

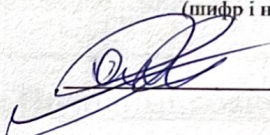
Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

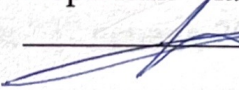
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:
«МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА
МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВОГО КРАНА»

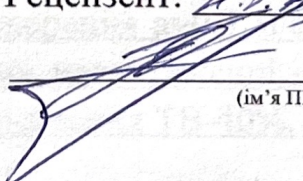
Виконав: студент 4 курсу, гр. ЕМСА-216
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


Максим ОРИХОВСЬКИЙ
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

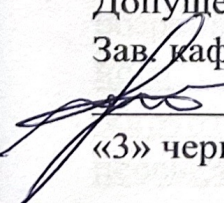
«20» травня 2025 р.

Керівник к.т.н., доцент каф. КЕМСК

Валентин ГРАБКО
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«20» травня 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. ЕЕЕМ

Микола М.А.
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«10» червня 2025 р.

Допущено до захисту
Зав. кафедри КЕМСК

Микола МОШНОРИЗ
«3» червня 2025 р.

Вінниця – 2025 року

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Електромеханічні системи автоматизації

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КЕМСК

К.Т.Н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

"18" лютого 2025 року

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Оріховському Максиму Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація системи керування електропривода механізму переміщення мостового крана

керівник роботи Грабко Валентин Володимирович к.т.н., доц. каф. КЕМСК

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від "20" березня 2025 року №97

2. Термін подання студентом роботи "3" червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Технічна документація на мостовий кран КМ 16; вантажопідйомність – 10 т; висота підйому – 12,2 м; номінальна швидкість підйому – 0,85 м/с; допустиме прискорення $a=0,3$ м/с²; діаметр коліс – 0,5 м; ККД мех. підйому при номінальному навантаженні – 0,8; передаточне число редуктора – 56; задана тривалість ввімкнення ТВ-40%.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Коротка характеристика виробничого механізму і режими його роботи. Розрахунок потужності двигуна. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода. Вибір електродвигуна та його перевірка. Розрахунок характеристик приводного двигуна. Розрахунок і вибір силового перетворювача. Розробка системи керування електричного привода. Розробка математичної моделі системи автоматизованого електроприводу.

Моделювання перехідних процесів системи автоматизованого електроприводу.
Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження; Зовнішній вигляд та загальна характеристика мостового крану. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода. Схема електрична структурна системи електропривода. Схема електрична функціональна системи електропривода. Моделювання перехідних процесів САЕПТЗ. Схема електрична принципова САЕПТЗ. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Грабко В.В., к.т.н., доц., каф. КЕМСК	18.02.25	06.05.25
Охорона праці	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	18.02.25	20.05.25

7. Дата видачі завдання 18.02.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)	18.02.25	вик.
2	Виконання спеціальної частини БКР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	06.05.25	вик.
3	Виконання спеціальної частини БКР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	20.05.25	вик.
4	Виконання розділу «Охорона праці»	20.05.25	вик.
5	Попередній захист БКР	03.06.25	вик.
6	Нормоконтроль БКР	03.06.25	вик.
7	Рецензування БКР	10.06.25	вик.
8	Захист БКР	19.06.25	вик.

Здобувач освіти

(підпис)

Оріховський М.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Грабко В.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Оріховський М.І. Модернізація системи керування електропривода механізму переміщення мостового крана. Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – 78 с. Бібл.:31. Іл.:26. Табл.:11.

Метою роботи є модернізація існуючої системи автоматизованого електропривода механізму переміщення мостового крана шляхом переходу на сучасну елементну базу, яка характеризується кращими енергетичними показниками.

У загальній частині роботи надано загальну характеристику механізмів переміщення мостових кранів та проведено аналіз їхніх режимів роботи.

У розрахунково-конструкторській частині виконано розрахунки електропривода механізму переміщення, вибрано приводний двигун, перевірено його за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску, досліджено характеристики в статичному та динамічному режимах, а також розроблено необхідні схеми. Коректність прийнятих рішень перевірено моделюванням у середовищі Matlab.

У розділі охорони праці розглянуто питання безпеки персоналу, який обслуговує електропривод мостових кранів. Наведено рекомендації щодо поліпшення умов праці та дотримання норм пожежної безпеки.

Ключові слова: електропривод, мостовий кран, перетворювач частоти.

ABSTRACT

Orikhovsky M.I. Modernization of the control system of the electric drive of the bridge crane movement mechanism. Bachelor thesis. - Vinnitsa: VNTU, 2025. – 78 p. Bibl: 22. Il: 31. Tabs: 11.

The purpose of the work is to modernize the existing system of the automated electric drive of the bridge crane movement mechanism by switching to a modern element base, which is characterized by better energy indicators.

In the general part of the work, a general characteristic of the bridge crane movement mechanisms is given and their operating modes are analyzed.

In the design and calculation part, calculations of the electric drive of the movement mechanism are performed, the drive motor is selected, it is checked for heating, overload capacity and starting conditions, the characteristics in static and dynamic modes are investigated, and the necessary schemes are developed. The correctness of the decisions made is checked by modeling in the Matlab environment.

The occupational safety section discusses the safety of personnel servicing the electric drive of overhead cranes. Recommendations are given for improving working conditions and compliance with fire safety standards.

Keywords: electric drive, overhead crane, frequency converter.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОГО МЕХАНІЗМУ І РЕЖИМИ ЙОГО РОБОТИ.....	8
2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА.....	12
2.1 Розрахунок та побудова навантажувальної діаграми і тахограми виконавчого органу виробничого механізму.....	12
2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна	16
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	18
3.1 Основні типи систем керування електроприводом механізму переміщення мостового крана	18
3.2 Розрахунок техніко-економічних показників СКЕП.....	19
4 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ЙОГО ПЕРЕВІРКА.....	24
4.1 Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання.....	24
4.2 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску	26
5 РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВІДНОГО ДВИГУНА.....	31
6 РОЗРАХУНОК І ВИБІР СИЛОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА	35
7 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДА.....	39
7.1 Розробка функціональної схеми.....	39
7.2 Розробка принципової схеми.....	40
8 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	42
8.1 Розробка структурної схеми	42
9 МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	53
10 ОХОРОНА ПРАЦІ	56
10.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....	56

10.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць під час обслуговування модернізованої електроустановки	56
10.1.2 Електробезпека	60
10.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	61
10.2.1 Мікроклімат	61
10.2.2 Склад повітря робочої зони	61
10.2.3 Виробниче освітлення	62
10.2.4 Виробничий шум	63
10.2.5 Виробничі вібрації	64
12.3 Пожежна безпека	65
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70
ДОДАТОК А (Обов'язковий) Технічне завдання	73
ДОДАТОК Б (Обов'язковий) Ілюстративна частина	77
ДОДАТОК В Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	78

ВСТУП

Актуальність теми. Мостові крани відіграють ключову роль у промислових та складських комплексах, а їх технічний стан і розвиток безпосередньо впливають на ефективність та безпеку виробничих процесів. У сучасних умовах необхідно вирішити низку стратегічних завдань, таких як створення енергоефективних і економічно обґрунтованих систем механізму переміщення, підвищення рівня безпеки під час роботи кранів та вдосконалення інфраструктури для впровадження нових технологічних рішень.

Ефективність роботи механізму переміщення мостового крана залежить від багатьох факторів, зокрема технічного стану обладнання, рівня підготовки персоналу, умов експлуатації та впливу зовнішнього середовища. У сучасних економічних умовах ключовим напрямом наукових досліджень є розробка та впровадження технологій модернізації, підвищення надійності та продовження ресурсу роботи існуючої техніки. Це сприятиме зменшенню енергетичних та ресурсних витрат. Використання сучасних інформаційних технологій дозволяє оптимізувати всі етапи життєвого циклу механізму переміщення, забезпечуючи ефективне ресурсозбереження та адаптацію систем до змінних умов експлуатації.

У сучасних умовах розвитку промислових підприємств значно зростає потреба у підвищенні ефективності та надійності роботи мостових кранів. Одним із ключових елементів, що визначає продуктивність і економічність їхньої роботи, є механізм переміщення та система його керування. Застарілі системи керування не завжди забезпечують достатню гнучкість та енергоефективність, що спонукає до їхньої модернізації з використанням сучасних технологій та алгоритмів керування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Виконана робота співпадає з науковим напрямком діяльності кафедри КЕМСК і напрямком електротехніки, електроенергетики та електромеханіки.

Мета і завдання дослідження. Метою виконаного дослідження є модернізація системи керування електропривода механізму переміщення мостового крана.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- аналіз технічних і експлуатаційних характеристик об'єкта дослідження;
- виконання розрахунків для вибору оптимальної потужності двигунів та побудови навантажувальних діаграм;
- обґрунтування економічної доцільності модернізації системи електропривода;
- вибір сучасної мікропроцесорної системи керування на заміну застарілої релейної;
- моделювання поведінки системи для перевірки її адекватності;

Об'єкт дослідження – процес контролю керування системою електропривода механізму переміщення мостового крана.

Предмет дослідження – системи керування механізмом переміщення мостового крана.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених завдань і оцінки прийнятих технічних та алгоритмічних рішень було застосовано такі методи досліджень: методи технічної діагностики, обчислювальна математика та комп'ютерне моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

В роботі отримані наступні результати:

Удосконалено математичну модель керування механізмом переміщення мостового крана, орієнтовану на систему з частотним перетворювачем та асинхронним двигуном. Модель забезпечує гнучке налаштування під різні умови експлуатації, що дозволяє значно розширити сферу її застосування для сучасних систем керування.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці на основі математичної моделі структурних схем систем керування механізмом переміщення мостового крана, що працює з частотним перетворювачем і асинхронним двигуном, із використанням сучасної промислової елементної бази.

Впровадження таких пристроїв забезпечує підвищення ефективності, надійності та якості керування механізмом переміщення, а також покращує безпеку експлуатації електричних мереж завдяки більш досконалому контролю та стабільності роботи системи.

Достовірність теоретичних положень бакалаврської кваліфікаційної роботи підтверджується коректним застосуванням математичного апарату, за допомогою якого здійснювався розрахунок та налаштування системи керування електроприводом.

Особистий внесок здобувача. Основні результати формулювання відповідних висновків отримані автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи та її результати досліджень доповідались, обговорювались та схвалені на Регіональній науково-практичній Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)», Вінниця, 2025 р.

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано одні тези доповіді.

1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОГО МЕХАНІЗМУ І РЕЖИМИ ЙОГО РОБОТИ

Електричні підйомні крани – це пристрої призначені для вертикального та горизонтального переміщення [1]. Основними складовими такого крана є рухома металева конструкція, на якій закріплена підйомна лебідка. Функціонування механізму пересування та роботи лебідки забезпечується електродвигунами.

Мостовий кран – це вантажопідйомна машина циклічної дії, призначена для підйому та переміщення вантажу, що утримується вантажозахватним пристроєм [1]. На рисунку 1.1 наведена конструктивна схема мостового крана. Сталева конструкція моста крана (1) опирається на ходові візки й за допомогою механізму пересування (3) може переміщатися по підкранових коліях (2), закріплених над площею, на стаціонарних опорах. Уздовж моста крана прокладені рейки, по яких переміщується візок (4) із установленими на ньому механізмом пересування й піднімальною лебідкою, що здійснює підйом і спуск вантажів.

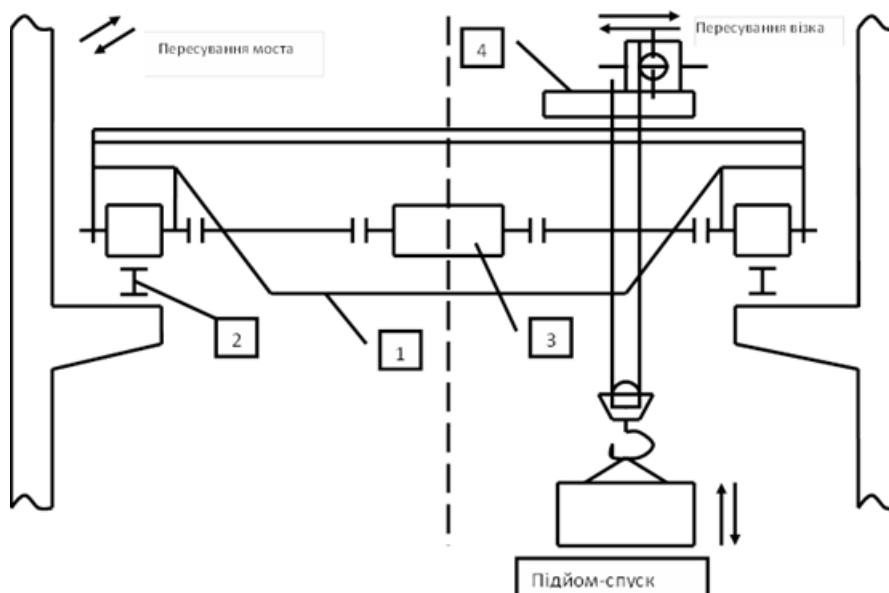


Рисунок 1.1 - Конструктивна схема мостового крана

Отже, до основних механізмів мостового крана належать механізм руху моста, механізм переміщення лебідки та підйомна лебідка. Кожен із цих механізмів має окремий електропривод [2].

Мостові крани, як і інші технологічні установки циклічної дії, функціонують за автоматизованим робочим циклом, де всі етапи виконуються за командами оператора [3]. Однією з ключових вимог при виборі системи електроприводу є необхідний діапазон регулювання швидкості D , що визначається співвідношенням робочої швидкості до мінімальної, яка потрібна для виконання технологічних процесів.

Для механізмів підйому мінімальна швидкість важлива для плавного встановлення вантажу, а для механізмів переміщення й повороту – для точної зупинки. Досягнення високої точності зупинки на низьких швидкостях зменшує кількість повторних увімкнень приводу. Оскільки крани працюють у складних умовах і використовуються масово, їхні системи електроприводу повинні бути максимально простими та надійними. Для більшості таких установок ефективно керування механізмами забезпечується при діапазоні $D=2\dots3$ [2].

Відповідно до графіка навантаження, за цикл роботи ЕП кранових механізмів може мати або 2 або 4 ділянки роботи. 2 ділянки роботи мають ЕП механізму переміщення, де одна ділянка відповідає роботі без вантажу, а друга з вантажем. 4 ділянки мають механізми підйому та опускання. Дві з яких підйом та опускання вантажозахватного пристрою із вантажем, а інші дві без вантажу.

Кранові механізми працюють в різноманітних умовах, відповідно до яких розрізняють такі режими роботи ЕП кранових механізмів:

- легкий (тривалість ввімкнення 15, 25 %, кількість пусків за годину – до 60);
- середній (тривалість ввімкнення 25%, кількість пусків 120);
- важкий (тривалість ввімкнення 40%, кількість пусків 240);
- досить важкий (тривалість ввімкнення 60%, кількість пусків до 600).

Час використання кранових механізмів коливається в широких межах, і за класом використання вони бувають:

1. А1 – час роботи до 1 год. на добу та до 200 год. на рік;
2. А2 – час роботи від 1 до 3 год. на добу і 200-800 год. на рік;
3. А3 – 3-7 годин на добу і 800-2500 год. на рік;
4. А4 – більше 7 год. на добу і більше 2500 год. на рік.

Електропривод кранових механізмів обов'язково обладнується електромагнітним гальмом, яке утримує вантаж у нерухомому положенні після вимкнення двигуна. Він може працювати як на постійному, так і на змінному струмі. Для постійного струму застосовуються двигуни серії Д із класом ізоляції Н, а для змінного струму – моделі МТФ, МТКФ (АДФР), МТКН, МТН (АДКЗР) [2].

На рисунку 1.2 представлена кінематична схема механізму переміщення мостового крана з швидкохідним трансмісійним валом.

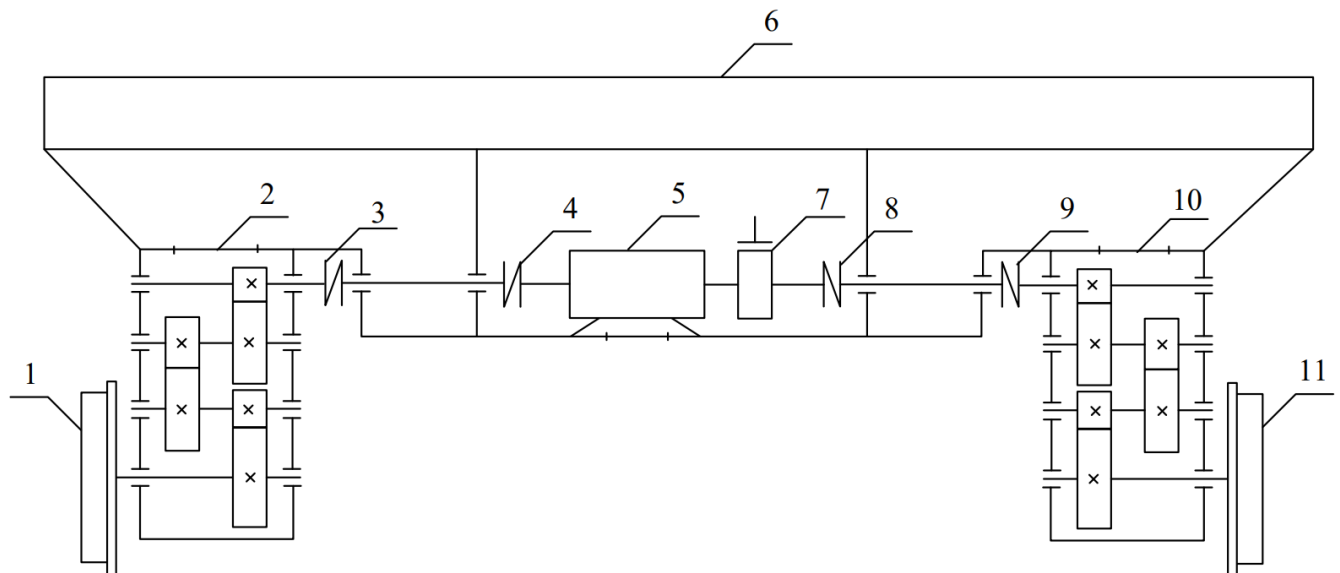


Рисунок 1.2 – Кінематична схема механізму переміщення мостового крана

1 – ліве приводне колесо; 2 – лівий редуктор; 3, 9 – муфта редуктора; 4, 8 – муфта двигуна; 5 – двигун механізму переміщення моста; 6 – балка моста; 7 – гальмівний барабан; 10 – правий редуктор; 11 – праве приводне колесо.

Основними вимогами до ЕП кранових механізмів є:

1. ЕП повинен допускати велику кількість ввімкнень за годину;
2. Електричні двигуни кранових механізмів повинні мати мінімально можливий момент інерції;
3. ЕП повинен бути розрахований на роботу у важких атмосферних умовах;
4. ЕП повинен мати підвищену перевантажувальну здатність;
5. ЕП повинен мати підвищений пусковий момент;
6. ЕП кранового механізму повинен забезпечити точну зупинку;

7. При ввімкненому ЕП механізму підйому у випадку виходу з ладу механізм гальма повинен забезпечити повільне опускання вантажу за рахунок динамічного гальмування;

8. На початку підйому вантажу, при падінні напруги до 90% номінальної, необхідно уникнути можливості опускання номінального вантажу;

9. При переміщенні регулятора командо-контроллера в напрямі зменшення швидкості ЕП, вона не повинна підвищуватись навіть короткочасно;

10. Вантаж повинен рухатись лише в зазначеному напрямі, у випадку несправності системи управління допускається зупинка вантажу;

11. Управління кожним механізмом вантажопідйомної машини бажано здійснювати окремим важелем;

12. Крановий ЕП повинен мати електромагнітний гальмівний пристрій.

Регулювання швидкості двигунів здійснюється як перемиканням додаткових опорів у якорному колі, так і у системі «керований перетворювач - двигун» [3].

Висновок по розділу 1.

У цьому розділі представлено загальну характеристику мостових електричних кранів, їх конструкцію та основні складові, зокрема механізми руху моста, переміщення лебідки та підйому вантажу.

Здійснено аналіз режимів роботи електроприводів кранових механізмів, які визначаються частотою ввімкнення, тривалістю використання та умовами експлуатації. Наведено вимоги до електроприводів, що включають точність керування, надійність у важких умовах та безпечну експлуатацію.

Отже, представлена інформація дає змогу для подальшої модернізації системи керування електропривода механізму переміщення мостового крана, що дозволить покращити його ефективність, точність керування та енергоефективність.

