах приводу. Для механізмів, що розглядаються таким відрізком є цикл роботи, коли механізм повертається у вихідне положення.

Для розрахунку енергетичних показників використовуємо раніше отримані за допомогою ЕОМ дані, а саме рисунки 6 і 8. З яких отримаємо наступні вирази для різних видів енергії.

## ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

### І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Проведено моделювання роботи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Виконано підбір основних елементів силового ланцюга автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Розраховано статичні характеристики автоматизованого електроприводу, параметри схем включення асинхронного електродвигуна та перехідні процеси автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок, також було визначено інтегральні показники перехідних процесів.

### References

1. Havrylenko V.F. Avtomatyzatsiia vyrobnychkh protsesiv. K.: Vyshcha shkola, 2010.
2. Groover M.P. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. Pearson, 2016.
3. Kalpakjian S., Schmid S. Manufacturing Engineering and Technology. Pearson, 2014.
4. Zahiriak M.V., Nevzlin B.I. Elektromekhanichni systemy avtomatyzatsii. K.: Znannia, 2009.

5. Bose B.K. Modern Power Electronics and AC Drives. Prentice Hall, 2002.
6. Bolotov V.A. Elektropryvod i avtomatyzatsiia promyslovykh ustanovok. Kharkiv, 2012.
7. Leonhard W. Control of Electrical Drives. Springer, 2001.
8. Craig J.J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. Pearson, 2018.
9. Spong M., Hutchinson S., Vidyasagar M. Robot Modeling and Control. Wiley, 2006.
10. Sciavicco L., Siciliano B. Modelling and Control of Robot Manipulators. Springer, 2012.
11. Norton R.L. Design of Machinery. McGraw-Hill, 2020.
12. Budynas R., Nisbett J. Shigley's Mechanical Engineering Design. McGraw-Hill, 2015.
13. Groover M.P. Fundamentals of Modern Manufacturing. Wiley, 2013.
14. Kranovi elektrodvyhuny MTH, MTF, MTKN, MTKF. URL: <https://slemz.com.ua/elektrodviguni/kranovi> (data zvernennia: 15.09.2025).
15. ACS880-01-07A2-3 Chastotnyi peretvoriuvach ACS880 3.0kVt 3-f/380. URL: <https://chastotnik.ua/abb-r-acs880-01-07a2-3?srsId=AfmBOoryWtwBzQnp22LEamDdlXRP0wXPY9eOkq28F0gYAMye3KgrBTsu> (data zvernennia: 10.10.2025).
16. Kazachkovskiy M.M. Avtonomni peretvoriuvachi ta peretvoriuvachi chastoty: navchalnyi posibnyk. Dnipropetrovsk : NHA Ukrainy, 2000. 197 s.
17. Senko V.I., Trubitsyn K.V., Chybelis V.I. Invertry i peretvoriuvachi chastoty: navch. posib. Kyiv : Vydavnytstvo Lira-K, 2020. 300 s. ISBN 978-617-7844-11-1.
18. Vasyleha P.O. Elektropryvod robochykh mashyn: pidruchnyk. Sumy, 2022. 290 s. ISBN 978-966-657-900-6.
19. Pavlenko T.P., Donets O.V., Petrenko O.M. Avtomatyzovanyi elektropryvod zahalnopromyslovykh mekhanizmiv: konspekt lektsii (dlia studentiv usikh form navchannia za spetsialnistiu 141 – Elektroenerhetyka, elektrotehnika, elektromekhanika). Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 2018. 132 s.
20. Lazarev Yu.F. Modeliuvannia dynamichnykh system u Matlab: elektronnyi navchalnyi posibnyk. Kyiv : NTUU «KPI», 2011. 421 s.
21. Hoblyk N.M., Hoblyk V.V. MATLAB v inzhenernykh rozrakhunkakh. Kompiuternyi praktykum: navchalnyi posibnyk. 3-tie vyd., dopovn. Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2020. 190 s.: il., tabl., skhemy, hrafiky. ISBN 978-966-941-510-3.

