

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 дипломна робота на тему:

«ЕЛЕКТРОПРИВОД ЕЛЕКТРОКАРИ»

Виконав: студент 4 курсу, гр. 1ЕМ-206
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)
Сєєєє Сергій СІВОХІН
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

Керівник: д. т. н., проф. кафедри КЕМСК
Володимир ГРАБКО
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)
« 28 » 05 2024 р.

Рецензент: к. т. н., доц. каф. ЕСЕМ
Бабенко О. В.
(прізвище та ініціали)
« 10 » 06 2024 р.

Допущено до захисту
Зав. кафедри [підпис]
« 28 » 05 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

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 _____ «Електромеханіка»

Завідувач кафедри

К.Т.Н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

"11" 03 2024 року

Сівохіну Сергію Денисовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Електропривод електрокари

Порівнює роботи Грабко Володимир Віталійович, д.т.н., проф. каф.КЕМСК

Пізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом вищого навчального закладу від “11” 03 2024 року № 80

2 Термін подання студентом роботи

Вихідні дані до роботи: швидкість руху електронавантажувача – 2,5 км/год,
маса електронавантажувача – 2300 кг, маса номінального вантажу – 1000 кг,
прискорення вільного падіння $g - 9,81 \text{ м/с}^2$ загальне передаточне число $i - 16$, шлях,
по якому буде рухатися електронавантажувач, $H - 100 \text{ м}$.

Зміст текстової частини: Вступ. 1 Аналіз режимів роботи та характеристик досліджуваного механізму. 2 Розрахунок потужності привідного двигуна електрокари. 3 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода. 4 Вибір електродвигуна та його перевірка. 5 Вибір схеми електропривода. Розробка схеми електричної структурної системи електропривода. 6 Математичні моделі САЕП. 7 Розробка схеми електричної принципової системи електропривода. 8 Математичне моделювання та оцінювання динамічних характеристик САЕП. 9 Охорона праці. Висновки.

Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження; Загальна характеристика, будова, особливості механізму. Розрахунок потужності приводного двигуна ескалатора. Техніко-економічне обґрунтування вибору СЕП. Вибір двигуна та його перевірка. Базова схема керування ЕП. Розробка схеми електричної структурної системи ЕП. Математична модель електромеханічної системи електропідіймача. Схема електричної принципова керування ЕП електрокари. Дослідження динамічних характеристик СЕП електрокари. Дослідження динамічних характеристик СЕП електрокари. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконав прийняв
Спеціальна частина	д. т. н., проф. каф. КЕМСК Гребко В.В.	11.03.24	28.05.24
Охорона праці	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	11.03.24	28.05.24

7. Дата видачі завдання 11.03.24

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)	11.03.2024	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	21.05.2024	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	28.05.2024	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	28.05.2024	
5	Попередній захист БДР	28.05.2024	
6	Нормоконтроль БДР	28.05.2024	
7	Рецензування БДР	10.06.2024	
8	Захист БДР	12.06.2024	

Студент

Середа
(підпис)

Серій С'ВІХІН
(прізвище та іні

Керівник роботи

Гребко В.В.
(підпис)

Гребко В.В.
(прізвище та іні

Ключові с

важливий перет

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська дипломна робота складається з 114 сторінок формату А4, на яких є 32 рисунків, 16 таблиць, список використаних джерел містить 21 найменування.

В результаті виконання дипломної роботи було досліджено загальні характеристики електронавантажувачів, виконано опис будови та призначення основних вузлів електрокари, приведена коротка характеристика режимів його роботи та математична модель механічної частини електронавантажувача. Виконано розрахунок та вибір основних елементів електрообладнання силового кола системи електропривода, обґрунтовано особливості вибору частотно-регульованого приводу електрокари. Запропоновано структурну та принципову електричну схеми системи керування електроприводом та виконано розрахунок основних елементів силового кола перетворювача. 4. Запропоновано та адаптовано математичні моделі процесів, які протікають в системі електроприводу ПЧ-АД із використанням принципів векторного керування для потреб функціонування електропідіймача.

5. Проведено математичне моделювання та оцінювання динамічних характеристик в ППП MatlabSimulink. Отримані результати імітаційних досліджень доводять, що розроблений частотно-регульований електропривод електрокари забезпечує необхідні якісні показники. Запропонована схема системи управління дозволяє створювати бережливе енергоспоживання від АБ, точний вибір потужності двигуна, і найголовніше – отримати механічні характеристики АД.

Ключові слова: електропривод, електрокара, система керування, контролер, частотний перетворювач, моделювання, стійкість роботи, навантаження.

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 114 pages of A4 format, on which there are 32 figures, 16 tables, the list of used sources contains 21 names.

As a result of the diploma work, the general characteristics of electric forklifts were studied, a description of the structure and purpose of the main components of an electric truck was made, a brief description of its operation modes and a mathematical model of the mechanical part of an electric forklift were given. The calculation and selection of the main elements of the electrical equipment of the power circuit of the electric drive system were performed, and the features of the choice of the frequency-regulated drive of the electric car were substantiated. The structural and principle electrical scheme of the electric drive control system is proposed and the calculation of the main elements of the power circuit of the converter is performed. 4. Mathematical models of the processes that occur in the system of the electric drive of the IF-AD using the principles of vector control for the needs of the operation of the electric lift are proposed and adapted. Mathematical modeling and evaluation of dynamic characteristics was carried out in Matlab Simulink. The obtained results of simulation studies prove that the developed frequency-regulated electric drive of the electric car provides the necessary quality indicators. The proposed scheme of the control system allows you to create economical energy consumption from the AB, accurate selection of engine power, and most importantly - to obtain the mechanical characteristics of the AD.

Key words: electric drive, electric car, control system, controller, frequency converter, modeling, stability of operation, load.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ДОСЛІДЖУВАНОВОГО МЕХАНІЗМУ	9
1.1 Призначення, характеристики та параметри електрокари.....	9
1.2 Будова та призначення основних вузлів електрокари	11
1.3 Коротка характеристика режимів його роботи	16
1.4 Математична модель механічної частини електронавантажувача.....	17
2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ПРИВІДНОГО ДВИГУНА ЕЛЕКТРОКАРИ.....	20
2.1 Розрахунок приведених статичних моментів і тахограм електронавантажувача.....	20
2.2 Розрахунок та побудова тахограм робочого механізму.....	22
2.3 Розрахунок приведених інерційних мас і моментів інерції.....	24
2.4 Попередній вибір потужності електродвигуна.....	26
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	28
4 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ЙОГО ПЕРЕВІРКА.....	33
4.1 Вибір електродвигуна.....	33
4.2 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, умовами пуску та перевантажувальною здатністю.....	33
5 ВИБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	35
5.1 Переваги електротяги змінного струму.....	35
5.2 Електронні системи керування електроприводом.....	36
5.3 Розробка схеми електричної структурної системи електропривода.....	38
5.4 Розрахунок та вибір основних елементів силової схеми.....	42
6 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ САЕП.....	50
7 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	57

7.1 Розрахунок основних параметрів та характеристик системи керування	57
7.2 Вибір та обґрунтування типу мікроконтролера для керування системою електропривода.....	64
7.3 Розробка схеми електричної принципової системи керування електроприводом електрокари.....	67
8 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК САЕП.....	71
8 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	80
ВИСНОВКИ.....	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	94
ДОДАТКИ.....	97
ДОДАТОК А (обов'язковий) Технічне завдання.....	97
ДОДАТОК Б Графічна частина.....	102
ДОДАТОК В Протокол перевірки дипломної роботи на наявність текстових запозичень.....	114

ВСТУП

В даний час посилюється негативний вплив людської діяльності на навколишнє середовище, зростає кількість промислових підприємств, транспортних засобів, електро- і теплостанцій.

У 2012 році на планеті налічується близько 800 млн. автомобілів[1], до 2030 р. аналітики прогнозують двох кратне збільшення автомобілів, тобто до 1,6 млрд., тому проблема забруднень стає глобальніше з кожним роком. За результатами екологічних досліджень, проведених Міжнародним енергетичним агентством у 2010 році, викиди CO₂ припадають на транспорт становлять близько 26%, причому на автомобільний транспорт (легкові, вантажні автомобілі, автобус і мотоцикли) припадає 73,5%. Основними способами зниження викидів CO₂ в світі вважаються поліпшення паливної економічності автомобілів, застосування біопалив, використання комбінованих енергоустановок (гібридів) і застосування електромобілів.

Порівняно дешеві резерви підвищення паливної економічності двигунів внутрішнього згоряння вичерпуються, а розробка нових систем, що відповідають новим нормам і вимогам ЄЕК ООН обходиться занадто дорого. Встановлено, що подорожчання вартості легкового автомобіля тільки за установку систем, що забезпечують перехід від Євро III до Євро IV становить близько 1000 \$.

В даний час електромобілі набувають все більшої популярності. Електрифікація транспорту шляхом переходу до електромобілів безумовно покращить екологічну обстановку в містах, але повністю при цьому не вирішує екологічних проблем, оскільки ці проблеми переходять з транспортного сектора в енергетичний. Однак контролювати викиди шкідливих речовин електростанцій, які виробляють електроенергію для електромобілів набагато простіше і дешевше, ніж всіх, що експлуатуються транспортних засобів.

Переходу до електромобілів також сприяє істотне зростання цін на нафту в світі, який в свою чергу призводить до збільшення вартості автомобільного палива.

Стримуючим фактором масового застосування електромобілів на сьогоднішній день є висока вартість акумуляторних батарей - основною складовою вартості транспортного засобу. Акумуляторні батареї займають багато корисного простору і значно знижують вантажопід'ємність автомобілів. Однак з кожним роком їх масово-енергетичні характеристики поліпшуються при одночасному зниженні вартості.

На підставі вище викладеного можна зробити висновок, що дослідження і створення гібридних транспортних засобів і електромобілів є актуальною проблемою. Рішення даної проблеми ускладнюється і тим, що поки не існує єдиної загальноприйнятої класифікації даних транспортних засобів. Тому, розділимо електромобілі та гібриди по класах, тільки в залежності від вантажопідйомності:

1) Міні-електромобілі - є проміжним варіантом між автомобілем і мотоциклом;

2) Електромобілі по своїй місткості і вантажопідйомності відповідні малої середньо-літражних легкових автомобілів;

3) Електромобілі класу мікро-автобусів і міні-вантажівок вантажопідйомністю до 1,5 тони (клас легких комерційних автомобілів LCV).

Аналоги – Вантажний електромобіль Edison з повною масою до 3,5 тони, Peugeot Monarch (електробус) і Peugeot Boxer (вантажний електромобіль з металевим фургоном);

4) Електромобілі з вантажопідйомністю до 3 тонн. Аналоги – електромобілі «Фарадей» і Modex;

5) Електромобілі вантажопідйомністю до 5 тон і електробуси місткістю близько 50 місць. Аналог - електромобіль «Ньютон» з повною масою 7,2 тон;

6) Електромобілі вантажопідйомністю понад 5 тон, в тому числі і у вигляді сідельних тягачів;

7) Електромобілі великої місткості, в тому числі з гібридним приводом.

Виробництво електромобілів другого і третього типорозмірів є завданням першочергового порядку. Ці типи електромобілів повинні мати розширені можливості по універсальності, так як будуть потрібні для заміни частини легкових, невеликих вантажних автомобілів і мікроавтобусів різних призначень в міських умовах і в сільській місцевості.

Тому, в умовах нашої держави доцільно розробляти електромобілі з класу LCV. В даний час електромобілі мають відповідати не тільки сучасним вимогам, але і вимогам в перспективі.

Об'єктом дослідження в роботі є процеси перетворення енергії, які протікають в електротехнічній системі електропривода електрокари.

Предметом дослідження є структури та математичні моделі, які дозволяють підвищити експлуатаційну та функціональну ефективність електропривода електрокари.

Метою бакалаврської дипломної роботи є модернізація системи електропривода електрокари для забезпечення ресурсозберігаючої та економічної його роботи відповідно до інтенсивності завантаження механізму шляхом впровадження сучасних програмованих контролерів із мінімальним втручанням людини в процеси функціонування.

В процесі виконання поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- привести коротку характеристику та режими роботи виробничого механізму;
- виконати розрахунок та вибір потужності електродвигуна механізму;
- виконати техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода електрокари;

- здійснити розрахунок, вибір та побудову електричної принципової та принципової схем системи електроприводу із застосуванням сучасних засобів автоматизації;

- для вибраної системи електроприводу виконати математичне моделювання та оцінювання динамічних характеристик.

Особистий внесок здобувача. Основні результати роботи отримано автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на науково-технічній конференції Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)».

Публікації. За тематикою дослідження опубліковано 1 тези доповідей матеріалів конференцій:

Електропривод електрокари/ С.Д. Сівохін, В.В. Грабко – Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, 2024. [Електронний ресурс]. URL:.. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 3 с.

1 АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ДОСЛІДЖУВАНОВОГО МЕХАНІЗМУ

1.1 Призначення, характеристики та параметри електрокари

Електронавантажувач є затребуваним типом підлогового транспорту, за допомогою якого здійснюються вантажно-розвантажувальні роботи, переміщення та штабелювання вантажів. Він активно використовується на закритих робочих майданчиках з добре налагодженим мікрокліматом та суворими екологічними вимогами. Електричний навантажувач запитується від спеціальних тягових акумуляторних батарей, що встановлюються у його корпус. Сьогодні виробники самохідної вантажної техніки на електричній тязі випускають кілька типів батарей. Вони відрізняються між собою вимогами з експлуатації та обслуговування, мають певні відмінності у конструкції. Отже, які типи АКБ для електронавантажувача найбільш популярні? У чому їх особливості та переваги? Як можна продовжити термін експлуатації АКБ?



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд вилкового
навантажувача (електрокари)

Перевага вилкових навантажувачів із використанням електричної тяги з літєвими акумуляторами виявляється у низькій вартості експлуатації протягом усього терміну служби. Порівняно зі свинцево-кислотними акумуляторами, літєві батареї мають у 3 рази більший термін експлуатації, відрізняються низькими експлуатаційними витратами, більше підходять для роботи в кілька змін і не потребують технічного обслуговування. Інтелектуальний підігрів АКБ дозволить навантажувачу працювати без втрати потужності в холодильнику та складах з негативною температурою.

Характеристики:

- тривалий термін служби (циклічний ресурс);
- більше 75% ємності зберігається після 4000 циклів заряду-розряду, що відповідає 8-10 року експлуатації;
- не потребує обслуговування;
- немає потреби у щоденному обслуговуванні, додаванні рідини та захисті від пилу. Не потрібно спеціально обладнаних приміщень для заряджання;
- швидка зарядка;
- повна зарядка акумулятора відбувається за 2-2,5 годин замість 9-10 годин для кислотної батареї;
- можливість заряджати у будь-який час;

Можливість заряджання акумулятора протягом короткого інтервалу від 15 хвилин у будь-який зручний час, що дає можливість навантажувачу відпрацювати ще кілька годин.

Висока продуктивність та економія енергії. Після 2 годин заряджання навантажувач може працювати 6-8 годин; немає необхідності замінювати АКБ, що дозволяє економити кошти та підвищує безпеку та продуктивність робіт.

Високий ККД батареї. Коефіцієнт перетворення енергії 90-95%. Досягається тим, що навантажувача гідравліка відключається на 90%

розряду, а двигун ходу на 95%.

Чудова продуктивність при низьких температурах. Працює за низьких температур до -30°C . Інтелектуальний підігрів АКБ дозволить навантажувачу працювати без втрати потужності в холодильнику та складах з негативною температурою.

Висока безпека. Надійна модульна закрита конструкція літєвої батареї та всього навантажувача. Матеріал АКБ літій-залізо-фосфат (LiFePO_4) на сьогодні є найбезпечнішим. Термічна та хімічна стабільність АКБ

Екологічно чистий тип АКБ. Відсутність викидів в атмосферу, низький рівень шуму, відсутність важких металів

1.2 Будова та призначення основних вузлів електрокари

Основним підйомним пристроєм електронавантажувача являються вила, монтовані на вертикальному візку. Але на їх місці можуть бути монтовані і інші змінні пристрої:

- Боковий поворотний захват. Він призначений для транспортування, поперечного зміщення і штабелювання вантажів циліндричної форми різного діаметру.

- Стріла. Вона призначена для роботи з різними штучними вантажами складної конструкції, які із-за форми, розміру і ваги неможливо класти на піддони.

- Ківш. Він призначений для роботи з сипучими матеріалами.

- Штир. Він призначений для транспортування кільцеподібних і трубчатих вантажів.

- Багатоштирьовий захват. Він призначений для транспортування мішків і рулонів, покладених горизонтально.

- Три пари коліс. Вони призначені для більш надійної роботи на будь-якому покритті.



Рисунок 1.2 – Модифікації електронавантажувача.

Електронавантажувачі складаються (рисунок 1.3) з пристрою керування, командного пристрою, гальмівної системи, шасі, причіпного пристрою, ведучих коліс, ведучого моста, ресорів, електричного обладнання, керуючих коліс, керуючого моста.

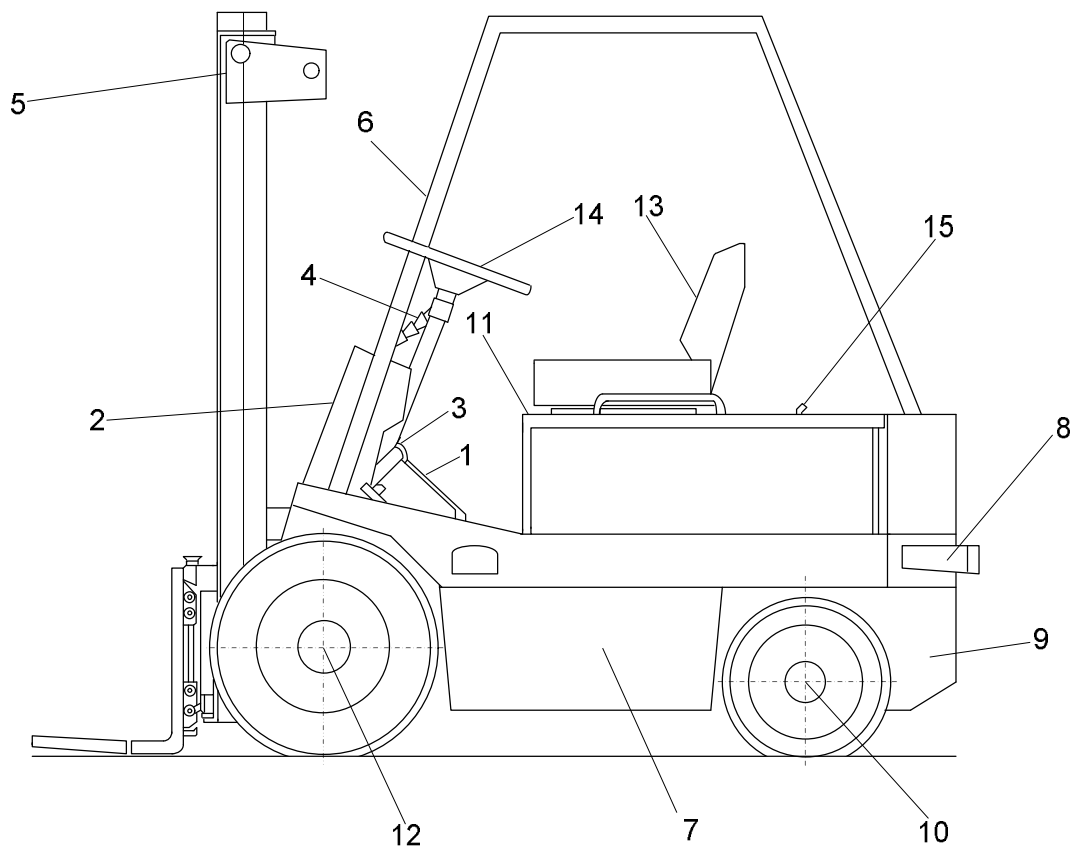


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд та будова

На рисунку 1.3 приведені такі позначення: 1 – командний пристрій; 2 – пульт керування; 3 – гальмівна система; 4 – гідравлічна система; 5 – вантажопідіймальний пристрій; 6 – захисна решітка; 7 – електричне обладнання; 8 – тяг; 9 – протитяг; 10 – керувальний міст; 11 – шасі; 12 – трансмісія; 13 – сидіння; 14 – система керування; 15 – верхня кришка.

Шасі 11 (рисунок 1.3) являється несучою конструкцією для монтажу пристроїв. Воно являє собою зварну конструкцію, виконану з листової сталі і профілів.

Трансмісія 12 жорстко прикріплена до шасі. Обертаючий момент від тягового електродвигуна передається на ведучі ходові колеса за допомогою регулятора і головної передачі.

Керувальний міст 10 підвішений до шасі гумовими ресорами і кулісами, якими забезпечується його бокове котіння і вертикальний відхил при русі.

Ведучий міст підвішений до шасі за допомогою поперечних ресорів з листової сталі і гумових ресорів.

Електронавантажувач керується за допомогою механічної передачі 14.

Гальмівна система 3 має ножні гідравлічні гальма для гальмування електровізка і ручні механічні гальма для затримання її на місці, коли електровізок зупинений. Гальма діють на колеса, керуючого моста.

До електричного устаткування 7 відносять акумуляторні батареї, електродвигун, електричні апарати, пристрої і електричну проводку.

Акумуляторні батареї можуть бути лужними або кислотними, також може бути привід з живленням через гнучкий кабель від промислової мережі 380 В [2].

Гідравлічна система 4 приводить в рух вантажопідіймний пристрій 5, який захватує, піднімає і розвантажує вантаж за допомогою змінних пристроїв.

Сидіння 13 водія може регулюватися, воно обладнано амортизаторами і забезпечує зручність при роботі на навантажувачі.

За допомогою тяжа 8 можуть приєднуватися прицепи, але слід мати на увазі, що навантажувач не повинен експлуатуватися в якості тягача, основне його призначення – щоб витягнути навантажувач, який потрапив у аварію, або важкі дорожні умові.

Ведучий міст (рисунок 1.4) несе частину ваги електронавантажувача (і вантажа) і призводить його до руху. Ведучий міст підвішений на двох полуеліптичних ресорах в задній частині шасі і несиметричний у відношенні розположення картеру головної передачі і диференціального механізму.

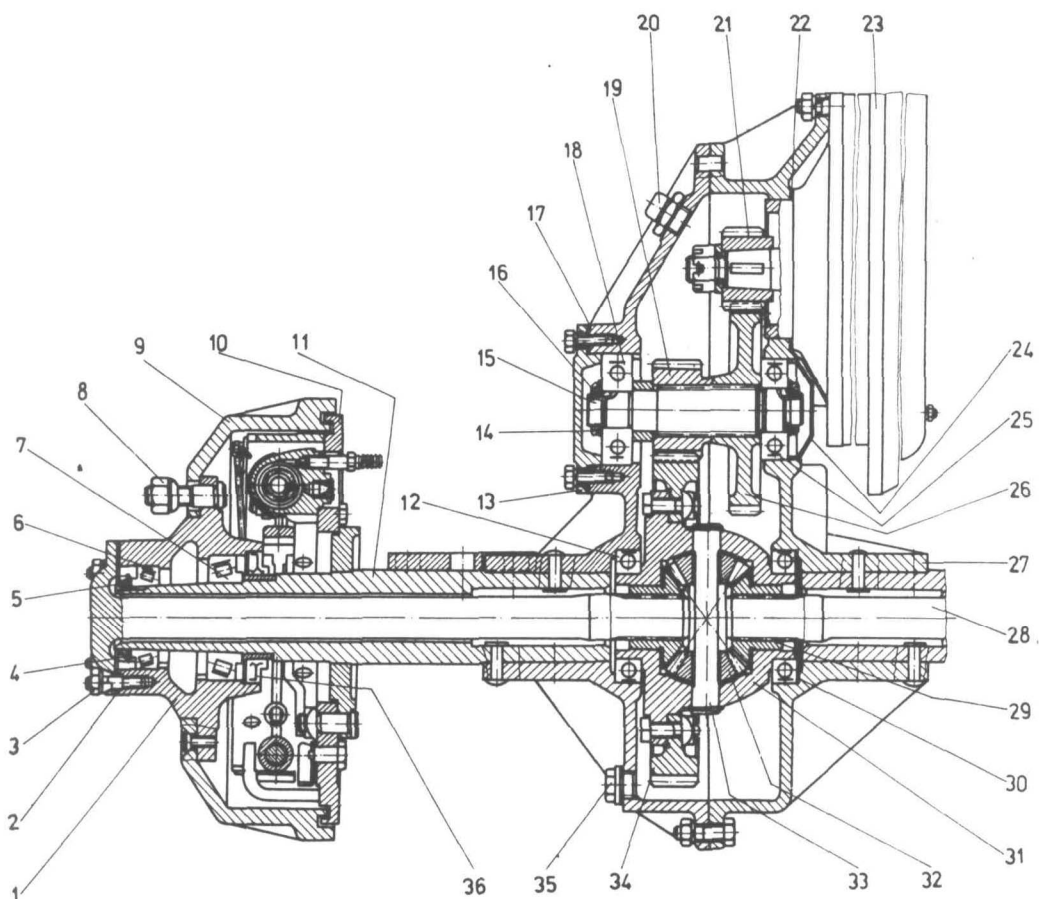


Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд та будова моста електрокари

На рисунку 1.4 приведено такі позначення: 1 - ступиця; 2, 17 і 36 - утовщення; 3, 5 і 16 - гайки; 4 і 14 - шайби запобіжні; 6, 7, 12, 18 і 25 -

шестерня головної передачі; 6 – циліндрична ведена шестерня головної передачі; 7 – диференціал; 8 – напіввал; 9 – ведучі колеса [3].

1.4 Коротка характеристика режимів його роботи

Електронавантажувачі являються підйомно-транспортними машинами, які призначені для опрацювання вантажів до 2000 кгс на піддонах при висоті підйому 3300 мм.

За підйомну функцію електронавантажувача відповідає вантажопідйомний пристрій. Він розміщений в передній частині електронавантажувача, захвачений шарнірно і може нахилитися вперед і назад. Ця властивість створює зручність при підйомі і штабелюванні вантажу і надійність при транспортуванні. Вантажопідйомний пристрій приводить в рух гідравлічна система.

Принцип дії вантажопідйомного пристрою:

Коли несуча балка буде піднята плунжером циліндра підйому і пройде холостий хід в 83 мм (166 мм для вертикальної каретки), вона зупиниться в верхній балці рухомої рами. Рухома рама і несуча балка під дією плунжера піднімуться і витягнуть на верх вертикальну каретку на необхідну висоту.