2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА

2.1 Розрахунок та побудова навантажувальної діаграми і тахограми виконавчого органу виробничого механізму

Розрахунок та побудова навантажувальної діаграми і тахограми виконавчого органу механізму переміщення мостового крана проводять для детального аналізу динамічних характеристик приводу, оптимізації режимів роботи та забезпечення його ефективності й надійності [4].

Визначення змін навантаження допомагає оцінити, як змінюється момент опору та навантаження на механізм у різні моменти роботи, що дозволяє уникнути перевантажень [5]. Аналіз характеристик приводу допомагає мінімізувати ривки та вібрації при запуску, гальмуванні та зміні режимів руху.

На основі навантажувальної діаграми визначають пікові та середні значення моменту, що дає змогу правильно підібрати потужність двигуна, забезпечивши необхідний запас міцності та економічність.

Навантажувальна діаграма показує зміну крутного моменту або навантаження на механізм у часі, що необхідно для підбору оптимальних характеристик приводу.

Тахограма показує зміну швидкості переміщення механізму у часі, що дозволяє оцінити динаміку розгону, гальмування та стабільність швидкості [5].

Розраховуємо час циклу, с:

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{h}, \quad (2.1)$$

де h – частота включень за годину, 1/год.

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{120} = 30 \text{ (с)}.$$

Час пуску і гальмування у відповідності, с:

$$t_{\Pi}=t_{\Gamma}=\frac{V}{a}, \quad (2.2)$$

де V – швидкість руху моста, м/с;

a – прискорення, м/с².

$$t_{\Pi.XX}=t_{\Gamma.XX}=\frac{0,45}{0,3}=1,5 \text{ (с)},$$

$$t_{\Pi.Нав}=t_{\Gamma.Нав}=\frac{0,3}{0,3}=1 \text{ (с)}.$$

Сумарний час роботи механізму за циклом роботи, с:

$$t_p=\frac{3600 \cdot ТВ_{зад}}{h \cdot 100}, \quad (2.3)$$

де $ТВ_{зад}$ – тривалість включення, %.

$$t_{p.Нав}=\frac{3600 \cdot 40}{120 \cdot 100}=12 \text{ (с)}.$$

– час руху з усталеною швидкістю, с:

$$t_{уст.Нав}=t_{p.Нав}-(t_{\Pi.Нав}+t_{\Gamma.Нав}), \quad (2.4)$$

$$t_{уст.Нав}=12-(1+1)=10 \text{ (с)}.$$

– сумарний час паузи за цикл, с:

$$t_{паузи}=\frac{2 \cdot t_{\Pi}-2 \cdot (t_{\Pi}+t_{\Gamma}+t_{уст})}{2}, \quad (2.5)$$

$$t_{\text{паузи}} = \frac{2 \cdot 30 - 2 \cdot (1 + 1 + 10)}{2} = 18 \text{ (с)}.$$

Визначаємо статичний момент на валу двигуна при русі візка з вантажем $M_{\text{ст.нав}}$ і без вантажу $M_{\text{ст.хх}}$:

$$M_{\text{ст.нав}} = \frac{K_p \cdot (G_{\text{ном}} + G_0) \cdot \left(\mu \cdot \frac{d_c}{2} + f \right)}{i \cdot \eta}, \quad (2.6)$$

де $G_{\text{ном}}$ – вага вантажу, Н;

G_0 – вага моста з обладнанням, Н;

η – коефіцієнт корисної дії механізму переміщення візка;

μ – коефіцієнт тертя в опорах ходових коліс [2];

d_c – діаметр цапфи, м;

K_p – коефіцієнт, що враховує тертя реборд коліс з рейками, $K_p=1,5$;

f – коефіцієнт тертя кочення ходових коліс по рейкам [2];

i – передаточне число редуктора;

G_M – вага механізму переміщення мостового крана без візка, Н;

G_B – вага візка, Н.

$$G_{\text{ном}} = 9,81 \cdot 16000 = 156960 \text{ (Н)},$$

$$G_M = 9,81 \cdot 4000 = 39240 \text{ (Н)},$$

$$G_B = 9,81 \cdot 3000 = 29430 \text{ (Н)},$$

$$G_0 = G_M + G_B = 39240 + 29430 = 68670 \text{ (Н)}, \quad (2.7)$$

$$M_{\text{ст.нав}} = \frac{1,5 \cdot (156960 + 39240 + 29430) \cdot \left(0,1 \cdot \frac{0,08}{2} + 6 \cdot 10^{-4} \right)}{56 \cdot 0,8} = 34,75 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Момент станичного навантаження при переміщенні візка без вантажу:

$$M_{\text{ст.хх}} = \frac{K_p \cdot G_0 \cdot \left(\mu \cdot \frac{d_c}{2} + f \right)}{i \cdot \eta}, \quad (2.8)$$

$$M_{\text{ст.хх}} = \frac{1,5 \cdot (39240 + 29430) \cdot \left(0,1 \cdot \frac{0,08}{2} + 6 \cdot 10^{-4} \right)}{56 \cdot 0,8} = 10,58 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Для побудови тахограми виробничого механізму потрібно визначаємо швидкість обертання на валу виконавчого органу:

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{V_{\text{ном}}}{\rho}, \quad (2.9)$$

де ρ – коефіцієнт приведення, розраховується за формулою:

$$\rho = \frac{D_k}{2 \cdot i}, \quad (2.10)$$

де D_k - діаметр ходових коліс, м,

$$\rho = \frac{0,5}{2 \cdot 56} = 0,0048 \text{ (м)},$$

$$\omega_{\text{хх}} = \frac{0,45}{0,0048} = 94 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right),$$

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{0,3}{0,0048} = 70 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right).$$

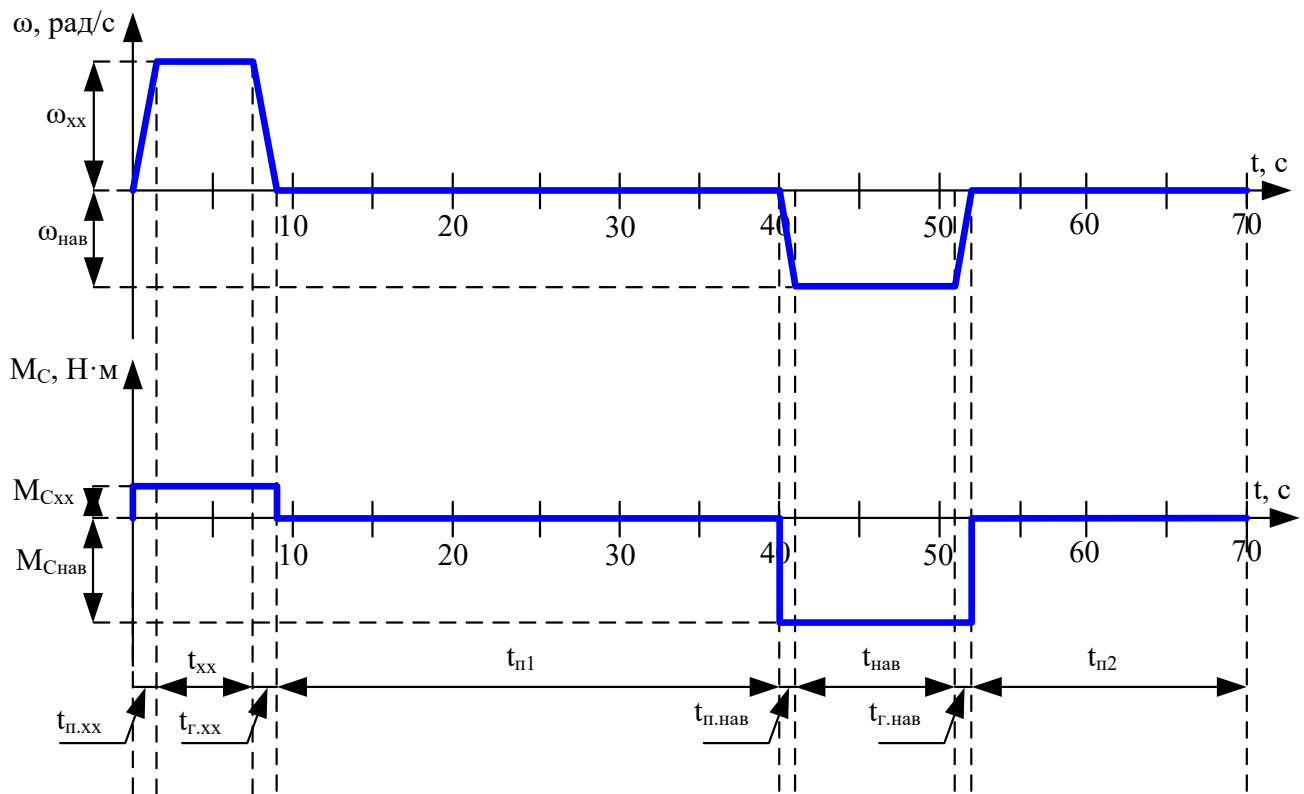


Рисунок 2.1 – Тахограма (а) та навантажувальна діаграма (б) виконавчого органу виробничого механізму

2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна

Для попереднього вибору потужності двигуна застосовуємо метод еквівалентного моменту.

$$M_{\text{єТВ\%зад}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_{\text{ci}})^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n (t_i)}}, \quad (2.11)$$

де M_{ci} – статичний момент на i -тій ділянці, Н м;

t_i – тривалість руху на i -тій ділянці, с.

$$M_{\text{еТВ\%зад}} = \sqrt{\frac{(M_{\text{ctl}}^2 + M_{\text{ctl}}^2) \cdot (t_{\text{уст}} + t_{\text{п}} + t_{\text{г}})}{2 \cdot (t_{\text{уст}} + t_{\text{п}} + t_{\text{г}})}}, \quad (2.12)$$

$$M_{\text{е40\%}} = \sqrt{\frac{10,58^2 \cdot (1,5 + 7 + 1,5) + 34,75^2 \cdot (1 + 10 + 1)}{(1,5 + 7 + 1,5) + (1 + 10 + 1)}} = 24,7 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Еквівалентний момент, Н м:

$$M_{\text{еТВ\%ном}} = M_{\text{еТВ\%зад}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ТВ\%}_{\text{зад}}}{\text{ТВ\%}_{\text{ном}}}}, \quad (2.13)$$

Стандартне значення тривалості ввімкнення $\text{ТВ\%}_{\text{ном}}$ становить 40 % [5].

$$M_{\text{е40\%}} = 24,7 \cdot \sqrt{\frac{40}{40}} = 24,7 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Необхідна потужність електродвигуна при номінальній $\text{ТВ\%}$ становитиме:

$$P_{\text{дв40\%}} = K_3 \cdot M_{\text{е40\%}} \cdot \omega_{\text{ном}}, \quad (2.14)$$

де K_3 – коефіцієнт запасу (береться рівним $K_3 = 1,1-1,3$).

$$P_{\text{дв40\%}} = 1,2 \cdot 24,7 \cdot 94 = 2,8 \approx 5 \text{ (кВт)}.$$

Отже, найбільш раціональним є вибір потужності двигуна рівною 5 кВт.

Висновки по розділу 2.

В даному розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи була побудована навантажувальна діаграма і тахограма електропривода механізму переміщення мостового крана. Проведені розрахунки створюють необхідну основу для подальшої модернізації системи керування електроприводом, що буде розглянуто в наступних розділах роботи.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Основні типи систем керування електроприводом механізму переміщення мостового крана

Типи систем керування електроприводом механізму переміщення мостового крана [5,6]:

- Релейно-контакторна система з двигуном постійного струму (РКС-ДПС). Це традиційна система керування, що використовує контактори та реле для перемикання режимів роботи двигуна. Вона має просту конструкцію, але характеризується низькою енергоефективністю, високими експлуатаційними витратами та обмеженими можливостями регулювання швидкості;

- Релейно-контакторна система з асинхронним двигуном (РКС-АДФР). Використовує асинхронні двигуни змінного струму в поєднанні з контакторно-релейною системою керування. Це дозволяє знизити витрати на обслуговування, однак система залишається менш гнучкою у керуванні швидкістю руху механізму;

- Тиристорний перетворювач – двигун постійного струму (ТП-ДПС). Застосування тиристорного перетворювача дозволяє плавно регулювати струм подачі до двигуна, що покращує контроль швидкості переміщення крана та підвищує його енергоефективність;

- Тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун (ТРН-АДКР). Дана система регулює напругу, що подається на асинхронний двигун, що дає можливість змінювати швидкість руху мостового крана. Основною перевагою є можливість роботи в широкому діапазоні навантажень;

- Перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ-АДКР): Найсучасніша система керування, що забезпечує точне регулювання швидкості завдяки зміні частоти живлення двигуна. Вона забезпечує високу енергоефективність, плавний пуск і зупинку, а також мінімізує механічні навантаження на конструкцію крана.

Загалом системи керування [6] електроприводом механізму переміщення мостового крана відіграють ключову роль у забезпеченні точного та надійного руху крана, підвищенні продуктивності роботи та зниженні експлуатаційних витрат. Використання сучасних методів керування дозволяє адаптувати роботу механізму під різні умови експлуатації, підвищуючи його ефективність та довговічність.

3.2 Розрахунок техніко-економічних показників СКЕП

Більшість вимог до автоматизованого електроприводу можуть забезпечити такі системи [6]:

1. Релейно контакторна система - двигун постійного струму (РКС-ДПС);
2. Релейно контакторна система - асинхронний двигун (РКС-АДФР);
3. Тиристорний перетворювач - двигун постійного струму (ТП-ДПС);
4. Тиристорний регулятор напруги - асинхронний двигун (ТРН-АДКР)
5. Перетворювач частоти - асинхронний двигун (ПЧ-АДКР).

Для вибору електроприводу та його системи керування скористаємося методом приведених затрат, який полягає в розрахунку приведених річних затрат на придбання і обслуговування обладнання, в результаті чого по найменшому значенню цих затрат обирається економічно доцільніша система електропривода.

Приведені затрати визначаються за формулою:

$$З = E_n \cdot K + C, \quad (3.1)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (приймається 0,17 для всіх галузей промисловості);

K – капітальні затрати, грн.;

C – собівартість, грн.;

$$K = D + CK, \quad (3.2)$$

де Д – вартість двигуна, грн.;

СК – вартість системи керування, грн..

Вартість двигуна складає [10], грн:

АДФР – 14500;

АДКР – 11200;

ДПС – 16800.

Вартість систем керування[11,12], грн:

РКС-ДПС – 8200;

РКС-АД з ФР – 8600;

ТП-ДПС – 13100;

ТРН-АД – 12400;

ПЧ-АД – 18300.

Для прикладу буде розраховано систему ПЧ-АД. Дані по всім іншим системам керування заносимо у таблицю 3.1.

$$K = 11200 + 18300 = 29500 \text{ (грн.)},$$

$$C_a = 0,1 \cdot 29500 = 2950 \text{ (грн./рік)},$$

$$C_o = 0,05 \cdot 2950 = 1475 \text{ (грн./рік)},$$

$$\Delta P = k_3 \cdot P_H \cdot \left(\frac{1 - \eta_m}{\eta_d} \right) = 0,7 \cdot 5 \cdot \left(\frac{1 - 0,92}{0,92} \right) = 0,3 \text{ (кВт)}, \quad (3.3)$$

$$\Delta W = \Delta P \cdot T_p = 0,3 \cdot 2500 = 750 \text{ (кВт·год /рік)}, \quad (3.4)$$

$$C_{\Delta W} = c \cdot \Delta W = 7,7714 \cdot 750 = 5829 \text{ (грн. /рік)}, \quad (3.5)$$

$$C = C_a + C_o + C_{\Delta W} = 2950 + 1475 + 5829 = 10254 \text{ (грн./рік)}, \quad (3.6)$$

$$З = 0,17 \cdot 29500 + 10254 = 15269 \text{ (грн./рік)}.$$

Результати розрахунку приведених затрат для інших систем електропривода наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку приведених затрат систем електропривода

Показники	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР	ТП-ДПС	ТРН-АД	ПЧ-АД
Потужність двигуна P_n , кВт	5	5	5	5	5
Вартість двигуна (Д), грн.	16800	14500	16800	11200	11200
Вартість системи керування (СК), грн.	8200	8600	13100	12400	18300
Капіталовкладення $K=D+СК$, грн.	25000	23100	29900	23600	29500
E_a	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Амортизаційні відрахування, $С_a = E_a \cdot K$, грн.	2500	2310	2990	2360	2950
E_o	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Витрати на обслуговування і ремонт, $С_o = E_o \cdot K$, грн.	1250	1155	1495	1180	1475
Вартість електроенергії mo , грн/кВт·год	7,7714	7,7714	7,7714	7,7714	7,7714
Коефіцієнт завантаження, k_z	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Річний час роботи T_p , год	2500	2500	2500	2500	2500
ККД η_m , %	0,8	0,85	0,82	0,87	0,92
Втрати потужності, $\Delta P = k_z \cdot P_n \cdot (1 - \eta_m / \eta_d)$, кВт	0,88	0,62	0,77	0,52	0,3
Кількість втраченої енергії за рік $\Delta W = \Delta P \cdot T_p$, кВт·год	2200	1550	1925	1300	750
Витрати на електроенергію, $С_{\Delta W} = mo \cdot \Delta W$, грн	17097	12046	14960	10103	5829
Собівартість $С = С_a + С_o + С_{\Delta W}$, грн.	20847	15511	19445	13643	10254
Нормативний коефіцієнт економічної ефективності E_n	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Зведені витрати $З = E_n \cdot K + С$, грн.	25097	19438	24528	17655	15269

Згідно розрахунків найбільш доцільною системою керування електроприводу за економічними показниками являється використання частотного перетворювача.

Перетворювач частоти (ПЧ) – це пристрій, який перетворює вхідну синусоїдальну напругу мережевої частоти та амплітуди у вихідну імпульсну напругу змінної частоти та амплітуди [7].

Основна функція, яку виконує частотний перетворювач – це управління синхронними та асинхронними двигунами, забезпечення підтримки необхідних обертів електродвигуна (швидкості), шляхом зміни частоти на виході.

Використання ПЧ дає змогу управляти технологічними процесами, які потребують в своєму технологічному циклі частих пусків, зупинок та змін швидкості електродвигунів [8].

Типовий частотний перетворювач складається з трьох частин:

Чітка синусоїда вихідного сигналу – результат роботи IGBT-транзисторів як ключі інвертора, які працюють із вищою частотою перемикання, ніж застарілі тиристори.

Спосіб частотного методу регулювання швидкості АД полягає в тому, що, змінюючи f_1 живлячої напруги, можна, відповідно до виразу 2.1, незмінному числі пар полюсів p змінювати кутову швидкість магнітного поля статора [7].

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}; \quad (3.7)$$

Статор електродвигуна підключається до мережі через перетворювач частоти ПЧ, що перетворює напругу мережевої частоти f_c в напругу регульованої частоти f_m , яка надходить на статорні обмотки електродвигуна (рисунок 3.1).

Перетворювач частоти складається з керованого випрямляча та автономного інвертора [8]. Частота f_m напруги, якою живиться електродвигун, може регулюватися як вгору, так і вниз від частоти мережі f_c .