Надійшла / Paper received : заповнюється редакцією

Надрукована/Printed : заповнюється редакцією

## Додаток Б Характеристики обладнання

Таблиця Б.1 - Попередній розрахунок навантажувальних діаграм

Ділянка руху		Робочий хід			Зворотний хід		
Розрахункові дані	Позначення	Пуск	Уст. Режим	Гальмування	Пуск	Уст. Режим	Гальмування
Швидкість, м/с	$v_{po}$	-	0,055	-	-	0,09	-
Час, с	$t_{po}$	0,55	35,8	0,55	0,9	21,3	0,9
Шлях, м	$L_{po}$	0,015	1,97	0,015	0,04	1,92	0,04
Моменти РО, Н*м							
Тертя в підшипниках	$M_{ТП}$	1962			392,4		
Тертя в гвинтовій передачі	$M_{ВП}$	582			267,8		
Статичний момент, Н*м	$M_{рост}$	2544			660,2		
Момент інерції, кг*м <sup>2</sup>	$J_{po}$	1005			205		
Динамічний момент, Н*м	$M_{родинам}$	1005	0	- 1005	205	0	- 205
Сумарний момент, Н*м	$M_{po}$	3549	2544	1539	865,2	660,2	455,2

Таблиця Б.2 - Номінальні дані АЕД 4МТКФ(Н)112L6 при ТВ=40%

Назва показника	Значення
Номінальна потужність на валу, кВт	2,2
Номінальна частота обертання, об/хв	880
Номінальна сила струму статора, А	6,8
Коефіцієнт потужності в номінальному режимі роботи	0,73
Пускова сила струму, А	22,7
Пусковий момент, Н*м	62
Максимальний (критичний) момент, Н*м	64
Активний опір фазної обмотки статора, Ом	2,97
Сила струму холостого ходу в номінальному режимі, А	4,81
Активний опір КЗ, Ом	9,66
Індуктивний опір КЗ, Ом	5,87
Коефіцієнт приведенного опору	5,9
Момент інерції двигуна, кг*м <sup>2</sup>	0,035

Таблиця Б.3 - Характеристики двоступеневого редуктора NMRV 025/030

Назва параметру	Значення
Передаточне відношення редуктору	150
Частота обертання вхідного валу, об/хв	≤1400
ККД	≥97

Таблиця Б.4 - Приведення моментів до валу АЕД

Ділянка руху	Рух із виробом			Рух без виробу (холостий хід)		
	Пуск	Уст. режим	Гальм	Пуск	Уст. режим	Гальм
$v_{роб}, м/с$	-	0,055	-	-	-0,09	-
$M_{рост}, Н·м$	2554			660,2		
$J_{рост}, кг·м^2$	1010			10		
$\omega_c, рад/с$	-	82,5	-	-	-135	-
$M_{рс}, Н·м$	16,96			-4,4		
$M_{вс}, Н·м$	17,49	17,49	16,45	-4,54	-4,54	-4,27
$M_c, Н·м$	21,38	21,38	12,56	-8,42	-8,42	-0,38
$J, кг·м^2$	0,097			0,0525		
$M_{дин}, Н·м$	14,55	-	- 14,55	-7,87	-	7,87
$M_{доп}, Н·м$	32,04	21,38	1,99	0,55	-8,42	7,49
$M_{ср}, Н·м$	32,04	21,38	1,99	0,55	-8,42	7,49
$t, с$	0,55	35,8	0,55	0,99	21,2	0,99
$\alpha, рад$	22,69	2954,6	22,69	-66,83	-2878,5	-66,83

### Додаток В Технічні характеристики обладнання

Таблиця В.1 - Характеристики перетворювача ACS880-01 -07A2-3

Назва параметру	Значення
Напруга живлення, В	Трифазна ~380...415
Номінальна потужність електродвигуна, кВт	3
Номінальна сила струму навантаження, А	8
Вихідна частота, Гц	0...500

Таблиця В.2 - Розрахункові параметри для роботи в заданих точках

Розрахункові параметри / Ділянка роботи		З заготовкою	Без заготовки
		2	5
		Задані точки	
$\omega_{зад}$	Рад/с	82,5	-135
	В.о.	0,78	-1,29
$M_c$	Н*м	21,38	-8,42
	В.о.	0,86	-0,35
		Розрахункові дані	
$\omega_{0зад}$	Рад/с	92,15	-135
	В.о.	0,88	-1,29
$f_1$	Гц	44	64,5
	В.о.	0,88	1,29
$U_1$	В	193,6	220
	В.о.	0,88	1