Коли обмежувач вертикальної каретки зупиниться в верхній балці рухомої рами, почнеться підйом і вертикальної каретки. Висота підйому вертикальної каретки обмежується рухом циліндра підйому.

При спуску вертикальної каретки і рухомої рами все відбувається в зворотному порядку.

Редукція (обмеження) ваги номінального вантажу в залежності від руху центра його ваги по довжині вил приводиться в будь-якому випадку неавтоматично під контролем водія, який повинен точно додержуватися діаграмі навантажень (Рис.1.5).

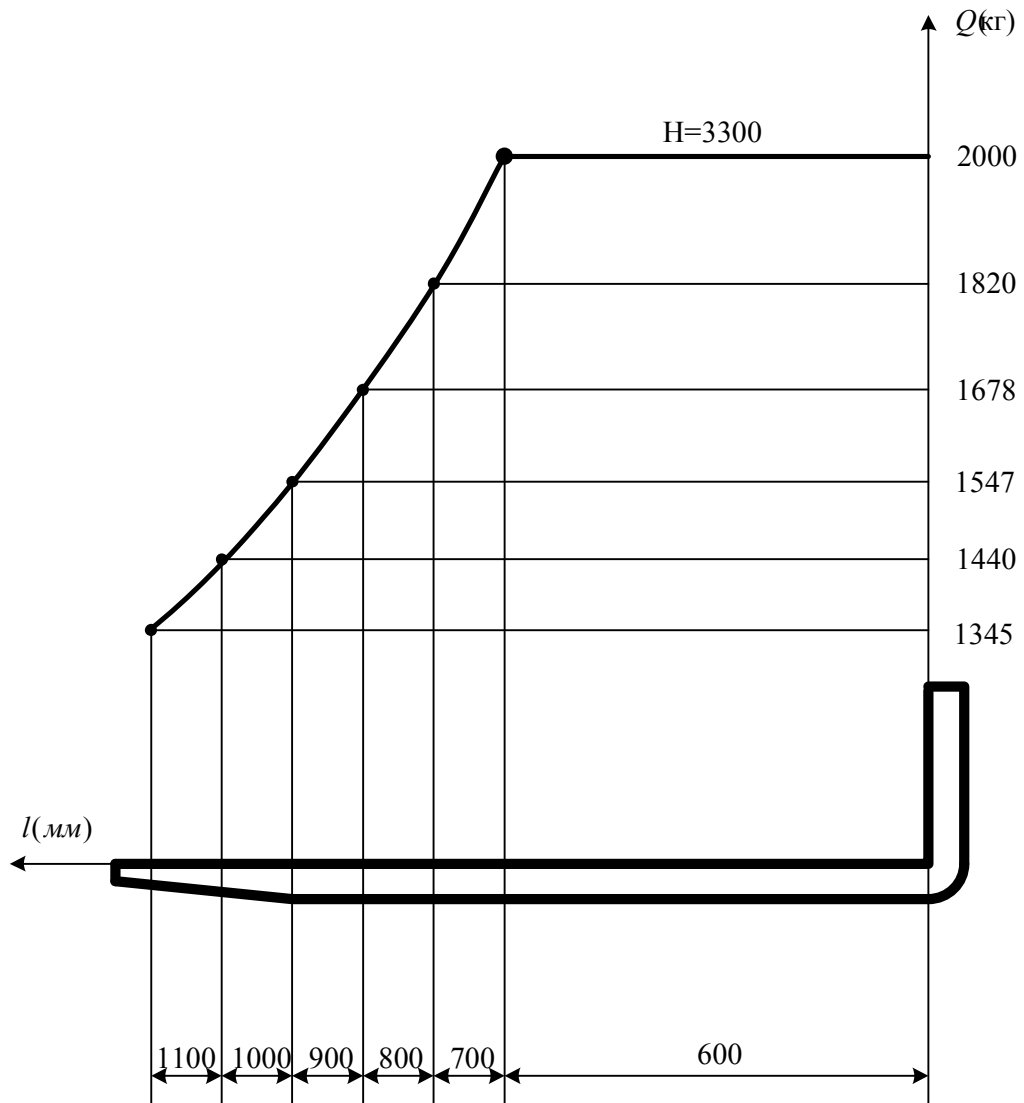


Рисунок 1.5 – Діаграма навантажень.

1.5 Математична модель механічної частини електронавантажувача

Рівняння руху електрокари встановлюють у диференціальній формі зв'язок між швидкістю руху v , часом t і пройденою електровозом відстанню, і дають можливість визначити характер руху електрокари $v(t)$.

Для повного опису динаміки руху електронавантажувача необхідно визначити моменти інерції частин, що обертаються. Чисельне значення коефіцієнта інерції $(1+\gamma_e)$ можна визначити скориставшись рівнянням еквівалентної маси електровозу [3 - 5].

На рисунку 1.3 приведена схема моментів інерцій, що діють на механічну систему електронавантажувача.

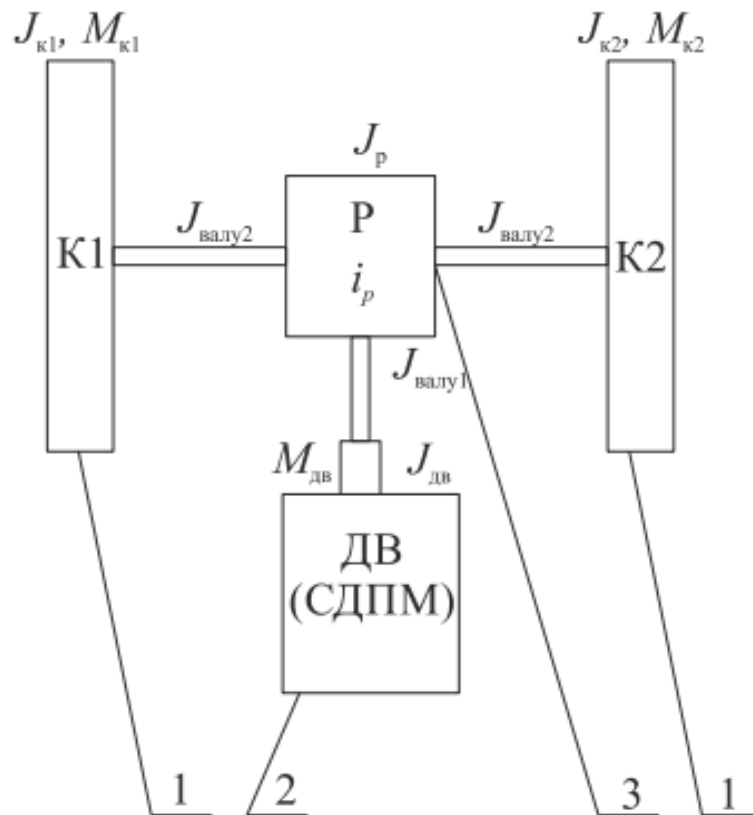


Рисунок 1.6 – Схема моментів інерцій, що діють на механічну систему електронавантажувача

На рисунку 1.6 приведено такі позначення: 1 – приводні колісні пари; 2 – ротор двигуна; 3 – вали редуктора.

Для спрощення математичного описання динаміки руху електронавантажувача приймаються наступні допущення:

- кочення коліс відбувається як по абсолютно твердому тілу без деформації матеріалу й проковзування;
- тип зубчастої передачі — прямозубий;
- шестерня й зубчасте колесо жорстко посаджені відповідно на валу тягового двигуна й на вісі колісної пари;
- не враховується інерційність ротора двигуна, зубчастої передачі й колісної пари електронавантажувача;

- не враховується перерозподіл навантажень між рушійними осями, а також динамічні навантаження від коливань обресорених мас;
- не враховується розсіювання енергії дисипативними силами.

Частини електронавантажувача, що обертаються мають циліндричну форму, внаслідок чого відношення радіусів інерцій ρ до фізичних радіусів R механізмів, що обертаються, досить стабільні, тому коефіцієнт інерції $(1+\gamma_e)$ на практиці визначають на підставі експериментальних даних згідно.

2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДНОГО ДВИГУНА ЕЛЕКТРОКАРИ

2.1 Розрахунок приведених статичних моментів і тахограм електронавантажувача

Швидкість руху електронавантажувача, в м/с:

$$v = V \cdot \frac{1000}{3600}, \quad (2.1)$$

де V – швидкість руху електронавантажувача, в км/год.

$$v = 9 \cdot \frac{1000}{3600} = 2,5 \text{ (м/с)}.$$

Повна маса електронавантажувача з номінальним вантажем:

$$m_{\Sigma} = m_{\text{EH}} + m_{\text{НОМ}} \quad (2.2)$$

де m_{EH} – маса електронавантажувача;

$m_{\text{НОМ}}$ – маса номінального вантажу.

$$m_{\Sigma} = 2300 + 1000 = 3300 \text{ (кг)}. \quad (2.2)$$

Вага електронавантажувача:

$$G_{\text{EH}} = m_{\text{EH}} \cdot g, \quad (2.3)$$

де g – прискорення вільного падіння, ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$).

$$G_{\text{EH}} = 2300 \cdot 9,81 = 22563 \text{ (Н)}.$$

Вага електронавантажувача з номінальним вантажем:

$$G_{\Sigma} = m_{\Sigma} \cdot g, \quad (2.4)$$

$$G_{\Sigma} = 3300 \cdot 9,81 = 32373 (\text{Н}).$$

Радіус ведучого колеса:

$$R_K = D_K / 2, \quad (2.5)$$

де D_K – діаметр ведучого колеса.

$$R_K = 0,5 / 2 = 0,25 (\text{м}).$$

Кутова швидкість на валу колеса:

$$\omega_K = V / R_K, \quad (2.6)$$

$$\omega_K = 2,5 / 0,25 = 10 (\text{с}^{-1}).$$

Швидкість обертання колеса:

$$n_i = \frac{60 \cdot \omega_i}{\pi \cdot 2}, \quad (2.7)$$

$$n_e = \frac{60 \cdot 10}{3,14 \cdot 2} = 96 (\text{об/хв}).$$

Швидкість обертання двигуна знайдемо із формули:

$$n_{ДВ} = i \cdot n_R \quad (2.8)$$

де i – загальне передаточне число ($i=16$).

$$n_{ДВ} = 16 \cdot 96 = 1536 (\text{об} / \text{хв}).$$

Кутова швидкість на валу двигуна:

$$\omega_{ДВ} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{ДВ}}{60} \quad (2.9)$$

$$\varpi_{дв} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1536}{60} = 161 (с^{-}).$$

Приведений момент опору на валу двигуна:

$$M_c = \frac{G \cdot (\mu \cdot r + f)}{i \cdot \eta}, \quad (2.10)$$

$$M_c = \frac{22563 \cdot (0,054 \cdot 0,1 + 0,001)}{16 \cdot 0,8} = 11,3 (H \cdot m)$$

Приведений момент опору на валу двигуна при максимальному навантаженні:

$$M_c = \frac{G \cdot (\mu \cdot r + f)}{i \cdot \eta}, \quad (2.11)$$

$$M_c = \frac{32373 \cdot (0,054 \cdot 0,1 + 0,001)}{16 \cdot 0,8} = 11,3 (H \cdot m).$$

2.2 Розрахунок та побудова тахограм робочого механізму

Цикл роботи механізму складається із однієї технологічної операції: пересування електронавантажувача з вантажем. Технологічна операція включає в себе розгін, усталений режим роботи та гальмування.

Приймаємо, що шлях по якому буде рухатися електронавантажувач: $H = 100$ (м);

Час пуску і гальмування електронавантажувача з вантажем приймаємо відповідно рівними між собою.

Час пуску та гальмування привода з вантажем:

$$t_{\pi} = t_r = \frac{V}{a}, \quad (2.12)$$

$$t_{\Pi} = t_{\Gamma} = \frac{2,5}{2} = 1,25 (c).$$

Шлях пройдений при переміщенні електронавантажувача з усталеною швидкістю:

$$H_{\text{ПЕР}} = H - V \cdot (t_{\Pi} + t_{\Gamma}),, \quad (2.13)$$

$$H_{\text{ПЕР}} = 100 - 2,5 \cdot (1,25 + 1,25) = 93,75 (м).,$$

Усталений час руху з вантажем:

$$t_{\text{УСТ}} = \frac{H_{\text{ПЕР}}}{V}, \quad (2.14)$$

$$t_{\text{УСТ}} = \frac{93,75}{2,5} = 37,5 (c).,$$

Час роботи за технологічну операцію:

$$t_T = t_{\Gamma} + t_{\text{УСТ}} + t_{\Pi}, \quad (2.15)$$

$$t_T = 1,25 + 37,5 + 1,25 = 40 (c).$$

де $t_{\text{пуск}}$ – час пуску

$t_{\text{уст}}$ – час установлення

t_{Γ} – час гальмування

Час циклу:

$$t_{\text{Ц}} = t_T + t, \quad (2.16)$$

$$t_{\text{Ц}} = 40 + 50 = 90 (c).$$

Тривалість включення:

$$TB_{\text{Зад}\%} = \frac{t_T}{t_{\text{Ц}}}, \quad (2.17)$$

$$TB_{34\%} = \frac{40}{90} \cdot 100\% = 44\%.$$

Так як тривалість включення у нас дорівнює 44, то стандартна тривалість включення буде 40.

Побудуємо тахограму роботи механізму, приведену на рисунку 2.1.

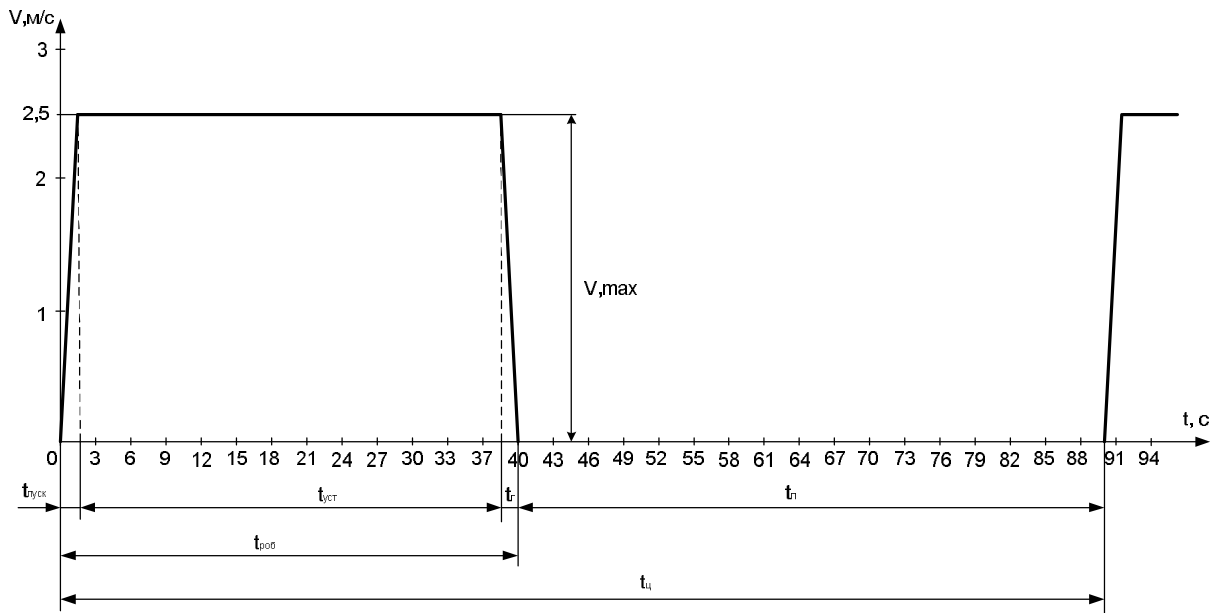


Рисунок 2.1 – Тахограма роботи механізму

2.3 Розрахунок приведених інерційних мас і моментів інерції

Для знаходження динамічного моменту необхідно знайти приведений до швидкості двигуна момент інерції механізму і передавального пристрою.

Момент інерції колеса:

$$I_{\dot{e}} = \frac{1}{2} \cdot m_{\dot{e}} \cdot r_{\dot{e}}^2, \quad (2.18)$$

де $m_{\dot{e}}$ – маса колеса, ($m_{\dot{e}} = 35$ кг);

$r_{\dot{e}}$ – радіус колеса ($r_{\dot{e}} = 0,5$ м).

$$I_{\dot{e}} = \frac{1}{2} \cdot 35 \cdot 0,5^2 = 4,375 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Приведений момент інерції механізму [6]:

$$I_{\dot{\alpha}\alpha} = J_{\alpha\alpha} + J_{pl} + \frac{J_{p2}}{i_1^2} + 2 \cdot \frac{m \cdot v^2}{\omega_{\alpha\alpha}^2}, \quad (2.19)$$

де $J_{\alpha\alpha}$ – момент інерції двигуна, ($J_{\alpha\alpha} = 0,0025 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$);

J_{pl} – момент інерції першого редуктора, ($J_{pl} = 0,1075 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$);

J_{p2} – момент інерції другого редуктора, ($J_{p2} = 0,3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$);

i_1 – передаточне число першого редуктора, ($i_1 = 4,5$).

$$I_{\dot{\alpha}\alpha} = 0,0025 + 0,1075 + \frac{0,3}{4,5^2} + 2 \cdot \frac{4,375}{7,8^2} + \frac{2300 \cdot 2,5^2}{1550^2} = 0,27 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Динамічний момент:

$$\dot{I}_{\ddot{\alpha}\dot{\alpha}} = I_{\dot{\alpha}\alpha} \cdot \frac{\omega_{\alpha\alpha}}{t_{i.\alpha}}, \quad (2.20)$$

$$\dot{I}_{\ddot{\alpha}\dot{\alpha}} = 0,27 \cdot \frac{161}{1,25} = 34,8 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Зайдемо моменти двигуна в основних режимах його роботи:

Пусковий момент двигуна:

$$M_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = \dot{I}_{\ddot{\alpha}\dot{\alpha}} + \dot{I}_{\ddot{\alpha}\dot{\alpha}}, \quad (2.21)$$

$$M_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = 16 + 34,8 = 50,8 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Гальмівний момент двигуна:

$$M_{\ddot{\alpha}\ddot{\alpha}} = \dot{I}_{\ddot{\alpha}\dot{\alpha}} - \dot{I}_{\ddot{\alpha}\dot{\alpha}}, \quad (2.22)$$

$$M_{\ddot{\alpha}\ddot{\alpha}} = 16 - 34,8 = -18,8 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

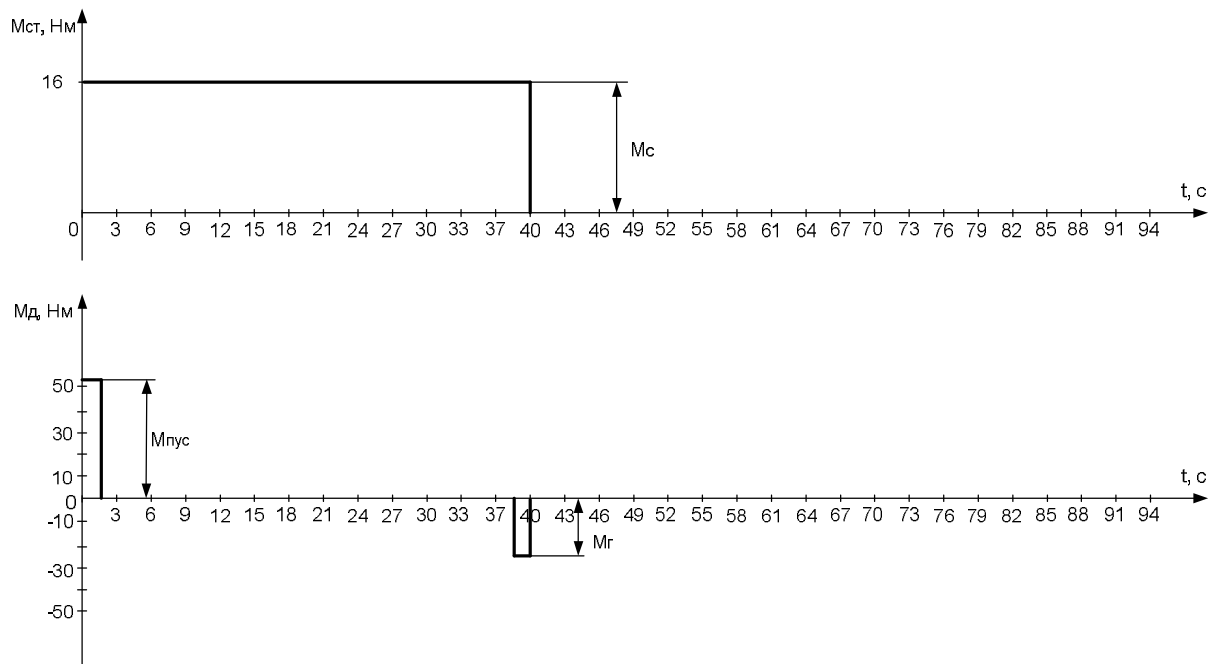


Рисунок 2.2 – Діаграма моментів динамічного та статичного

2.4 Попередній вибір потужності електродвигуна

Еквівалентний момент навантаження при режимі роботи S3:

$$M_{EKB} = \sqrt{\frac{M_D^2 \cdot t_T}{t_T \cdot t \cdot \beta_0}}, \quad (2.23)$$

де β_0 – коефіцієнт, який враховує погіршення тепловіддачі при нерухомому роторі, ($\beta_0 = 0,25$).

$$M_{EKB} = \sqrt{\frac{16^2 \cdot 40}{40 \cdot 50 \cdot 0,25}} = 14 (H \cdot m),$$

Розрахункова потужність двигуна [6]:

$$P_{PO3} = \kappa_3 \cdot M_{EKB} \cdot \omega_{ДВ} \cdot \sqrt{\frac{TB_{3AD\%}}{TB_{\%}}}, \quad (2.24)$$

де k_z – коефіцієнт запасу, який враховує динамічні режими електродвигуна, коли він працює з підвищеними струмами і моментами, ($k_z = 1.1 \dots 1.3$).

$$P_{роз} = (1.1 - 1.3) \cdot 14 \cdot 161 \cdot \sqrt{\frac{45}{40}} = 2995 - 3540 \text{ (Вт).},$$

При розрахунку приведених статичних навантажень, ми визначили, що розрахункова потужність двигуна при русі з вантажем $P_{роз} = 2995 - 3540 \text{ (Вт)}$.

З електронного довідника вибираємо для подальших розрахунків потужність двигуна 4 кВт.

Висновок: отже, в результаті розрахунків зусиль на привод електрокари було визначено сумарну потужність, необхідну для роботи даного механізму відповідно до вихідних даних, ця потужність є орієнтиром для вибору потужності електричного приводного двигуна, що буде здійснено в наступних розділах.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Технічне обґрунтування вибору системи електропривода

В ескаляторах використовуються ряд електродвигунів таких як: АД з фазним ротором, АД з КЗ-ротором а також двигун постійного струму.

Приводні АД з КЗ ротором повинні мати однакові параметри. Для регулювання швидкості однодвигунного приводу ескалятора використовуються додаткові реостати механічні або регульовані електричні і гідравлічні муфти.

Характеристики АД з фазним ротором можна довести до однакових параметрів за допомогою введення в коло їх роторів додаткових опорів .

Також можливе регулювання електроприводу шляхом зміни частоти обертання, якщо використовувати асинхронний двигун з фазним ротором або асинхронний двигун з короткозамкненим ротором.

У бакалаврській дипломній роботі розглядається регулювання роботи ескалятора за рахунок зміни частоти обертання робочого колеса (частоти обертання валу електродвигуна), оскільки воно є на сьогоднішній день найбільш економічним і сучасним способом управління. Далі розглядаються системи управління асинхронним двигуном.

АД є найпопулярнішим у використанні електричним двигуном. Їх випуск можливий у потужностях від 0,1 кВт до кількох тисяч кіловат. Не велика вартість та простота його конструкції – це його найголовніша перевага. За наявності звичайної схеми підключення асинхронний двигун не допускає регулювання швидкості його обертання. Перш за все, слід звернути увагу на те, що потрібно уникати значних втрат енергії. А це означає, що для короткозамкнених асинхронних двигунів щоб не допустити перегріву його ротора, потрібно забезпечити роботи двигуна в тривалому режимі з найменшим значеннями ковзання [7].

Для найкращого використання асинхронного двигуна при регулюванні кутової швидкості зміною частоти необхідно регулювати напругу одночасно в функції частоти і навантаження, що реалізовується тільки в замкнених системах електропривода. У розімкнених системах напруга регулюється лише у функції частоти по деякому закону, залежному від виду навантаження.

3.2 Економічне обґрунтування вибору системи електропривода

Для порівняння техніко-економічних показників систем електроприводу розглядатимемо такі системи:

- широтно-імпульсний перетворювач з двигуном постійного струму (ШІП-ДПС);
- пристрій плавного пуску з асинхронним двигуном з КЗ ротором;
- асинхронний вентильний каскад (АД з ФР та системою керування);
- перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ-АД).

Наведемо приклад розрахунку для одного із запропонованих варіантів системи керування (ПЧ-АД), в розрахунку на те, що потужність приводного двигуна складає 30 кВт.

Розглянемо ці варіанти з економічної точки зору. Результати розрахунків будуть зведені в таблицю 3.1.

Визначаємо споживану потужність системи електроприводу:

$$P_1 = P_n / \eta_n, \quad (3.1)$$

$$P_1 = 4 / 0,91 = 4,40 \text{ (кВт)}.$$

Втрати потужності:

$$\Delta p = P_1 - P_n, \quad (3.2)$$

$$\Delta p = 4,40 - 4,0 = 0,4 \text{ (кВт)}.$$

Таблиця 3.1 – Розрахунок затрат на утримання електроприводу

Система електроприводу	ШПП-ДПС	АД з ФР (АВК)	ПЧ-АД
Потужність двигуна, кВт	3,0		
ККД двигуна та системи	0,9	0,89	0,91
Вартість двигуна Д, грн	21902,4	10951,2	8424,0
Вартість системи керування С, грн	25140,0	20240,0	15960,0
Капітальні вкладення К, грн.	47042,4	31191,2	24384,0
Тариф електроенергії, грн/кВт год	8	8	8
Додаткові відрахування (електроенергія) С _д , грн/рік	10666,7	11865,2	9494,5
Амортизаційні відрахування С _а , грн/рік	7056,4	4678,7	3657,6
Експлуатаційні затрати (ремонт + тех. обслуг)	1082,0	717,4	560,8
Вартість експлуатації електроприводу, грн	18805,0	17261,2	13712,9
Зведені витрати З = Е _н *К + С, грн.	25861,4	21939,9	17370,5

Приймаємо тривалість роботи системи електроприводу рівною двом робочим змінам, тобто $t_{\text{год}} = 8$ год. Кількість робочих днів в 2022 році складатиме $t_{\text{д}} = 250$ днів.