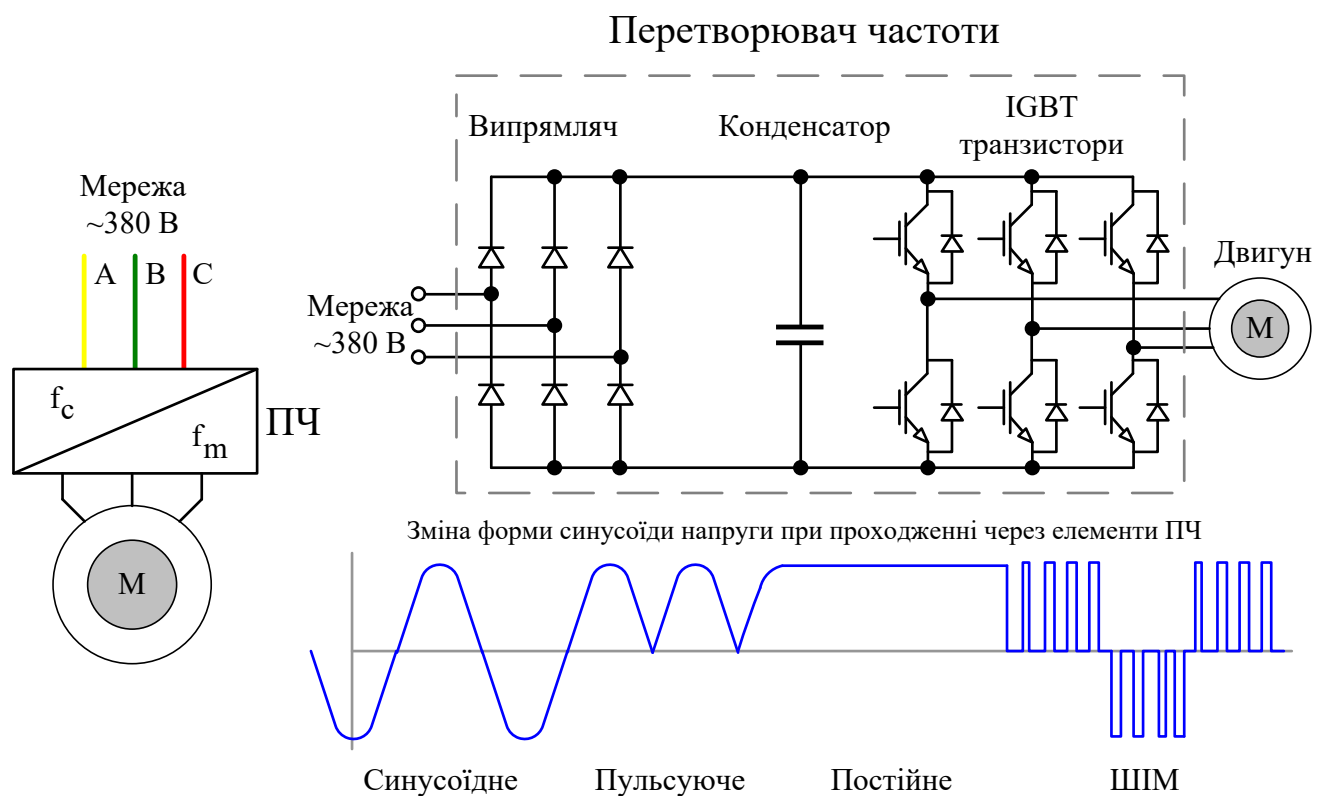


Рисунок 3.1 – Елементи ПЧ та зміна форми сигналу

Переваги використання перетворювача частоти [7]:

- Автоматичне або ручне управління швидкістю обертання або параметрами, що залежать від цієї швидкості;
- Економія енергії за рахунок високого ККД перетворювача і оптимізації роботи приводного двигуна при певному навантаженні;
- Широкий діапазон регулювання швидкості;
- Зниження пускового струму до мінімального рівня, необхідного для здійснення пуску;
- Зниження ударного навантаження на механізм при пуску;
- Комплексний захист двигуна і механізму.

Промисловість випускає ПЧ зі скалярним і векторним управлінням [8]. Векторне управління є більш досконалим, дозволяючи управляти всім крутним моментом двигуна в нульовому діапазоні частот, підтримувати швидкість при змінних навантаженнях без датчиків зворотного зв'язку і точно регулювати момент на валу двигуна.

Висновок по розділу 3.

У цьому розділі здійснено техніко-економічний розрахунок різних систем електропривода, за результатами якого найекономічнішим варіантом виявилася система "перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ-АД)", оскільки вона забезпечує найнижчі зведені витрати та оптимальніші показники роботи електропривода.

Перетворювач частоти є ключовим елементом сучасної системи керування електроприводом механізму переміщення мостового крана, що дозволяє значно підвищити ефективність та надійність його роботи. Цей пристрій перетворює вхідну синусоїдну напругу сталої частоти на вихідну напругу змінної частоти та амплітуди. У результаті формується синусоїдний струм в обмотках асинхронного двигуна, що забезпечує точне регулювання швидкості механізму переміщення крана, плавний пуск і зупинку, а також зниження механічних навантажень на конструкцію крана.

4 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ЙОГО ПЕРЕВІРКА

4.1 Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання

Для привода даного механізму виберемо двигун відповідно до умов [5]:

$$\begin{cases} P_{\text{дв.н}} \geq P_{\text{роз}}, \\ \omega_{\text{дв.н}} \geq \omega_{\text{роз}}. \end{cases} \quad (4.1)$$

За результатами техніко-економічного порівняння можливих систем електропривода та розрахованою раніше потужністю обираємо асинхронний двигун типу ДМТКФ 112-6 [9], параметри якого показано у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри двигуна мостового крана

Параметр	Значення
Тип двигуна	ДМТКФ 112-6
Номінальна потужність P_n , кВт	5
Номінальна частота обертання n_n , об/хв	900
Напруга статора, В	380
Номінальний струм статора, А	14
ККД, η_n , %	74
Коефіцієнт потужності в номінальному режимі	0,74
Пусковий струм, А	24,2
Пусковий момент $M_{\text{дв.пуск}}$, Н·м	145
Критичний момент $M_{\text{дв.к}}$, Н·м	155
Струм холостого ходу для номінального режиму, А	8
Момент інерції двигуна J_d , кгм ²	0,09
Маса, кг	92

ДМТКФ 112-6 – це асинхронний електродвигун, який використовується на промислових та виробничих підприємствах як привід для різного обладнання [9]. Він застосовується у механізмах, що потребують порівняно невеликої потужності, але стабільної та ефективної роботи, зокрема в приводах насосів, вентиляторів, компресорів, конвеєрів, підіймальних механізмів та інших машин. Завдяки своїм

характеристикам двигун забезпечує оптимальне співвідношення потужності, частоти обертання та енергоефективності [9].



Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд електродвигуна 5 кВт ДМТКФ 112-6

Електродвигун ДМТКФ 112-6 асинхронний [9]:

ДМТКФ – серія електродвигуна, що вказує на його призначення та конструктивні особливості. Крановий з короткозамкненим ротором.

112 – габарит електродвигуна (висота осі обертання, тобто відстань між центром валу електродвигуна і його основою).

6 – кількість полюсів, що визначає номінальну частоту обертання (900 об/хв).

Цей двигун відзначається високим ККД (74%), що дозволяє зменшити витрати електроенергії, а також хорошими пусковими характеристиками, зокрема пусковим моментом 145 Н·м.

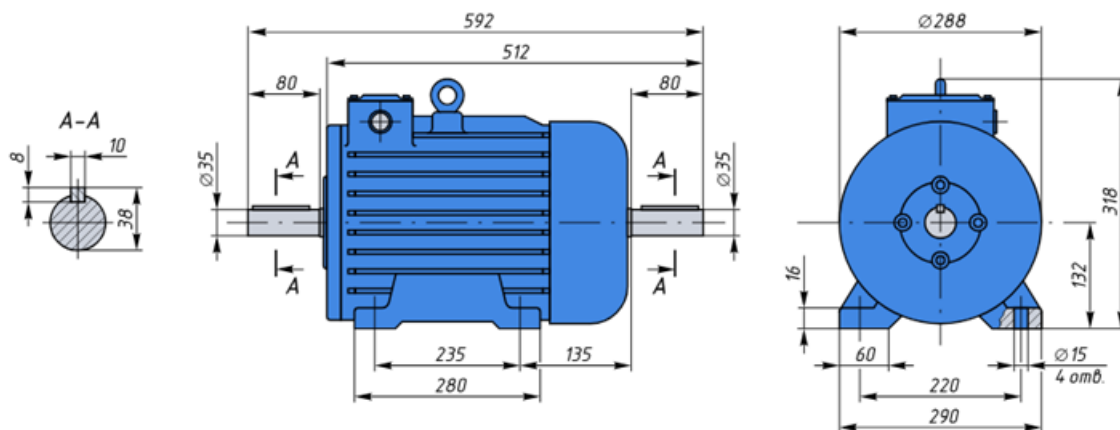


Рисунок 4.2 – Креслення електродвигуна 5 кВт ДМТКФ 112-6

ДМТКФ 112-6 доступний у різних варіантах виконання:

ІМ1081 – двигун на лапах, що забезпечує зручність монтажу на горизонтальні поверхні.

ІМ2081 – комбіноване виконання (лапи+фланець), що дозволяє встановлювати двигун у різних конфігураціях обладнання.

Ступінь захисту IP54 гарантує надійний захист від пилу та бризок води, що робить двигун придатним для роботи в умовах підвищеної вологості та запиленості.

4.2 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску

Визначимо значення ковзання двигуна:

$$S = \frac{n_0 - n_{\text{НОМ}}}{n_0} = \frac{1000 - 900}{1000} = 0,1. \quad (4.2)$$

Розрахуємо величину швидкості обертання двигуна:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot n_{\text{НОМ}}, \quad (4.3)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot 900 = 94 \text{ (рад/с)}.$$

Здійснюємо перевірку вибраного електродвигуна:

Визначимо сумарний момент інерції:

$$J_{\Sigma.\text{нав}} = K_3 \cdot \frac{G_{\text{НОМ}} + G_{\text{В}} + G_{\text{М}}}{g} \rho^2 + J_{\text{д}}, \quad (4.4)$$

де $J_{\text{д}}$ – момент інерції двигуна, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$,

$$J_{\Sigma.\text{наб}} = 1,2 \cdot \frac{156960 + 39240 + 29430}{9,8} 0,0048^2 + 0,09 = 1,443 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2 \text{)}.$$

Момент двигуна при пуску з вантажем:

$$M_{\text{п.наб}} = M_{\text{ст.наб}} + J_{\Sigma.\text{наб}} \cdot \varepsilon, \quad (4.5)$$

де ε - кутове прискорення двигуна при пуску та гальмуванні через лінійне прискорення, визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{a}{\rho} = \frac{0,3}{0,0048} = 62,5 \left(\frac{1}{\text{с}^2} \right), \quad (4.6)$$

$$M_{\text{п.наб}} = 34,75 + 62,5 \cdot 1,443 = 124,9 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

При гальмуванні з вантажем:

$$M_{\text{г.наб}} = M_{\text{ст.наб}} - J_{\Sigma.\text{наб}} \cdot \varepsilon, \quad (4.7)$$

$$M_{\text{г.наб}} = 34,75 - 62,5 \cdot 1,443 = -55,4 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

При пуску без вантажу:

У цьому випадку з загального моменту інерції слід вилучити момент інерції, що зумовлений вагою вантажу, тобто:

$$J_{\Sigma.\text{xx}} = K_3 \cdot \frac{G_{\text{в}} + G_{\text{м}}}{g} \rho^2 + J_{\text{д}}, \quad (4.8)$$

$$J_{\Sigma.\text{xx}} = 1,2 \cdot \frac{39240 + 29430}{9,8} 0,0048^2 + 0,09 = 0,817 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2 \text{)},$$

$$M_{\text{п.хх}} = M_{\text{ст.хх}} + J_{\Sigma.\text{хх}} \cdot \varepsilon, \quad (4.9)$$

$$M_{\text{п.хх}} = 10,58 + 0,817 \cdot 62,5 = 61,6 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

При гальмуванні без вантажу:

$$M_{Г.ХХ} = M_{ст.ХХ} - J_{\Sigma.ХХ} \cdot \varepsilon, \quad (4.10)$$

$$M_{Г.ХХ} = 10,58 - 0,817 \cdot 62,5 = -40,5 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Будуємо навантажувальну діаграму електропривода:

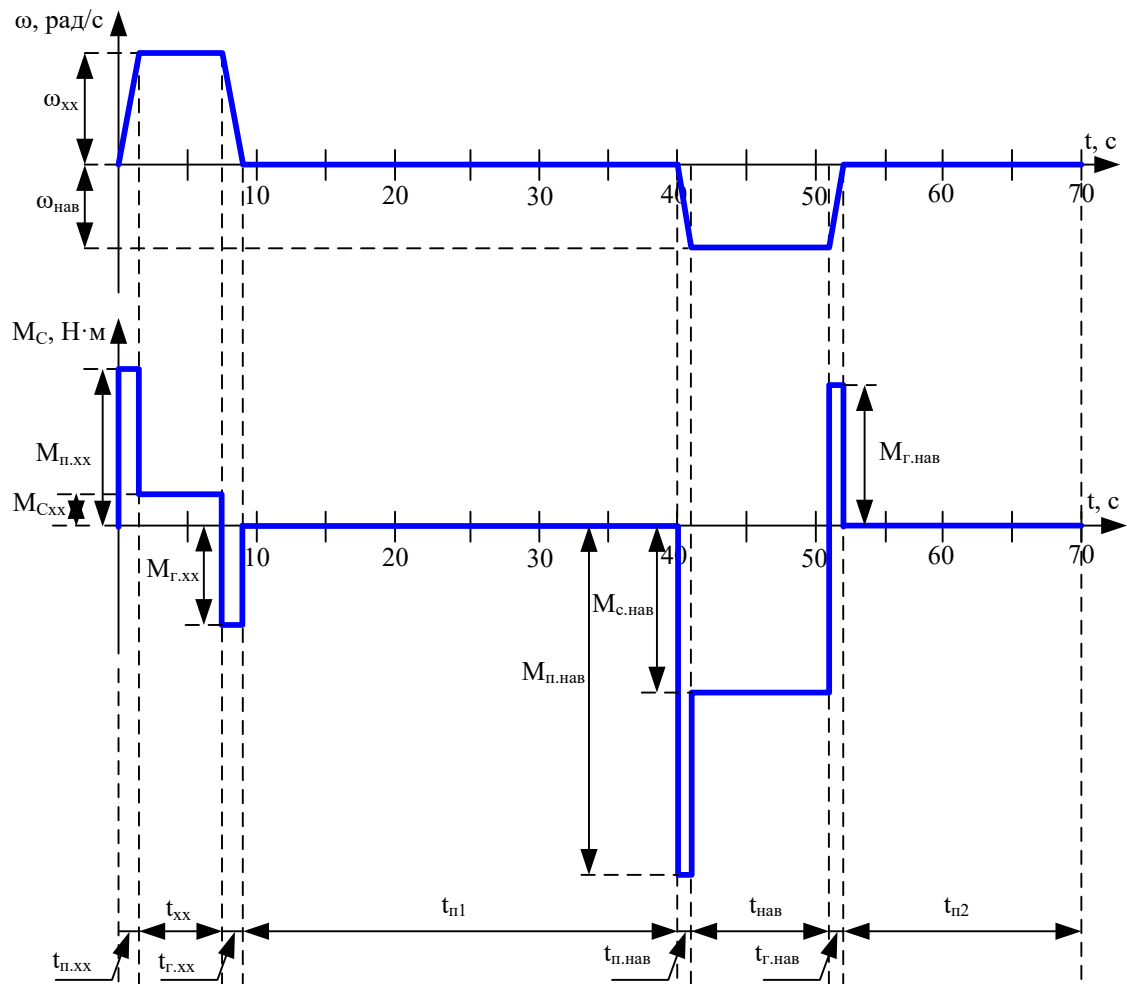


Рисунок 4.3 – Навантажувальна діаграма електропривода

Враховуючи момент інерції окремих функціональних частин системи електропривода було пораховано приведені моменти інерції системи електропривода та динамічні моменти.

Визначимо значення коефіцієнта погіршення тепловіддачі на j -тій ділянці робочій ділянці навантажувальної діаграми привода.

При роботі з усталеною швидкістю.

$$\beta = \beta_0 + (1 - \beta_0) \frac{\omega_y}{\omega_{\text{дв.н}}}, \quad (4.11)$$

де ω_y - усталена кутова швидкість виконавчого органа робочої машини, приведена до вала двигуна на робочій ділянці навантажувальної діаграми привода;

β_0 - коефіцієнт погіршення тепловіддачі при нерухомому роторі ($\beta_0 = 0,5$);

$\omega_{\text{дв.н}}$ - номінальна кутова швидкість приводного двигуна, с^{-1} ,

$$\beta_{\text{ном}} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \frac{\omega_{\text{дв1}}}{\omega_{\text{дв.н}}}, \quad (4.12)$$

$$\beta_{\text{ном}} = 0,5 + (1 - 0,5) \frac{67}{76,4} = 0,94,$$

При роботі зі змінною швидкістю:

$$\beta_3 = \frac{1 + \beta_0}{2}, \quad (4.13)$$

$$\beta_3 = \frac{1 + 0,5}{2} = 0,75.$$

Перевірки двигуна за умовою нагріву розраховується за формулою:

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i \cdot \beta_i}}, \quad (4.14)$$

де P_i - потужність, яку використовує на i – тій ділянці роботи, Вт:

$$P_i = M_i \cdot \omega_{\text{ном}}, \quad (4.15)$$

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{M_{\text{п.нав}}^2 \cdot t_{\text{п.нав}} \cdot \frac{\omega_{\text{ном}}^2}{4} + M_{\text{п.хх}}^2 \cdot t_{\text{п.хх}} \cdot \frac{\omega_{\text{хх}}^2}{4} + M_{\text{ст.нав}}^2 \cdot t_{\text{уст.нав}} \cdot \frac{\omega_{\text{ном}}^2}{4} + M_{\text{ст.хх}}^2 \cdot t_{\text{уст.хх}} \cdot \frac{\omega_{\text{хх}}^2}{4} + M_{\text{г.нав}}^2 \cdot t_{\text{г.нав}} \cdot \omega_{\text{ном}}^2 + M_{\text{г.хх}}^2 \cdot t_{\text{г.хх}} \cdot \omega_{\text{хх}}^2}{(t_{\text{уст.нав}} \cdot \beta_{\text{ном}} + t_{\text{уст.хх}} \cdot \beta_{\text{ном}} + t_{\text{п.нав}} \cdot \beta_3 + t_{\text{г.нав}} \cdot \beta_3 + t_{\text{п.хх}} \cdot \beta_3 + t_{\text{г.хх}} \cdot \beta_3)},$$

$$P_{\text{екв}} = 2,2 \text{ (кВт)},$$

Умова перевірки вибраного двигуна за нагрівом:

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{екв}} \cdot \sqrt{\frac{TB_{\%}}{TB_{\text{ст}}}}, \quad (4.16)$$

$$5 \text{ (кВт)} > 2,2 \cdot \sqrt{\frac{40}{40}} = 2,2 \text{ (кВт)}.$$

Оскільки перевірка за нагрівом виконується, тобто кількість теплоти, що виділяється в двигуні не перевищує допустимого значення, і температура ЕД під час його роботи буде в межах норми, то двигун вибрано вірно.

Перевірка двигуна за умовою пуску:

$$k_u^2 \cdot M_{\text{дв.пуск}} \geq M_{\Sigma \text{р.нав.п}}, \quad (4.17)$$

де k_u – коефіцієнт, який враховує можливе падіння напруги в мережі при пуску ($k_u = 0,95$),

$$0,95^2 \cdot 145 = 130,8 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \geq 124,9 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Умова перевірки двигуна на перевантажувальну здатність:

$$M_{\text{дв.к}} \geq M_{\Sigma \text{р.нав.п}}, \quad (4.18)$$

$$155 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \geq 124,9 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Умова перевірки на перевантажувальну здатність виконується.

Висновки. Всі умови перевірки двигуна виконуються отже, двигун вибрано вірно та зможе працювати в режимах пуску, гальмування та тривалого навантаження.

5 РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДНОГО ДВИГУНА

Механічна характеристика електричного двигуна - це залежність швидкості обертання від моменту який розвиває двигун.

Для побудови природної механічної характеристики АД з КЗ ротором можна скористатись формулами Клоса та Чекунова [5].

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_{\text{ДВ.К}} \cdot (1 + a \cdot s_k)}{\frac{s}{s_k} + 2 \cdot a \cdot s_k + \frac{s_k}{s}}, \quad (5.1)$$

де a – розрахунковий коефіцієнт,

$$a = \frac{R_1}{R_2}, \quad (5.2)$$

де R_1 – активний опір обмотки статора, Ом;

R'_2 – приведений активний опір обмотки ротора, Ом.

Механічна характеристика згідно формули Чекунова [5]:

$$M(s) = M_k \cdot \frac{2 + (s^2 + s_k^2) \cdot K_s}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (5.3)$$

де K_s – розрахунковий коефіцієнт,

$$K_s = \frac{\frac{\lambda_{\text{пуск}}}{\lambda_k} \cdot \left(\frac{1}{s_k} - s_k \right) - 2}{1 - s_k^2}, \quad (5.4)$$

Оскільки опори обмоток статора та ротора приводного двигуна не дано в його паспортних даних, то розрахуємо їх значення наближено.