Таблиця В.3 - Значення коефіцієнта погіршення тепловіддачі  $\beta_0$ 

Виконання електродвигуна	$\beta_0$
Закритий з незалежною системою охолодження	1
Закритий без примусового охолодження	від 0,95 до 0,98
Закритий самовентильований	від 0,45 до 0,55
Захищений самовентильований	від 0,25 до 0,35

Таблиця В.4 - Рекомендовані значення коефіцієнта погіршення умов охолодження АЕД

$\omega$	$\omega \leq 0,2 \cdot \omega_{ном}$	$0,2 \cdot \omega_{ном} \leq \omega \leq 0,8 \cdot \omega_{ном}$	$\omega \geq 0,8 \cdot \omega_{ном}$
$\beta_i$	$\beta_0$	$(1+\beta_0)/2$	1

### Додаток Г Технічні параметри обладнання

Таблиця Г.1 - Технічні параметри оптичного давача ОХ ІТ61Р-56-8000-Л-С

Назва параметру	Значення
Напруга живлення, В	Постійна 15...30
Підключення	5pin, трьох-провідний кабель
Номінальна сила струму, А	Менше 1,5
Зона чутливості, м	0,05...2
Затримка спрацювання, не більше як, мс	20

Таблиця Г.2 - Технічні характеристики джерела живлення SPV-300-24

Назва параметру	Значення
Вхідна напруга, В	88...264
Вихідна напруга, В	24
Вихідна потужність, Вт	300
Вихідна сила струму, до, А	12,5
ККД, %	85

Таблиця Г.3 - Технічні характеристики DOP-W157B

Назва параметру	Значення
Напруга живлення, В	24
Розмір екрану, дюйм	15
Порти підключень	RS-232/RS-422/RS-485
Споживана потужність, Вт	21,6
Габаритні розміри, мм	384x295x67

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Галіброда Владислав Олександрович

Тема: Метод керування автоматизованим електроприводом механізму переміщення заготовок

Спеціальність: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 83

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розв'язання задачі проєктування системи електроприводу та системи автоматизації ділянки переміщення заготовок

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі описано проблематику керування автоматизованим електроприводом механізму переміщення заготовок, охарактеризовано вимоги до електроприводу механізму переміщення заготовок. У другому розділі виконано моделювання роботи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Виконано підбір основних елементів силового ланцюга автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. У третьому розділі розроблено алгоритм роботи механізму переміщення заготовок та алгоритм автоматизації керування механізмами переміщення заготовок. На основі яких створено функціональну схему автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок та проведено підбір елементної бази. У четвертому розділі представлено дослідження системи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок. Розроблено електричну принципову схему системи автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок на основі якої розроблено програмне забезпечення на графічній мові LD з наведенням релейно-контактної діаграми та рівнянь із урахуванням адрес.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи, визначено статичні характеристики та перехідні процеси автоматизованого електроприводу механізму переміщення заготовок, параметри схем включення асинхронного електродвигуна, також було визначено інтегральні показники перехідних процесів.

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється аналізу існуючих технічних рішень, було б лишнім більш детально описати розроблені релейно-контактні діаграми

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно (70 / D)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Соколан Катерина Станіславівна, канд. техн. наук, доцент кафедри ТМ

" 16 " 12 2025 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТгаР  
канд. техн.наук, доценту Корецька Л.О.

Галіброда Владислав Олександрович

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курс, групи АКІТРМ-24-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

05.12.2025

дата



підпис

## Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Владислав ГАЛІБРОДА

Співавтор:

Назва: Галіброда\_плагіат

Експерт: Денис МАКАРИШКІН

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1:11.8%

Коефіцієнт подібності 2:1.7%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 84

Інтервали: 0

Білі знаки: 2

Дата створення звіту: 2025-12-16 08:54:29.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

Дата

експерт

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
РОБОТОТЕХНІКИ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод керування автоматизованим електроприводом механізму переміщення заготовок

Автор: Галіброда Владислав Олександрович

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Науковий керівник: Макаришкін Денис Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	<b>відповідає</b>
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 11,8% і адресується до 69 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Людмила КОРЕЦЬКА

Валерій МАРТИНЮК

Денис МАКАРИШКІН