Тоді тривалість роботи обладнання на рік:

$$t_p = t_{\text{год}} \cdot t_{\text{д}}, \quad (3.3)$$

$$t_p = 8 \cdot 250 = 4000 \text{ (год/рік)}.$$

Розрахуємо річну вартість втрат електроенергії в системі електроприводу, виходячи з тривалості роботи обладнання, величини втрат потужності та діючого тарифу на електроенергію.

$$\Delta w = \Delta p \cdot t_p \cdot T, \quad (3.4)$$

де T – тариф на електроенергію. Ціна на універсальні послуги для малих побутових споживачів, електроустановки яких приєднані до

електричних мереж згідно з класом напруги з ПДВ складає приблизно 8 грн/кВт·год.

$$\Delta w = 0.4 \cdot 4000 \cdot 8 = 12659,3 \text{ (грн/рік)}.$$

Визначаємо нормовані затрати на амортизацію (оновлення основних засобів виробництва) в сумі 15% від вартості системи електроприводу.

$$A = 0,15 \cdot (C + D), \quad (3.5)$$

де C – вартість системи керування, $C = 15960$ (грн),

D – вартість електродвигуна, $D = 8424$ (грн);

$$A = 0,15 \cdot (15960 + 8424) = 3657,6 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на обслуговування і ремонт:

$$E = 0,02 \cdot (C + D + A) = 0,02 \cdot (15960 + 8424 + 3657,6) = 560,8 \text{ (грн.)}$$

Собівартість експлуатації системи електроприводу із врахування обслуговування та витрат електроенергії:

$$C = A + E + \Delta w, \quad (3.6)$$

де E – експлуатаційні затрати, $E = 560,8$ грн/рік;

$$C = 3657,6 + 560,8 + 12659,3 = 16877,8 \text{ (грн)}.$$

Зведені витрати:

$$Z = E_n \cdot K + C, \quad (3.7)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ($E_n = 0,15$);

K – капіталовкладення, в які входять вартість двигуна D та системи керування СК;

C – собівартість.

$$З = 0,15 \cdot 24384 + 16877,8 = 20535,4 \text{ (грн.)}.$$

Аналогічним чином розраховуються економічні показники і для інших систем.

Висновок: В результаті розрахунку вибираємо електропривод на базі системи перетворювач частоти асинхронний двигун з КЗ ротором, перспективним є перехід до використання асинхронного електропривода електрокари з частотним регулюванням, який за функціональними можливостями та експлуатаційними характеристиками відповідає технічним вимогам та умовам поставленого завдання.

4 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ЙОГО ПЕРЕВІРКА

4.1 Вибір електродвигуна

Отже, із врахуванням розрахункової потужності електродвигуна вибираємо з довідника асинхронний двигун типу АИР112МВ6 з технічними характеристиками приведеними в таблиці 4.1.

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики двигуна 4А355S8У3

Параметр, одиниця вимірювання	Позначення	Значення
Потужність, Вт	$P_{2\text{ном}}$	4,0
Частота обертання, об/хв	$n_{2\text{ном}}$	1000/1500
Номинальний струм, А	$I_{1\text{ном}}$	9,75
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi$	0,76
ККД	η	82,0
Напруга статора, В	$U_{1\text{н}}$	380
Частота мережі живлення, Гц	f	50
Кількість фаз	m	3
Кліматичне виконання	—	У3
Відношення пускового струму до номінального	$I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$	6,5
Вага, кг	—	52,8

4.2 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом і перевантаженням

Виконаємо перевірку двигуна за перегрівом [6-7].

Для цього спочатку визначимо момент статичний двигуна:

$$M_{\text{стд}} = \frac{M_{\text{ст}}}{i_R \cdot \eta_p}, \quad (4.1)$$

$$M_{\text{стд}} = \frac{972,2}{40 \cdot 0,82} = 29,64 (\text{Н} \cdot \text{м})$$

Для двигуна має виконуватись умова:

$$M_{\text{std}} \leq 0,9 \cdot M_{\text{ном}}, \quad (4.2)$$

$$29,64 \leq 0,9 \cdot 35,4 = 31,86.$$

Отже, умова виконана.

Виконаємо перевірку двигуна за перевантаженням.

Для АД повинна виконуватись умова:

$$M_{\text{stdmax}} \leq M_{\text{двmax}}, \quad (4.3)$$

де $M_{\text{двmax}}$ – максимальний момент двигуна.

$$M_{\text{двmax}} = 2,5 \cdot M_{\text{ном}}, \quad (4.4)$$

$$M_{\text{двmax}} = 2,5 \cdot 35,4 = 88,5 \text{ Нм.}$$

$$29,64 \leq 88,5.$$

Умова за перевантаженням виконана.

Враховуючи те, що умови на перегрів та перевантаження виконані, робимо висновок, що даний електродвигун цілком підходить для даного механізму.

Висновок: Із врахуванням раніше розрахункової потужності та проведеного техніко-економічного обґрунтування вибрано електродвигун для електропривода електрокари та перевірено двигун за перевантажувальною здатністю та перегрів.

5 ВИБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

5.1 Переваги електротяги змінного струму

Головним компонентом вилкового електронавантажувача (електрокари), відповідальним за продуктивність, безумовно, слід вважати силовий агрегат. Наразі у промисловості виробництва цього виду підлогового транспорту виразно простежується тенденція до використання двигунів змінного струму. З початку створення електронавантажувачів і до 1990-х років у їх конструкції застосовували звичайні двигуни постійного струму (DC): гідної альтернативи їм у той період просто не було. Тільки після 1990 р. у промислове виробництво навантажувачів майже одночасно прийшли два нових типи двигунів: змінного струму низької напруги (АС-двигун) та електродвигун з незалежним збудженням (Separately Excited Motor, SEM). У SEM-агрегатів відсутні контактори напрямку руху. Ослаблення збудження для прискорення більше не потрібне, і гальмування здійснюється регенеративно. У виготовленні двигун із незалежним збудженням мало відрізняється від звичайного DC-двигуна. Крім цього, двигун і управління в цьому випадку не повинні специфічно відповідати один одному, тому в традиційній промисловості виробництва навантажувачів АС-двигун дещо відсунуто на другий план. Проте з кінця 1990-х конструктори знову звернули увагу на цю конструкцію електроприводу. Дійсно, АС-двигуни технологічні у виготовленні та мають цілу низку певних переваг. Зокрема, в них не використовуються вугільні щітки, які треба регулярно замінювати внаслідок стирання колектором. Тому такі двигуни не вимагають обслуговування і можуть бути зроблені герметичними, тобто повністю захищеними від потрапляння в них пилу, бруду чи вологи (рисунок 5.1).

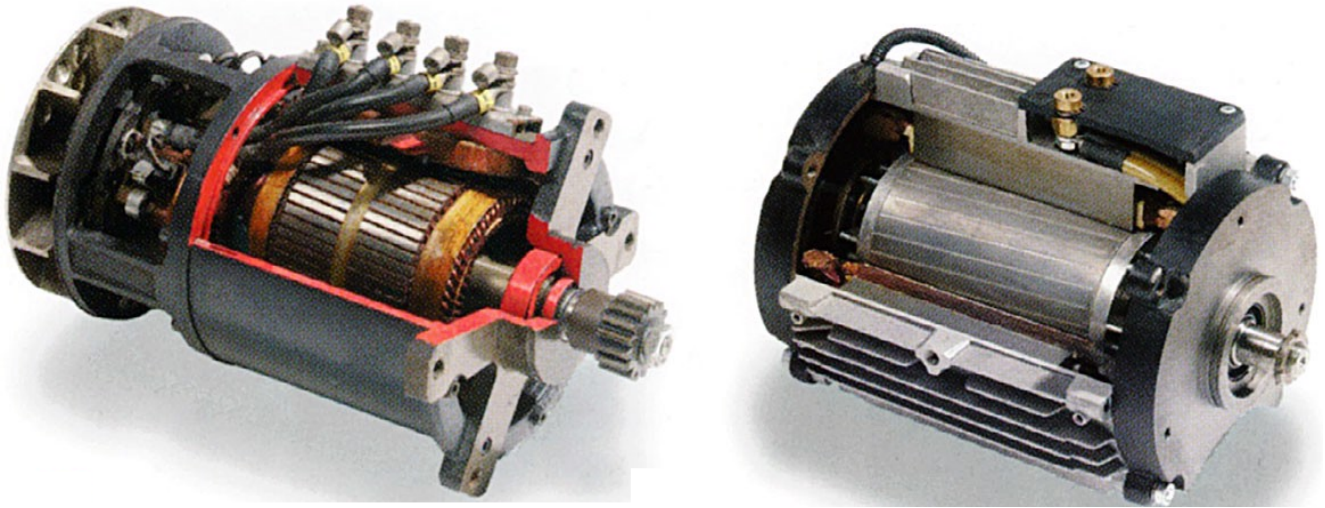


Рисунок 5.1 – Двигуни постійного та змінного струму

До того ж завдяки високочастотному управлінню АС-двигуни забезпечують найкраще повернення (рекуперацію) електроенергії. Вперше такі двигуни стала застосовувати на моделях своїх вилкових навантажувачів із протипагою відома німецька компанія Still. До того ж на змінному струмі на електронавантажувач можна передавати набагато більшу потужність, ніж на постійному.

5.2 Електронні системи керування електроприводом

Техніка керування двигуном також повністю змінилася. З 1920-х по 1950-і роки при виробництві навантажувачів застосовують Carbon Pile – систему управління, яка складається з кількох вугільних кілець як опір і послідовно включає їх у ланцюг живлення двигуна руху. При натисканні на педаль швидкості вугільні кільця притискаються, у результаті зменшується електричний опір і збільшується швидкість машини.

Наступним щаблем розвитку (з кінця 1940-х до початку 1960-х років) став барабанний контролер, який при натисканні педалі швидкості замикав певні ділянки металевого опору. Завдяки зміні опору регулювалася швидкість обертання ротора двигуна. Іншим технічним рішенням, яке знайшло застосування у 1950-і роки, стала система з багатьох вимикачів, які

через мікроперемикачі педалі швидкості включали та відключали пусковий опір з різними кроками. На початку 1960-х років при виробництві вилкових навантажувачів стали застосовувати електронні системи управління на тиристорах або з вимикачами навантаження та SCR-управлінням (Silicon Controlled Rectifier). Системи керування SCR порівняно громіздкі, оскільки, щоб увімкнути або вимкати в них головний тиристор, необхідний комплексний контур з конденсаторами та індуктивною котушкою.

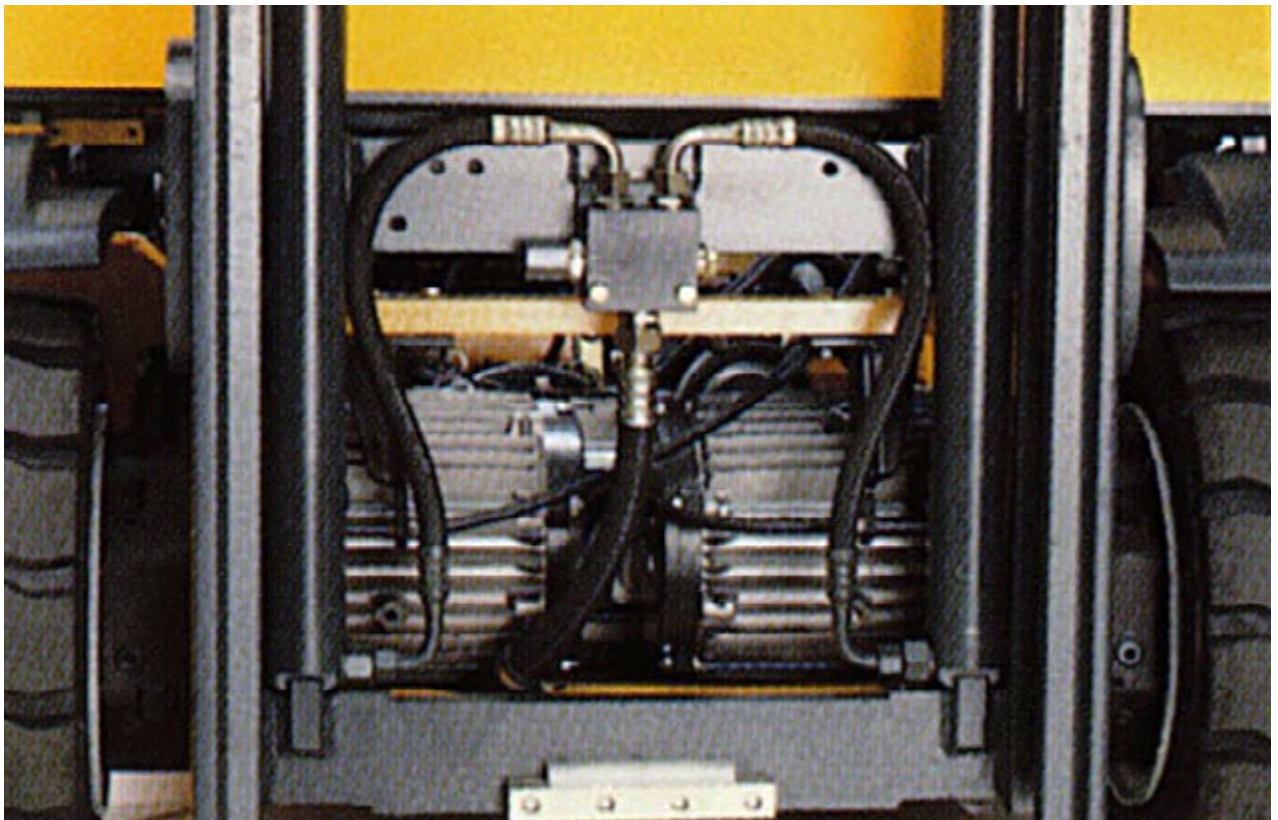


Рисунок 5.2 – Розташування та компоновка двигунів електрокари

У 1980-х роках зроблено ще один важливий крок: починається використання мікропроцесорів, які винайшли в 1971 р. Faggin, Hoff і Mazor. З використанням мікропроцесорів управління стало компактнішим і швидкодіючим. Мікропроцесори можуть також швидше виявляти відхилення у роботі двигуна і тим швидше виконувати необхідне регулювання. Було створено і вимикач навантаження – біполярний транзистор. Взагалі, транзистор винайшли в 1947 Bardeen, Brattain і Shockley, але до цього він не

міг перемикає високу напругу тягових акумуляторних батарей (АКБ). Новий вимикач навантаження легше спрацьовує, ніж SCR-управління, не потрібен комплексний контур включення головного тиристора. Система управління з біполярним транзистором до того ж менша і дешевша. Щоправда, і вона не позбавлена недоліків, один з яких – і досить суттєвий – те, що система може працювати лише за невисокої напруги, не більше 36 В. З появою на ринку іншого виду вимикача навантаження – на основі силових транзисторів зі структурою метал-оксид -напівпровідник MOSFET (Metal Oxid Silicon Field Effect Transistor) управління не тільки полегшилося, він і спрацьовує дуже швидко і без втрат енергії, його можна без проблем підключати паралельно і таким чином регулювати навіть велику напругу, а значить застосовувати на важких навантажувачах. Вимикачі MOSFET придатні для регулювання напруги АКБ до 96 В. В даний час для перемикачів такої високої напруги застосовують іншу техніку – на основі біполярних транзисторів із ізольованим затвором IGBT (Integrated Gate Bipolar Transistor). Вона майже так само легко спрацьовує, як MOSFET, і так само надійна, як SCB-управління.

5.3 Розробка схеми електричної структурної системи електропривода

Однією із основних характеристик електронавантажувача є його тягова характеристика – залежність розвинутої швидкості від тягового зусилля.

Асинхронний двигун має жорстку природну механічну характеристику, яка є сприятливою для тягового привода з точки зору реалізації тягового зусилля [3]. Тягову характеристику електронавантажувача можна отримати, використовуючи безпосередньо природну механічну характеристику, якщо забезпечити її положення всередині допустимої області існування тягових характеристик.

Розглянемо питання реалізації тягової характеристики із використанням

асинхронного привода, а зокрема: 1). раціональна побудова силової схеми електронавантажувача; 2). побудова системи керування.

Важливим питанням побудови перетворювальної установки є застосування індивідуальних перетворювачів на кожен двигун або одного спільного перетворювача. Особливість асинхронного привода полягає в тому, що при паралельному живленні двигунів від одного джерела і допустимій різниці параметрів приводів (наприклад, різної степені зношення ведучих коліс) нерівномірність навантаження виявляється недопустимо великою. Таким чином, необхідним є живлення тягових двигунів від індивідуальних перетворювачів або живлення від спільного перетворювача із застосуванням спеціальних мір по вирівнюванню навантажень тягових двигунів.

Як відомо, при частотному регулюванні асинхронний двигун дозволяє отримати сімейство механічних характеристик, розташованих як вище, так і нижче природної характеристики. Однак, номінальний обертальний момент може бути отриманий лише при частотах напруги живлення, яка є нижчою номінальної, оскільки на частотах вище номінальної регулювання відбувається із постійною потужністю.

Найбільш перспективним є застосування індивідуальних інверторів для живлення кожного двигуна. Таке рішення має перевагу в тому, що втрати в перетворювачі розподіляються на два пристрої, що спрощує їх охолодження. Тому спрощена структурна схема силової частини асинхронного тягового привода приведена на рисунку 5.2. На схемі показані два автономних інвертора U_2 і U_3 , перетворювач постійної напруги U_1 і мережа живлення.

Оскільки для тягової характеристики бажаною є висока жорсткість, а область існування тягових характеристик обмежена в основному умовою гальмування, то система керування частотою обертання може бути в значній мірі спрощена. Вхідною дією даної системи є сигнал завдання бажаної швидкості руху, який більшу частину часу безпосередньо передається на вхід керування частотою обертання двигунів. Роль системи керування зводиться до накладання обмежень на вихідну частоту інверторів в залежності від

поточного навантаження привода.

До таких обмежень відносяться:

1. обмеження максимальної швидкості у відповідності із тяговою характеристикою;
2. обмеження частоти інвертора по стану мережі живлення;
3. обмеження частоти за умови утримання режиму двигуна в межах стійкої частини механічної характеристики (до критичного ковзання).

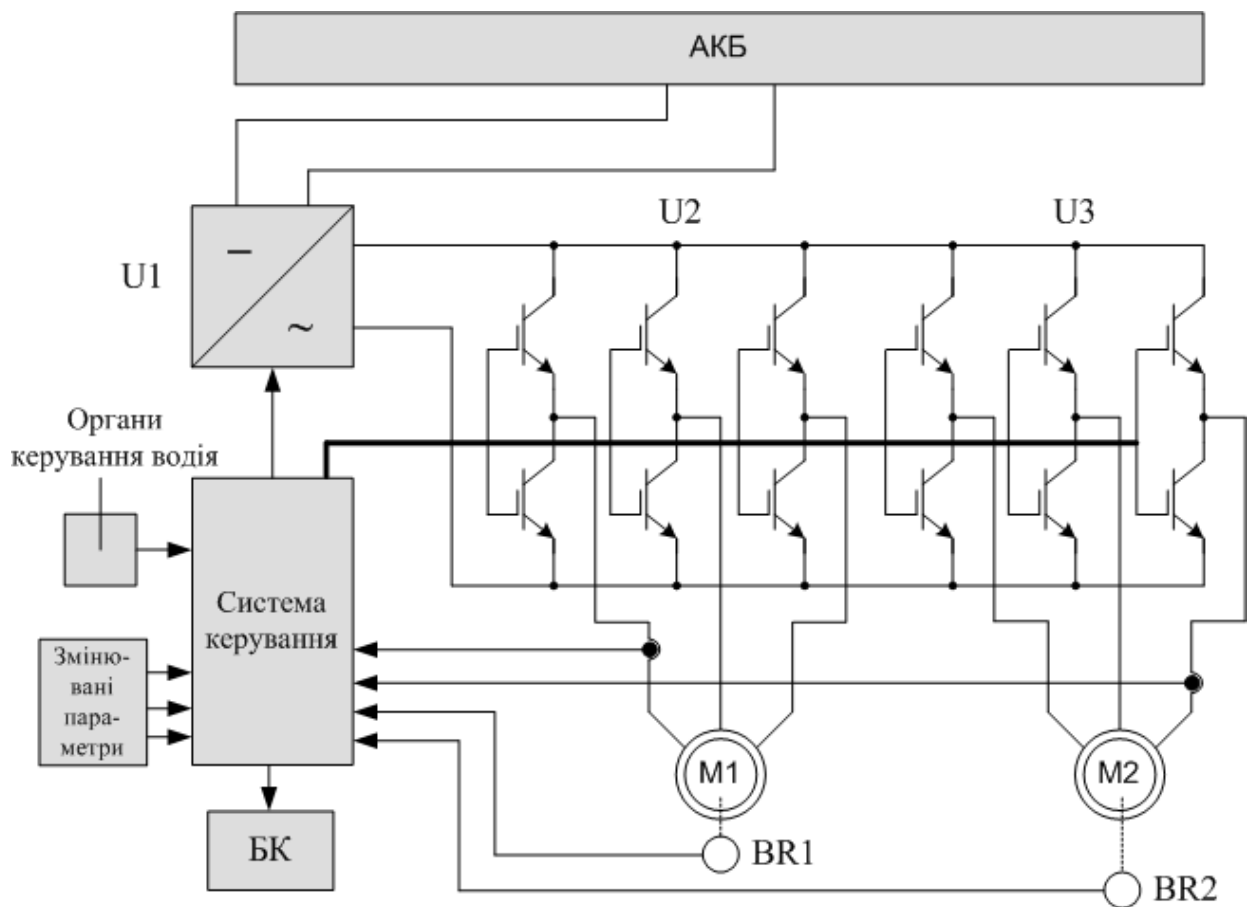


Рисунок 5.3 – Структурна схема силової частини асинхронного тягового привода електронавантажувача

Подібну систему раціонально будувати із використанням мікропроцесорної техніки, яка порівняно легко реалізує функції порівняння дискретних величин. Система керування приймає сигнали завдання від контролера машиніста та від задавачів змінюваних параметрів, до яких

відносяться, наприклад, гранична швидкість руху в даних умовах відкатки. Вхідними сигналами системи керування є сигнали кутової швидкості кожного із двигунів, а також параметри роботи перетворювачів (струми і напруги, які відповідають силовим колам). Вихідними сигналами системи керування є сигнали керування перетворювачами.

З використанням цих технічних нововведень системи управління стали компактнішими, ефективнішими, потужнішими і надійнішими, а їх вартість – нижчою. Завдяки використанню високочастотної техніки в зарядних пристроях АКБ можна заряджати за найкоротший час до найбільших значень струму. Зокрема, метод Pitstop дозволяє провести зарядку під час обідньої паузи та інших перерв у роботі навантажувача, а отже, АКБ можна експлуатувати більш тривалий час або навпаки для виконання тієї ж роботи може бути обрана АКБ меншої ємності.

Застосування електронних систем на вилкових навантажувачах насамперед підвищує продуктивність, безпеку, комфорт та зручність користування машиною, оскільки електроніка вчасно попереджає про виникнення небезпечних ситуацій. Прикладами таких систем може бути Curve Speed Reduction, розроблена німецькою компанією Jungheinrich (елемент безпеки, який покращує стійкість машини до перекидання, знижуючи її швидкість залежно від кута повороту) або System for Active Safety (SAS) японського концерну Toyota. У системі SAS управління здійснюється електронікою на основі даних, що надходять від датчиків, наприклад, висоти підйому вантажу, швидкості руху та кута повороту машини. Як тільки значення якогось із параметрів або їх сукупності досягає критичної величини, комп'ютер видає сигнал на стопор маятникового руху задньої осі за допомогою гідроциліндра.

5.4 Розрахунок та вибір основних елементів силової схеми

5.4.1 Розрахунок і вибір тиристорів

Тиристорний перетворювач частоти для регульованих приводів виконують по схемі з проміжною ланкою постійного струму. Принципова схема тиристорного перетворювача частоти (ТПЧ) приведена на рисунку 5.1.

Значення випрямленої напруги на виході інвертора напруги керованого випрямляча КВ [9]

$$U_d = k_y \cdot k_c \cdot k_a \cdot k_R \cdot U_n, \quad (5.1)$$

$$U_d = 0,72 \cdot 1,1 \cdot 1,17 \cdot 1,05 \cdot 380 = 370 \text{ (В)},$$

де k_y – коефіцієнт схеми інвертування напруги ($k_y = 0,72$);

k_c – коефіцієнт запасу по напрузі ($k_c = 1,1$);

k_a – коефіцієнт запасу по напрузі, що враховує неповне відкривання тиристорів ($k_a = 1,17$);

k_R – коефіцієнт запасу по напрузі, що враховує падіння напруги у вентилях, обмотках трансформатора і падіння напруги від перекриття фаз ($k_R = 1,05$);

U_n – номінальна напруга живлення двигуна.