Механічні втрати приймають рівними 5% від номінальної потужності [5]:

$$P_{\text{дв.мех}} = 0,05 \cdot P_{\text{дв.н}}, \quad (5.5)$$

$$P_{\text{дв.мех}} = 0,05 \cdot 5 = 250 \text{ (Вт)}.$$

Розрахунковий активний опір ротора приведений до статора [5]:

$$R_2' = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{\text{дв.н}} + P_{\text{дв.мех}}}{I_{\text{дв.н}}^2 \cdot \frac{1-s_H}{s_H}}, \quad (5.6)$$

$$R_2' = \frac{1}{3} \cdot \frac{5000 + 250}{14^2 \cdot \frac{1-0,04}{0,04}} = 0,372 \text{ (Ом)}.$$

Розрахунковий активний опір статора [5]:

$$R_1 = \frac{U_{\phi.\text{ном}} \cdot \cos \varphi_{\text{ном}} \cdot (1 - \eta_{\text{дв.н}})}{I_{\text{дв.н}}} - C^2 \cdot R_2' - \frac{P_{\text{дв.мех}}}{3 \cdot I_{\text{дв.н}}^2}, \quad (5.7)$$

$$R_1 = \frac{219,4 \cdot 0,74 \cdot (1 - 0,74)}{14} - 1,026^2 \cdot 0,372 - \frac{250}{3 \cdot 14^2} = 2,198 \text{ (Ом)}.$$

де C – розрахунковий коефіцієнт.

Розрахунковий коефіцієнт a згідно формули (2.78):

$$a = \frac{R_1}{R_2'} = \frac{2,198}{0,372} = 5,909$$

Розрахунковий коефіцієнт K_s згідно формули (5.4):

$$K_s = \frac{\frac{2,2}{2,5} \cdot \left(\frac{1}{0,19} - 0,19 \right) - 2}{1 - 0,19^2} = 2,557$$

Механічна характеристика згідно формули Клоса (5.1):

$$M(s) = \frac{2 \cdot 155 \cdot (1 + 5,909 \cdot 0,19)}{\frac{s}{0,19} + 2 \cdot 5,909 \cdot 0,19 + \frac{0,19}{s}}.$$

Механічна характеристика згідно формули Чекунова (5.3):

$$M(s) = 155 \cdot \frac{2 + (s^2 + 0,036) \cdot 2,557}{\frac{s}{0,19} + \frac{0,19}{s}}.$$

Природні механічні характеристики АД з КЗ ротором побудовані окремо за формулами Клоса (1) та Чекунова (2) зображені на рисунку 5.1.

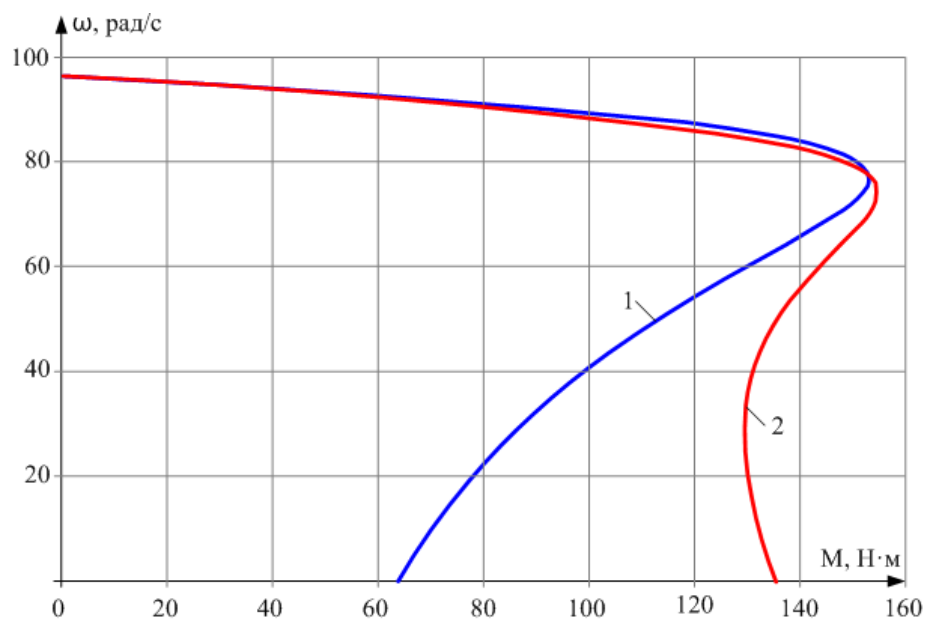


Рисунок 5.1 – Природні механічні характеристики АД з КЗ ротором

Рівняння, яке описує залежність швидкості обертання двигуна від ковзання має вигляд [5]:

$$\omega(s) = \omega_0 \cdot (1 + s). \quad (5.8)$$

Будуємо природну і штучну механічні характеристики двигуна. Природну характеристику будуємо при номінальній частоті 50 Гц, штучні характеристики будуємо для частот величиною 40,30,20 Гц.

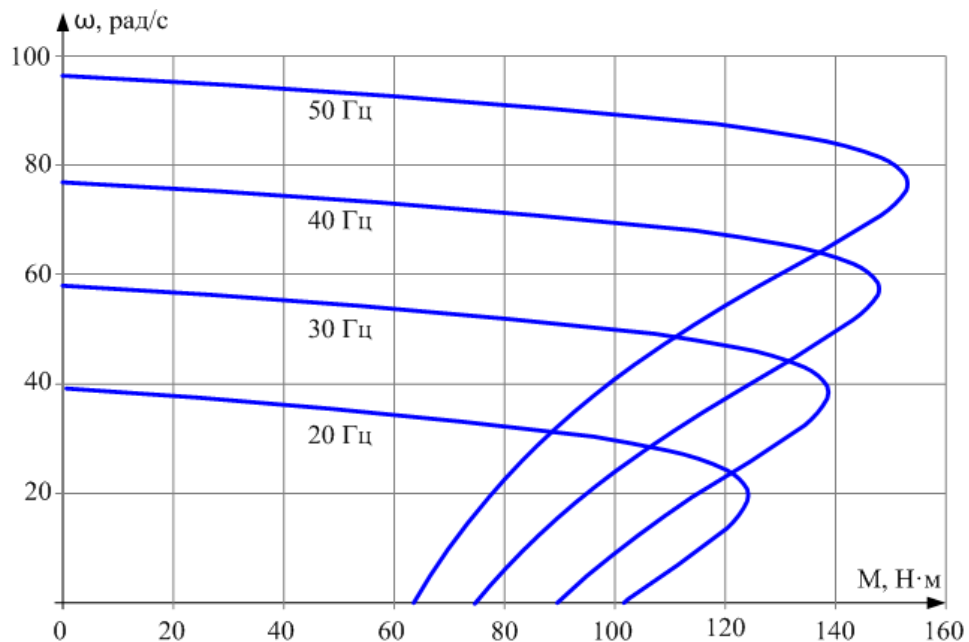


Рисунок 5.2 – Механічні характеристики АД з КР при частотному керуванні

При аналізі отриманих характеристик видно, що під час зниження частоти разом зі зменшенням напруги за принципом $U/f = \text{const}$, критичний момент значно падає на низьких частотах. Це відбувається через втрати напруги на активному опорі, що призводить до зменшення напруги, яка подається на контур намагнічування. Як наслідок, послаблюється магнітний потік двигуна, що спричиняє зменшення максимального моменту.

Щоб забезпечити регулювання швидкості двигуна без втрати максимального моменту, необхідно зменшувати напругу менш інтенсивно, ніж знижується частота. Також слід відзначити, що на робочій ділянці до досягнення критичного моменту характеристики залишаються паралельними, що вказує на сталість жорсткості характеристик.

6 РОЗРАХУНОК І ВИБІР СИЛОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Згідно ТЕО для привода механізму переміщення мостового крану оптимальним є використання системи електропривода типу ПЧ-АД [8].

Умови вибору перетворювача частоти:

$$\begin{cases} P_{\text{ПЧ}} \geq P_{\text{ел}}, \\ I_{\text{ПЧ}} \geq I_{\text{дв.н}}. \end{cases} \quad (6.1)$$

де $P_{\text{ел}}$ – споживана АД потужність в номінальному режимі, кВт;

$I_{\text{дв.н}}$ – номінальний струм приводного двигуна, А.

Споживана електродвигуном потужність при підйомі номінального вантажу:

$$P_{\text{ел}} = \frac{k \cdot P_{\text{ном}}}{\eta_{\text{дв.н}}}, \quad (6.2)$$

де k – коефіцієнт спотворення струму на виході ПЧ ($k = 0,95 \dots 1,05$),

$$P_{\text{ел}} = \frac{1,0 \cdot 5}{0,74} = 6,8$$

Максимальна потужність, яку повинен забезпечувати перетворювач при пуску приводного двигуна (найважчий режим роботи):

$$P_{\text{ПЧ max}} = \frac{k \cdot n_{\text{ном}}}{9550 \cdot \eta_{\text{дв.н}} \cdot \cos \varphi} \cdot M_{\Sigma \text{п.нав.п}}, \quad (6.3)$$

$$P_{\text{ПЧ max}} = \frac{1,0 \cdot 900}{9550 \cdot 0,74 \cdot 0,74} \cdot 124,9 = 21,5 \text{ (кВт)},$$

Робоча потужність перетворювача частоти:

$$P_{\text{ПЧ}} \geq \frac{21,5}{1,5} = 14,3 \text{ (кВт)}.$$

Пусковий струм перетворювача частоти $I_{\text{ПЧ}}$ повинен бути більшим струму, який споживає двигун при лінійному розгоні I_d :

$$I_d = \frac{k \cdot n_{\text{НОМ}}}{9,55 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \eta_{\text{ДВ.Н}} \cdot \cos \varphi} \cdot M_{\Sigma \text{П.НАВ.П}}, \quad (6.4)$$

$$I_d = \frac{1,0 \cdot 900}{9,55 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,74 \cdot 0,74} \cdot 124,9 = 29,7 \text{ (А)},$$

Відповідно до розрахункових даних вибираємо з перетворювач частоти фірми Siemens серії SINAMICS V20 модель 6SL3210-5BE31-5UV0 [10] (рисунок 6.1).

Siemens 6SL3210-5BE31-5UV0 15kW Drive



Рисунок 6.1 – Зовнішній вигляд ПЧ Siemens серії SINAMICS V20 15 кВт

Технічні характеристики перетворювача частоти наведені в таблиці 6.1, а його структура зображена на рисунку 6.2.

Таблиця 6.1 – Технічні характеристики перетворювача частоти [10]

Параметр	Значення
Модель	SINAMICS V20
Номер для замовлення (SKU)	6SL3210-5BE31-5UV0
Номінальна потужність	15 кВт
Вхідна напруга	3-фазна, 380-480 В $\pm 10\%$
Частота вхідної напруги	47-63 Гц
Номінальний вихідний струм	32 А
Перевантажувальна здатність	150% номінального струму протягом 60 секунд
Вбудований фільтр	Немає
Дискретні входи (DI)	4
Дискретні виходи (DO)	2
Аналогові входи (AI)	2
Аналогові виходи (AQ)	1
Підтримувані протоколи зв'язку	USS/MODBUS RTU
Вбудована панель оператора	Так
Ступінь захисту	IP20 / UL open
Габаритні розміри (ШхВхГ)	240 x 207 x 173 мм
Маса	Приблизно 6,5 кг
Робоча температура	-10°C до +60°C (зниження характеристик вище +40°C)
Вологість	5% до 95% без конденсації
Висота над рівнем моря	До 1000 м без зниження характеристик, до 4000 м з корекцією

Характеристики Siemens Sinamics V20 [10]:

- легке та швидке налаштування;
- енергоощадні режими ECO для підвищення ефективності;
- можливість завантаження та копіювання параметрів інвертора навіть без підключення до мережі;
- інтегрована панель управління для зручного користування;
- удосконалена система охолодження та подвійне захисне лакове покриття друкованих плат;
- функція підтримки працездатності в активному режимі.

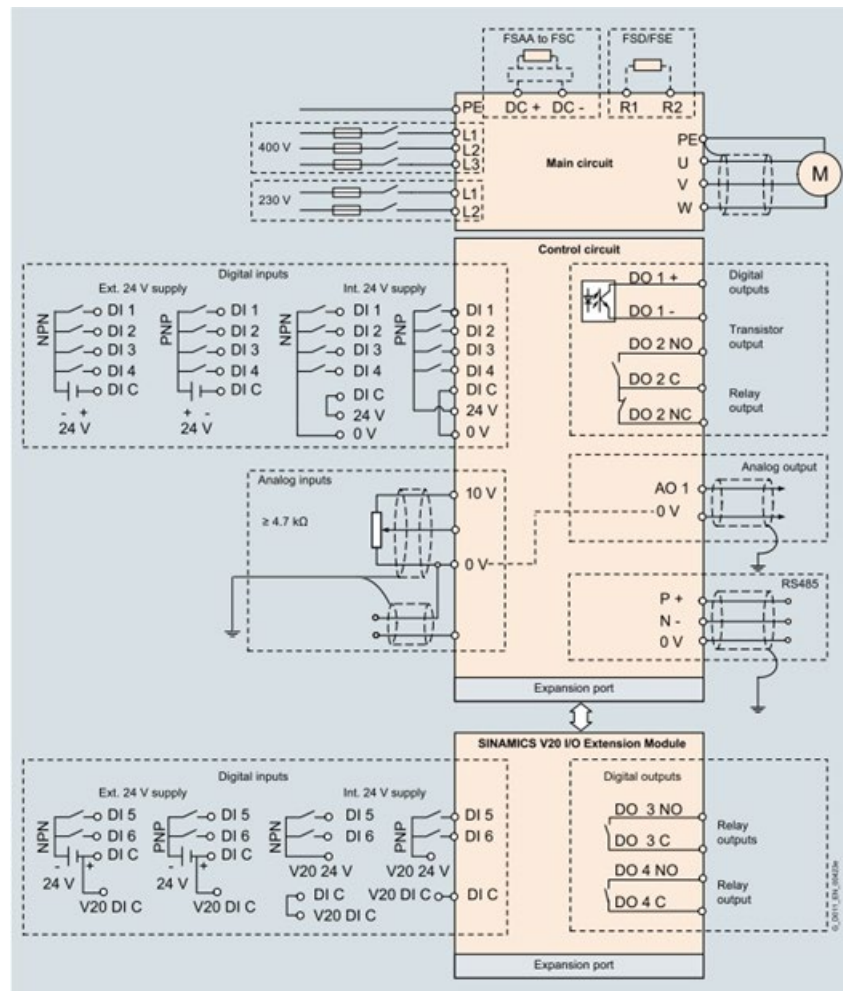


Рисунок 6.1 – Структура перетворювача частоти Sinamics V20

Висновок: Електропривод механізму переміщення мостового крану може працювати як в інтенсивному повторнокороткочасному режимі роботи переважно з навантаженнями близькими до максимального.

Як випливає із результатів техніко-економічного обґрунтування найбільш економічно вигідним для механізму переміщення є використання системи ПЧ-АД, оскільки приведені витрати для неї є найменшими.

Згідно розрахункових даних для привода механізму переміщення вибрано АД з КЗ ротором типу ДМТКФ 112-6 потужністю 5 кВт та перевірено правильність його вибору.

Для живлення приводного двигуна вибрано перетворювач частоти Siemens серії SINAMICS V20 потужністю 15 кВт.

7 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДА

7.1 Розробка функціональної схеми

В якості базової було обрано двоконтурну систему підпорядкованого керування із зворотними зв'язками за швидкістю та струмом (рисунок 7.1) [11].

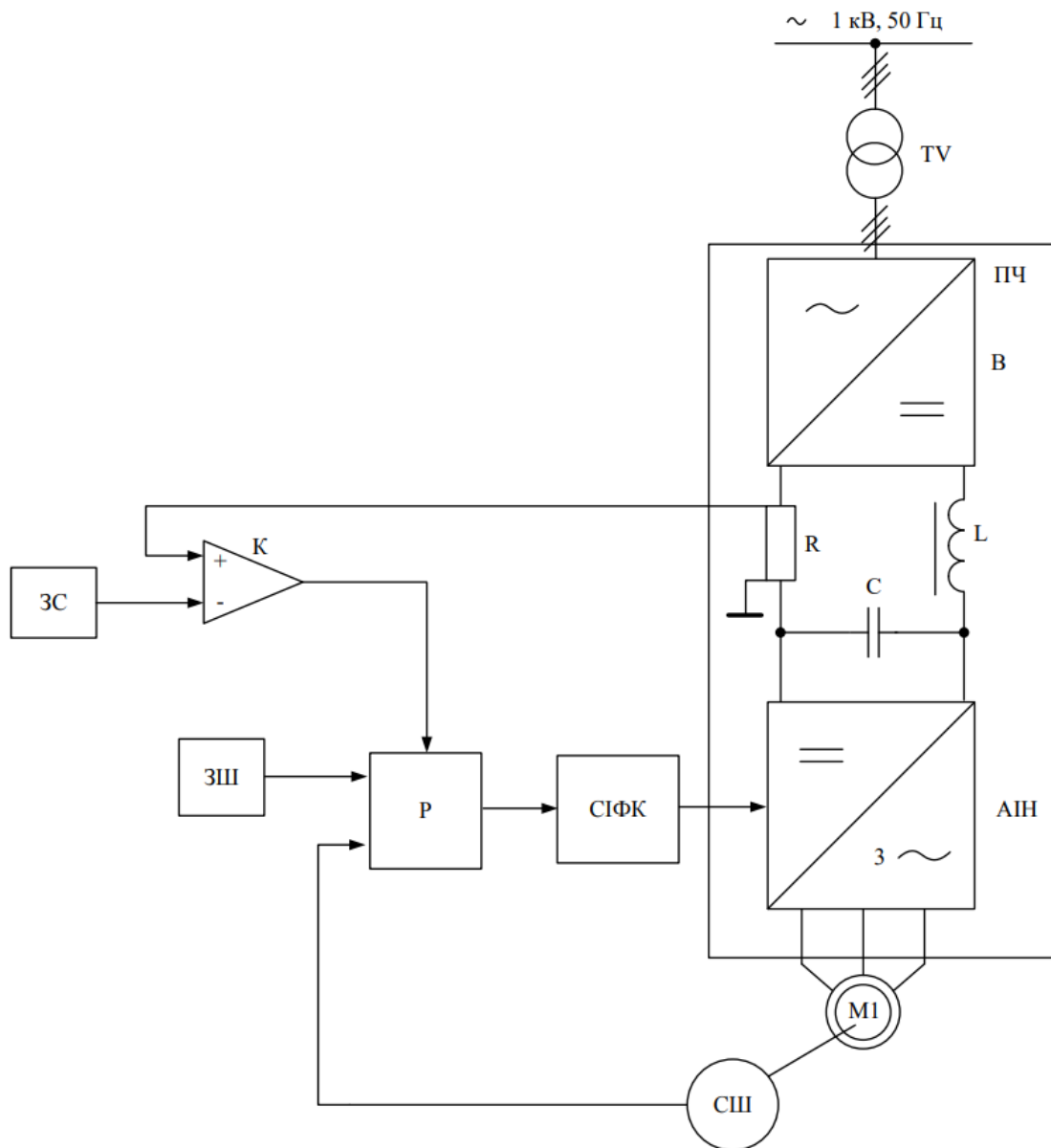


Рисунок 7.1 – Схема функціональна електропривода за системою ПЧ-АД

Система керування виконана двоконтурною з регуляторами швидкості (ЗШ) та струму (ЗС) [12]. Сигнал зворотного зв'язку за струмом береться з резистора (R), який знаходиться в колі постійного струму. Регулятор швидкості забезпечує формування сигналу керування контуру струму. Сенсор зворотного зв'язку за швидкістю (СШ) забезпечує формування контуру швидкості. Застосування системи зворотних зв'язків забезпечує бажану статичну точність швидкості обертання та динаміку привода.

7.2 Розробка принципової схеми

Схема електрична принципова електропривода механізму переміщення мостового крана зображена на рисунку 7.2.

Основним елементом схеми, який забезпечує безпосереднє керування приводного двигуна є частотний перетворювач, який отримує живлення від трифазної мережі змінного струму промислової частоти через автоматичний вимикач QF1, який забезпечує захист привода від коротких замикань та перевантажень. Програмування частотного перетворювача та індикація його поточного стану здійснюється за допомогою панелі Basis Operator Panel. Схемою передбачено два зворотних зв'язки:

- за струмом, яких реалізовано безпосередньо в частотному перетворювачі;
- за швидкістю, який реалізовано за допомогою цифрового сенсора швидкості (Encoder) та відповідного модуля (Encoder Module).

Контролер забезпечує керування частотним перетворювачем відповідно до програми керування.

Принципова електрична схема електропривода мостового крану дозволяє здійснити прямий пуск і реверс асинхронного двигуна [13].

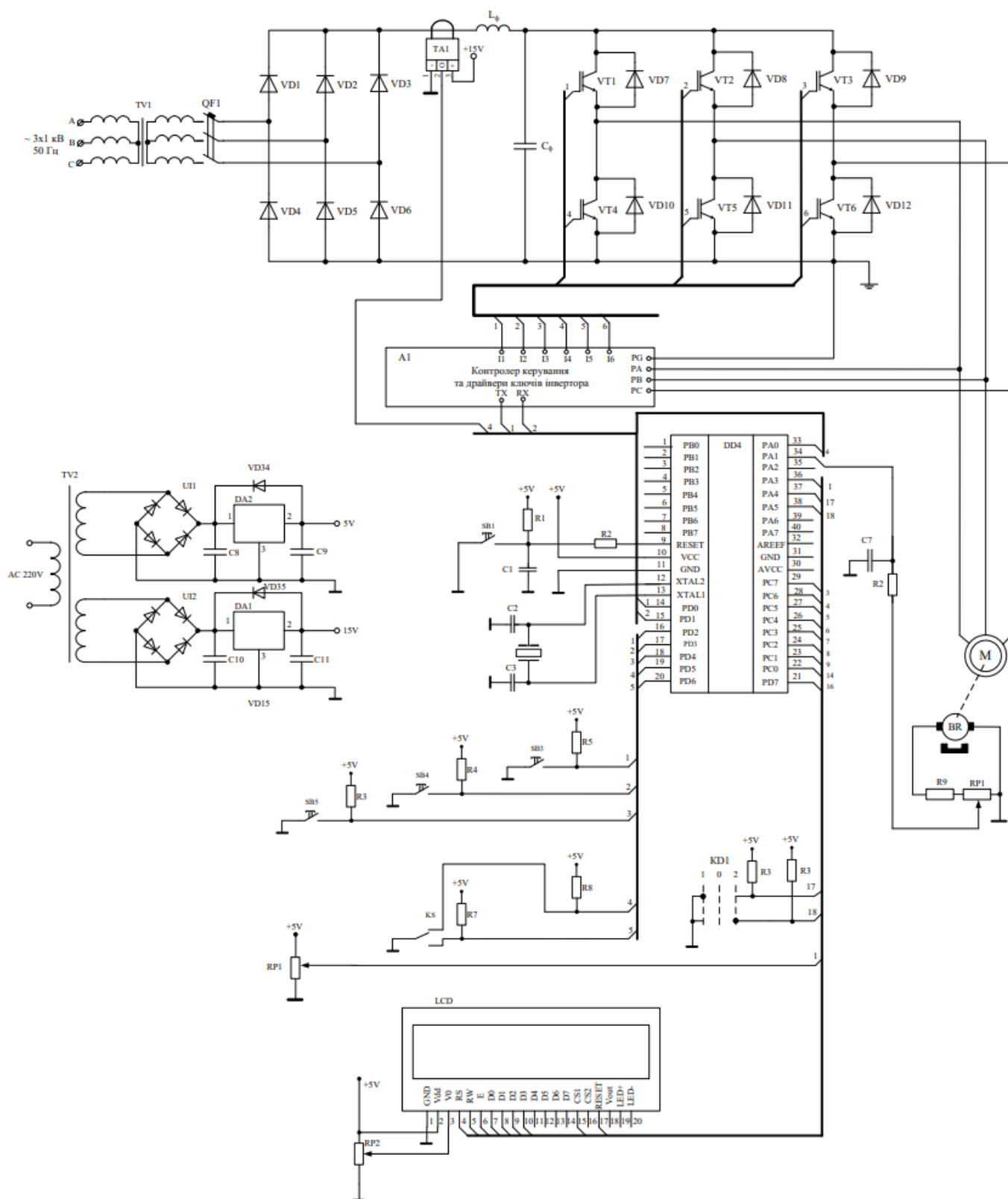


Рисунок 7.2 – Схема електрична принципова електропривода

8 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

8.1 Розробка структурної схеми

Схема електрична структурна електропривода потрібна для наочного відображення основних функціональних елементів та їх взаємозв'язків у системі керування електроприводом [15]. Вона дозволяє зрозуміти принцип роботи електропривода, послідовність перетворення електроенергії та формування керуючих сигналів. Така схема використовується для аналізу, проектування та налаштування електроприводних систем, допомагає виявляти можливі несправності та оптимізувати параметри роботи. Крім того, вона необхідна для правильної інтеграції електропривода в загальну систему автоматизації виробничого процесу, забезпечення енергоефективності, безпеки експлуатації та підтримки стабільних режимів роботи обладнання.

Схема електрична структурна електропривода зображена на рисунку 8.1.

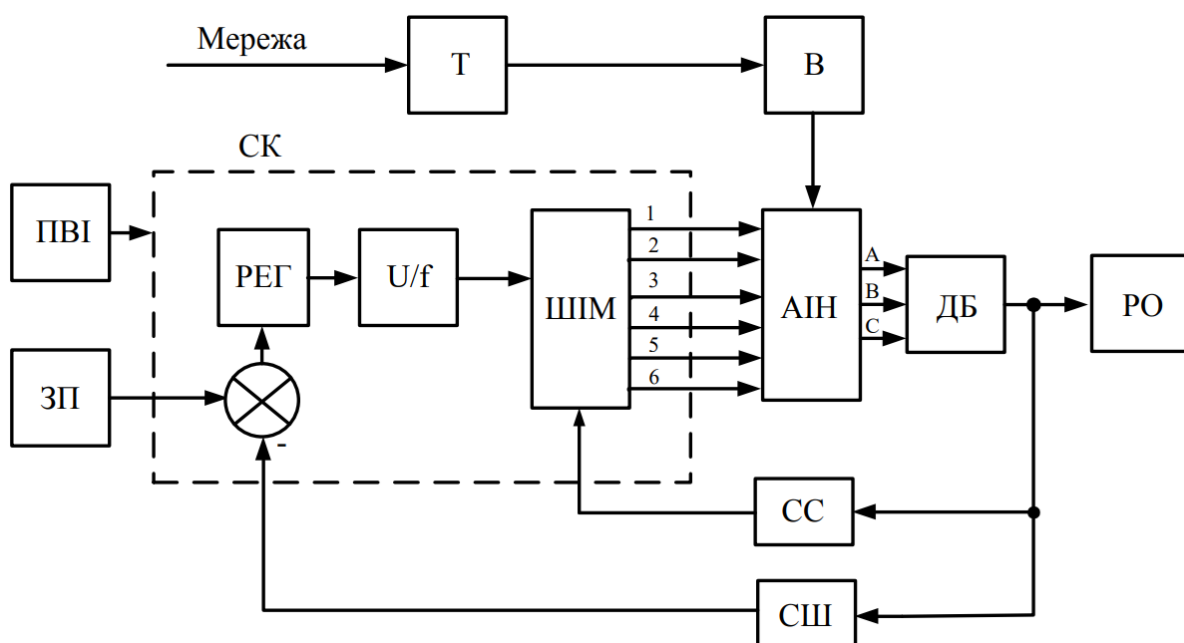


Рисунок 8.1 – Схема електрична структурна електропривода

Система електропривода працює в такій послідовності: напруга з мережі подається на трансформатор (Т), де знижується до необхідного рівня для живлення електропривода, після чого випрямляч (В) перетворює її в постійну, що необхідно для подальшої роботи інвертора. Далі оператор задає необхідні параметри через пристрій введення інформації (ПВІ), а задаючий пристрій (ЗП) визначає потрібний режим роботи привода. Отримані сигнали надходять у регулятор (РЕГ), який обробляє їх і формує керуючий вплив. Функціональний блок скалярного керування (U/f) визначає оптимальне співвідношення напруги та частоти для плавного регулювання швидкості двигуна. Потім широтно-імпульсний модулятор (ШІМ) перетворює ці сигнали у форму, придатну для керування автономним інвертором напруги. Автономний інвертор напруги (АІН) на основі отриманих сигналів генерує трифазну напругу для живлення двигуна (Д), який у свою чергу приводить у рух робочий орган (РО) механізму. Для забезпечення точності та стабільності роботи система використовує сенсор струму (СС), що контролює споживаний струм, та сенсор швидкості (СШ), який відстежує оберти двигуна. Отримані дані передаються в регулятор (РЕГ) для корекції параметрів і підтримання стабільного режиму роботи електропривода.

Лінеаризована модель АД описується рівнянням:

$$M = \frac{2 \cdot M_k}{s_k} \cdot s = \frac{2 \cdot M_k}{s_k} \cdot \left(\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \right) = \frac{2 \cdot M_k}{s_k \cdot \omega_0} \cdot (\omega_0 - \omega) = \beta \cdot (\omega_0 - \omega), \quad (8.1)$$

де β – модуль жорсткості лінеаризованої статичної механічної харак. АД.

Відповідно до рівняння (8.1) структурна схема лінеаризованої моделі АД зображена на рисунку 8.1.

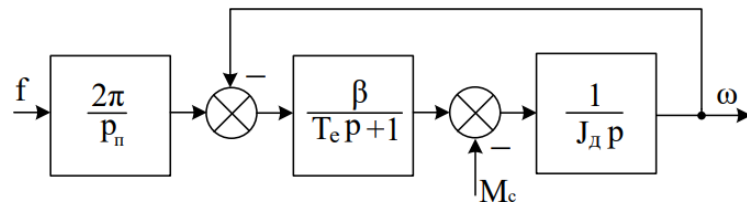


Рисунок 8.1 – Структурна схема лінеаризованої моделі АД

Модуль жорсткості лінеаризованої статичної механічної характеристики АД:

$$\beta = \frac{2 \cdot M_{\text{дв.к}}}{s_k \cdot \omega_0}, \quad (8.2)$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 155}{0,19 \cdot 94} = 17,357.$$

Електромагнітна стала часу АД:

$$T_c = \frac{1}{s_k \cdot \omega_0}, \quad (8.3)$$

$$T_c = \frac{1}{0,19 \cdot 94} = 0,056 \text{ (с)}.$$

Передаточна функція лінеаризованої моделі АД:

$$W_{\text{АД}}(p) = \frac{\beta}{T_c \cdot p + 1}, \quad (8.4)$$

$$W_{\text{АД}}(p) = \frac{17,357}{0,056 \cdot p + 1}.$$

Передаточна функція механічної частини АД:

$$W_{\text{АД.мех}}(p) = \frac{1}{J_{\text{пр}} \cdot p}, \quad (8.5)$$

де $J_{\text{пр}}$ – приведення значення моменту інерції привода, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$,

$$W_{\text{АД.мех}}(p) = \frac{1}{1,443 \cdot p}.$$

Структурна схема двоконтурної системи електричного привода типу ПЧ-АД з внутрішнім зворотним зв'язком за моментом, оскільки явно сигнал струму не представлений в моделі, та швидкістю представлена на рисунку 8.2.

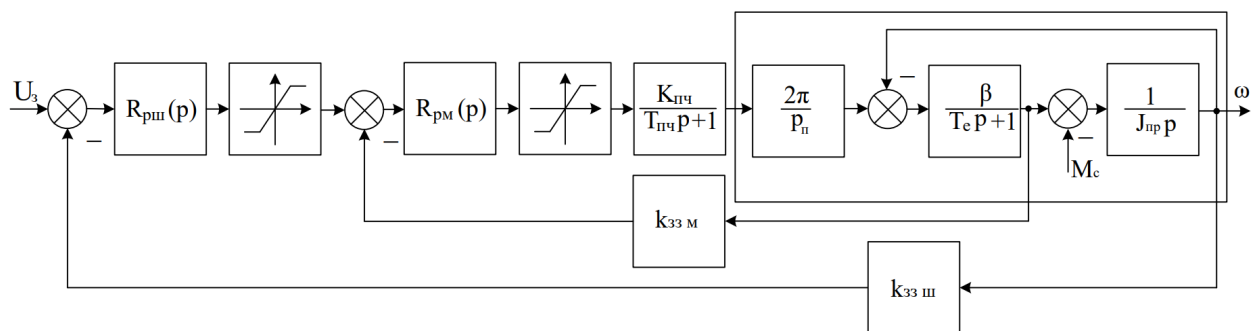


Рисунок 8.2 – Структурна схема системи керування електропривода

Коефіцієнт підсилення перетворювача частоти:

$$K_{\text{ПЧ}} = \frac{f_{\text{max}}}{U_{\text{max}}}, \quad (8.6)$$

де f_{max} – максимальна частота ($f_{\text{max}} = 50$ Гц); U_{max} – максимальна напруга за датчика інтенсивності ($U_{\text{max}} = 10$ В),

$$K_{\text{ПЧ}} = \frac{50}{10} = 5.$$

Передаточна функція перетворювача частоти:

$$W_{\text{ПЧ}}(p) = \frac{K_{\text{ПЧ}}}{T_{\text{ПЧ}} \cdot p + 1}, \quad (8.7)$$

де $T_{\text{ПЧ}}$ – стала часу перетворювача частоти ($T_{\text{ПЧ}} = 0,005$ с),

$$W_{\text{ПЧ}}(p) = \frac{5}{0,005 \cdot p + 1}.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю:

$$k_{\text{ззш}} = \frac{U_{\text{max}}}{\omega_{\text{дв.ном}}}, \quad (8.8)$$

$$k_{\text{ззш}} = \frac{10}{94} = 0,106.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за моментом:

$$k_{\text{ззм}} = \frac{U_{\text{max}}}{M_{\text{дв.к}}}, \quad (8.9)$$

$$k_{\text{ззм}} = \frac{10}{155} = 0,065.$$

Розглянемо окремо внутрішній контур струму (моменту) та зовнішній контур швидкості.

Розглянемо внутрішній контур регулювання моменту (рисунок 8.3).

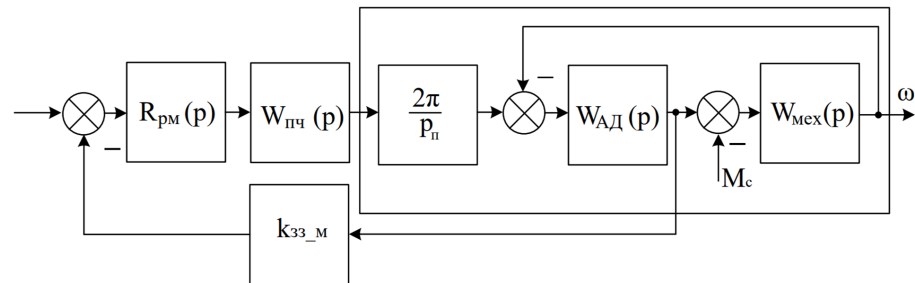


Рисунок 8.3 – Структурна схема внутрішнього контура моменту

Зведемо внутрішній контур моменту до одиничного зворотного зв'язку (рисунок 8.4).

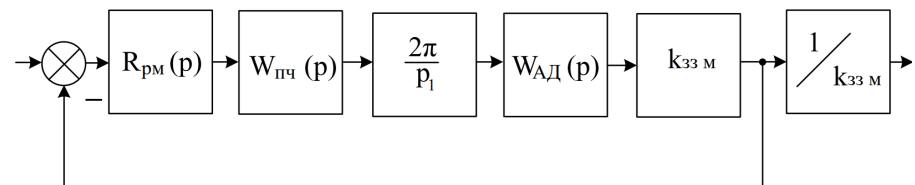


Рисунок 8.4 – Структурна схема внутрішнього контура моменту зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Передаточна функція об'єкта регулювання внутрішнього контура моменту:

$$W_M(p) = W_{пч}(p) \cdot \frac{2\pi}{p_{п}} \cdot W_{АД}(p) \cdot k_{зз_м}, \quad (8.10)$$

$$W_M(p) = \frac{31401}{(p + 200) \cdot (p + 17,4)}.$$

Загальна передаточна функція контура моменту:

$$G_M(p) = R_{PM}(p) \cdot W_M(p), \quad (8.11)$$

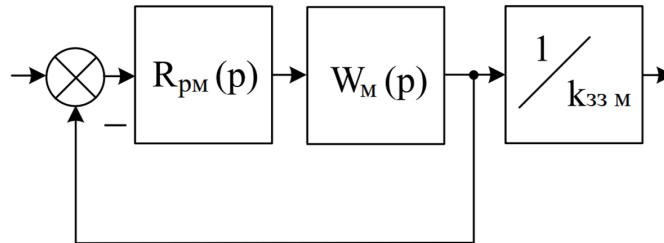


Рисунок 8.5 – Структурна схема внутрішнього контура моменту зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Згідно модульного критерію оптимізації:

$$G_M(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{0M} \cdot p \cdot (T_{0M} \cdot p + 1)}, \quad (8.12)$$

де T_{0M} – мала некомпенсована стала часу контуру моменту (приймаємо сталу часу перетворювача частоти $T_{0M} = T_{пч} = 0,005$ с, оскільки вона є найменшою),

$$G_M(p) = \frac{100}{p \cdot (0,005 \cdot p + 1)}.$$

Передаточна функцію регулятора моменту:

$$R_{PM}(p) = \frac{G_M(p)}{W_M(p)}, \quad (8.13)$$

$$R_{pm}(p) = \frac{23,24}{p} + 0,6369.$$

Як впливає з отриманої передаточної функції, в якості регулятора моменту буде ІІІ-регулятор.

Розглянемо зовнішній контур регулювання швидкості.

Зведемо зовнішній контур швидкості до одиничного зворотного зв'язку (рисунок 8.6).

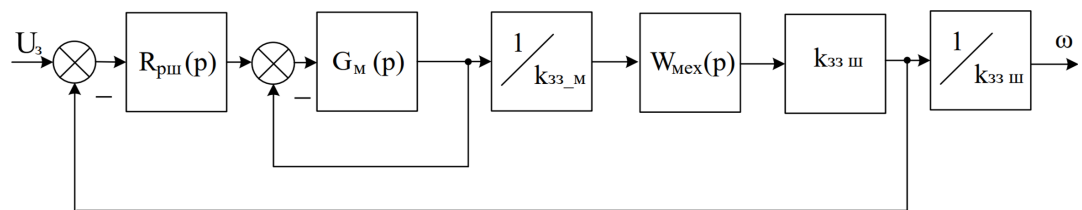


Рисунок 8.6 – Структурна схема зовнішнього контура швидкості зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Передаточна функція контура регулювання моменту зведеного до одиничного зворотного зв'язку:

$$W_{mm}(p) = \frac{G_M(p)}{1 + G_M(p)}, \quad (8.14)$$

$$W_{mm}(p) = \frac{20000}{200 \cdot p + p^2 + 20000} = 0,961.$$

Передаточна функція об'єкта регулювання зовнішнього контура швидкості:

$$W_{\text{ш}}(p) = W_{\text{мм}}(p) \cdot \frac{1}{k_{\text{зз м}}} \cdot W_{\text{мех}}(p) \cdot k_{\text{зз ш}}, \quad (8.15)$$

$$W_{\text{ш}}(p) = \frac{151160}{20000 \cdot p + 200 \cdot p + p^2}.$$

Загальна передаточна функція контура швидкості:

$$G_{\text{ш}}(p) = R_{\text{рш}}(p) \cdot W_{\text{ш}}(p), \quad (8.16)$$

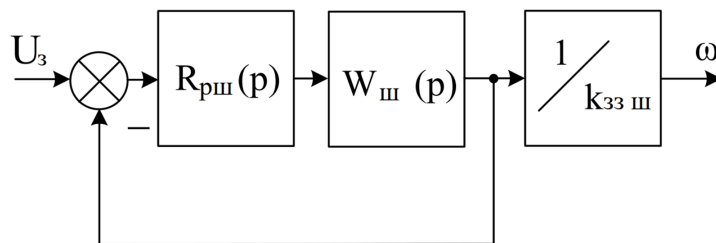


Рисунок 8.7 – Структурна схема зовнішнього контура швидкості зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Згідно модульного критерію оптимізації:

$$G_{\text{ш}}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{0\text{м}} \cdot p \cdot (T_{0\text{м}} \cdot p + 1)}, \quad (8.17)$$

де $T_{0\text{м}}$ – мала некомпенсована стала часу контура швидкості (приймаємо сталу часу перетворювача частоти $T_{0\text{ш}} = T_{\text{пч}} = 0,005$ с, оскільки вона є найменшою),

$$G_{\text{ш}}(p) = \frac{1}{0,01 \cdot p \cdot (0,005 \cdot p + 1)}.$$

Передаточна функцію регулятора швидкості:

$$R_{\text{пш}}(p) = \frac{G_{\text{ш}}(p)}{W_{\text{ш}}(p)}, \quad (8.18)$$

$$R_{\text{пш}}(p) = 0,132 \cdot p + \frac{2646}{p + 200}.$$

Як впливає з отриманої передаточної функції, в якості регулятора швидкості буде ПІ-регулятор.