Лінійна напруга на вході КВ:

$$E_{2л} = k_y \cdot k_c \cdot k_a \cdot k_R \cdot U_d, \quad (5.2)$$

$$E_{2л} = 0,72 \cdot 1,1 \cdot 1,17 \cdot 1,05 \cdot 370 = 360 \text{ (В)},$$

де k_y – коефіцієнт схеми випрямлення по напрузі ($k_y = 0,74$);

Середнє значення струму через вентиль інвертора струму:

$$I_i = \frac{k_i \cdot I_n}{k_{охл}}, \quad (5.3)$$

де k_i – коефіцієнт, що враховує збільшення струму в перехідному процесі ($k_i = 2$);

$k_{охл}$ – коефіцієнт охолодження ($k_{охл} = 0,5$).

$$I_i = \frac{2 \cdot 9,13}{0,5} = 36,52 \text{ (A)}.$$

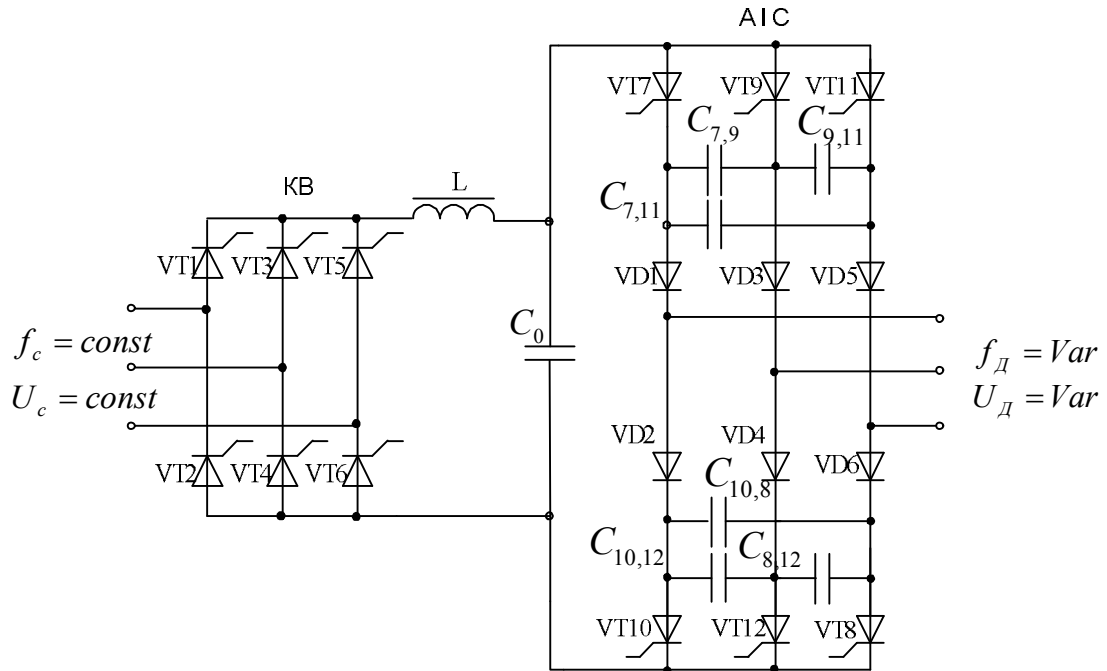


Рисунок 5.4 – Силова схема тиристорного перетворювача частоти

Найбільше значення зворотної напруги на вентилях AIC:

$$U_{звор.мах} = k_3 \cdot k_{посл} \cdot \sqrt{2} \cdot U_H, \quad (5.4)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу по напрузі ($k_3 = 1,3$);

$k_{посл}$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірний розподіл напруги між тиристорами ($k_{посл} = 1$);

$$U_{звор.мах} = 1,3 \cdot 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 = 698,516 \text{ (В)}.$$

З довідника вибираємо тиристори типу T143-1000 з такими параметрами:

- максимально допустимий середній струм $I_{TAVm} = 1000 \text{ A}$;
- ударний струм тиристора $I_{TSM} = 19 \text{ кА}$;

- амплітудне значення зворотної напруги $U_{\text{звортаx}} = 100 \dots 800 \text{ В}$;
- максимальний зворотній струм тиристора $I_{\text{звортаx}} = 33 \text{ мА}$;
- струм управління $I_y \leq 300 \text{ мА}$;
- напруга управління $U_y \leq 10 \text{ В}$;
- порогове значення напруги $U_{\text{пор}} = 1,7 \text{ В}$;
- критична швидкість наростання прямої напруги не менше (для тиристорів 5 групи) – 320 В/мкс .

Середнє значення струму через вентиль КВ:

$$I_B = \frac{k_B \cdot I_{dH}}{m \cdot k_{\text{охл}}}, \quad (5.5)$$

$$I_B = \frac{2 \cdot 36,52}{3 \cdot 0,5} = 48,693 \text{ (А)}.$$

де m – кількість фаз перетворювача ($m = 3$);

Найбільше значення зворотної напруги на вентилі КВ:

$$U_{\text{обртаx}} = k_3 \cdot k_{\text{посл}} \cdot \sqrt{2} \cdot E_{2Л}, \quad (5.6)$$

$$U_{\text{обртаx}} = 1,3 \cdot 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 369,9 = 661,752 \text{ (В)}.$$

По отриманим значенням струму через вентиль та максимальній зворотній напрузі вибираємо тиристори типу Т143-1000, параметри яких приводилися вище.

5.4.2 Розрахунок індуктивності згладжувального дроселя

Необхідна індуктивність кола ланки постійного струму:

$$L = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{\text{ном}}}{m \cdot \omega \cdot I_{\text{dmin}}}, \quad (5.7)$$

де $U_{\text{ном}}$ – діюча напруга першої гармоніки випрямленої напруги ($U_{\text{ном}} = 0,25$; $U_d = 0,25 \cdot 370 = 92,5$ (В));

m – кількість пульсацій випрямленої напруги ($m = 6$);

I_{dmin} – мінімальний струм двигуна ($I_{\text{dmin}} = 0,07 \cdot I_{\text{н}} = 0,07 \cdot 9,13 = 0,64$ (А));

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, де $f = 50$ (Гц).

$$L = \frac{\sqrt{2} \cdot 92,5}{6 \cdot 314 \cdot 0,64} = 0,108 \text{ (Гн)}.$$

Індуктивність обмотки статора двигуна:

$$L_{\text{дв}} = \frac{X_{\text{д}}}{2 \cdot \pi \cdot f}, \quad (5.8)$$

де $X_{\text{д}}$ – індуктивний опір кола статора двигуна.

Знайдемо значення індуктивного опору кола статора синхронного двигуна:

$$U_{\text{фном}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot U_{\text{лном}}, \quad (5.9)$$

$$U_{\text{фном}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 380 = 223,529 \text{ (В)}.$$

$$E_{\text{ном}} = \frac{U_{\text{фном}}}{1,06}, \quad (5.10)$$

$$E_{\text{ном}} = \frac{223,529}{1,06} = 210,876 \text{ (В)}.$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}, \quad (5.11)$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{3} = 104,67 \text{ (рад/с)}.$$

Реактивна потужність, що прикладається до обмотки статора:

$$Q_M = P_M \cdot \tan \varphi, \quad (5.12)$$

де P_M – активна потужність, що прикладається до обмотки статора, кВт;

$\tan \varphi$ - тангенс кута між напругою і струмом статора.

Потужність, яка прикладається до статорної обмотки двигуна:

$$P_M = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta_{\text{дв}}}, \quad (5.13)$$

$$P_M = \frac{4}{0,82} = 4,9 \text{ (кВт)}.$$

$$\varphi_{\text{ном}} = \arccos 0,9, \quad (5.14)$$

$$Q_{\text{мном}} = 4,9 \cdot \tan \arccos 0,9 = 2,373 \text{ (кВар)}.$$

Номінальний індуктивний опір обмотки статора двигуна:

$$X_D = \frac{Q_{\text{мном}}}{I_{\text{фном}}^2}, \quad (5.15)$$

де $I_{\text{фном}}$ – номінальний фазний струм обмотки статора двигуна, А.

$$I_{\text{фном}} = I_{\text{лном}} = 9,13 \text{ (А)}. \quad (5.16)$$

$$X_D = \frac{2,373}{9,13^2} = 28,468 \text{ (Ом)}.$$

Отже, індуктивність статорної обмотки двигуна:

$$L_{\text{дв}} = \frac{28,468}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,09 \text{ (Гн)}.$$

Таким чином, для отримання згладженої синусоїдної форми струму через статорну обмотку двигуна немає необхідності в установці додатково згладжувального дроселя.

5.4.3 Вибір захисту тиристорного перетворювача

Захист тиристорного перетворювача виконується R – C ланцюжками, які вмикаються паралельно тиристорам.

Величина опору R – C кола (чотириполіюсника):

$$R = \frac{U_{\text{звор.max}}}{I_{\text{звор.max}}}, \quad (5.17)$$

За даним значенням опору вибираємо з довідника [6] резистор типу С2-1 із стандартним значенням опору $R_{\text{ст}} = 30 \text{ кОм}$ згідно ряду Е 24.

Величина ємності конденсатора R – C ланцюжка:

$$C = \frac{U_{\text{кз\%}} \cdot I_{\text{обр}}}{\omega \cdot I_{\text{max}} \cdot U_{\text{обр}}}, \quad (5.18)$$

$$C = \frac{8 \cdot 33 \cdot 10^{-3}}{314 \cdot 1000 \cdot 800} = 2,627 \cdot 10^{-7} (\text{Ф}).$$

З довідника за розрахованою величиною вибираємо скляний конденсатор типу К21У-2 із стандартною ємністю $C_{\text{ст}} = 680 \text{ пФ}$.

5.4.4 Вибір плавких запобіжників

Розрахунковий струм запобіжника приймаємо рівним номінальному струму статора двигуна $I_{\text{рз}} = I_{\text{дн}}$.

Розрахунковий середній струм запобіжника розраховується за формулою:

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{рз}}}{3 \cdot n}, \quad (5.19)$$

$$I_{\text{ср}} = \frac{36,52}{3 \cdot 1} = 12,173 (\text{А}),$$

де n – кількість паралельних ланок в одному плечі (для даної схеми $n = 1$).

Знайдемо діюче значення струму запобіжника:

$$I_3 = I_{cp} \cdot \sqrt{3} = 12,173 \cdot \sqrt{3} = 21,084 \text{ (A)}. \quad (5.20)$$

За розрахованим діючим значенням струму з довідника [12] вибираємо запобіжник типу ПН–2 з такими параметрами: номінальна напруга $U_{нз}=400$ В; номінальний струм $I_{нз} = 100$ А, номінальний струм плавкої вставки $I_{пл.вст} = 250$ А.

5.4.5 Вибір автоматичного вимикача

Вибір автоматичних вимикачів здійснюється таким чином, щоб виконувались умови:

$$U_{на} \geq U_2=380 \text{ В}, \quad (5.21)$$

$$I_{на} \geq I_{2н} = 9,13 \text{ А}. \quad (5.22)$$

З дотриманням вказаних вище умов вибираємо з довідника [12] автоматичний вимикач типу АЕ 20000 , який має такі номінальні параметри:

- номінальний струм $I_{на}=10...100$ А;
- номінальна напруга $U_{на} = 380$ В;
- максимальний струм відключення $I_{нвідкл} = 16$ кА.

5.4.6 Вибір захисту двигуна від підвищення напруги на статорі двигуна

Номінальна напруга реле напруги:

$$U_p = 1,1 \cdot U_{дн}, \quad (5.25)$$

$$U_p = 1,1 \cdot 380 = 418 \text{ (В)}.$$

Напруга спрацювання реле напруги:

$$U_{сп} = (0,25 \div 0,8) \cdot U_p, \quad (5.26)$$

$$U_{сп} = (0,25 \div 0,8) \cdot 418 = 104,5 \div 334,4 \text{ (В)}.$$

Вибираємо реле напруги типу НЛ-4 з номінальною напругою $U_{\text{ном.р}}=500 \text{ В}$.

Висновок: Обґрунтовано особливості вибору частотно-регульованого приводу електрокари, запропоновано структурну схему системи керування електроприводом та виконано розрахунок основних елементів силового кола перетворювача.

6 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ САЕП

6.1 Математична модель векторного частотно-струмового керування

Детально розглянемо та побудуємо математичну модель процесів, які протікають в системі електроприводу ПЧ-АД шахтного електровоза із використанням принципів векторного керування.

Швидкість асинхронних двигунів можна регулювати, використовуючи в якості керуючого сигналу не напругу, а струм статора $\bar{I}_1$ і частоту f_1 . Таке керування називають частотно-струмовим. При частотно-струмовому керуванні ПЧ працює в режимі джерела струму.

Зв'язок між струмом $\bar{I}_1$ і відповідним потокозчепленням описується одним з рівнянь, приведених в літературному джерелі [3]. Всі три рівняння можна представити у вигляді

$$\bar{\Psi} = x \cdot \frac{1 + jd}{1 + jc} \cdot \bar{I}_1 = x \cdot \frac{1 + jd}{1 + jc} \cdot I_{1x} \left(1 + j \frac{I_{1y}}{I_{1x}} \right), \quad (6.1)$$

де c і d – коефіцієнти, які залежать від ковзання та параметрів машини;
 I_{1x} і I_{1y} – складові струму статора.

Найбільш просто реалізується керування із потозчепленням

$$\bar{\Psi}_2 = \text{const}, \quad (6.2)$$

оскільки в даному випадку $d = 0$.

Якщо забезпечити виконання умов

$$\begin{cases} I_{1x} = \text{const}, \\ \frac{I_{1y}}{I_{1x}} = \frac{x_2 s_a}{r_2}, \end{cases} \quad (6.3)$$

тоді можна отримати рівність виду:

$$\overline{\Psi}_2 = \Psi_{2x} = x_\mu I_{1x} = \text{const.} \quad (6.4)$$

Такий метод керування називається векторним частотно-струмовим керуванням з поточчепленням рівним $\overline{\Psi}_2 = \text{const}$. Оскільки в даному випадку забезпечуються найкращі (лінійні) механічні характеристики, то зі всіх методів векторного частотно-струмового керування даний метод отримав переважне застосування.

Векторна діаграма при живленні асинхронного двигуна від джерела струму та схема заміщення асинхронного двигуна приведені на рисунку 6.1 а, б відповідно. В разі, якщо в якості умовного струму ротора прийняти струм,

$$\bar{I}'_2 = \bar{I}_2 \frac{x_2}{x_\mu} \quad (6.5)$$

тобто збільшити вектор струму $\bar{I}_2$ на діаграмі в x_2/x_μ разів, а вісь x спрямувати вздовж вектора $\overline{\Psi}_2$, тоді векторна діаграма прийме вигляд, показаний на рисунку 7.1 а., а схема заміщення прийме вигляд, приведений на рисунку 6.1 б.

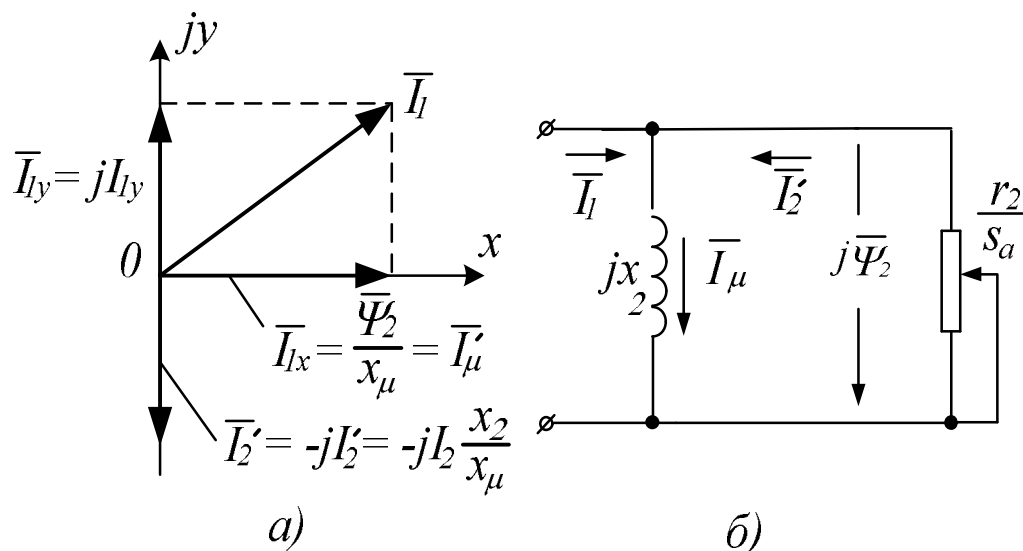


Рисунок 6.1 – Векторна діаграма (а) та схема заміщення АД (б) при частотно-струмовому векторному керуванню

Оскільки

$$\bar{I}_2 = \bar{I}'_2 \frac{x_\mu}{x_2} = -jI_{1y} \frac{x_\mu}{x_2}, \quad (6.6)$$

тому, згідно принципу частотно-струмового керування момент момент буде визначатись

$$\mu = x_\mu \operatorname{Im}(\bar{I}_1 \cdot \bar{I}_2^*) = x_\mu \operatorname{Im}\left[(I_{1x} + jI_{1y})jI_{1y} \frac{x_\mu}{x_2}\right] = \frac{x_\mu^2}{x_2} I_{1x} I_{1y} = \frac{x_\mu}{x_2} \Psi_{2x} I_{1y}. \quad (6.7)$$

Таким чином, формуючи дійсну частину вектора струму статора $I_{1x}=\text{const}$, а уявну частину I_{1y} та ковзання s_a згідно закону

$$s_a = \frac{r_2}{x_2} \cdot \frac{I_{1y}}{I_{1x}}, \quad (6.8)$$

Отримуємо результат, відповідно до якого виконуються рівності

$$\begin{cases} \bar{\Psi}_2 = \Psi_{2x} = \text{const}, \\ \mu \equiv I_{1y}, \end{cases} \quad (6.9)$$

тобто керування струмом I_{1y} , при $I_{1x}=\text{const}$ є еквівалентним керуванню моментом двигуна. При цьому вектор потокозчеплення $\bar{\Psi}_2$ буде залишатися нерухомим в координатних вісях, які обертаються із частотою f_1 .

Таке керування отримало назву векторного частотно-струмового керування з непрямою (шляхом формування відповідного ковзання) орієнтацією по полю двигуна. В даному випадку задаються струм I_{1y} , і ковзання s_a , а частота f_1 формується як сума сигналів із сенсора швидкості та заданого ковзання.

6.2 Математична модель електромеханічної системи електропідіймача (електрокари)

Сучасна теорія асинхронного електроприводу надає математичний апарат, який з високою точністю дозволяє розраховувати параметри і режими роботи тягових електроприводів, тому для оптимізації розробки ефективних систем управління ними необхідно застосовувати методи імітаційного моделювання. Початковий етап створення системи управління рухом тягового рудничного електроприводу з асинхронним двигуном вимагає розробки адекватної математичної та імітаційної моделей, що дозволить уникнути грубих помилок і скоротити час розробки на наступному етапі натурних досліджень режимів роботи. У математичній моделі необхідно врахувати:

- обмеження по коефіцієнту зчеплення колісних пар;
- наявність пружного кріплення рами електровоза до букців колісних пар і, як наслідок, наявність крутного моменту щодо центра маси електровоза при реалізації тяги;
- наявність люфту і пружності в зчіпних пристроях вагонеток, що призводить до необхідності розглядати рухомий склад як механічну систему з розподіленими параметрами.

Відомо, що раніше були спроби дослідження впливу цих факторів на динаміку електромеханічної системи рухомого складу окремо, але обліку їх сукупного впливу не проводилося [15, 16].

Рухомий склад являє собою електромеханічну систему, поведінку якої можна з певним ступенем наближення описати системою лінійних диференціальних і алгебраїчних рівнянь. Причому, ці рівняння утворюють дві підсистеми: одна описує електромеханічну частину, що складається власне з тягових електроприводів двох колісних пар рудничного електровоза, інша механічну частину електровоза спільно з рухомим складом. Взаємний вплив цих частин з силовим впливом на зчіпний пристрій електровоза і процеси прямого і зворотного перетворення енергії, що проходять в

електромеханічному перетворювачі електроприводу, необхідно врахувати при імітаційному моделюванні. Крім цього, в моделі механічної частини електровоза потрібно враховувати ефект буксування коліс, що є важливою властивістю роботи складу.

Електрична частина електровоза включає в себе два перетворювача частоти з векторним керуванням і два асинхронних тягових електродвигуна, що призводять в обертання незалежно першу і другу колісні пари (КП).

Механічна частина моделі врахована як багатомасова система, що складається з мас першої та другої колісних пар (КП), а також мас електровозу і вагонеток. Ці маси взаємопов'язані за рахунок пружних зв'язків в конструкції рухомого складу і режиму буксування колісних пар щодо рейкового шляху.

Системи рівнянь, що описують рух змінних математичної моделі кожного двигуна описуються системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{s_x} = (U_{s_x} + L'_S \omega_{\kappa} i_{s_y} + \frac{k_R}{T_R} \Psi_{R_x}) \frac{1}{R(1+T'_S p)}; \\ i_{s_y} = (U_{s_y} - L'_S \omega_{\kappa} i_{s_x} - p_n \omega k_R \Psi_{R_x}) \frac{1}{R(1+T'_S p)}; \\ \Psi_{R_x} = \frac{T_S}{(1+T_R p)} k_R i_{s_x}; \\ M = \frac{3}{2} p_n k_R \Psi_{R_x} i_{s_y}; \\ \omega_{\kappa} = p_n \omega + k_R \frac{i_{s_y}}{\Psi_{R_x}}, \end{array} \right.$$

де U_{sx}, U_{sy} – складові напруги джерела струму по осям x та y ;

i_{sx}, i_{sy} – складові струму статора по осі x та y ;

ω_{κ} – частота обертання рухомої системи координат xx та yy ;

ω – частота обертання ротора;

p_n – число пар полюсів;

T_R, T_S – постійні часу статора і ротора;

L'_S – індуктивність статора.

Структурна схема силового каналу електропривода із врахуванням запропонованої моделі приведена нижче.

Розглянемо силовий канал електроприводу:

- електродвигун, що виконує функцію електромеханічного перетворювача;
- перетворювач частоти, що відповідає за функцію електричного перетворювача;
- механічна система, що виконує функцію механічного перетворювача [17].

Структурна схема силового каналу частотно-регульованого асинхронного електроприводу з векторним керуванням реалізується на базі структурної схеми асинхронного електродвигуна в обертовій системі координат d, q , орієнтованої по результуючому вектору потокозчеплення ротора, і представлена в загальному випадку на рисунку 6.1.

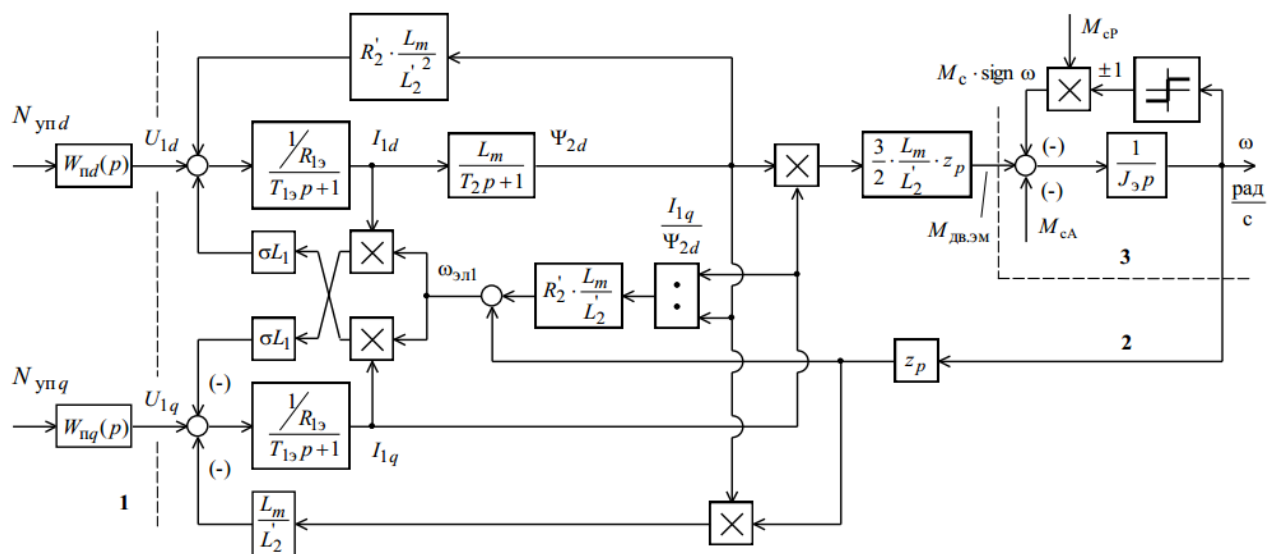


Рисунок 6.1 – Структурна схема силового каналу асинхронного електропривода із векторним керуванням

На рисунку 6.1 позначені: 1 – перетворювач-формував фазних напруг управління асинхронним електродвигуном; 2 – асинхронний електродвигун в системі координат d, q , орієнтованої по результуючому вектору

потокосцеплення ротора; 3 – одномасова механічна система в загальному випадку з навантаженням активного і реактивного характеру.

Висновок: Запропоновано та адаптовано математичні моделі процесів, які протікають в системі електроприводу ПЧ-АД із використанням принципів векторного керування для потреб функціонування електропідіймача.

7 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

7.1 Розрахунок основних параметрів та характеристик системи керування

Однією з основних характеристик системи управління є період дискретності T_0 . Для систем з астатизмом першого порядку період дискретності визначається допустимою величиною швидкісної помилки $\varepsilon_{ш}$ і прискоренням, що допускається $\alpha_{доп}$:

$$T_0 \leq \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon_{ш}}{\alpha_{доп}}}, \quad (7.1)$$

$$T_0 \leq \sqrt{\frac{2 \cdot 3,5 \cdot 10^{-4}}{1,3}} = 0,023 \text{ (с)}.$$

Проте розрахунок T_0 по цій формулі гарантує дотримання лише однієї умови – траєкторія прискореного руху робочого органу за час T_0 не відхилиться від заданої траєкторії більше, ніж на величину $\varepsilon_{ш}$.

Слід врахувати, що при проектуванні приводу необхідно забезпечити стійкість і необхідну смугу частотного діапазону. Ці параметри залежать від періоду дискретності T_0 , величина якого визначає форму частотної характеристики у високочастотному діапазоні. Тому необхідно спочатку побудувати бажану частотну характеристику системи, а потім визначити період дискретності.

На рисунку 6.1 зображена бажана логарифмічна амплітудно-частотна характеристика (ЛАЧХ), форма якої дозволяє:

- усунути позиційну помилку – перша асимптота має нахил до осі частот 20 дБ/дек;

- обмежити швидкісну помилку – перша асимптота повинна зайняти певне положення на осі відносної амплітуди $L(\lambda)$;
- забезпечити стійку роботу приводу – ЛАЧХ має асимптоту, яка перетинає вісь частот з нахилом 20 дБ/дек;
- забезпечити необхідний частотний діапазон приводу і показник тієї, що коливає – повинна бути забезпечена необхідна довжина асимптоти в частотному діапазоні $\lambda_2 \dots \lambda_3$.