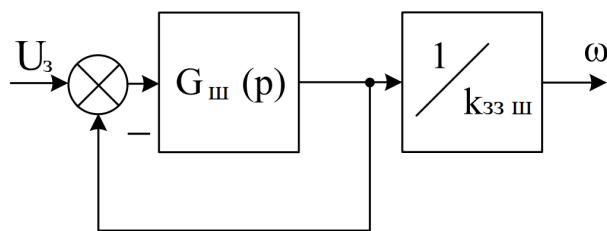


Рисунок 8.8 – Структурна схема зовнішнього контура швидкості зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Передаточна функція контура регулювання швидкості зведеного до одиничного зворотного зв'язку:

$$W_{\text{шшш}}(p) = \frac{G_{\text{ш}}(p)}{1 + G_{\text{ш}}(p)}, \quad (8.19)$$

$$W_{\text{шшш}}(p) = \frac{20000}{p^2 + 200 \cdot p + 20000}.$$

Загальна передаточна функція системи електричного привода:

$$W(p) = W_{\text{мш}}(p) \cdot \frac{1}{k_{33M}}, \quad (8.20)$$

$$W(p) = \frac{145560}{p^2 + 200 \cdot p + 20000}.$$

Розрахуємо задавач інтенсивності, структура якого зображена на рисунку 8.9.

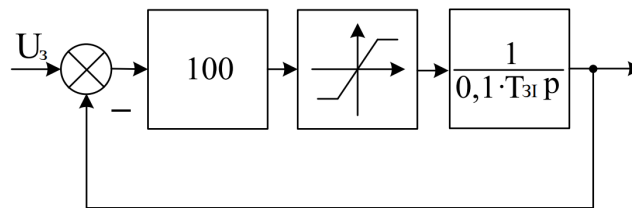


Рисунок 10.9 – Структурна схема задавача інтенсивності

Постійна часу задавача інтенсивності:

$$T_{3I} = \frac{J_{\text{нав}} \cdot \omega_{\text{дв.ном}}}{M_{\text{дв.ном}}}, \quad (8.21)$$

$$T_{3I} = \frac{1,443 \cdot 94}{124,9} = 1,1 \text{ (с)}.$$

Висновок. У ході проведеної роботи була розроблена математична модель системи автоматизованого електропривода, що включає структурну схему, лінеаризовану модель асинхронного двигуна та систему керування з двома контурами – моменту і швидкості. Було визначено передаточні функції основних елементів привода, проведено аналіз внутрішнього та зовнішнього контурів регулювання, що дозволило підібрати оптимальні параметри ПІ-регуляторів. Отримані результати дозволяють забезпечити ефективне керування

електроприводом, стабільність його роботи, точність регулювання швидкості та моменту, а також підвищити енергоефективність та надійність системи.

9 МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Перехідний або динамічний режим електропривода визначається як процес зміни його стану від одного усталеного режиму до іншого, що виникає під час запуску, гальмування, реверсування, а також зміни навантаження. Ці режими супроводжуються варіаціями електрорушійної сили, кутової швидкості, моменту та струму.

У перехідному режимі одночасно взаємодіють механічні, електромагнітні та теплові процеси. Однак, оскільки швидкоплинні процеси зазвичай незначно впливають на зміну температурного режиму електропривода, його тепловий стан часто не враховується при побудові графіків перехідних процесів. У такому випадку аналізу підлягають лише механічні та електромагнітні явища, які разом формують електромеханічний перехідний процес.

Для моделювання електропривода буде використане програмне середовище Simulink у складі Matlab [14], а схема електропривода з ПІ-регулятором швидкості представлена на рисунку 9.1.

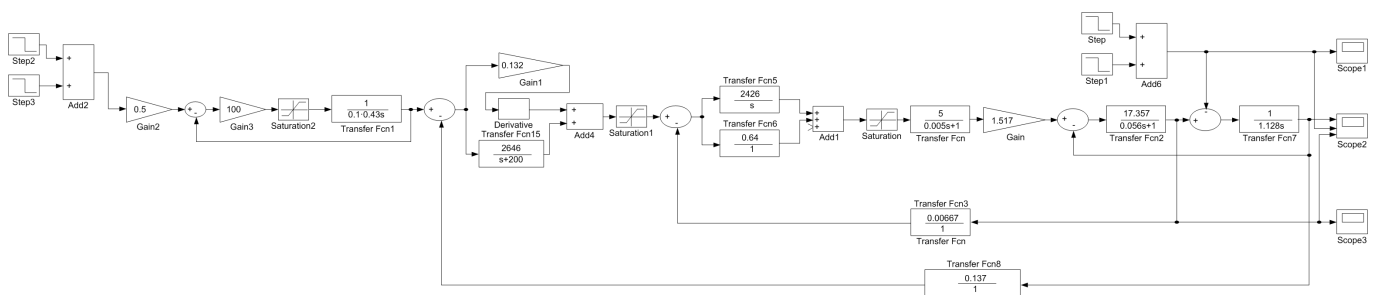


Рисунок 9.1 – Структурна схема моделі системи в ППП Matlab Simulink

Для даної схеми представимо графіки перехідних процесів електропривода з по струму, моменту та швидкості двигуна при запуску при навантаженні.

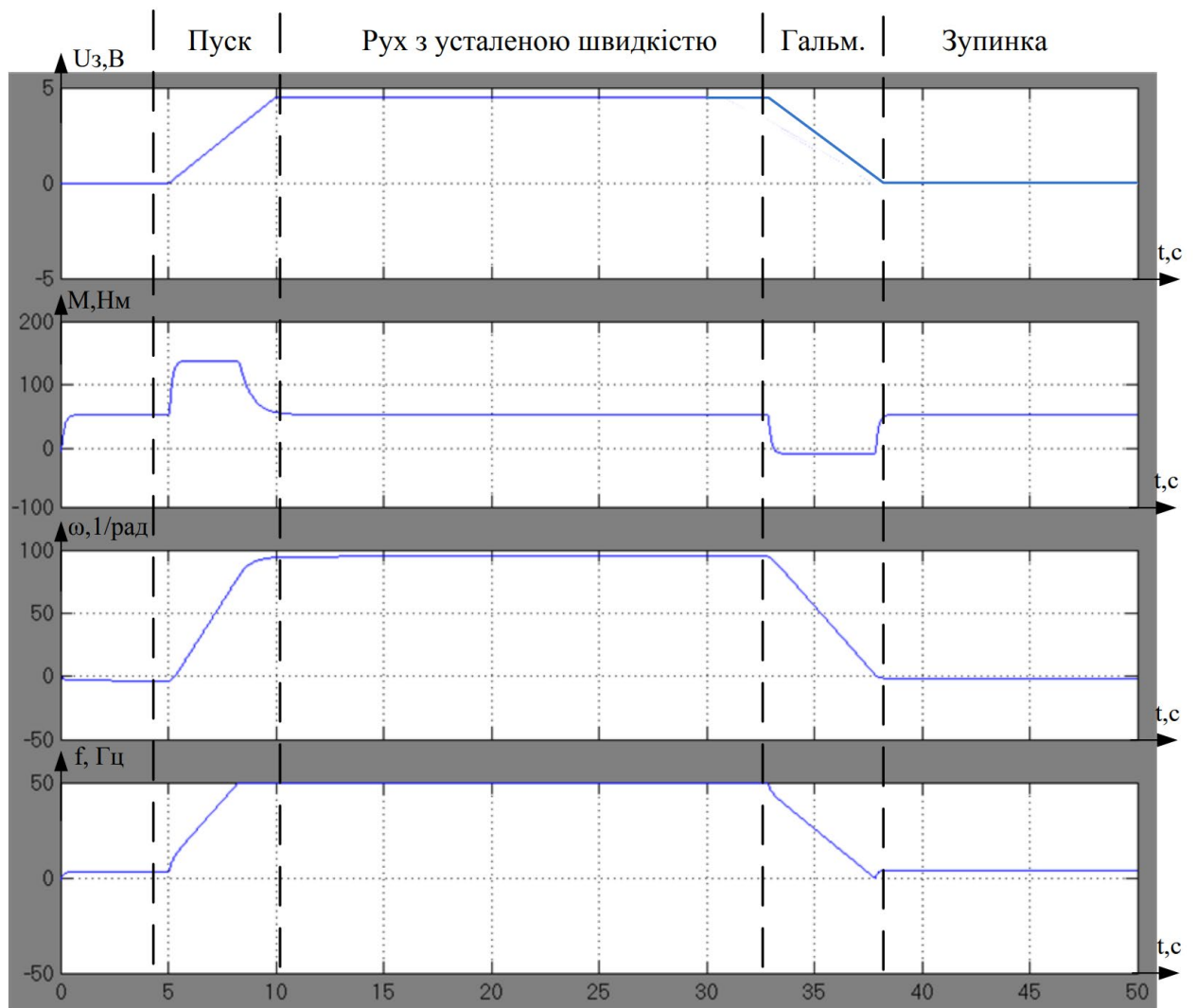


Рисунок 9.2 – Перехідних процесів електропривода з по швидкості, моменту, вхідній напрузі та частоті при запуску при навантаженні

$U_3 = f(t)$ – задаюча напруга; $M = f(t)$ – момент двигуна; $\omega = f(t)$ – кутова швидкість обертання двигуна; $f = f(t)$ – частота статора двигуна.

Аналіз перехідних процесів у роботі електропривода дає змогу точно визначити необхідну потужність приводного двигуна, здійснити розрахунок системи керування та оцінити, як електропривод впливає на ефективність і якість функціонування механізмів, які він обслуговує.

На рисунку 9.3 представлено перехідні процеси зміни струмів в фазах статора та ротора АД.

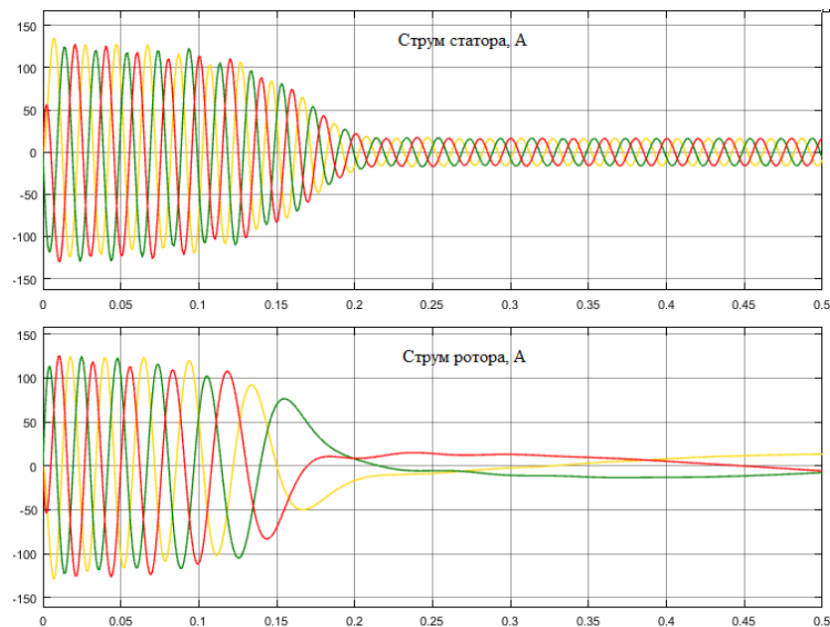


Рисунок 9.3 – Перехідні процеси зміни струмів в фазах статора та ротора АД

На рисунку 9.4 представлені Динамічна та механічна характеристика АД.

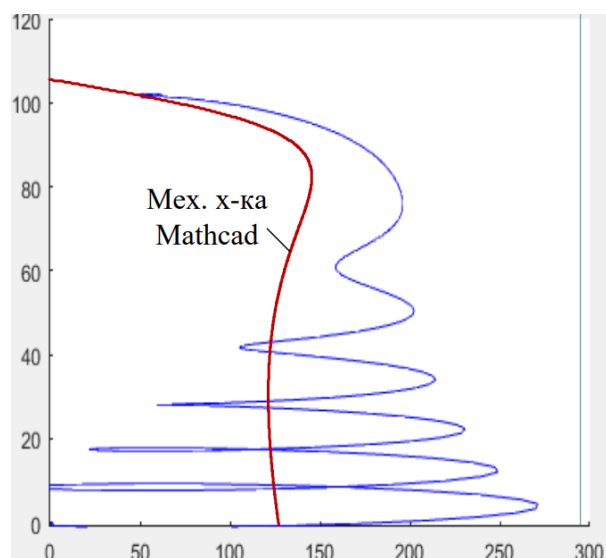


Рисунок 9.4 – Динамічна механічна характеристика АД

Висновок. Було виконано моделювання процесу пуску з навантаженням механізму переміщення мостового крану. Отримані результати демонструють, що обраний двигун успішно відпрацьовує задане навантаження та відповідає вимогам щодо потужності для встановлення на виробничий механізм. Аналіз графіків показав, що розроблена система частотного керування АД забезпечує високий коефіцієнт корисної дії та ефективно реалізує необхідні режими роботи.

10 ОХОРОНА ПРАЦІ

В цьому розділі розглянуті заходи та засоби з охорони праці під час обслуговування модернізованого електропривода мостового крана. Проаналізуємо шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний оперативно-ремонтний персонал підприємства [16,17]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо); хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил); фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

10.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

10.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць під час обслуговування модернізованої електроустановки

Модернізацію обладнання необхідно виконувати відповідно до технічної документації, розробленої згідно з вимогами Правил охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання (далі – Правила).

Під час розроблення технічної документації на модернізацію вантажопідіймальних кранів необхідно враховувати такі вимоги:

- у разі переведення керування з кабіни на керування з підлоги з підвісного пульта:

швидкості пересування вантажопідіймального крана і вантажного візка мають бути приведені у відповідність до вимог Правил;

система керування електродвигунами вантажопідіймального крана має відповідати вимогам Правил;

пульт керування з підлоги має відповідати вимогам Правил;

- у разі переведення керування з кабіни або підлоги з підвісного пульта на керування з пульта керування по радіо:

система керування електродвигунами вантажопідіймального крана має відповідати вимогам Правил;

пульт керування по радіо має відповідати вимогам Правил;

вантажопідіймальні крани необхідно обладнувати звуковим сигнальним пристроєм, який має подавати гучний сигнал у робочій зоні, що за тональністю відрізняється від автомобільного. У разі наявності декількох постів (пультів) керування ввімкнення сигналу має бути можливе з будь-якого з них;

- у разі оснащення гакового крана грейфером (канатним або моторним):

вантажопідіймальність крана з грейфером необхідно розраховувати з урахуванням групи класифікації (режиму роботи) вантажопідіймального крана, що підлягає реконструкції. Коефіцієнт зниження вантажопідіймальності має відповідати зазначеному в підпункті 3 цього пункту;

електросхема керування моторним грейфером повинна унеможлилювати самочинне розкриття щелеп грейфера;

у технічній документації повинна бути наведена таблиця із зазначенням виду матеріалу, для перевалки якого грейфер призначений, і допустимої маси зачерпнутого матеріалу.

Технічна документація на модернізацію має містити технічні умови.

Залежно від виду модернізації і обсягу змін, що вносяться, необхідно надавати нові настанову з експлуатації, інструкцію з технічного обслуговування, інструкцію з монтажу, пуску, регулювання та обкатки тощо виробника обладнання або доповнення чи зміни до існуючих, розроблені відповідно до вимог технічних умов на модернізацію.

Технічні умови повинні містити вимоги, показники і норми, яким мають відповідати складові частини та обладнання до та після модернізації, вимоги щодо маркування після модернізації, щодо контролю якості зварювання і бракувальні показники з урахуванням вимог цих Правил і НД, вимоги безпеки, порядок приймання складових частин і готового обладнання, у тому числі обсяг приймальних випробувань після модернізації, а також відомості про метали та зварювальні матеріали, що мають застосовуватися під час модернізації, та вимоги до складу нових настанови з експлуатації, інструкції з технічного обслуговування, інструкції з монтажу, пуску, регулювання та обкатки тощо або доповнення чи змін до існуючих.

Після проведення модернізації суб'єкт господарювання, який здійснював ці роботи, повинен спорядити обладнання табличкою, укріпленою на видному місці, із зазначенням:

- найменування суб'єкта господарювання, який здійснював модернізацію, його знак для товарів і послуг (за наявності), місце розташування;

- позначення крана після модернізації відповідно до технічних умов на модернізацію;

- дати проведення модернізації, зазначаючи місяць і рік;

- позначення технічних умов на модернізацію.

Метод виконання написів на табличці має забезпечувати їхню схоронність упродовж експлуатації обладнання.

Після модернізації обладнання проводяться приймальні випробування суб'єктом господарювання, який здійснював модернізацію, відповідно до вимог технічних умов на модернізації.

За результатами випробувань складаються протокол випробувань і акт приймання, які затверджуються в порядку, визначеному технічними умовами на модернізацію. Результати випробувань відображаються в журналі нагляду (паспорті) обладнання, а до документації додається акт приймання і протокол випробувань.

Проведення робіт з модернізації обладнання, а також необхідність надання і форма наряду-допуску для проведення цих робіт на місці експлуатації обладнання здійснюється в порядку, встановленому суб'єктом господарювання. У наряді-допуску у разі його надання зазначають заходи щодо створення безпечних умов виконання робіт. Зокрема, вживають заходів щодо унеможливлення ураження персоналу струмом, перебування його в небезпечних зонах, падіння з висоти, наїзду обладнання, що працює, на обладнання, що модифікують, попередження виходу персоналу на кранові колії діючих кранів, а також щодо надійного закріплення складових частин, що модифікують.

Для забезпечення безпечного ведення робіт обслуговуючий персонал зобов'язаний суворо дотримуватись Правил при експлуатації, технічному обслуговуванні, ремонті кранів. Недотримання цих Правил може призвести до отримання травм та втрати працездатності.

Обладнання повинно бути надійно заземлене. Справність і опір контуру заземлення один раз на рік перевіряється.

Всі обертові частини механізму повинні мати добре закріплену огорожу. Забороняється виконувати всі види ремонту під час роботи баштового крану.

Для надання першої медичної допомоги при нещасних випадках повинна бути аптечка з набором необхідних перев'язочних матеріалів та медикаментів.

Під час роботи, пов'язаної з дотиком до струмовідних частин електродвигуна, що обертаються, і механізму, який вони приводять в рух, необхідно зупинити двигун і на його пусковому пристрої або ключі керування, якщо можливе обертання електродвигунів від з'єднаних з ним механізмів, слід зачинити і замкнути на замок засуви і шибери цих механізмів, а також вивісити плакат «Не вмикати! Працюють люди».

Забороняється знімати огороження тих частин електродвигунів, що обертаються під час їх роботи.

Під час роботи електродвигунів заземлення може бути встановлене на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднують електродвигуни з РУ (збіркою). Під час

роботи на механізмі, не пов'язаної з доторканням до частин, що обертаються, і у випадку роз'єднання з'єднувальної муфти, заземлювати кабельну лінію не слід.

На однотипних або близьких за габаритом електродвигунах, встановлюють поряд з тим, на якому проводять роботи, слід вивісити плакат «Стій! Напруга» незалежно від того, чи перебувають вони у роботі чи у резерві.

10.1.2 Електробезпека

Живлення електропривода мостового крану та системи освітлення здійснюється від мережі з заземленою нейтраллю напругою 380 х 220 В з частотою 50 Гц. Проектування та експлуатація електричних мереж і установок повинна здійснюватися за умови дотримання вимог з їхньої електробезпеки [19,20].

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам під час виконання робіт:

1) Для запобігання електротравм від контакту зі струмопровідними елементами електроустаткування потрібно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні – написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати в закритих конструкціях підлоги.

2) При живленні однофазних споживачів струму при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час

витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

10.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

10.2.1 Мікроклімат

Категорія робіт, що виконується оперативним персоналом – Па – пов'язано з постійною ходьбою і перенесенням невеликих вантажів масою до 1 кг [21].

За ступенем впливу на тепловий стан людини мікрокліматичні умови визначаємо як допустимі (таблиця 10.1).

Таблиця 10.1 – Допустимі параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Середньої важкості: Па	17-23	75	не > 0,3
Теплий	Середньої важкості: Па	18-27	65 при 26 °С	0,2-0,4

Необхідно, щоб в приміщеннях була постійна циркуляція повітря або встановлений кондиціонер [22].