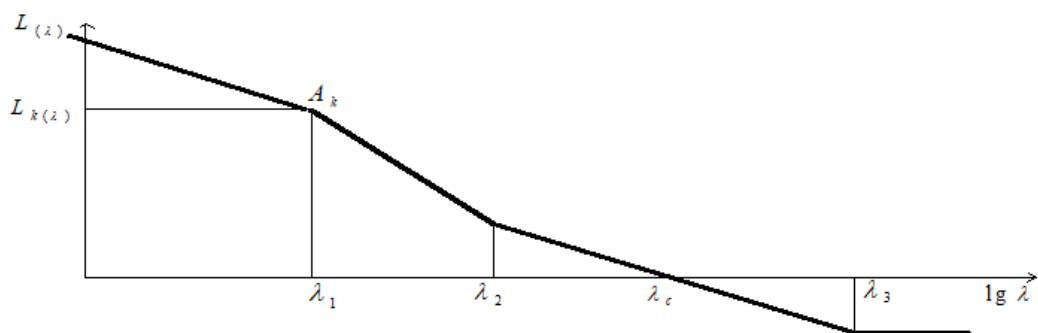


Рисунок 2.2 – Бажана форма ЛАЧХ цифрового електроприводу

Бажана ЛАЧХ описується наступної дискретної частотної характеристики (ДЧХ):

$$W_{\omega}(j\lambda) = \frac{K \cdot (1 + \tau_2 \cdot j\lambda)}{j\lambda \cdot (1 + \tau_1 \cdot j\lambda)} \cdot \frac{\left(1 - j\lambda \frac{T_0}{2}\right)^{q_1}}{\left(1 + j\lambda \frac{T_0}{2}\right)^{q_2}}, \quad (7.2)$$

де $K = K_1$; $\tau_1 = 1 / \lambda_1$; $\tau_2 = 1 / \lambda_2$; $\lambda_3 = 2 / T_0$ – основні параметри, які визначаються вимогами до системи електроприводу;

$(1 - j \cdot \lambda \cdot T_0 / 2)^{q_1} / (1 + j \cdot \lambda \cdot T_0 / 2)^{q_2}$ – характеристика запізнювання, які визначаються параметрами цифрової системи.

Для визначення основних параметрів ДЧХ необхідно перетворити задані параметри технологічного процесу в еквівалентні параметри

гармонійного сигналу, які дозволяють визначити положення критичної точки A_k забороненої області ЛАЧХ.

Перетворення параметрів можливі в тих випадках, коли рухи робочих органів задаються у вигляді кругових траєкторій. При розгортці в часі однієї з координат кругової траєкторії руху отримаємо синусоїду поверхні:

$$\alpha(t) = \alpha_m \cdot \sin(\omega t), \quad (7.3)$$

де ω – кутова швидкість двигуна подачі (подача), рад/с.

Перша і друга похідні (швидкість і прискорення) гармонійного сигналу визначаються відомими виразами:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \dot{\alpha} = \alpha_m \omega, \quad (7.4)$$

де індекси m позначають максимальні (допустимі) значення.

Звідси можна визначити еквівалентні параметри гармонійної дії – частоту і амплітуду:

$$\begin{cases} \omega_e = \frac{\ddot{\alpha}_m}{\dot{\alpha}_m} \\ \alpha_e = \frac{\dot{\alpha}_m^2}{\ddot{\alpha}_m} \end{cases} \quad (7.5)$$

Максимальна помилка для дискретної системи визначається виразом:

$$\theta_m[n] \approx \alpha_e[n] / |W(j\lambda)|, \quad (7.6)$$

де $W(j\lambda)$ – дискретна частотна характеристика системи,

λ – псевдочастота.

Для низькочастотної ділянки ЛАЧХ справедливе допущення $\lambda \approx \omega$.

Тоді:

$$W(j\lambda) \approx W(j\omega). \quad (7.7)$$

Якщо відоме значення помилки $\theta_m[n]$, то повинна бути виконана умова:

$$|W(j\lambda)| > \alpha_e[n] / \theta_m[n]. \quad (7.8)$$

Для відносної амплітуди $L(\lambda_k)$ ця умова запишеться в наступному вигляді:

$$L(\lambda_k) = 20 \lg |W(j\lambda)| > 20 \lg \frac{\dot{\alpha}_m^2}{\ddot{\alpha}_m \cdot \theta_m[n]}. \quad (7.9)$$

У системах управління електроприводами значення максимальної швидкості $\alpha'_m = V_{max}$, допустимого прискорення $a''_m = a_{don}$, і допустимої швидкісної помилки $\theta_m[n] = \varepsilon_c$, відомі.

Тоді, враховуючи умови перетворення, для забезпечення необхідної точності бажана ЛАЧХ повинна проходити вище за критичну точку A_k з координатами:

$$\lambda_k = a_{доп} / V_{max}, \quad (7.10)$$

$$\lambda_k = 1,3 \cdot 60 / 17 = 4,6 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

$$L(\lambda_k) = 20 \lg \frac{V_{max}^2}{\alpha_{don} \cdot \varepsilon_c}, \quad (7.11)$$

$$L(\lambda_k) = 20 \lg \frac{17^2}{1,3 \cdot 0,35 \cdot 10^{-3} \cdot 60^2} = 44,932 \text{ (дБ)}.$$

При цьому заборонена область обмежується по відносній амплітуді першою асимптотою, яка проводиться ліворуч від точки A_k з нахилом -20 дБ/дек. По частоті ця заборонена область обмежується другою асимптотою, яка проводиться вправо від точки A_k з нахилом -40 дБ/дек. Положення забороненої зони показане на рисунку 7.2.

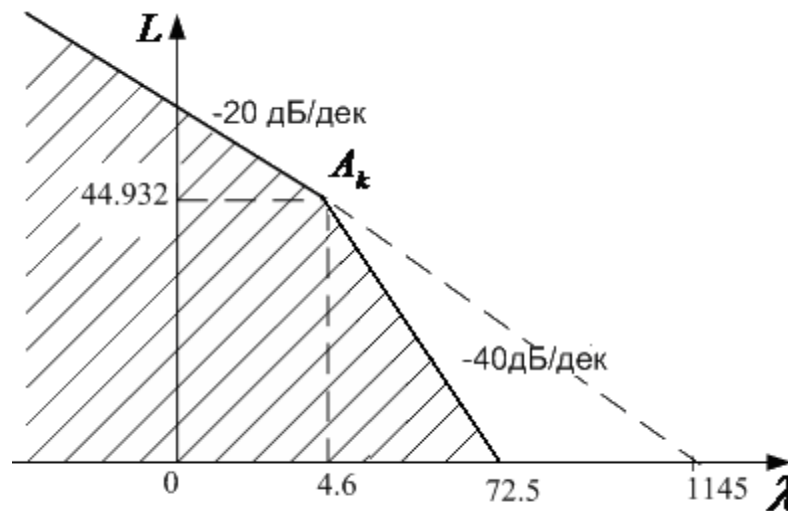


Рисунок 7.2 – Побудова забороненої зони по критеріях точності

Швидкісна помилка $\varepsilon_{\text{ш}}$ визначає необхідну добротність системи за швидкістю K_1 , яка визначається по формулі:

$$K_1 = V_{\text{max}} / \varepsilon_{\text{ш}}, \quad (7.12)$$

$$K_1 = 17 / 0,35 \cdot 10^{-3} \cdot 60 = 809,524 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Значення K_1 відповідає точці перетину лінії, яка продовжує першу низькочастотну асимптоту, з віссю λ .

Після побудови забороненої області будуються логарифмічні амплітудні і фазові частотні характеристики. При побудові слід дотримуватися наступного порядку:

- Перша низькочастотна асимптота бажаної ЛАХ проводиться з нахилом -20 дБ/дек вище за точку A_k на 3 дБ, щоб забезпечити запас стійкості. Підйом характеристики приводить до збільшення коефіцієнта добротності за швидкістю в $\sqrt{2}$ разів:

$$K_1 = \sqrt{2} \cdot \frac{V_{\text{max}}}{\varepsilon_c}, \quad (7.13)$$

$$K_1 = \sqrt{2} \cdot \frac{17}{0,35 \cdot 10^{-3} \cdot 60} = 1145 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

- Друга асимптота проводиться з нахилом -40 дБ/дек від точки сполучення з координатами $(\lambda_k; L(\lambda_k) + 3)$ до точки перетину з віссю, яка визначає базову частоту λ_0 забороненої області:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{\alpha_{\text{don}}}{\varepsilon_c} \cdot \sqrt{2}}, \quad (7.14)$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1,3}{0,35 \cdot 10^{-3}} \cdot \sqrt{2}} = 72,5 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

- По заданому показнику коливальності M визначається частота сполучення другої і третьої асимптот:

$$\lambda_2 = \lambda_0 \sqrt{\frac{M-1}{M}}, \quad (7.15)$$

$$\lambda_2 = 72,5 \sqrt{\frac{1,4-1}{1,4}} = 38,74 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

- Третя асимптота з нахилом -20 дБ/дек проводиться від точки λ_2 до точки λ_3 , яка визначається з умови забезпечення необхідного показника коливальності:

$$\lambda_3 = \lambda_2 \cdot (M + 1) / (M - 1), \quad (7.16)$$

$$\lambda_3 = 38,74 \cdot (1,4 + 1) / (1,4 - 1) = 232,441 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Крім того, λ_3 визначає співвідношення:

$$\lambda_3 = 2 / T_0. \quad (7.17)$$

• Будується графік $\mu(\lambda)$ забороненої області фазової частотної характеристики:

$$\mu(\lambda) = -\lambda_0 + \arccos \left[\frac{M^2 / (M^2 - 1) + \lambda_c^2 / \lambda^2}{2\lambda_c \cdot M^2 / (M^2 - 1)} \right]. \quad (7.18)$$

де λ_c – частота зрізу, яка визначається по формулі:

$$\lambda_c = K_1 \cdot \lambda_1 / \lambda_2, \quad (7.19)$$

$$\lambda_c = 1145 \cdot 4,6 / 38,74 = 135,59 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

• Будується графік фазової частотної характеристики $\varphi(\lambda)$:

$$\varphi = -\lambda_0 + \operatorname{arctg} \left(\frac{M \cdot \lambda}{(M^2 - 1) \cdot \lambda_c} \right) - q \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{\lambda \cdot T_0}{2} \right). \quad (7.20)$$

де q – показник еквівалентного запізнювання, значення якого приймається рівним 1.

На рисунку 7.3 показано положення забороненої області $\mu(\lambda)$ і фазової частотної характеристики $\varphi(\lambda)$.

Побудовані графіки дозволяють зробити висновок про запас стійкості системи управління по фазі. Фазова характеристика не повинна заходити в заборонену область, для якої відносна логарифмічна амплітуда знаходиться в межах:

$$20 \cdot \lg (M/(M+1)) < 20 \cdot \lg A \leq 20 \cdot \lg (M/(M-1)) \quad (7.21)$$

$$20 \cdot \lg (1,4/(1,4 + 1)) < 20 \cdot \lg A \leq 20 \cdot \lg (1,4/(1,4 - 1)).$$

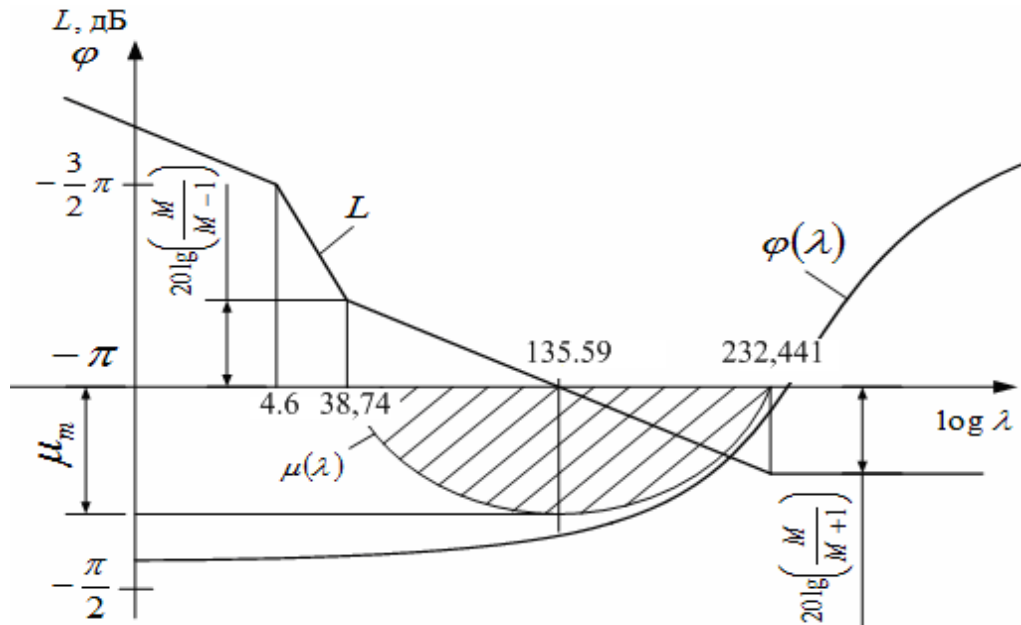


Рисунок 7.3 – Побудова забороненої області для фазової характеристики

Якщо ж ця умова не виконується, то бажаний результат можна отримати шляхом зміни частот сполучення λ_1 і λ_2 , а також коефіцієнта K_1 .

У верхньому діапазоні частота λ_3 визначає період дискретності T_0 відповідно до виразу:

$$T_0 = 2 / \lambda_3, \quad (7.22)$$

$$T_0 = 2 / 232,441 = 8,6 \text{ (мс)}.$$

6.2 Вибір та обґрунтування типу мікроконтролера для керування системою електропривода

Завдання проектування систем управління на локальному рівні, найчастіше, стосуються систем електроприводів, що виконують певні робочі рухи. У технологічному устаткуванні машинобудівного виробництва використовуються регульовані і слідкуючі електроприводи з двигунами постійного або змінного струму.

В даному електроприводі вимірювальна система у контурі струму в якості сенсорів зворотного зв'язку застосовані шунти $R_{ш}$. Для підсилення

напруги, яка знімається з шунтів ($U_{\text{ш}} = 0 \dots 75 \text{ мВ}$), і формування двохполярного сигналу використовується диференціальний підсилювач ДП. Вихідна напруга підсилювача $U_{\text{фт}}$, відповідна фактичному значенню струму, через гальванічну розв'язку поступає на один вхід компаратора К, а на інший подається вихідна напруга цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), який перетворить код завдання струму $N_{\text{зс}}$ в аналоговий сигнал завдання $U_{\text{зс}}$.

Логічний сигнал з виходу компаратора поступає на схему управління СУ, яка призначена для перетворення коду управління N_y в тривалості імпульсів перемикання силових транзисторів. Ці імпульси через оптронну розв'язку ОР і імпульсні підсилювачі ІП подаються на бази транзисторних ключів VT1.VT4, створюючих мостову схему. З метою усунення крізних струмів при перемиканні пар організовується безструмова пауза. Як силові елементи застосовані біполярні транзистори з ізольованим затвором.

Інформація з перетворювачів переміщення-код порівнюється з кодом завдання, помилка обробляється за допомогою програми регулятора, який виконує розрахунок коду управління N_y і рівня обмеження струму $N_{\text{зс}}$ у функції швидкості. Для регулювання прийняті: пропорційний закон в контурі положення з введенням сигналу компенсації швидкісної помилки і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) закон в контурі швидкості. Період дискретності системи управління складає 1 мс.

На ринку України широко представлені мікроконтролери відомих фірм SIEMENS, ABB, INTEL і багато інших. Мікропроцесори серії ARM7 компанії PHILIPS не поступаються аналогам по технічними і економічними характеристиками. Перевагою мікропроцесорів даної серії є велика кількість технічної документації і легкий доступ до неї.

Структурна схема мікроконтролера LPC2148 представлена на рисунку 7.4.

Для роботи контролера необхідне одне джерело живлення +3В. Через два програмовані порти введення/виводу LPC2148 взаємодіє з середовищем в

стандарті ТТЛ-схем з трьома станами виходу.

Важливою особливістю АЛУ є його здатність оперувати не тільки байтами, але і бітами.

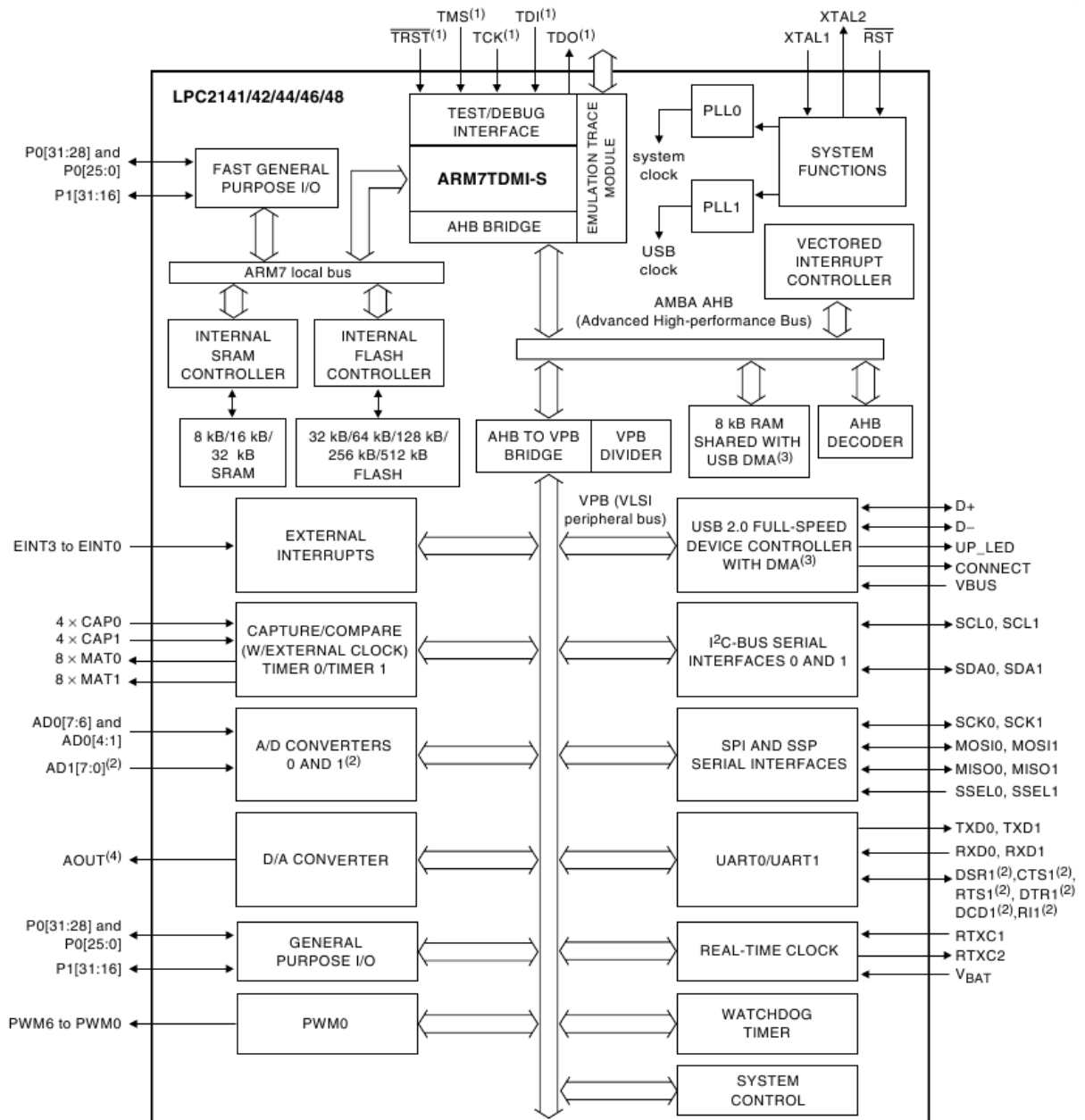


Рисунок 7.4 – Структурна схема мікроконтролера LPC2148

Контролер LPC2148 має такі структурні одиниці:

- тестовий інтерфейс, що дозволяє проводити покрокове виконання програми;

- ОЗУ пам'ять ;
- FLASH пам'ять;
- векторний контроллер переривань;
- інтерфейси SSP, SPI, I2C;
- два UART-протоколи;
- годинник реального часу;
- ЦАП ;
- два АЦП;
- два таймери захоплення/порівняння;
- WDT;
- два режими роботи звичайний і економний;

кварцовий резонатор, який підключається до зовнішніх виводів Xtal1 і Xtal2, управляє роботою внутрішнього генератора, який у свою чергу формує сигнали синхронізації.

7.3 Розробка схеми електричної принципової системи керування електроприводом електрокари

Як впливає з вищевикладеного, першим і основоположним принципом реалізації процесу модернізації є створення на базі сучасних тягових електротехнічних систем нових видів (типів) електрокарів.

Узагальнюючи вище проведений аналіз та вибір засобів, які інтегруються в систему керування електроприводу електронавантажувача, приведемо принципову електричну схему електричного навантажувача (рисунок 7.5).

Основними блоками тягового електроприводу електронавантажувача є: засоби управління водія, система управління електроприводом з інверторами І1, І2 і гальмівним чоппером VT, блок живлення кіл управління і освітлення БП, зарядний пристрій ЗУ, акумуляторна батарея АБ, тягові асинхронні двигуни М1, М2.

Вхідний фільтр виконується окремим блоком і складається з індуктивності L і ємності. Крім цього до складу блоку фільтра включені запираючий діод, зворотний діод, обмежувач перенапруг.

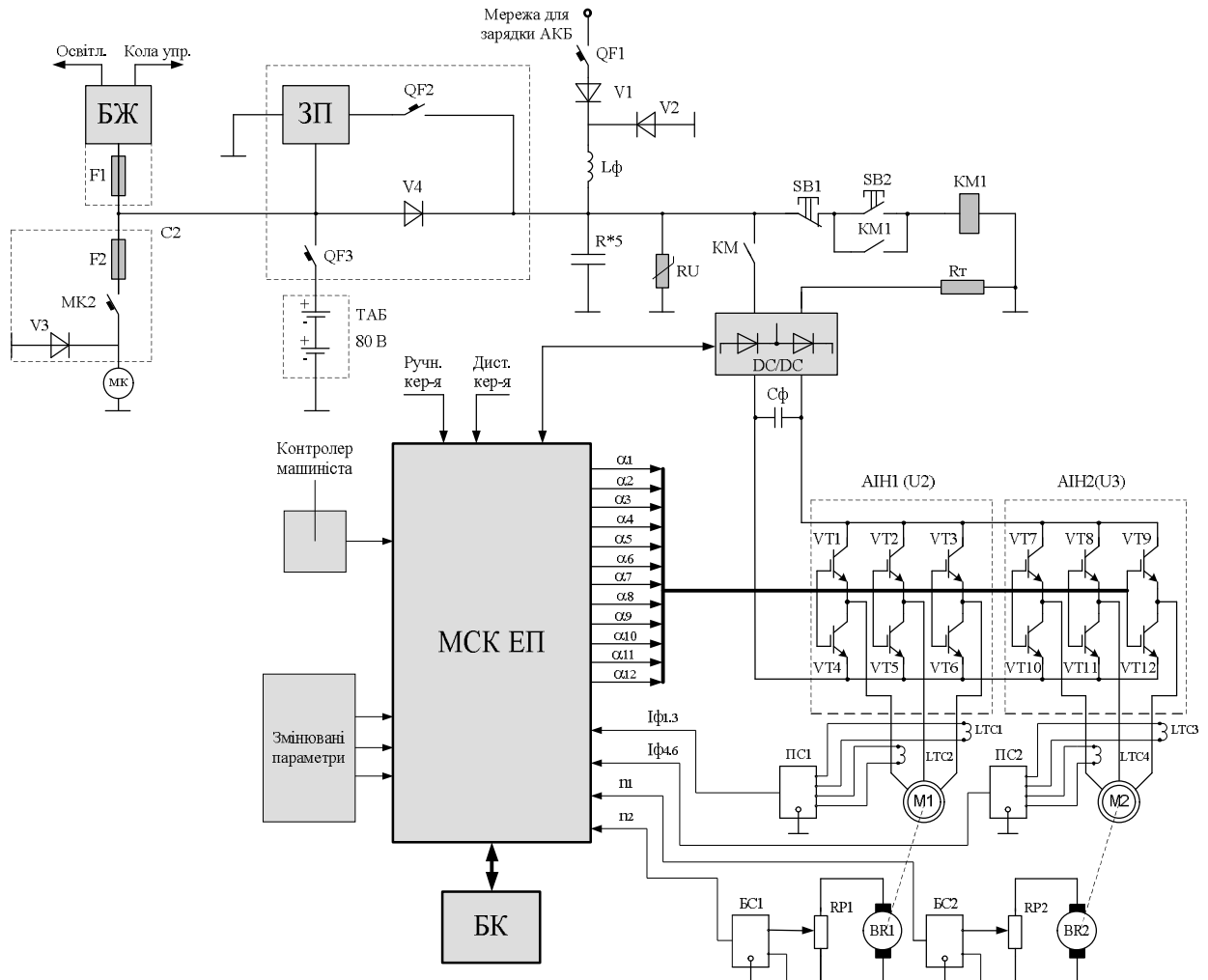


Рисунок 7.1 – Схема електрична принципова шахтного контактнийого електровоза типу 7КА

Обмежувач перенапруг виключає появу небезпечних перенапруг на конденсаторах, у тому числі тих, що при резонансному заряді конденсаторів. При цьому не потрібна схема попереднього заряду конденсаторів через резистор і втрати робочого часу на заряд.

Заряджання акумуляторних батарей виконується через автоматичний вимикач QF1 напруга надходить на вхідний фільтр, який є загальним для системи керування електроприводом і зарядного пристрою.

Швидкість обертання двигунів регулюється автономними інверторами

напруги I_1 , I_2 , зібраними на силових IGBT-транзисторах. Діапазон регулювання частоти на виході інверторів складає 2 - 100Гц. При регулюванні задається напруга на тягових двигунах, а частота автоматично перебудовується в залежності від заданої напруги і існуючої в даний момент сили тяги електровоза відповідно до існуючих співвідношень.

Цікавим є також збільшення сили тяги і як результат збільшення продуктивності електрокари. Сила тяги може бути збільшена як за рахунок збільшення ваги електрокари, так і за рахунок застосування плавного автоматизованого керування електроприводом.

Передбачається також електричне гальмування тягових двигунів. При цьому відключається контактор КМ1 і енергія гальмування від двигунів М1, М2 через інвертори віддається гальмівному резистору. Інтенсивність гальмування регулюється гальмівним чоппером на транзисторі.

Живлення тягового приводу і інших пристроїв електрокари здійснюється від акумуляторної батареї АБ. Необхідна ємність батареї становить приблизно 350 - 400 А год, номінальна напруга 80 В. З такими параметрами виготовляються комплектні батареї для електронавантажувачів.

Автоматична підзарядка акумуляторної батареї від мережі здійснюється за допомогою зарядного пристрою ЗП. Зарядний пристрій забезпечує імпульсне регулювання струму заряду в залежності від напруги в акумуляторах. Для обмеження виділення газів в процесі заряду напруга на одному акумуляторі не повинна перевищувати 2,4 В, а на батареї з 40 елементів – 96 В. Необхідний струм підзарядки акумуляторної батареї визначається співвідношенням часу роботи електрокари.

Від акумуляторної батареї отримують живлення не тільки силові кола, але і кола управління електрокари: мотор компресора МК і блок стабільного живлення БП – для живлення кіл освітлення і елементів системи управління.

Декілька слів щодо застосування в електроприводі електрокари асинхронних двигунів. Асинхронні двигуни в кілька разів дешевші двигунів

постійного струму. Різниця в ціні двигунів дозволяє компенсувати додаткові витрати на систему управління. У зв'язку з відсутністю щітково-колекторного вузла надійність асинхронних тягових двигунів приблизно в 5 разів вище, відповідно значно менші витрати на обслуговування і ремонт.

Система керування електроприводом забезпечує плавне регулювання струму і тягового зусилля, а також захист від буксування. За рахунок цього максимальне тягове зусилля може бути збільшено на 10 - 20%. В результаті максимальна сила тяги електровоза збільшується і він буде стійко перевозити состави не з 10, а з 12 вагонеток вантажопідйомністю 10 т.

За рахунок плавного регулювання також знижується ймовірність і інтенсивність буксування, що зменшить знос коліс і витрати енергії.

Мікропроцесорна система управління легко пристосовується для дистанційного керування електрокарами при виконанні навантажувальних і розвантажувальних робіт. При цьому доцільно використовувати комплектні пристрої промислового радіоуправління.

8 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК САЕП

8.1 Побудова графіків перехідних характеристик

У трифазних асинхронних двигунів найбільш перспективним способом плавного регулювання є зміна частоти напруги живлення. При цьому слід зазначити, що для найкращого застосування двигуна, зміна частоти повинна супроводжуватися зміною амплітуди напруги живлення. Пояснюється це тим, що при незмінній амплітуді напруги і регулюванні частоти буде змінюватися магнітний потік машини. Зменшення частоти викличе збільшення магнітного потоку, що може призвести до насичення магнітопроводу, різкого зростання намагнічуючого струму і перегріву як сталі, так і обмоток статора. Збільшення частоти призводить до зменшення магнітного потоку, що при постійному статичному моменту викличе зростання струму в роторі і, відповідно, перегрів ротора [8].

Функціональна схема асинхронного привода електрокари приведена на рисунку на рисунку 8.1.



Рисунок 8.1 – Спрощена структурна схема асинхронного
приводу електрокари

Функціональна схема включає в себе:

- асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, який перетворює електричну енергію джерела в механічну енергію обертання ротору;
- джерело електричного живлення, який перетворює напругу постійного струму акумулятора в трифазну напругу змінного струму, кероване за амплітудою і частотою;

– пристрій завдання частоти обертання, яке виробляє сигнал необхідного для забезпечення режиму роботи приводу з постійною потужністю;

– пристрій завдання значення напруги, яке вироблює сигнал, необхідного для забезпечення обертаючого моменту при зміні частоти обертання;

– контролер, за допомогою якого водій електрокари задає бажану швидкість руху.

Робота схеми асинхронного приводу полягає в наступному: водій електрокари задає бажану швидкість руху, яка реалізується частотою обертання двигуна. Частота обертання залежить від положення контролера и моменту опору обертанню (M_c) – вона зворотно пропорційна моменту, так що потужність, яку розвиває двигун, є величиною постійною.

Напруга живлення двигуна пропорційна квадратному кореню частоти обертання під час руху електровозу і номінальна для двигуна під час пуску із нерухомого стану.

З метою аналізу динамічних властивостей системи електроприводу ПЧ-АД електрокари на основі вище приведенного опису була побудована спрощена модель в пакеті прикладних програм ППП Matlab Simulink. Модель системи приведена на рисунку 8.2. Модель враховує перехідні процеси одного приводного двигуна. Другий двигун моделюється аналогічним чином.

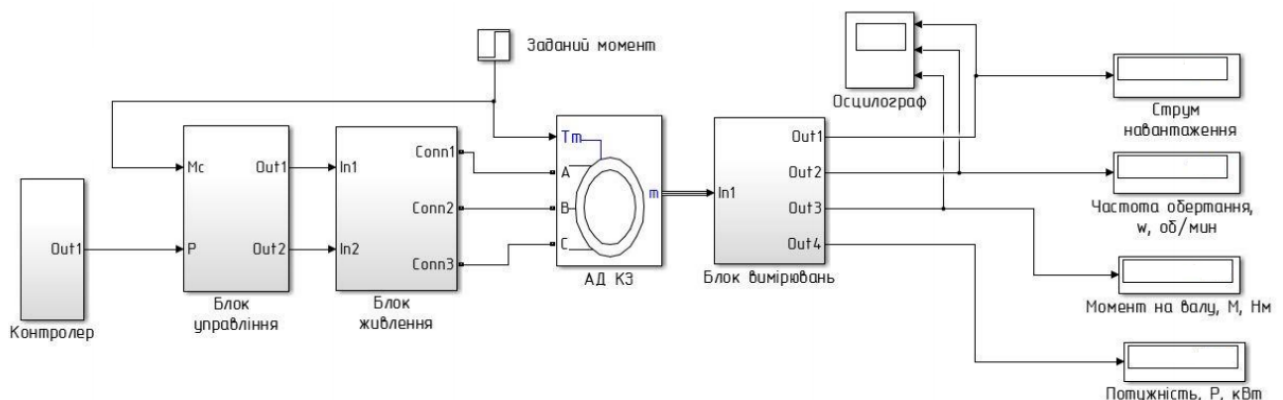


Рисунок 8.2 – Модель системи ПЧ-АД в ППП Matlab Simulink

Схема складається з наступних складових частин:

- блок асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, параметри якого представлена на рисунку 8.3;
- блок живлення, який подає на двигун напругу керованої частоти і амплітуди;
- блок управління – здійснює регулювання частоти в функції моменту і напруги в функції частоти;
- блок вимірювань – відображає вимірювані величини, згідно з одиницями, передбаченими ГОСТом;
- осцилограф та дисплеї – призначені для відображення результатів моделювання.

Розглянемо більш детально блоки управління та живлення. Контролер (рисунок 8.3, а) призначений для розрахунку значень зовнішніх характеристик привода та складається із ключів Manual Switch. Кожен із ключів задає зовнішню характеристику привода, залежність швидкості від моменту. Таким чином, побічно задається швидкість, з якою при певному моменті опору рухається електрокара. На вході ключів значення потужності – добуток моменту на частоту обертання. В залежності від положення контролера потужність привода складає $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1 від номінальної потужності двигуна.

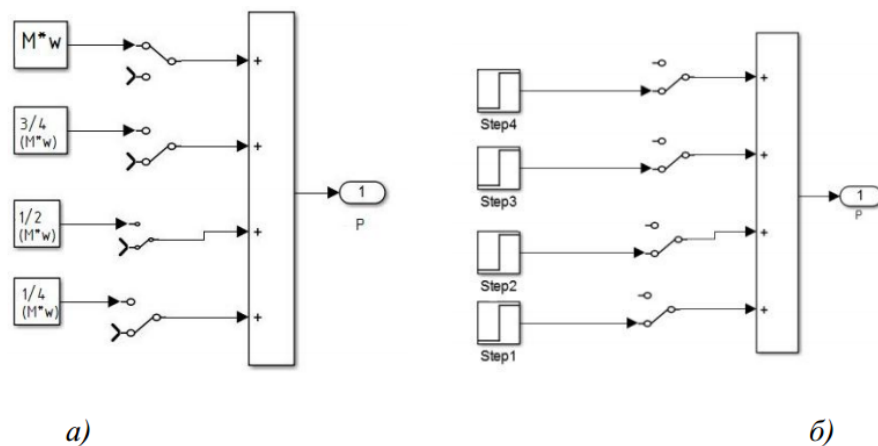


Рисунок 8.3 – Модель контролера електровоза

Контролер або блок керування (рисунок 8.4) призначений для моделювання перехідних процесів управління двигуном електрокари з контролера (блока керування). Через проміжки часу на вхід подається значення потужності, яке складає $\frac{1}{4}$ номінальної потужності двигуна, та через чотири кроки встановлюється значення потужності.

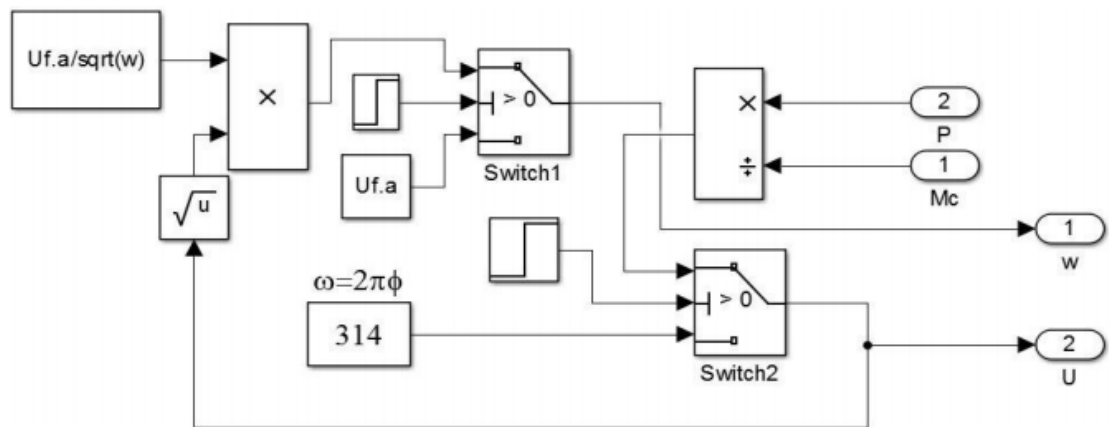


Рисунок 8.4 – Модель блоку керування

Блок керування (рисунок 8.4) призначений для формування залежності частоти обертання від моменту опору і залежності напруги від частоти. Перша із вказаних залежностей забезпечує режим роботи двигуна з постійною потужністю, друга – змінення напруги в функції частоти, необхідної для асинхронного двигуна в такому режимі.

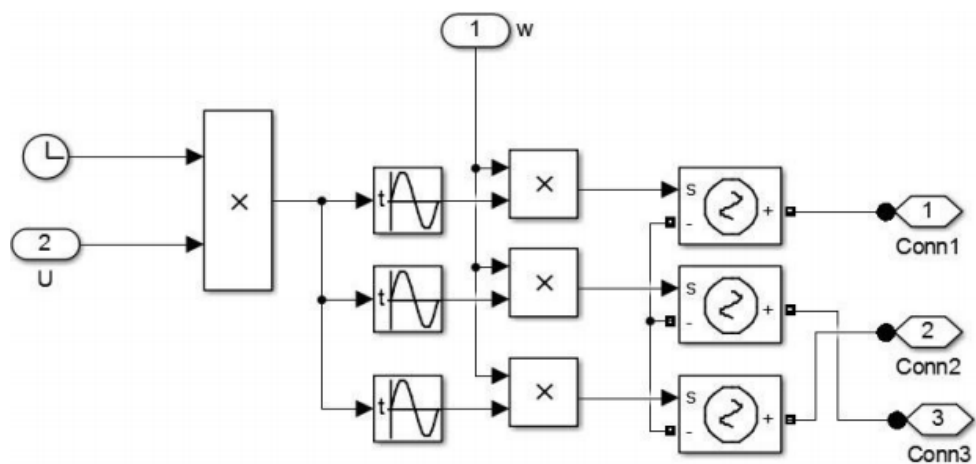


Рисунок 8.5 – Модель блоку живлення

Блок живлення (рисунок 8.5) складається з джерел напруги Controlled Voltage Source у кількості трьох елементів, один на кожен фазу. Керуючі ними елементи Sine Wave Function, які створюють на виході джерел синусоїдальну напругу, здвигнуту по фазі на $(2\pi/3)$ радіан, з амплітудою, яка дорівнює 1. В результаті, на виході блоку живлення отримаємо трифазну напругу, яка керується за амплітудою та частотою.

Блок вимірювань виконує функції перетворення значень. В результаті роботи цього блоку дисплеї, які підключені до виходу блоку, представляють перетворені значення у відповідних одиницях виміру.

Результати моделювання, які були виведені на осцилограф, представлені на рисунку 8.6-8.8. При моделюванні задавалися значення моменту, при цьому значення напруги та частоти обертання розраховуються автоматично, у відповідності функціональних блоків Simulink.

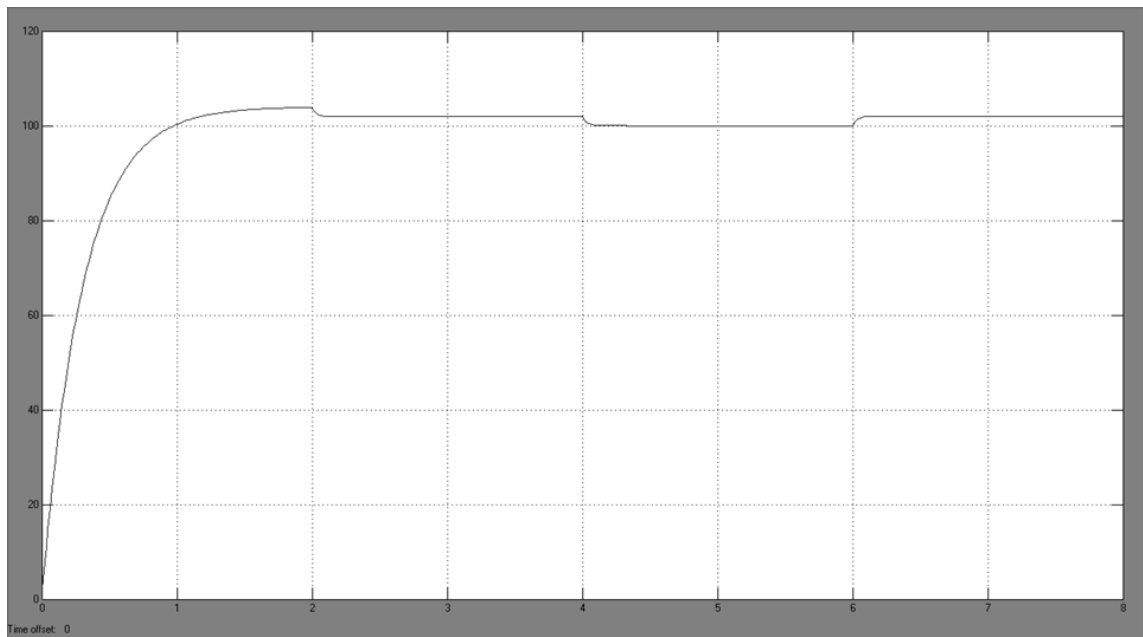


Рисунок 8.6 – Графік зміни частоти обертання вала двигуна

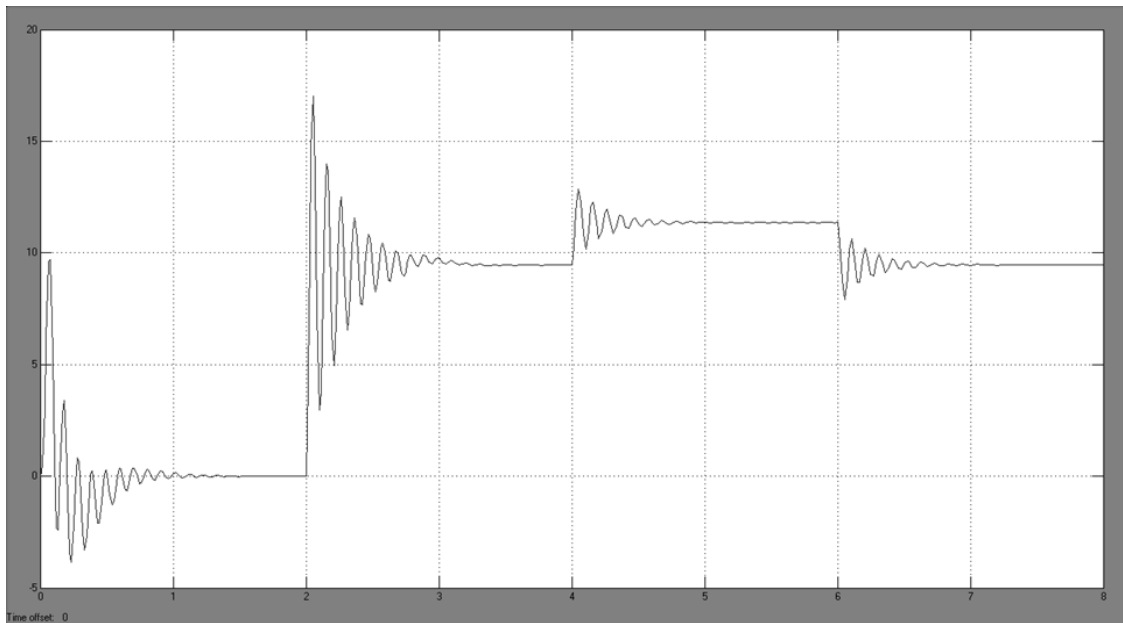


Рисунок 8.7 – Графік зміни струму якоря двигуна
в перехідних режимах

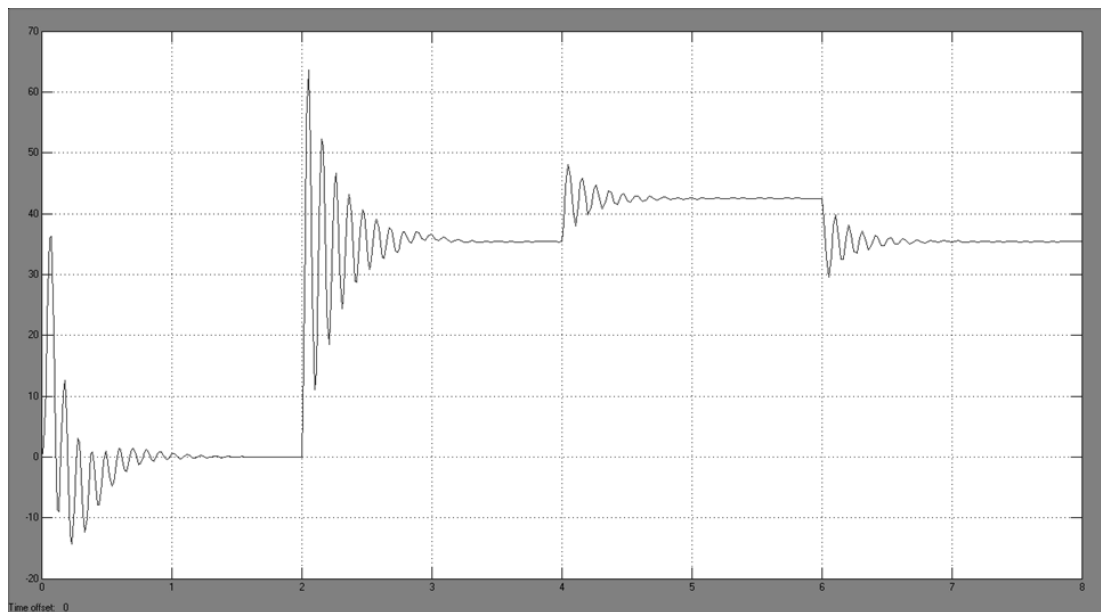


Рисунок 8.8 – Графік зміни моменту на валу двигуна
в перехідних режимах

8.2 Дослідження системи ЕП на стійкість та якість

Щоб дослідити систему на стійкість скористаємося можливостями ППП Matlab.

Використовуючи команди `[a,b,c,d]=linmod('untitled')`, `sys=ss(a,b,c,d)`, `systf=tf(sys)`, `margin(sys)` отримали ЛАЧХ і ЛФЧХ по збурювальній дії.

Графіки побудованих логарифмічних характеристик приведені на рисунку 8.9.

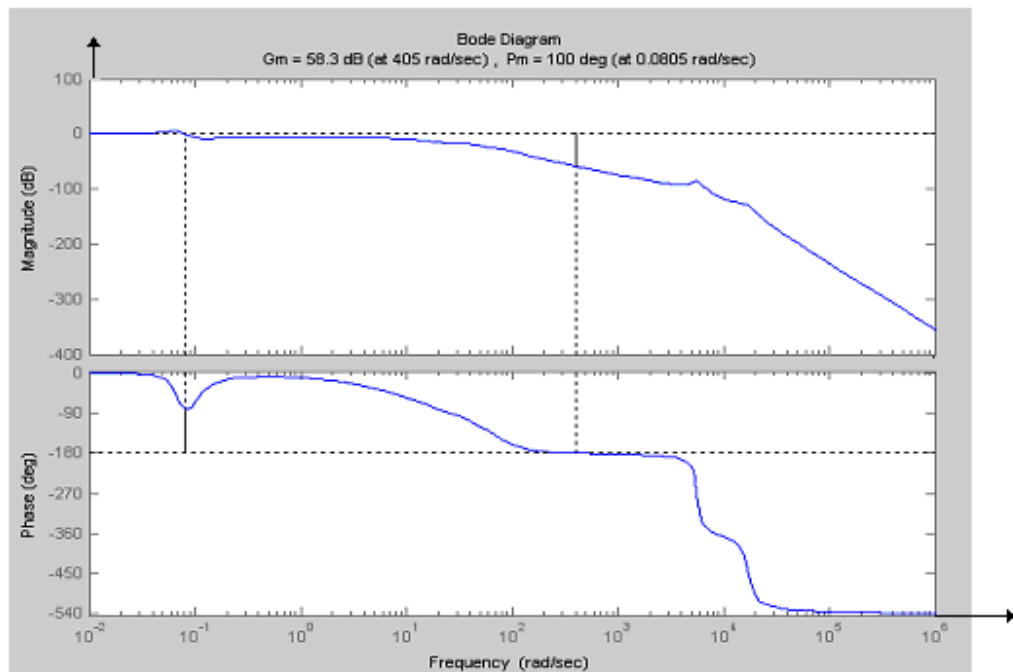


Рисунок 8.9 – Характеристики ЛАЧХ і ЛФЧХ по збурювальній дії

Знайдені запаси стійкості по амплітуді і по фазі зведемо до таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Запаси стійкості

Gm	58,3
Pm	100

Встановлення того, що система стійка недостатньо для того щоб охарактеризувати ефективність її роботи. Для цього систему потрібно дослідити на якість по збурювальній дії. Використавши команду Matlab

step(sys) отримаємо перехідний процес за яким дослідимо систему на якість.
Графік перехідної характеристики зображений на рисунку 8.10.

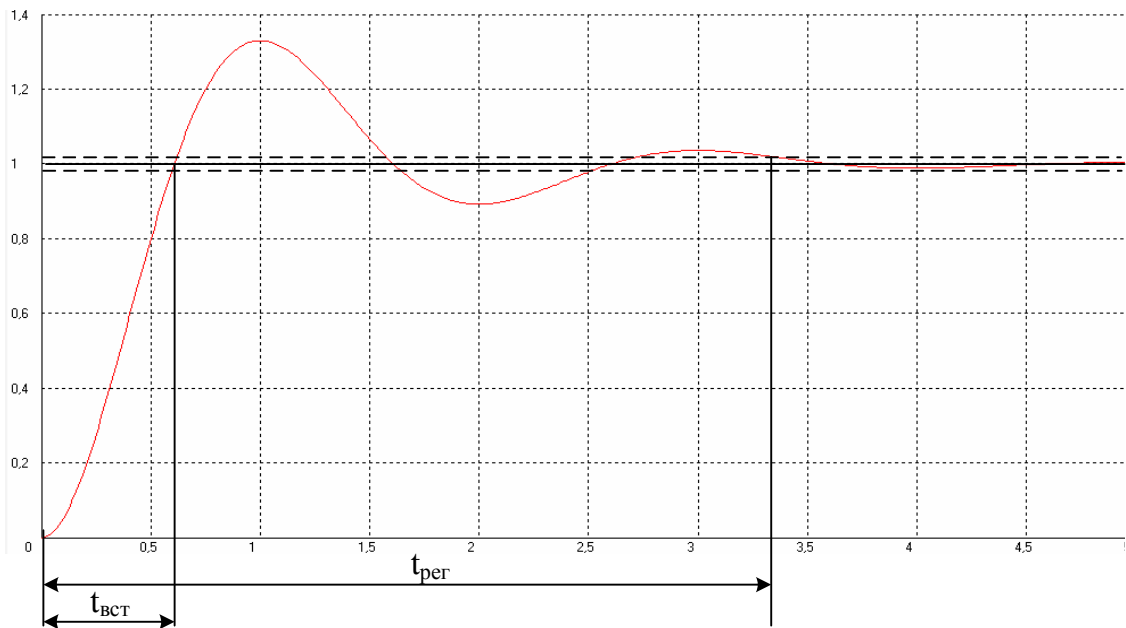


Рисунок 8.10 – Перехідна характеристика по системи

По перехідному процесі знайдемо показники якості:

- час встановлення:

$$t_{вст} = 0,62 \text{ (с)};$$

- усталене значення – значення на якому стабілізується система:

$$H_{уст} = 1;$$

- максимальне значення:

$$H_{max} = 1,35;$$

- перерегулювання:

$$\sigma = \frac{H_{max} - H_{уст}}{H_{уст}} \cdot 100\%, \quad (8.1)$$

$$\sigma = \frac{1,35 - 1}{1} \cdot 100\% = 35\%;$$

- час регулювання:

$$t_p = 3,35 \text{ (с)};$$

- КІЛЬКІСТЬ КОЛИВАНЬ:

$$N = 2;$$

- ЧАСТОТА КОЛИВАНЬ:

$$f = \frac{N}{t_p}; \quad (8.2)$$

$$f = \frac{2}{3,35} = 0,598.$$

Висновок: В результаті наповнення даного розділу було здійснено моделювання поведінки системи електропривода та побудова перехідних процесів. Отримані результати імітаційних досліджень доводять, що розроблений частотно-регульований електропривод електрокари забезпечує необхідні якісні показники.

Запропонована схема системи управління дозволяє створювати бережливе енергоспоживання від АБ, точний вибір потужності двигуна, і найголовніше – отримати механічні характеристики АД.

Аналізуючи перехідний процес, можна зробити висновок стосовно того, що система має гарні показники якості, а перерегулювання перевищує нормоване значення лише на 5 %.

9 ОХОРОНА ПРАЦІ

В цьому розділі розроблені заходи з охорони праці під час модернізації системи керування електропривода електрокари. Шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний оперативно-ремонтний персонал підприємства [20]:

- 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.

9.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

9.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Під час монтажу та ремонту системи керування електропривода транспортної лінії припортового заводу потрібно вживати заходів із запобігання впливу на працівників визначених вище небезпечних і шкідливих виробничих факторів. За наявності цих факторів, безпека праці під час монтажу та ремонту обладнання системи керування електропривода транспортної лінії припортового заводу повинна відповідати вимогам та заходам безпеки, що зазначені в нормативно-правовій документації з охорони

праці, зокрема під час виконання робіт: в діючих електроустановках; на висоті; з застосуванням електроінструменту; зварюванні тощо.