10.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [21].

Таблиця 10.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб. м		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Вуглецю оксид (CO)	3	1	4

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Нагромадження пилу товщиною в 1/8" на будь-якій ділянці вказує на необхідність у вживанні заходів з її очищення. Необхідно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (зернистість), тим вище небезпека.

10.2.3 Виробниче освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [23], роботи на мостовому крані, потребують освітлення, яке характеризується розрядом зорової роботи III, підрозряд «в». Нормовані значення штучного, природного та суміщеного освітлення наведені в таблиці 10.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Таблиця 10.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Високої точності	Від 0,3 до 0,5 включно	III	в	малий середній великий	світлий середній темний	600	200	-	3,0

10.2.4 Виробничий шум

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях мають відповідати вимогам СН 3223-85, ГОСТ 12.1.003-85, ГР 2411-81 [24] і наведені в табл. 10.10.

Таблиця 10.4 – Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності, робочі місця	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Виконання усіх видів робіт на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Устаткування, що є джерелом шуму (вентилятори, електроінструмент, технологічне обладнання), слід використовувати поза межами приміщень.

Для забезпечення допустимих рівнів шуму на робочих місцях слід застосовувати засоби звукопоглинання, вибір яких має обґрунтовуватись спеціальними інженерно-акустичними розрахунками.

Акустична обробка приміщень – це облицювання частини внутрішніх поверхонь огорожень звукопоглинаючими матеріалами, а також розміщення в приміщенні штучних звукопоглиначів, які представляють собою вільно підвішені об'ємні поглинаючі тіла довільної форми. Найбільший ефект при акустичній обробці можливо отримати в точках, які розташовані в зоні відбитого звуку; в зоні прямого звуку акустичний ефект від застосування облицювання набагато менший. Звукопоглинаючі облицювання розміщують на стелі і в верхніх частинах стін при висоті приміщення не більше 6-8 м таким чином, щоб акустично оброблена поверхня складала не менше 60 % від загальної площі обмежуючих приміщення поверхонь. У вузьких і дуже високих приміщеннях доцільно облицювання розміщувати на стінах, залишаючи нижні частини стін (до 2 м висотою) не облицюваними, або проектувати конструкцію звукопоглинаючої підвісної стелі.

10.2.5 Виробнича вібрація

Норми виробничої вібрації на постійних робочих місцях в приміщеннях підприємства, визначені за [10], наведено в таблиці 10.5.

Таблиця 10.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Вид вібрації	Октавні полоси з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	32	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	1,3* 108	0,45 99	0,22 93	0,2 92	0,2 92	0,2 92	-	-	-	-

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, $\text{м/с}^2 \cdot 10^n$, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

Створення амортизаторів в яких використовують пружини, гуму та інші пружні матеріали.

Розміщення будівельних конструкцій на масивних фундаментах.

Встановлення додаткових реактивних опорів.

Також серед технічних заходів уникнення шкідливого впливу вібрації – створення нових конструкцій інструментів і машин, вібрація яких не може виходити за безпечні для людини межі, а зусилля не повинні перевищувати 15- 20 кг. Усі деталі машин та агрегатів, що рухаються, повинні ретельно врівноважуватися, а для зменшення динамічних сил, які спричиняють вібрації, слід застосовувати змащування та ін.

10.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують «Правила пожежної безпеки в Україні» та інші правила пожежної безпеки для промислових підприємств і окремих об'єктів [26,27]. Визначення пожежо- вибухонебезпечності речовин і матеріалів здійснюється за рекомендаціями [28], а, відповідно, категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок, де вони використовуються, зберігаються тощо, за [29].

Отже, приміщення підприємства, де встановлений мостовий кран, система електропривода якого модернізується, відносяться до категорії В з вибухонебезпечними зонами класу 22 – простір, в якому вибухонебезпечний зерновий пил у завислому стані може з'являтися нечасто та існувати недовго (у разі аварії).

Виробничі приміщення відносяться до категорії Б (пожежонебезпечна), якщо в них наявні горючі гази, легкозаймисті, горючі і/або важкогорючі рідини, а також речовини і/або матеріали, як здатні вибухати та горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним; тверді горючі і/або важкогорючі речовини та матеріали (включно горючий пил і/або волокна), за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться (зберігаються, пере-робляються, транспортуються), не відносяться до категорій А або Б і питома пожежна навантага для твердих і рідких легко-займистих, горючих та важкогорючих речовин і/або матеріалів на окремих ділянках площею не менше 10 м² кожна перевищує 180 МДж•м⁻².

Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів – сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і поширення горіння. Наслідком горіння, залежно від його швидкості та умов протікання, можуть бути пожежа або вибух. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначають показниками, вибір яких залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу), та умов їхнього застосування.

Будівля, в якій розташоване це приміщення, характеризується III ступенем вогнестійкості. До III ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [30] наведено в таблиці 10.6.

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [30] наведено в таблиці 10.7.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 10.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 10.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 10.8 (знаменник).

Таблиця 10.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	перекриття між поверхів (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Таблиця 10.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	2	REI 60	2	1

Таблиця 10.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IV, V
III	8/9	8/12	10/15

На території підприємства встановлено 54 порошкових (ВП) та водо-пінних (ВВП) вогнегасників ємністю 5 та 9 л [31].

ВИСНОВКИ

В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі проведено модернізацію системи керування електропривода механізму переміщення мостового крана.

В результаті досліджень отримано такі наукові та практичні результати:

1. Проведено аналіз конструктивних особливостей мостових електричних кранів, зокрема їх основних механізмів: руху моста, переміщення лебідки та підйому вантажу. Визначено основні режими роботи електроприводів кранових механізмів, які залежать від частоти ввімкнення, тривалості використання та умов експлуатації. Досліджено вимоги до електроприводів, що включають високу точність керування, надійність у важких умовах роботи та забезпечення безпечної експлуатації. Отримані результати створюють передумови для модернізації системи керування електропривода механізму переміщення мостового крана, що дозволить підвищити ефективність, точність роботи та енергоефективність..

2. Проведено розрахунок силових навантажень, які виникають під час переміщення мостового крана, визначено вплив динамічних навантажень на привідну систему, а також розраховано потужність електродвигуна, необхідну для ефективної роботи механізму.

3. Виконано техніко-економічне порівняння різних варіантів систем керування електроприводом механізму переміщення мостового крана. В результаті оптимальним варіантом виявилася система "перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ-АД)", яка забезпечує мінімальні експлуатаційні витрати та високу ефективність керування.

4. Для привода механізму переміщення мостового крану вибрано крановий асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу ДМТКФ 112-6 потужністю 5 кВт, а також здійснено його перевірку. Оскільки умови усіх перевірок виконуються, то двигун вибрано вірно.

5. За допомогою формул Клосса та Чекунова побудовано природну механічну характеристику приводного двигуна. Механічна характеристика побудована за формулою Чекунова більш точно відображає характеристики приводного двигуна.

6. Для живлення приводного двигуна вибрано перетворювач частоти Siemens серії SINAMICS V20 потужністю 15 кВт.

7. Розроблено принципові електричні схеми системи керування електроприводом механізму переміщення мостового крана.

8. Розроблено математичну модель системи автоматизованого електропривода, що включає структурну схему, лінеаризовану модель асинхронного двигуна та систему керування з двома контурами – моменту і швидкості. Розроблена математична модель дає можливість її переналаштування під будь-які умови використання, що дозволяє використовувати її для схожих систем керування.

9. Проведено моделювання роботи механізму переміщення крана з обраним обладнанням при розгоні з навантаженням. Результати показали, що обраний двигун забезпечує необхідну потужність, а система керування ефективно регулює швидкість і забезпечує стабільну роботу електропривода у всіх необхідних режимах. Графіки підтвердили високий коефіцієнт корисної дії та відповідність системи вимогам експлуатації.

10. Розглянуто питання охорони праці для персоналу який задіяно для робіт з модернізації типового електроприводу механізму переміщення мостового крану.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Василега П. О. Електропривод робочих машин. – Суми: Сумський державний університет, 2022. – 290 с.
2. Григоров О. В., Петренко Н. О. Вантажопідйомні машини: Навчальний посібник. – Харків: НТУ "ХПІ", 2005. – 304 с.
3. Грабко В. В., Бабій С. М., Мошноріз М. М. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Курсове та дипломне проектування. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 119 с.
4. Кучерук В. Ю., Грабко В. В. Основи теорії електроприводів. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 168 с.
5. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів / Грабко В. В., Бабій С. М., Мошноріз М. М. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 119 с.
6. Семенов І. В. Системи керування електроприводами підйомних механізмів. – Одеса: ОНТУ, 2021. – 175 с.
7. Савич О. М., Романов О. В. Перетворювачі частоти для систем керування електроприводами. – Львів: ЛНТУ, 2017. – 145 с.
8. Гречко С. В. Частотне керування асинхронними електроприводами промислового обладнання. – Київ: Наукова думка, 2018. – 212 с.
9. Електродвигун ДМТКФ 112-6 (ДМТКФ112-6) 5кВт/910об/хв крановий з короткозамкненим ротором. [Електронний ресурс]. URL: <https://nasos-ukraine.com.ua/ua/p125312234-elektrodivigatel-dmtkf-112>
10. 6SL3210-5BE31-5UV0 Перетворювач частоти Siemens SINAMICS V20 380-480 V, 15.0 кВт. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/tekhnolohiyi-pryvodiv/sinamics/peretvoryuvachi-nyzkoyi-napruhy-sinamics/standartni-peretvoryuvachi-chastoty-sinamics/sinamics-v20>
11. Бойко С. М., Касаткіна І. В. Системи автоматизованого керування електроприводами. – Кривий Ріг: НМетАУ, 2020. – 187 с.

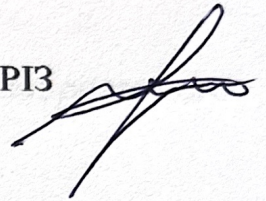
12. Зайченко Ю. П., Мартиненко І. В. Сучасні системи керування асинхронними електроприводами. – Київ: Либідь, 2016. – 224 с.
13. Грабко В. В., Кучерук В. Ю., Возняк О. М. Мікропроцесорні системи керування електроприводами. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 146 с.
14. Черних І. В. Моделювання електротехнічних пристроїв в MATLAB, SimPowerSystems та Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 288 с.
15. Шинкаренко В. І. Автоматизовані системи електроприводів підйомно-транспортних машин. – Дніпро: НМетАУ, 2019. – 198 с.
16. ДСНП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
17. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shchodo-viznachennya-nebezpechnikh-i-shkidl>
18. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644
19. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
20. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>
21. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
22. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

23. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
24. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>
25. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>
26. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
27. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>
28. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>
29. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativi/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759
30. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf
31. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри КЕМСК
к.т.н., доц. Микола МОШНОРІЗ
“4” березня 2025р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

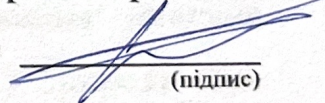
на бакалаврську кваліфікаційну роботу

**МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ
ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВОГО КРАНА**

08-24.БКР.013.00.000 ТЗ

Керівник роботи:

к.т.н., доц. Валентин ГРАБКО


(підпис)

“4” березня 2025р.

Розробив студ. гр. ЕМСА-216

Максим Оріховський


(підпис)

“4” березня 2025р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Модернізація системи керування електропривода механізму переміщення мостового крана».

Скорочене найменування розробки – «Електропривод мостового крана». Замовник – кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Мостовий кран – вантажопідйомна машина, яка переміщується по рейкам на деякій відстані від землі і забезпечує пересування вантажу в трьох взаємно перпендикулярних площинах.

Механізм переміщення крана працює в повторно-короткочасному режимі з не великим числом включень за годину.

4 Вимоги до розробки

Вибір системи електропривода і режиму його роботи в значній мірі визначаються статичним навантаженням, яке створюється механізмом на валу привідного двигуна. Значення і характер статичного навантаження двигуна механізмів переривчатої дії суттєво залежать від кінематичної схем і природи сил, що визначають опір руху.

5 Комплектація розробки

Виріб складається з електродвигуна, системи керування та робочого органу у вигляді барабана. Вихідний вал двигуна з'єднаний з робочим органом через редуктор та з'єднувальні муфти.

6 Технічні характеристики

Тип двигуна	ДМТКФ 112-6
Номінальна потужність P_n , кВт	5
Номінальна частота обертання n_n , об/хв	900
Напруга статора, В	380
Номінальний струм статора, А	14
ККД, η_n , %	74
Коефіцієнт потужності в номінальному режимі	0,74
Пусковий струм, А	24,2
Пусковий момент $M_{дв.пуск}$, Н·м	145
Критичний момент $M_{дв.к}$, Н·м	155
Струм холостого ходу для номінального режиму, А	8
Момент інерції двигуна J_d , кгм ²	0,09
Маса, кг	92

7 Джерела розробки

Грабко В. В., Бабій С. М., Мошноріз М. М. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Курсове та дипломне проектування. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 119 с.

2. Грабко В. В., Кучерук В. Ю., Возняк О. М. Мікропроцесорні системи керування електроприводами. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2009. – 146 с.

Бойко С. М., Касаткіна І. В. Системи автоматизованого керування електроприводами. – Кривий Ріг: НМетАУ, 2020. – 187 с.

Гречко С. В. Частотне керування асинхронними електроприводами промислового обладнання. – Київ: Наукова думка, 2018. – 212 с.

8 Умови експлуатації

Електропривод мостового крана повинен забезпечувати надійну роботу механізму підйому.

9 Елементна база

Двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т.п. виробництва України, країн близького зарубіжжя та Європи.

10 Конструктивне виконання

Електропривод виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні

11 Показники технологічності

Електропривод мостового крана – двигун, апарати керування і захисту, провідники, кабелі тощо. Виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

13 Живлення електропривода

Живлення електропривода повинно бути виконане напругою 380 В від силової мережі підприємства.

14 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації бакалаврської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ
ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВОГО КРАНА

**«МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ
МОСТОВОГО КРАНА»**

Виконав: студент 4 курсу, гр. ЕМСА-216
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

Оріховський Максим Іванович

Науковий керівник:
Грабко Валентин Володимирович ,
кандидат технічних наук, доцент

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Актуальність теми. Мостові крани відіграють ключову роль у промислових та складських комплексах, а їх технічний стан і розвиток безпосередньо впливають на ефективність та безпеку виробничих процесів. У сучасних умовах необхідно вирішити низку стратегічних завдань, таких як створення енергоефективних і економічно обґрунтованих систем механізму переміщення, підвищення рівня безпеки під час роботи кранів та вдосконалення інфраструктури для впровадження нових технологічних рішень.

Ефективність роботи механізму переміщення мостового крана залежить від багатьох факторів, зокрема технічного стану обладнання, рівня підготовки персоналу, умов експлуатації та впливу зовнішнього середовища. У сучасних економічних умовах ключовим напрямом наукових досліджень є розробка та впровадження технологій модернізації, підвищення надійності та продовження ресурсу роботи існуючої техніки. Це сприятиме зменшенню енергетичних та ресурсних витрат. Використання сучасних інформаційних технологій дозволяє оптимізувати всі етапи життєвого циклу механізму переміщення, забезпечуючи ефективне ресурсозбереження та адаптацію систем до змінних умов експлуатації.

У сучасних умовах розвитку промислових підприємств значно зростає потреба у підвищенні ефективності та надійності роботи мостових кранів. Одним із ключових елементів, що визначає продуктивність і економічність їхньої роботи, є механізм переміщення та система його керування. Застарілі системи керування не завжди забезпечують достатню гнучкість та енергоефективність, що спонукає до їхньої модернізації з використанням сучасних технологій та алгоритмів керування.

Мета, об'єкт, предмет та завдання дослідження

Мета і завдання дослідження. Метою виконаного дослідження є модернізація системи керування електропривода механізму переміщення мостового крана.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- аналіз технічних і експлуатаційних характеристик об'єкта дослідження;
- виконання розрахунків для вибору оптимальної потужності двигунів та побудови навантажувальних діаграм;
- обґрунтування економічної доцільності модернізації системи електропривода;
- вибір сучасної мікропроцесорної системи керування на заміну застарілої релейної;
- моделювання поведінки системи для перевірки її адекватності;

Об'єкт дослідження – процес контролю керування системою електропривода механізму переміщення мостового крана.

Предмет дослідження – системи керування механізмом переміщення мостового крана.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених завдань і оцінки прийнятих технічних та алгоритмічних рішень було застосовано такі методи досліджень: методи технічної діагностики, обчислювальна математика та комп'ютерне моделювання.

Технічна характеристика виробничого механізму

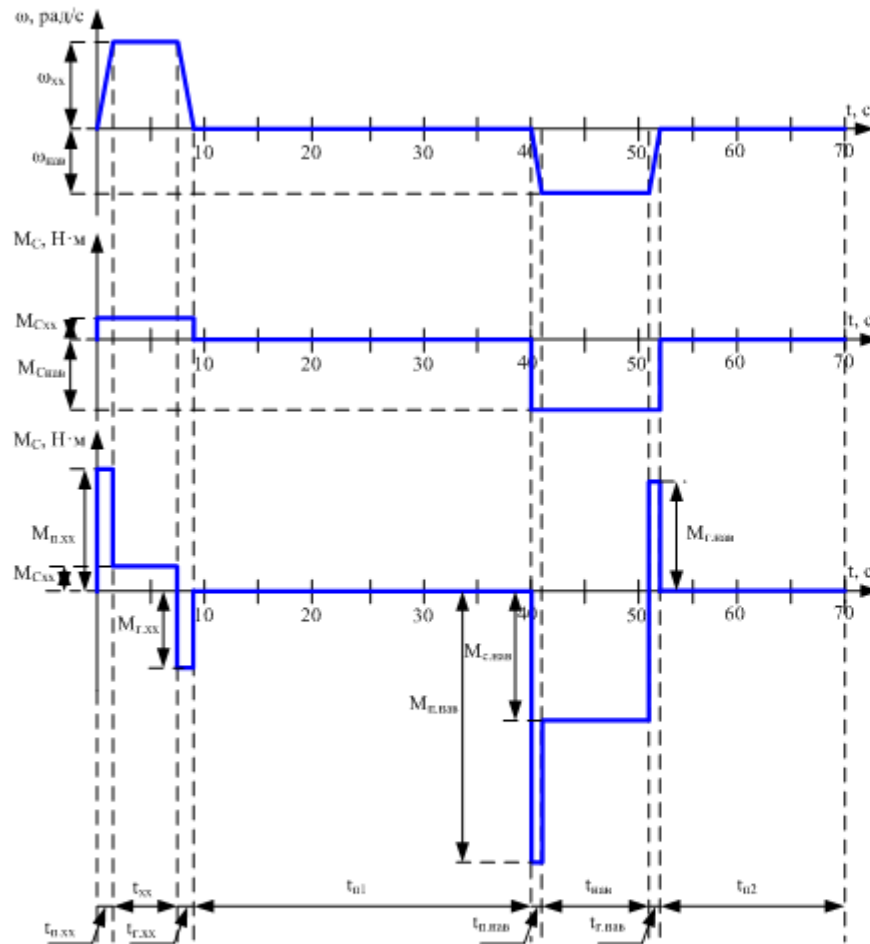
Технічні характеристики мостового крана



Зовнішній вигляд мостового крана

Параметр	Значення
Режим роботи крана	A3
Швидкість підйому крана, м/с	0,16
Вантажопідйомність крана, т	16
Швидкість пересування крана, м/с	0,85
Швидкість пересування візка, м/с	0,85
Висота підйому крана, м	12,2
Рід споживаного струму	змінний 380 В
Проліт крана, L1, м	25
Габаритні розміри крана Н / В / L, мм	66240 / 16482 / 25860
Маса конструкції з підвісною візком, тонн	45