Особливу увагу потрібно приділяти убезпеченню працівників під час виконання робіт в діючих електроустановках, якою є система керування електропривода транспортної лінії припортового заводу. Найбільш ефективним засобом захисту працівників є встановлення заземлень. Встановлювати заземлення на струмопровідні частини необхідно безпосередньо після перевірки відсутності напруги.

Переносні заземлення спочатку треба приєднати до заземлювального пристрою, а потім, після перевірки відсутності напруги, встановити на струмопровідні частини. Знімати переносне заземлення необхідно в зворотній послідовності: спочатку зняти його зі струмопровідних частин, а потім від заземлювального пристрою.

Встановлення та зняття переносних заземлень слід виконувати в діелектричних рукавичках із застосуванням в електроустановках понад 1000 В ізолювальної штанги. Закріплювати затискачі переносних заземлень слід цією ж штангою або безпосередньо руками в діелектричних рукавичках. Забороняється користуватися для заземлення провідниками, не призначеними для цього, а також приєднувати заземлення за допомогою скручування.

В електроустановках понад 1000 В (підстанції 10/0,4 кВ) заземлювати слід струмопровідні частини всіх фаз (полісів) відключеної для робіт ділянки з усіх боків, з яких може бути подана напруга, за винятком відключених для робіт збірних шин, на які достатньо встановити одне заземлення. Під час робіт на відключеному лінійному роз'єднувачі на проводи спусків з боку ПЛ, незалежно від наявності заземлювальних ножів, має бути встановлене таке додаткове заземлення, яке не порушується під час виконання операцій з роз'єднувачем [19-20].

Заземлені струмопровідні частини мають бути відокремлені від струмопровідних частин, що перебувають під напругою, видимим розривом (вимкненими вимикачами, роз'єднувачами, відокремлювачами або вимикачами навантаження, знятими запобіжниками, демонтованими шинами або проводами). Безпосередньо на робочому місці заземлення додатково встановлюється в тих випадках, коли ці частини можуть опинитися під наведеною напругою (потенціалом), яка може викликати ураження струмом, або коли на них може бути подана напруга понад 42 В змінного і 110 В постійного струму від стороннього джерела.

В електроустановках, конструкція яких така, що встановлення заземлень небезпечне (наприклад, в деяких розподільчих шафах, КРУ окремих типів, збірках з вертикальним розташуванням фаз), під час підготовки робочого місця слід вжити додаткових заходів безпеки, що перешкоджають помилковому поданню напруги до місця роботи: приводи і вимкнені апарати замикаються на замок; на ножі або верхні контакти роз'єднувачів рубильників, автоматів тощо встановлюються гумові ковпаки або спеціальні накладки з ізоляційних матеріалів; запобіжники, ввімкнені послідовно з комутаційними апаратами, знімаються. Ці технічні заходи мають бути вказані в місцевій інструкції з експлуатації. В разі неможливості вжиття зазначених додаткових заходів мають бути від'єднані кінці лінії живлення – ВРУ, на щиті, збірці або безпосередньо на місці роботи. Список таких електроустановок визначається і затверджується особою, відповідальною за електрогосподарство.

Встановлення заземлення не потрібне під час роботи на електроустаткуванні, якщо від нього з усіх боків від'єднані шини, проводи та кабелі, якими може бути подана напруга; якщо на нього не може бути подана напруга зворотною трансформацією або від стороннього джерела і за умови, що на цьому устаткуванні не наводиться напруга. Кінці від'єднаних кабелів в цьому разі мають бути замкнені накоротко і заземлені.

Під час робіт в РУ встановлювати заземлення на протилежних кінцях ліній, що живлять це РУ, не потрібно, крім випадків, коли під час проведення робіт необхідно знімати заземлення з виводів ліній.

В електроустановках до 1000 В під час робіт на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин має бути знята і шини (за винятком шин, що виконані ізолюваним проводом) мають бути заземленими. Необхідність і можливість встановлення заземлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок і підключеного до них устаткування визначає особа, яка видає наряд (розпорядження). В електроустановках напругою до 1000 В всі операції зі встановлення і зняття заземлень дозволяється виконувати одній особі з групою III з числа оперативних чи оперативно-ремонтних працівників. Встановлення переносних заземлень у цьому випадку проводиться з землі за умови застосування спеціальної ізолювальної штанги, якою можна не тільки встановлювати, але і закріплювати ці заземлення.

Допускається тимчасове зняття заземлень, встановлених під час підготовки робочого місця, якщо це вимагається характером робіт, що виконуються. Тимчасове зняття і повторне встановлення заземлень виконується оперативним працівником чи (під його наглядом) членом бригади з групою III. Дозвіл на тимчасове зняття заземлень, а також на виконання цих операцій керівником робіт, слід обумовлювати в рядку наряду «Окремі вказівки» з записом про те, де і з якою метою мають бути зняті заземлення.

9.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання, яке використовується для виконання робіт з модернізації, та системи освітлення здійснюється від чотирьохпроводної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Категорія умов по небезпеці

електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [20]:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно: розміщувати неізолювані 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 у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі 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.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

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 ізолюваними 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.

9.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

9.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [6] встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення. Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні наведено в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт ІІа.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості ІІа	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [21]:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні допустимих параметрів мікроклімату не повинна перевищувати 2°C.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче допустимої температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м.

3. Для забезпечення нормованих значень швидкості руху повітря проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

9.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м^3 [6]. Нормовані параметри забруднення повітря в робочій зоні наведено в таблиці 9.2.

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця [7]. Нагромадження пилу глибиною в 1/8" у будь-якій області вказує на необхідність у вживанні заходів з очищення забруднених поверхонь. Потрібно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (менша зернистість), тим вище небезпека.

Таблиця 9.2– Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб.м		Клас небезпечності
	Максимальна разова	Середньодобова	
Оксид вуглецю		20	4
Пил нетоксичний	4	4	4

Тому необхідно здійснювати наступні заходи: очищувати металевий пил якнайчастіше, щодня протирати гарячі поверхні, при високих концентраціях пилу обробляти запилені поверхні по частинам. Низька вологість збільшує потенційну небезпеку, це повинне прийматися в увагу під час прибирання.

9.2.3 Виробниче освітлення

При поганому освітленні зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків: 5% травм можна пояснити недостатнім освітленням, а у 20% випадків воно сприяло їх появі. Погане освітлення може призвести до професійних захворювань: погіршують загальне самопочуття, зменшують фізичну і розумову працездатність.

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Допустимі рівні виробничого освітлення наведені в таблиці 9.3.

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 освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Таблиця 9.3 – 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 Енпр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

9.2.4 Виробничий шум

Нормовані параметри виробничого шуму в робочій зоні наведено в таблиці 9.4.

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Таблиця 9.4–Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зсередньогеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно: безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі; для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати малошумові вентилятори.

9.2.5 Виробнича вібрація

У нашому цеху присутня вібрація типу – За. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не

маючи джерел випромінювання. Нормовані параметри виробничої вібрації в робочій зоні наведено в таблиці 9.5.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи; зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

Таблиця 9.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	$\frac{1,3}{108}$ *	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-
Локальна вібрація	-	-	$\frac{2,8}{115}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$

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

9.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги». Типові правила пожежної безпеки для промислових підприємств і інструкції на окремих об'єктах.

Приміщення припортового заводу, де здійснюється модернізація електропривода електропотяга, за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться

(зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, з зонами П-ІІІ (місця, де зберігаються тверді горючі речовини).

Будівля припортового заводу характеризується ІІІ ступенем вогнестійкості.

До ІІІ 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.1.1.7-2002 наведено в таблиці 8.6.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 5.8 (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 8.6.

Таблиця 9.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття 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	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 9.7.

Таблиця 9.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвилинах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських, сільськогосподарських будинків і споруд слід приймати за таблицею 9.8 (знаменник).

Таблиця 9.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будівель 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 припортового заводу встановлено 19 вогнегасників ВП-5(8).

Висновки: Проведено огляд та планування заходів щодо безпечної експлуатації об'єкта дослідження із врахуванням режимів його функціонування.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання бакалаврської дипломної роботи на тему «Електропривод електрокари» було модернізовано електропривод ескалатора на основі системи електропривода ПЧ-АД:

1. В результаті виконання роботи було досліджено загальні характеристики електронавантажувачів, виконано опис будови та призначення основних вузлів електрокари, приведена коротка характеристика режимів його роботи та математична модель механічної частини електронавантажувача.

2. Виконано розрахунок та вибір основних елементів електрообладнання силового кола системи електропривода, обґрунтовано особливості вибору частотно-регульованого приводу електрокари.

3. Обґрунтовано особливості вибору частотно-регульованого приводу електрокари, запропоновано структурну та принципову електричну схеми системи керування електроприводом та виконано розрахунок основних елементів силового кола перетворювача.

4. Запропоновано та адаптовано математичні моделі процесів, які протікають в системі електроприводу ПЧ-АД із використанням принципів векторного керування для потреб функціонування електропідіймача.

5. Проведено математичне моделювання та оцінювання динамічних характеристик в ППП MatlabSimulink. Отримані результати імітаційних досліджень доводять, що розроблений частотно-регульований електропривод електрокари забезпечує необхідні якісні показники. Запропонована схема системи управління дозволяє створювати бережливе енергоспоживання від АБ, точний вибір потужності двигуна, і найголовніше – отримати механічні характеристики АД.

6. Здійснено опис основних заходів щодо техніки безпеки та безпечної експлуатації електропривода електрокари.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Beshta O.S. Electric drives adjustment for improvement of energy efficiency of technological processes, Scientific Bulletin NSU, 2012, Vol. 4, pp. 98-107. The original source of material:

<http://nv.nmu.org.ua/index.php/ru/component/jdownloads/finish/34-04/530-2012-4-beshta/0>.

2. Белов М. П. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів і технологічних комплексів: підручник для студ. вищ. навч. закладів / М.П. Белов, В.А. Новіков, Л. Н. Розсудів. - 3-є изд., вип. - М.: Видавничий центр Академіям, 2007. - 576 с. ISBN 978-5-7695-4497-2

3. Грабко В. В., Розводюк М. П., Левицький С. М. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина ІУ. Трансформатори. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2008. - 219 с.

4. Довгань С.М. Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання. - Дніпропетровськ: НГА України, 2001. - 137с.

5. Голуб А.П., Кузнецов Б.І., Опришко І.О., Соляник В.П.. Системи керування електроприводами: Навчальний посібник. - К.: НМК ВО, 1992. – 352 с.

6. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.; За ред. П.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. - К.: Либідь, 2005. - 680 с.

7. Грабко В. В. Системи керування електроприводами. Розрахунок системи підпорядкованого керування електроприводом стрічкового конвеєру. Курсове та дипломне проектування, навчальний посібник / Грабко В. В., Розводюк М. П., Грабко В. В. – Вінниця : ВНТУ. – 2010. – 89 с.

8. Белов М. П. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів і технологічних комплексів: підручник для студ. вищ. навч.

закладів / М.П. Бєлов, В.А. Новіков, Л. Н. Розсудів. - 3-є изд., вип. - М.: Видавничий центр Академіям, 2007. - 576 с. ISBN 978-5-7695-4497-2

9. Розподілені мікропроцесорні системи: конспект лекцій [Електронний ресурс]: для підготовки докторів філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікація за спеціальністю 171 Електроніка за спеціалізацією «Електронні системи» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. О. Терещенко – Електронні текстові данні (1 файл:5544 кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 192 с.

10. Програмувальні інтелектуальні реле [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://muromremont.ru/639-post>

11. Программируемые интеллектуальные реле [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://electricalschool.info/spravochnik/eltehuistr/840-programmiruemye-intellektualnye-rele.html>

12. Интеллектуальное реле Zelio Logic. Аналоговые преобразователи Zelio Analog [Електрон. ресурс] – Schneider Electric, 2011. Режим доступу: https://www.electrocentr.com.ua/files/documentation/SE/plc/zelio/ZelioLogic_cat_2011_ru.pdf

13. Казачковський М. М. Комплектні електроприводи: Навчальний посібник. - Дніпропетровськ :Національний гірничий університет,2003.-226 с.

14. Моделювання електроприводів: Навч. посібник / Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С. Паранчук. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. - 404 с.

15. Чорний О.П., Луговой А.В., Д.Й. Родькін, Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. Моделювання електромеханічних систем. – Кременчук, 2001. – 376 с.

16. Воронов Р.В – Дисертація: «Тягові електромеханічні системи з живленням двох двигунів від одного інвертора», Харків 2020 1-97с.

17. Казачковський М. М. Комплектні електроприводи: Навчальний посібник. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003 – 226 с.

18. Перетворювач частоти Schneider Electric, 2024. Режим доступу: URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/ATV610D30N4>
19. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей. – Вінниця 2003. –46 с. управління моментом синхронного двигателя с постоянными магнитами. Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 4.
20. Модернізація системи керування електропривода транспортної лінії припортового заводу / О.А. Паянок, М.М. Матевосян – Матеріали конференції «LII Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету», Вінниця, 2023. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2023/paper/view/17445/14518> – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 3 с.
21. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
22. 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-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv>.

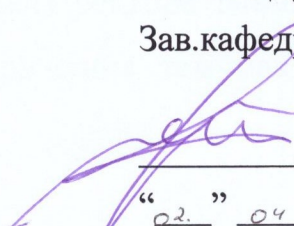
Додаток А

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедри КЕМСК

К.Т.Н., доц.

 Микола МОШНОРІЗ

« 02 » 04 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на бакалаврську дипломну роботу

ЕЛЕКТРОПРИВОД ЕЛЕКТРОКАРИ

08-24.БДР.014.00.000 ТЗ

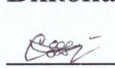
Керівник роботи

д. т. н., проф.

 Володимир ГРАБКО

« 02 » 04 2024 р.

Виконав: ст. гр. 1ЕМ-206

 Сергій СІВОХІН

« 02 » 04 2024 р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Електропривод електрокари».

Скорочене найменування розробки – «Електропривод електрокари».

Замовник – Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

2 Підстави для розробки

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

3 Призначення розробки і галузь використання

Електронавантажувач є затребуваним типом підлогового транспорту, за допомогою якого здійснюються вантажно-розвантажувальні роботи, переміщення та штабелювання вантажів. Він активно використовується на закритих робочих майданчиках з добре налагодженим мікрокліматом та суворими екологічними вимогами. Електричний навантажувач запитується від спеціальних тягових акумуляторних батарей, що встановлюються у його корпус.

4 Вимоги до розробки

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

5 Комплектація розробки

1 – командний пристрій; 2 – пульт керування; 3 – гальмівна система; 4 – гідравлічна система; 5 – вантажопідіймальний пристрій; 6 – захисна

ришівка; 7 – електричне обладнання; 8 – тяж; 9 - протитяж; 10 – керувальний міст; 11 - шасі; 12 – трансмісія; 13 – сидіння; 14 – система керування; 15 – верхня кришка. Шасі 11 являється несучою конструкцією для монтажу пристроїв. Воно являє собою зварну конструкцію, виконану з листової сталі і профілів.

6 Джерела розробки

1. Довгань С.М. Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання. - Дніпропетровськ: НГА України, 2001. -137с.
2. Голуб А.П., Кузнецов Б.І., Опришко І.О., Соляник В.П.. Системи керування електроприводами: Навчальний посібник. - К.: НМК ВО, 1992. – 352 с.
3. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.; За ред. П.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. - К.: Либідь, 2005. - 680 с.
4. Печеник М.В. Особливості підвищення енергетичної ефективності електромеханічної систем конвеєра / М. В.Печеник, С. О. Бур'ян, А. О. Горбатовський // Вісник НТУУ“ХПІ”, Серія : Проблеми автоматизованого електропривода теорія і практика. – Харків : – 2013. – № 36. – с. 65-72.
8. Белов М. П. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів і технологічних комплексів: підручник для студ. вищ. навч. закладів / М.П. Бєлов, В.А. Новіков, Л. Н. Розсудів. - 3-є изд., вип. - М.: Видавничий центр Академіям, 2007. - 576 с. ISBN 978-5-7695-4497-2
9. Розподілені мікропроцесорні системи: конспект лекцій [Електроннийресурс]: для підготовки докторів філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікація за спеціальністю 171 Електроніка за спеціалізацією «Електронні системи» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.:

Т. О. Терещенко – Електронні текстові данні (1 файл:5544 кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 192 с.

7. Умови експлуатації

Електропривод електрокари повинен забезпечувати надійну роботу в тривалому режимі при невеликій частоті включень.

8. Технічні характеристики

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики двигуна 4A355S8Y3

Параметр, одиниця вимірювання	Позначення	Значення
Потужність, Вт	$P_{2ном}$	4,0
Частота обертання, об/хв	$n_{2ном}$	1000/1500
Номінальний струм, А	$I_{1ном}$	9,75
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi$	0,76
ККД	η	82,0
Напруга статора, В	$U_{1н}$	380
Частота мережі живлення, Гц	f	50
Кількість фаз	m	3
Кліматичне виконання	—	У3
Відношення пускового струму до номінального	$I_{пуск}/I_{ном}$	6,5
Вага, кг	—	52,8

9 Елементна база

Двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т. ін. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

10 Конструктивне виконання

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

11 Показники технологічності

Електропривод електрокари – двигун, апаратура керування, провідники, кабелі і т.п. виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід повинен відповідати прав улаштування електроустановок.

12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками та слюсарями КВП і А відповідної кваліфікації. Технічний огляд механізму здійснюється мінімум один раз на 3 місяці. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками та техніками-електромеханіками, фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

13 Живлення електропривода

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

14 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації бакалаврської дипломної 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

ЕЛЕКТРОПРИВОД ЕЛЕКТРОКАРИ

Мета, задачі та об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження в роботі є процеси перетворення енергії, які протікають в електротехнічній системі електропривода електрокари.

Предметом дослідження є структури та математичні моделі, які дозволяють підвищити експлуатаційну та функціональну ефективність електропривода електрокари.

Метою бакалаврської дипломної роботи є модернізація системи електропривода електрокари для забезпечення ресурсозберігаючої та економічної його роботи відповідно до інтенсивності завантаження механізму шляхом впровадження сучасних програмованих контролерів із мінімальним втручанням людини в процеси функціонування.

В процесі виконання поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- привести коротку характеристику та режими роботи виробничого механізму;
- виконати розрахунок та вибір потужності електродвигуна механізму;
- виконати техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода електрокари;
- здійснити розрахунок, вибір та побудову електричної принципової та принципової схем системи електроприводу із застосуванням сучасних засобів автоматизації;
- для вибраної системи електроприводу виконати математичне моделювання та оцінювання динамічних характеристик..

Загальна характеристика, будова, особливості механізму

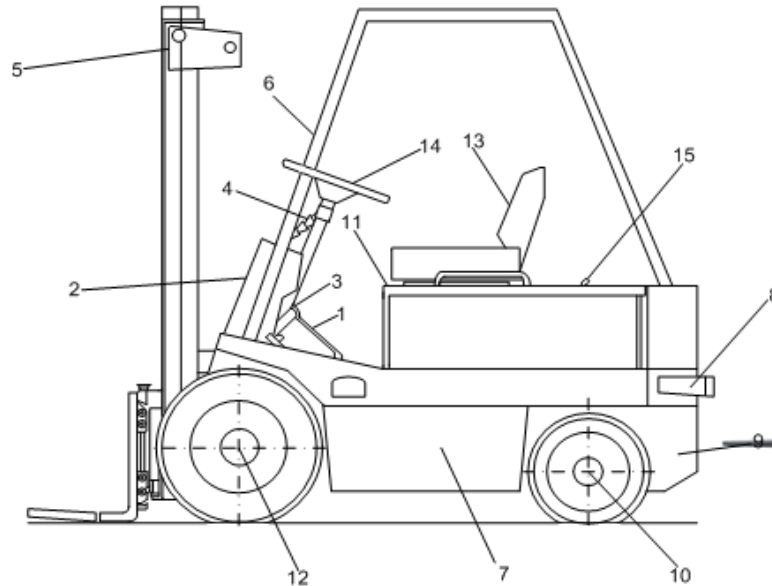


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд та будова

1 – командний пристрій; 2 – пульт керування; 3 – гальмівна система; 4 – гідравлічна система; 5 – вантажопідіймальний пристрій; 6 – захисна решітка; 7 – електричне обладнання; 8 – тяг; 9 - протитяг; 10 – керувальний міст; 11 - шасі; 12 – трансмісія; 13 – сидіння; 14 – система керування; 15 – верхня кришка.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд електрокари

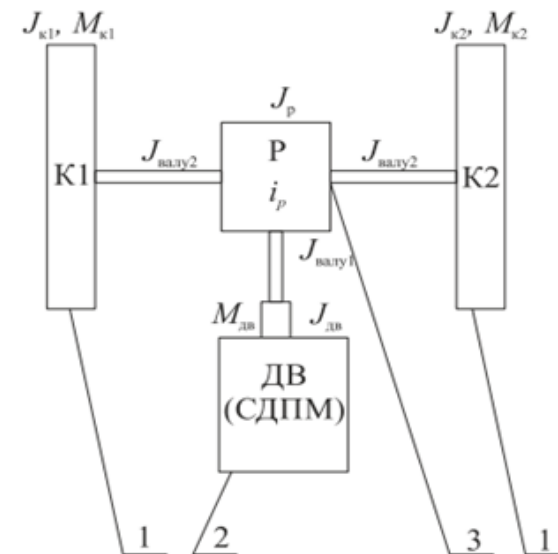


Рисунок 1.3 – Схема моментів інерцій, що діють на механічну систему

Розрахунок потужності приводного двигуна ескалатора

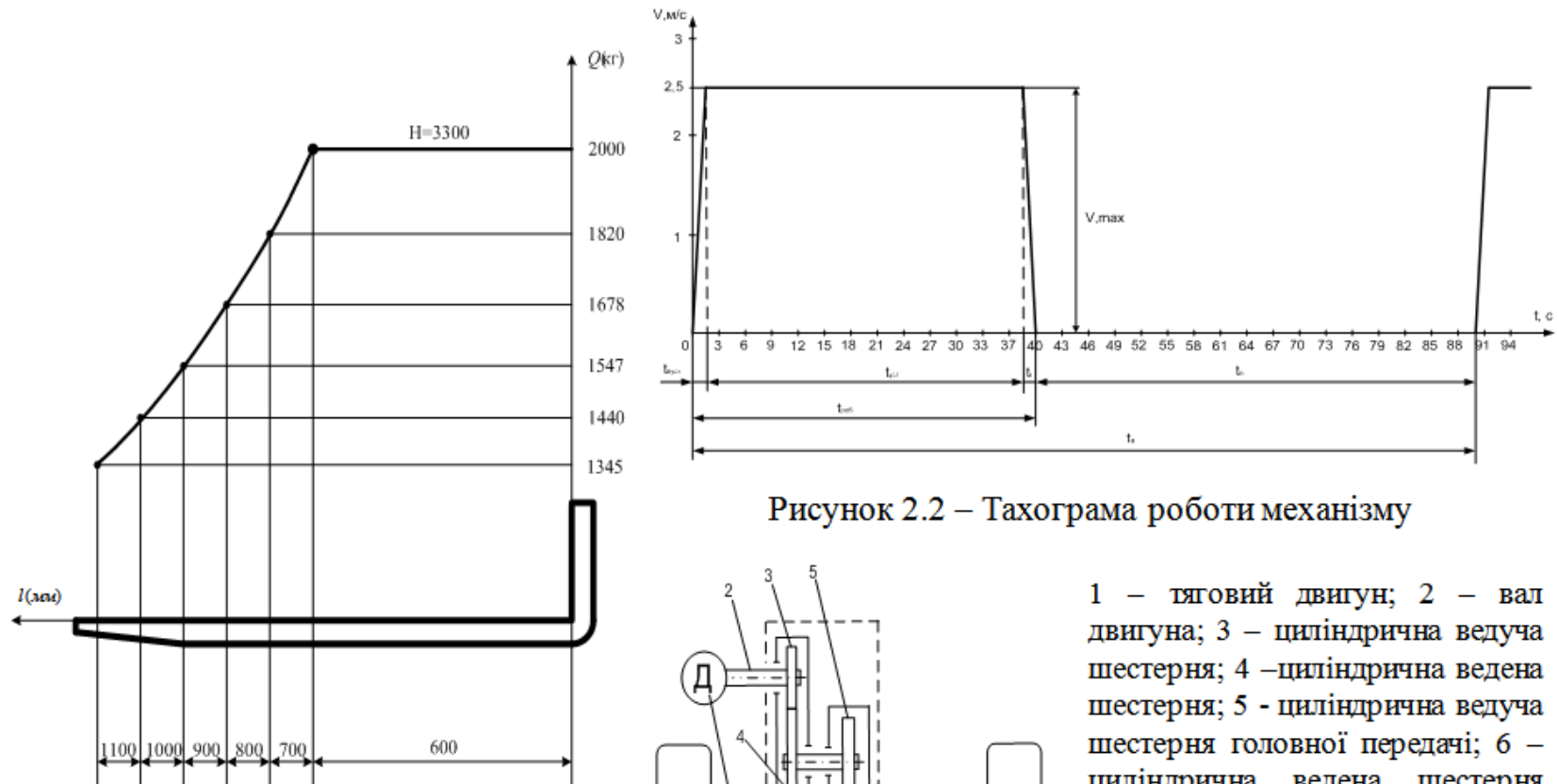
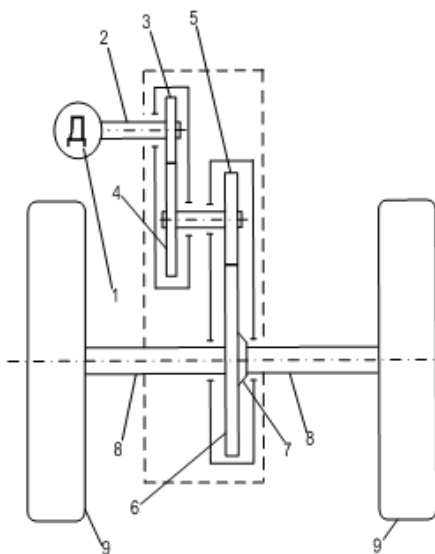


Рисунок 2.1 – Діаграма навантажень

Рисунок 2.2 – Тахограма роботи механізму



1 – тяговий двигун; 2 – вал двигуна; 3 – циліндрична ведуча шестерня; 4 – циліндрична ведена шестерня; 5 – циліндрична ведуча шестерня головної передачі; 6 – циліндрична ведена шестерня головної передачі; 7 – диференціал; 8 – напіввал; 9 – ведучі колеса

Рисунок 2.3 – Кінематична схема тягового механізму

Техніко-економічне обґрунтування вибору СЕП

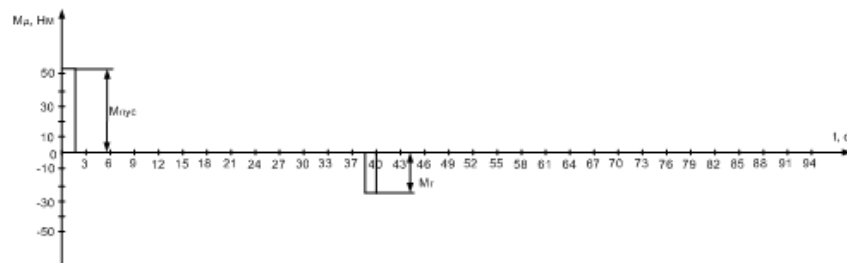
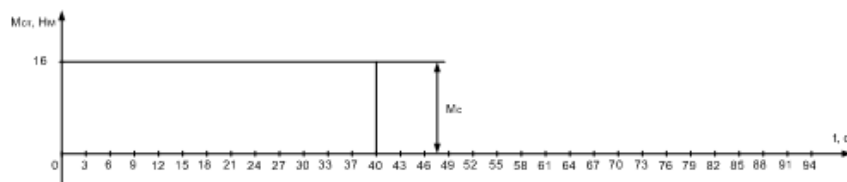
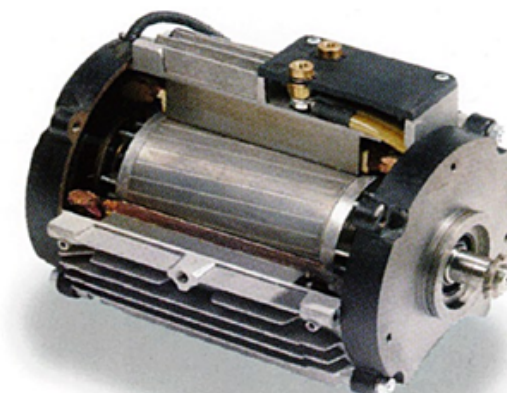
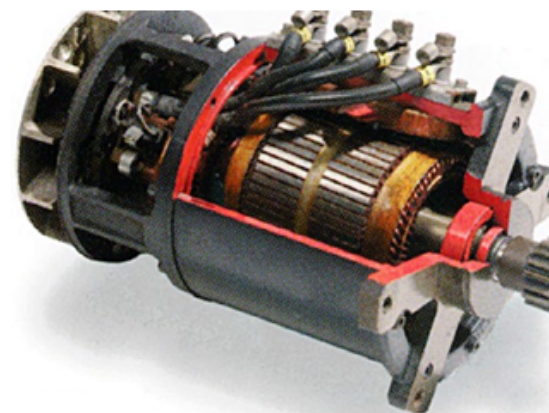
Таблиця 3.1 – Розрахунок затрат на утримання електроприводу

Система електроприводу	ШП-ДПС	АД з ФР (АВК)	ПЧ-АД
Потужність двигуна, кВт	3,0		
ККД двигуна та системи	0,9	0,89	0,91
Вартість двигуна Д, грн	21902,4	10951,2	8424,0
Вартість системи керування С, грн	25140,0	20240,0	15960,0
Капітальні вкладення К, грн.	47042,4	31191,2	24384,0
Тариф електроенергії, грн/кВт год	8	8	8
Додаткові відрахування (електроенергія) С _д , грн/рік	10666,7	11865,2	9494,5
Амортизаційні відрахування С _а , грн/рік	7056,4	4678,7	3657,6
Експлуатаційні затрати (ремонт + тех. обслуг)	1082,0	717,4	560,8
Вартість експлуатації електроприводу, грн	18805,0	17261,2	13712,9
Зведені витрати $Z = E_k * K + C$, грн.	25861,4	21939,9	17370,5

Вибір двигуна та його перевірка. Базова схема керування ЕП

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики двигуна 4A355S8У3

Параметр, одиниця вимірювання	Позначення	Значення
Потужність, Вт	$P_{2\text{ном}}$	4,0
Частота обертання, об/хв	$n_{2\text{ном}}$	1000/1500
Номінальний струм, А	$I_{1\text{ном}}$	9,75
Коефіцієнт потужності	$\cos\phi$	0,76
ККД	η	82,0
Напруга статора, В	$U_{1\text{н}}$	380
Частота мережі живлення, Гц	f	50
Кількість фаз	m	3
Кліматичне виконання	—	У3
Відношення пускового струму до номінального	$I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$	6,5
Вага, кг	—	52,8



Переваги електротяги змінного струму

Рисунок 2.2 – Діаграма моментів динамічного та статичного

Розробка схеми електричної структурної системи ЕП

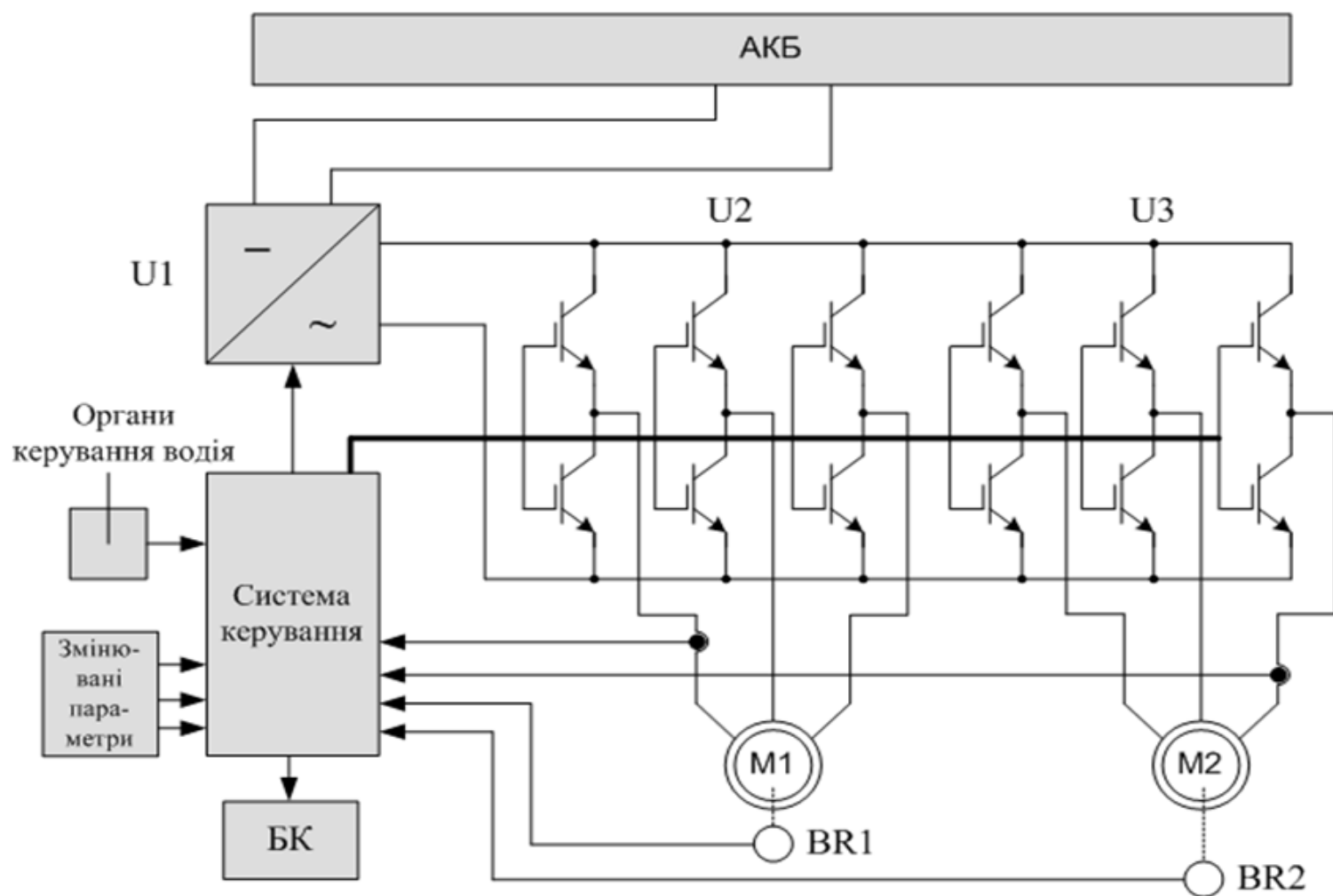


Рисунок 5.3 – Структурна схема силової частини асинхронного тягового привода електронавантажувача

Математична модель електромеханічної системи електропідіймача

$$\begin{cases} i_{s_x} = (U_{s_x} + L'_S \omega_k i_{s_y} + \frac{k_R}{T_R} \Psi_{R_x}) \frac{1}{R(1+T'_S p)}; \\ i_{s_y} = (U_{s_y} - L'_S \omega_k i_{s_x} - p_n \omega k_R \Psi_{R_x}) \frac{1}{R(1+T'_S p)}; \\ \Psi_{R_x} = \frac{T_S}{(1+T_R p)} k_R i_{s_x}; \\ M = \frac{3}{2} p_n k_R \Psi_{R_x} i_{s_y}; \\ \omega_k = p_n \omega + k_R \frac{i_{s_y}}{\Psi_{R_x}}, \end{cases}$$

де U_{sx}, U_{sy} – складові напруги джерела струму по осям x та y ;

i_{sx}, i_{sy} – складові струму статора по осі x та y ;

ω_k – частота обертання рухомої системи координат xx та yx ;

ω – частота обертання ротора;

p_n – число пар полюсів;

T_R, T_S – постійні часу статора і ротора;

L'_S – індуктивність статора.

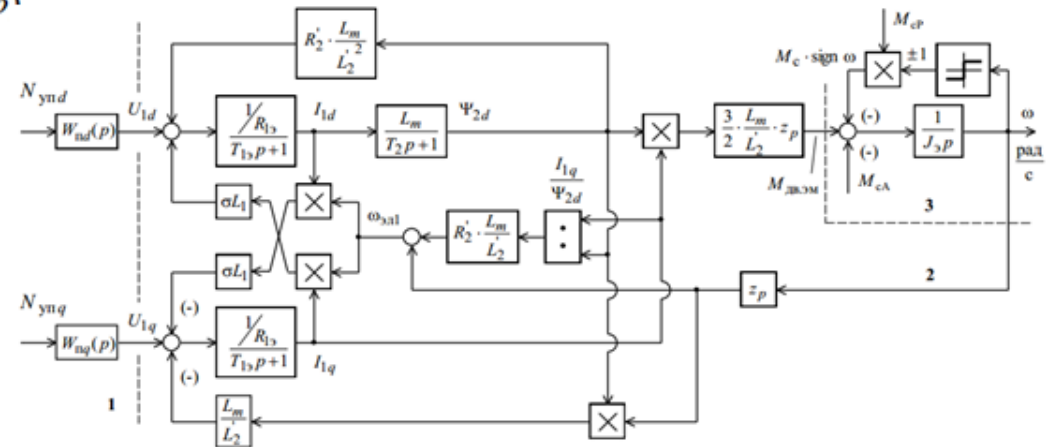


Рисунок 6.1 – Структурна схема силового каналу асинхронного електропривода із векторним керуванням

Схема електрична принципова керування ЕП електрокари

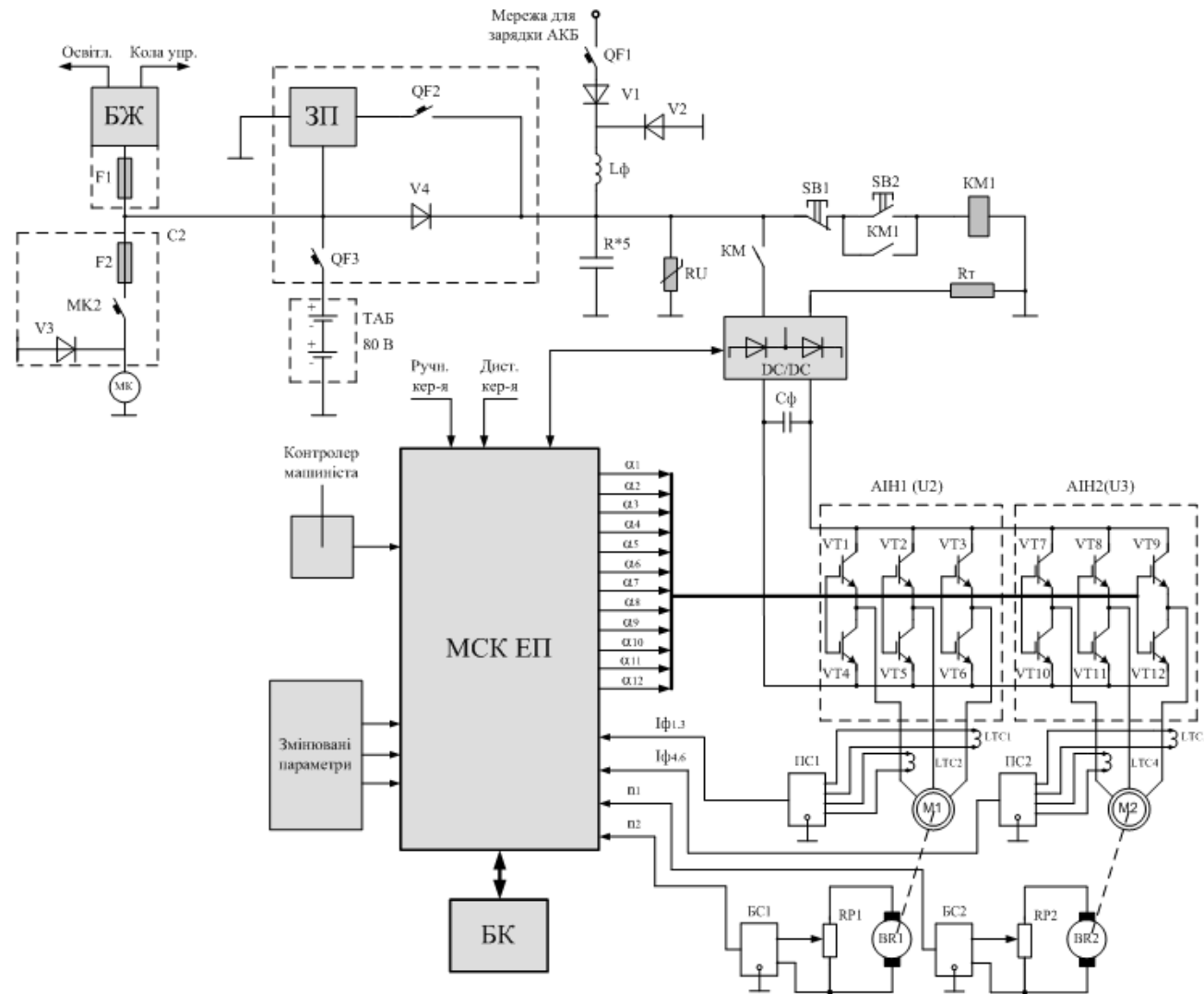


Рисунок 7.2 – Схема електрична принципова системи ЕП електрокари

Дослідження динамічних характеристик СЕП електрокари

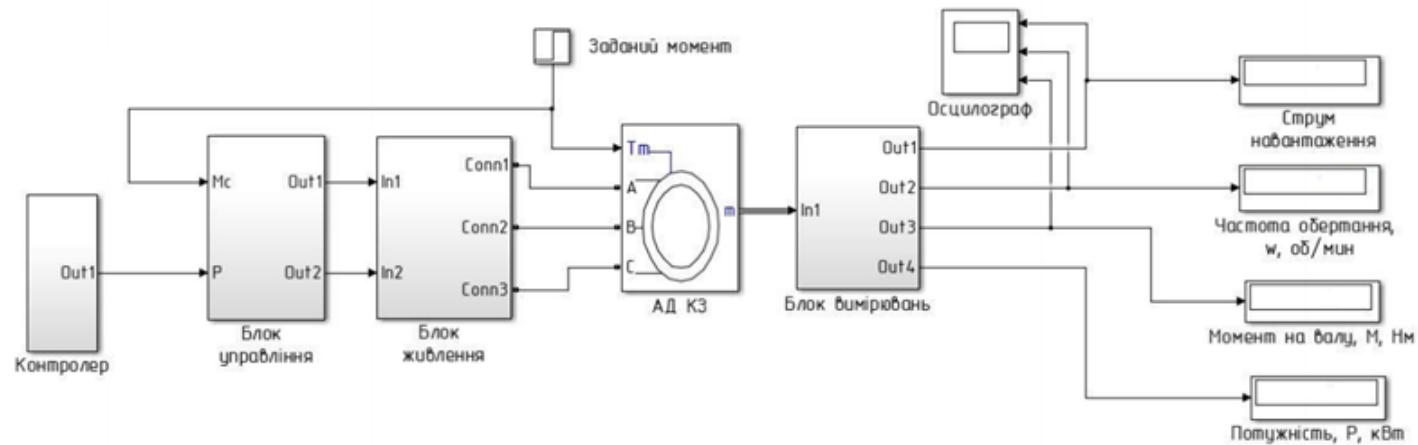


Рисунок 8.2 – Модель системи ПЧ-АД в ППП Matlab Simulink

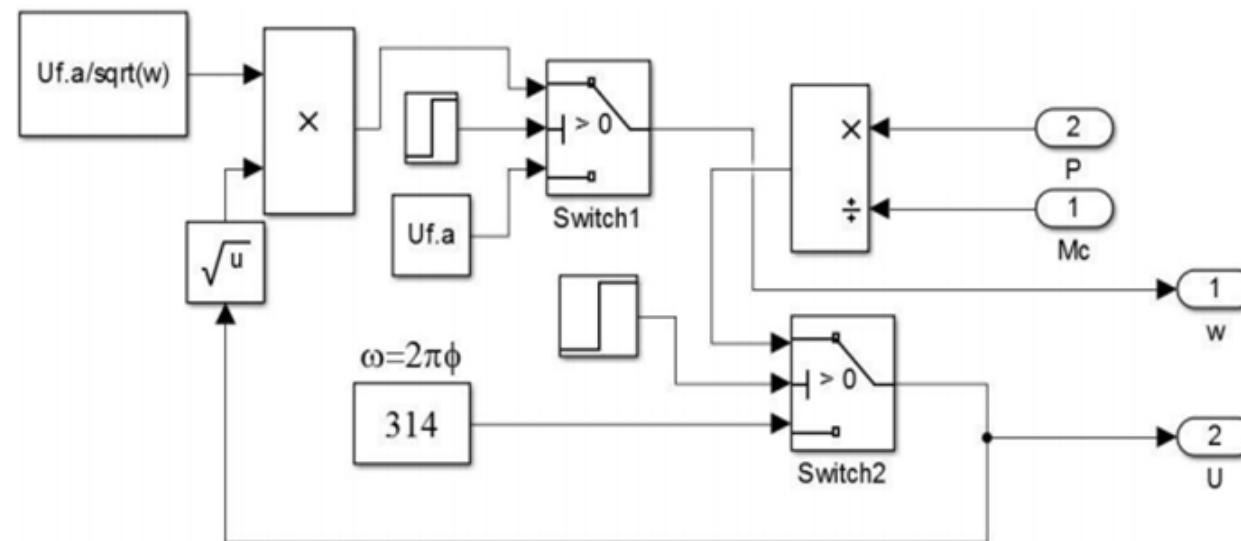
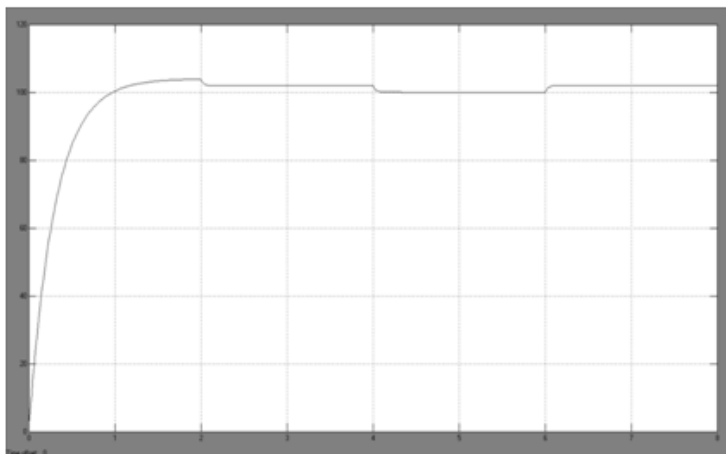


Рисунок 8.4 – Модель блоку керування

Дослідження динамічних характеристик СЕП електрокари



8.6 – Графік зміни частоти обертання вала двигуна

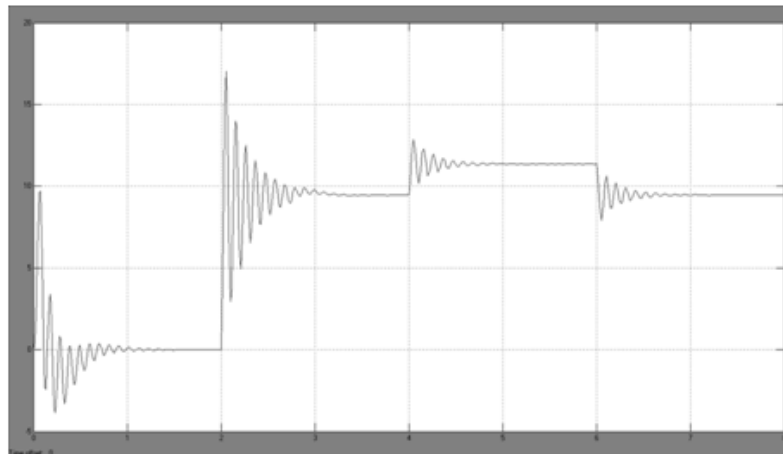


Рисунок 8.7 – Графік зміни струму якоря двигуна в перехідних режимах

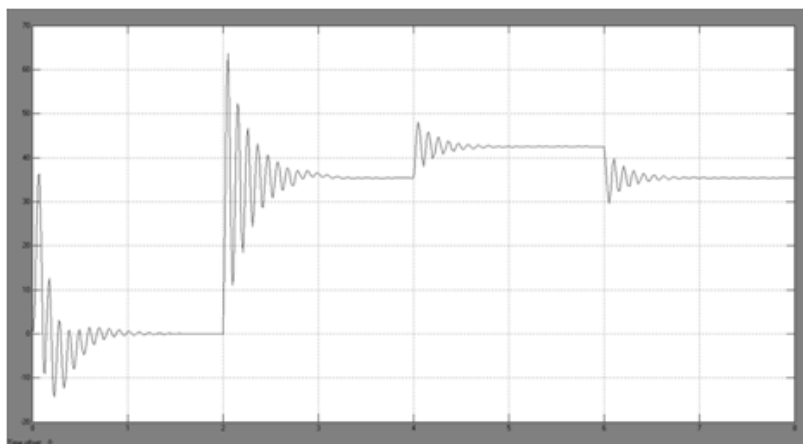


Рисунок 8.8 – Графік зміни моменту на валу двигуна в перехідних режимах

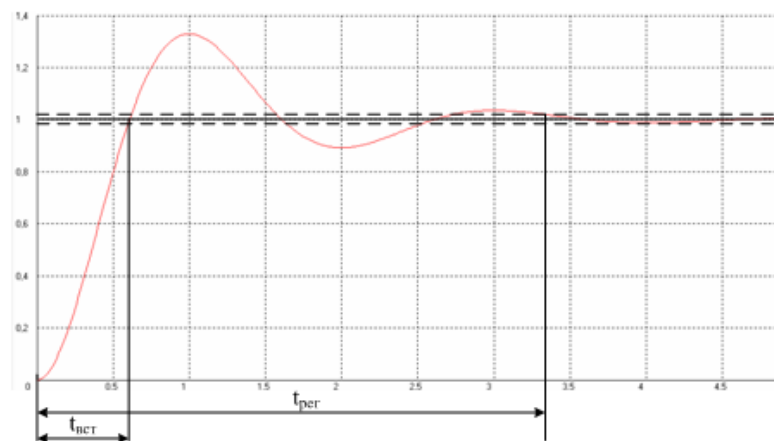


Рисунок 8.10 – Перехідна характеристика по системі

ВИСНОВКИ

В результаті виконання роботи було отримано такі загальні результати:

1. В результаті виконання роботи було досліджено загальні характеристики електронавантажувачів, виконано опис будови та призначення основних вузлів електрокари, приведена коротка характеристика режимів його роботи та математична модель механічної частини електронавантажувача.

2. Виконано розрахунок та вибір основних елементів електрообладнання силового кола системи електропривода, обґрунтовано особливості вибору частотно-регульованого приводу електрокари.

3. Обґрунтовано особливості вибору частотно-регульованого приводу електрокари, запропоновано структурну та принципову електричну схеми системи керування електроприводом та виконано розрахунок основних елементів силового кола перетворювача.

4. Запропоновано та адаптовано математичні моделі процесів, які протікають в системі електроприводу ПЧ-АД із використанням принципів векторного керування для потреб функціонування електродвигача.

5. Проведено математичне моделювання та оцінювання динамічних характеристик в ППП MatlabSimulink. Отримані результати імітаційних досліджень доводять, що розроблений частотно-регульований електропривод електрокари забезпечує необхідні якісні показники. Запропонована схема системи управління дозволяє створювати бережливе енергоспоживання від АБ, точний вибір потужності двигуна, і найголовніше – отримати механічні характеристики АД.

6. Здійснено опис основних заходів щодо техніки безпеки та безпечної експлуатації електропривода електрокари.

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Електропривод електрокари

Тип роботи: бакалаврська дипломна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. 1ЕМ-206

Науковий керівник: д.т.н., проф. Грабко В.В.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність	87,5 %
Схожість	12,5 %

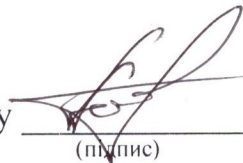
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи

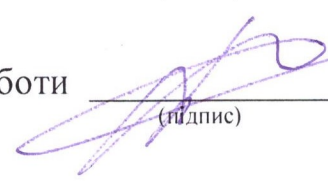


(підпис)

Сівохін С.Д.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Габко В.В.

(прізвище, ініціали)

					08-24.БДР.014.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Електропривод електрокари	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Сивохош С.Д.	Сивохош	28.05					
Перевірив	Габко В.В.	Габко	28.05					
Т. контр.								
Рецензент	Бабенко О.В.	Бабенко	10.06		ВНТУ, гр. 1ЕМ-206	Аркуш		Аркуш
Норм.кон.	Мошноріз М.М.	Мошноріз	28.05					
Затверд.			28.05					