Розрахунок потужності двигуна механізму переміщення мостового крана



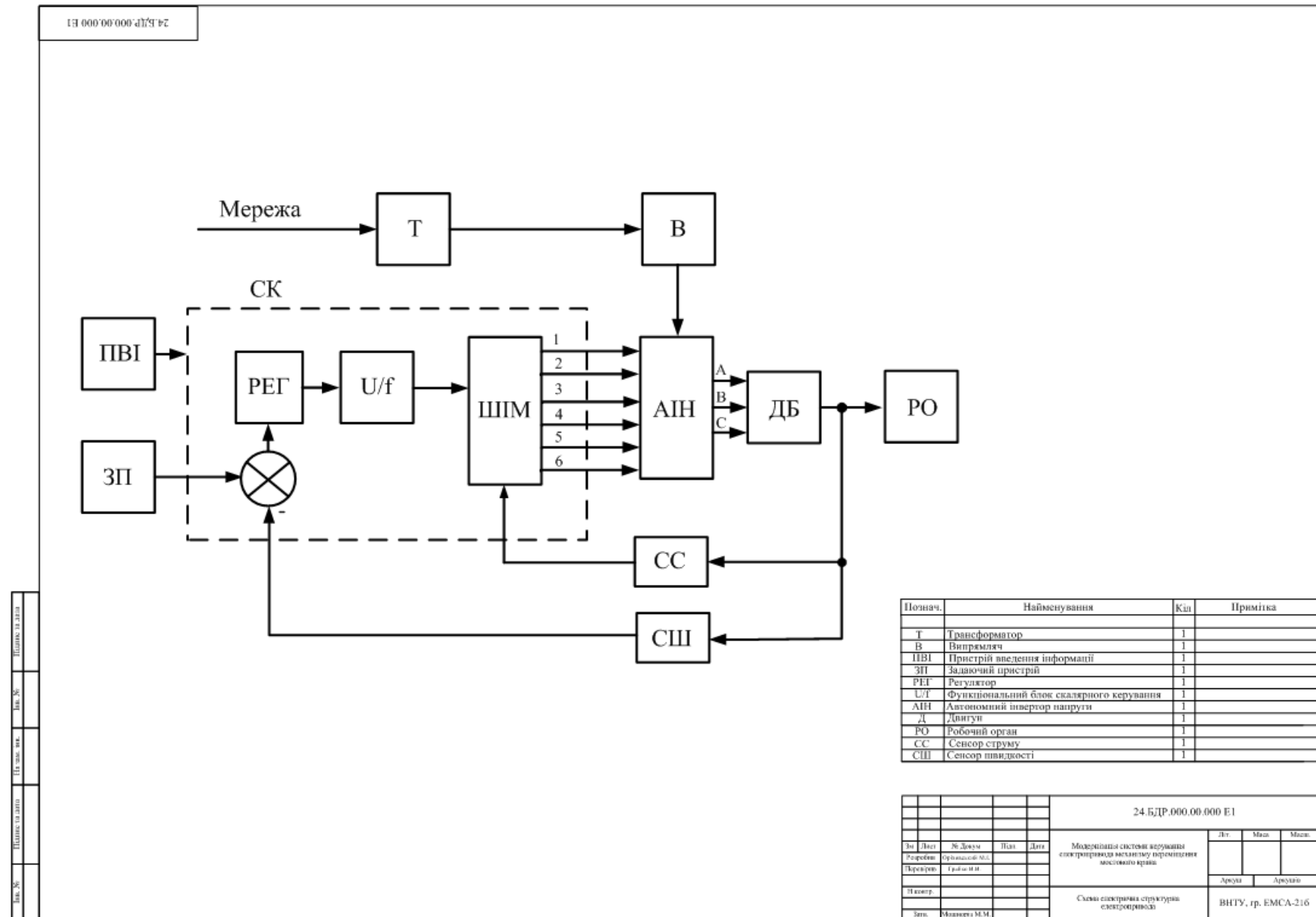
Паспортні дані двигуна

Параметр	Значення
Тип двигуна	ДМТКФ 112-6
Номинальна потужність P_n , кВт	5
Номинальна частота обертання n_n , об/хв	900
Напруга статора, В	380
Номинальний струм статора, А	14
ККД η_n , %	74
Коефіцієнт потужності в номінальному режимі	0,74
Пусковий струм, А	24,2
Пусковий момент $M_{дв.пуск}$, Н·м	145
Критичний момент $M_{дв.к}$, Н·м	155
Струм холостого ходу для номінального режиму, А	8
Момент інерції двигуна J_d , кгм ²	0,09
Маса, кг	92

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Показники	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР	ТП-ДПС	ТРН-АД	ПЧ-АД
Потужність двигуна P_n , кВт	5	5	5	5	5
Вартість двигуна (Д), грн.	16800	14500	16800	11200	11200
Вартість системи керування (СК), грн.	8200	8600	13100	12400	18300
Капіталовкладення $K = Д + СК$, грн.	25000	23100	29900	23600	29500
E_a	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Амортизаційні відрахування, $С_a = E_a \cdot K$, грн.	2500	2310	2990	2360	2950
E_o	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Витрати на обслуговування і ремонт, $С_o = E_o \cdot K$, грн.	1250	1155	1495	1180	1475
Вартість електроенергії m_o , грн/кВт·год	7,7714	7,7714	7,7714	7,7714	7,7714
Коефіцієнт завантаження, k_z	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Річний час роботи T_r , год	2500	2500	2500	2500	2500
ККД η_m , %	0,8	0,85	0,82	0,87	0,92
Втрати потужності, $\Delta P = k_z \cdot P_n \cdot (1 - \eta_m / \eta_d)$, кВт	0,88	0,62	0,77	0,52	0,3
Кількість втраченої енергії за рік $\Delta W = \Delta P \cdot T_r$, кВт·год	2200	1550	1925	1300	750
Витрати на електроенергію, $С_{\Delta W} = m_o \cdot \Delta W$, грн	17097	12046	14960	10103	5829
Собівартість $C = C_a + C_o + C_{\Delta W}$, грн.	20847	15511	19445	13643	10254
Нормативний коефіцієнт економічної ефективності E_n	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Зведені витрати $Z = E_n \cdot K + C$, грн.	25097	19438	24528	17655	15269

Схема електрична структурна електропривода



Статичні характеристики електропривода

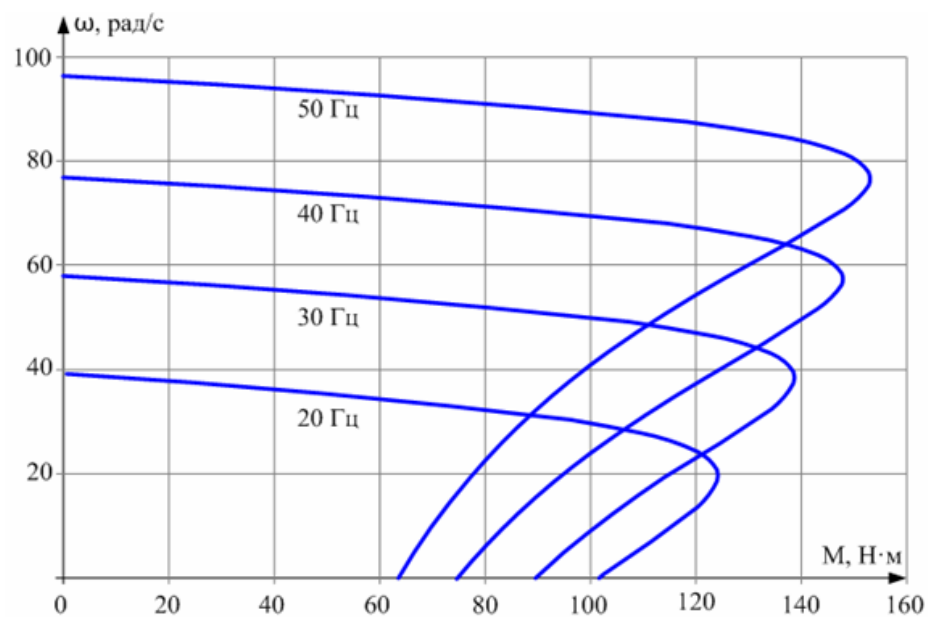
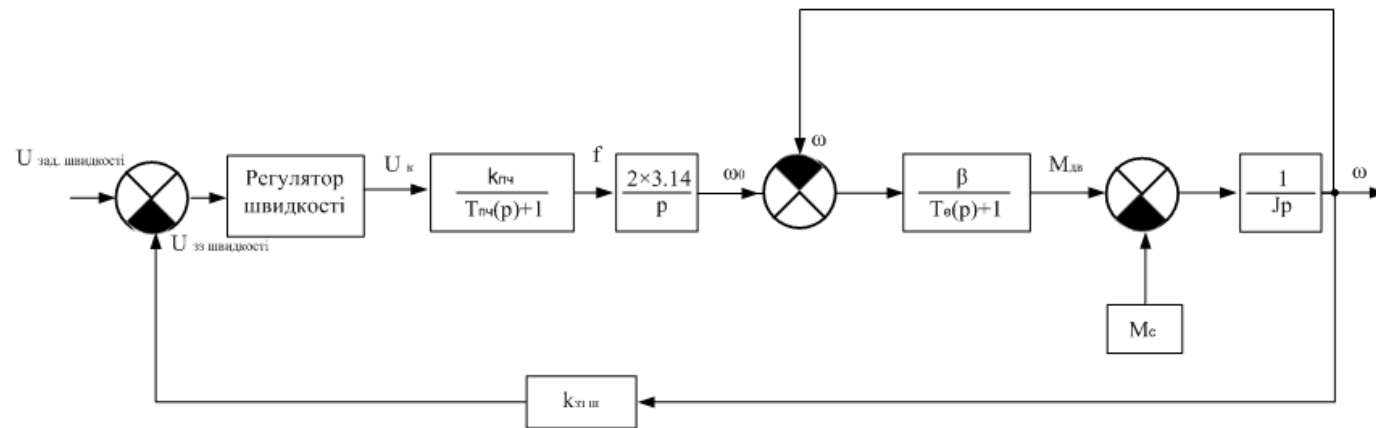
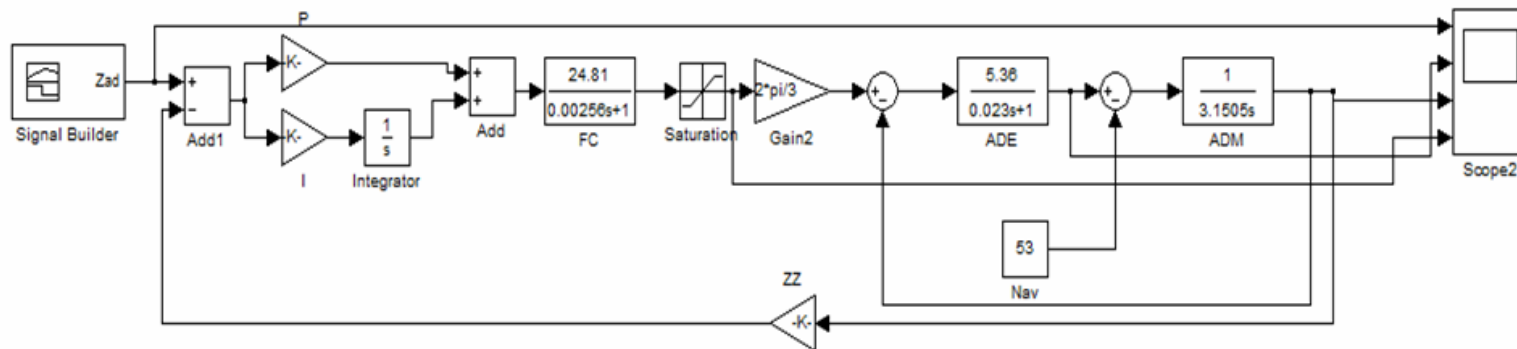


Рисунок 5.2 – Механічні характеристики АД з КР при частотному керуванні

Структурна схема системи керування електроприводом

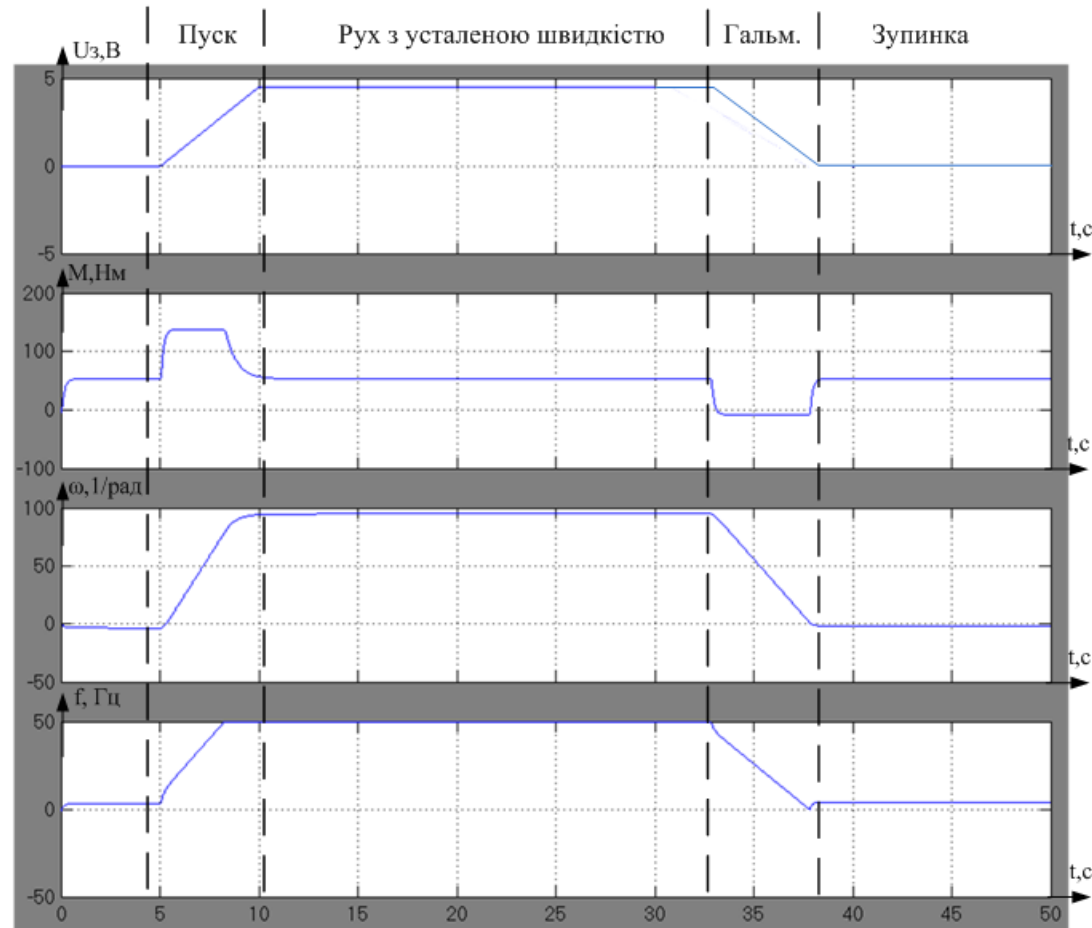


Структурна схема системи керування



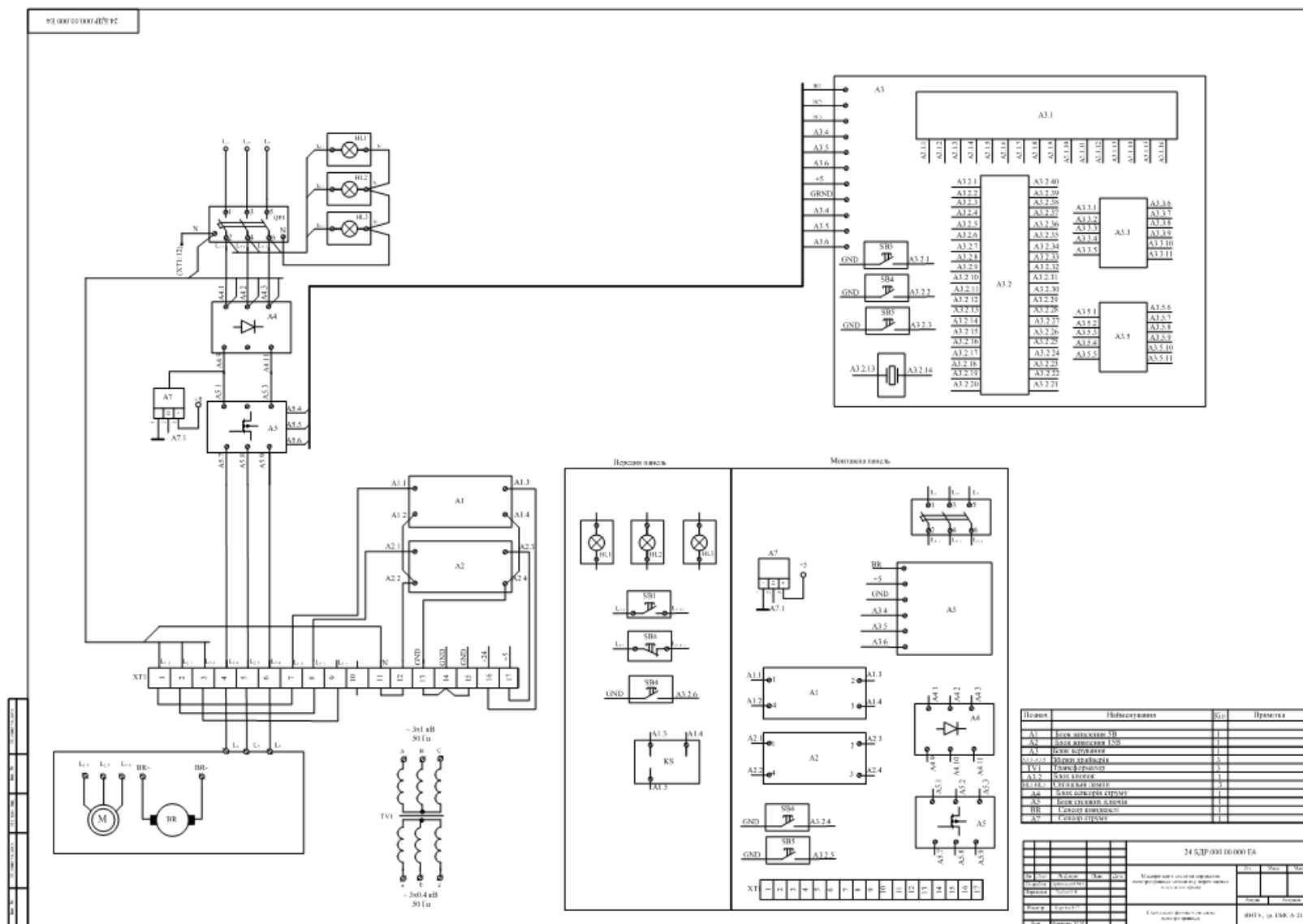
Структурна схема моделі системи в ППП Matlab Simulink

Результати моделювання перехідних процесів системи електропривода



$U_z = f(t)$ – задаюча напруга; $M = f(t)$ – момент двигуна;
 $\omega = f(t)$ – кутова швидкість обертання двигуна; $f = f(t)$ – частота
 статора двигуна.

Схема електрична монтажна електропривода



Висновки по роботі

Наукова новизна одержаних результатів.

В роботі отримані наступні результати:

Удосконалено математичну модель керування механізмом переміщення мостового крана, орієнтовану на систему з частотним перетворювачем та асинхронним двигуном. Модель забезпечує гнучке налаштування під різні умови експлуатації, що дозволяє значно розширити сферу її застосування для сучасних систем керування.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці на основі математичної моделі структурних схем систем керування механізмом переміщення мостового крана, що працює з частотним перетворювачем і асинхронним двигуном, із використанням сучасної промислової елементної бази.

Впровадження таких пристроїв забезпечує підвищення ефективності, надійності та якості керування механізмом переміщення, а також покращує безпеку експлуатації електричних мереж завдяки більш досконалому контролю та стабільності роботи системи.

Достовірність теоретичних положень бакалаврської дипломної роботи підтверджується коректним застосуванням математичного апарату, за допомогою якого здійснювався розрахунок та налаштування системи керування електроприводом.

Особистий внесок здобувача. Основні результати формулювання відповідних висновків отримані автором самостійно.

Додаток В
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Модернізація системи керування електропривода механізму переміщення мостового крана

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕМСА-216

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism **26,77 %**

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Зав. кафедри КЕМСК Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Гарант ОП Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Грабко В.В

(прізвище, ініціали, посада)

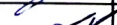
Здобувач

(підпис)

Оріховський М.І.

(прізвище, ініціали)

08-24.БКР.013.00.000

					08-24.БКР.013.00.000										
					МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВОГО КРАНА					Літ.		Маса	Масш.		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата							у				
Розробив		Оріховський М.І.		20.05											
Перевірів		Габко В.В.		20.05											
										Аркуш		Аркушів			
Рецензент		Мудиле Ю.А.		10.06						ВНТУ, гр. ЕМСА-216					
Н. контр.		Жуков О.А.		03.06											
Затв.		Мошноріз М.М.		03.06											