

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра автоматизації технологічних, електромеханічних і робототехнічних систем



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на тему «**Модернізація електроприводу переміщення козлового крана**»

Здобувач СВО «Бакалавр»: Сужин Денис Сергійович

Керівник : Штепа Євген Павлович , к.т.н., доцент

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Кваліфікаційна робота допускається до захисту
Рішення кафедри від 15.06. 2026 р.

В.о. Завідувача кафедри АТЕіРС _____ **Олексій ЖИГАЙЛО**

Одеса - 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Автоматизації та робототехніки

Кафедра автоматизації технологічних, електромеханічних і робототехнічних систем

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: Електромеханічні системи з інтелектуальним керуванням

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри ЕтаМ

_____Осадчук П.І.

«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувача СВО «Бакалавр» Сужин Денис Сергійович

1. Тема роботи: **«Модернізація електроприводу переміщення козлового крана»**

Керівник роботи: Штепа Євген Павлович к.т.н., доцент

Затверджено наказом ОНТУ від 26-11-25 р. наказ № 641-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 10.6.26

3. Вихідні дані роботи: вантажопід'ємність 32т; ширина шляху 40м; висота підйому 11,8м; швидкуість пересування 51м/хв; маса крану 130т.

4. Перелік питань, які потрібно розробити : метод дослідження; кінематична схема механізму; електричний вал з різними двигунами; рахунок навантажень і вибір двигуна; вибір перетворювача частоти; моделювання електроприводу; е.

5. Перелік демонстраційного матеріалу. Слайди презентації: Титульний слайд; мета і завдання роботи; конструктивне виконання крана; розрахунок потужності двигунів електричного вала; модель дослідження; результати досліджень.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання: 21.5.2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк викона	При
1	Розділ 1.аналіз систем пересування козових кранамів	15.03.2026	
2	Розділ 2. Електропривід за системою електричного валу	10.04.2026	
3	Розділ 3. Вибір потужності двигуна	25.05.26	
4	Розділ 4. Перетворювач частоти	10.05.2026	
5	Розділ 5. Експериментальні дослідження .	12.05.26	
5	Розділ 6.Економіка. Техніка електробезпеки	25.05.2026	
6	Попередній захист кваліфікаційної роботи.	10.06.2026	
7	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра.	25.06.2026	

Здобувач: Сужин Д. С. _____

Керівник проекту доцент Штепа Є.П. _____

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності. Здобувач СВО Сужин Д. С. _____

Реферат

Сужин Д. С. «Модернізація електроприводу переміщення козлового крана». Кваліфікаційна робота бакалавра. – Одеса: ОНТУ, 2026. – 69 с.

Бібліогр.: 8. Іл.: 28.

У кваліфікаційній роботі бакалавра приведена система управління електроприводом переміщення козлового крану за системою електричного валу; розраховано потужність і вибрі двигуни переміщення крану; приведені механічні характеристики двигунів при різних частотах; вибрано частотний перетворювач для кола роторів двигунів.

Досліджена системи управління електроприводом на електронній моделі в середовищі Matlab Simulink.

В заключній частині кваліфікаційної роботи приведені економічні розрахунки, а також техніка електробезпеки.

Ключові слова: козловий кран; електричний вал; електропривод, перетворююча частоти, електронна модель.

Referee

Suzhin D. S. «Modernization of the electric drive of the gantry crane». Bachelor's qualification work. – Odesa: ONTU, 2026. – 69 p. Bibliography: 8. Ill.: 28.

The bachelor's qualification work presents the control system of the electric drive of the gantry crane movement using the electric shaft system; the power and selection of the crane movement motors are calculated; the mechanical characteristics of the motors at different frequencies are given; a frequency converter is selected for the motor rotor circle. The electric drive control system is studied on an electronic model in the Matlab Simulink environment. In the final part of the qualification work, economic calculations are given, as well as electrical safety techniques.

Keywords: gantry crane; electric shaft; electric drive, frequency converter, electronic model.

Зміст

Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1.АНАЛІЗ СИСТЕМ ПЕРЕСУВАННЯ КОЗЛОВИХ КРАНАНІВ.....	9
1.1 Сучасний стан експлуатації електроприводів механізмів пересування козових кранів.....	9
1.2 Огляд існуючих систем управління електроприводами механізмів переміщення козових кранів	12
1.3 Причини виникнення сил перекосу при різних рухах механізму пересування козового крана.....	14
1.4 Вимоги, що пред'являються до електроприводів механізмів пересування	16
1.5 Постановка завдань.....	16
РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРОПРИВІД ЗА СИСТЕМОЮ ЕЛЕКТРИЧНОГО .ВАЛУ.....	20
2.1. Робота декількох двигунів на загальний вал.....	20
2.2 Робота двигунів постійного струму на загальній вал.....	21
2.3. Робота асинхронних двигунів на загальній вал.....	25
2.4. Електричний вал з допоміжними машинами	28
2.5.Технічні характеристики крана ККС-10.....	33

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6						
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Модернізація електроприводу переміщення козлового крана			Арк	Аркуш	Аркушів	
Розробив.		Сужин Д.С..								5	
Перевірив.		Штепа Є. П.									
Реценз.											
Н. Контр.											
Затверд.											
					ОНТУ						

РОЗДІЛ 3. ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА	34
3.1.Розрахунок потужності двигуна переміщення козлового крана..	34
3.2. Розрахунок часу роботи під навантаженням та часу циклу.....	35
3.3.. Розрахунок потужності, статичного моменту і швидкості двигунів...	36
2. Розрахунок часу роботи під навантаженням та часу циклу.....	35
3.3.. Розрахунок потужності, статичного моменту і швидкості двигунів...	36
РОЗДІЛ 4. ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ.....	38
4.1 .Принцип роботи частотного перетворювача.....	40
4.2.Вибір перетворювача частоти.....	41
Розділ 5. Експериментальні дослідження електроприводу .	
5.1. Електронної моделі електроприводу за системою електричного валу. в середовищі Matlab Simulink.....	45
5.2.МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОПРИВОДА В MATLAB SIMULINK	50
РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІКА.....	52
6.1. Обґрунтування вибору системи електроприводу	52
РОЗДІЛ 7.Охорона праці.....	59
Список використаної літератури	65

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6			
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив.		Сужин Д.С..			Модернізація електроприводу переміщення козлового крана	Арк	Аркуш	Аркушів
Перевірив.		Штепа Є. П.					6	
Реценз.						ОНТУ		
Н. Контр.								
Затверд.								

ВСТУП

Широке застосування електроприводів в промисловості для різного роду робочих механізмів зумовлює їх класифікування за групами, залежно від їх призначення та режимів роботи. Особливу групу складають механізми, при роботі яких виникають часті і великі динамічні навантаження. До цієї групи насамперед належать підйомно-транспортні механізми: крани мостового типу, перевантажувачі кранів, транспортери, конвеєри, живильники і так далі. Серед цих механізмів в найбільш важких умовах і інтенсивних режимах працюють мостові крани. Основними причинами які викликають значні динамічні перенавантаження цих механізмів є інтенсивні повторно-короткочасні режими роботи в складних умовах навколишнього виробничого середовища, наявність пружних механічних коливань системи і пружних механічних зав'язків із зазорами, через певні недоліки систем керування цими електроприводами. Більшість результатів досліджень довели, що часті пружні механічні коливання, які виникають при великих навантаженнях викликають негативний характер роботи електроприводу. У результаті з'являються значні динамічні зусилля, порушується точність роботи механізмів, виникають механічні вібрації і небезпечні резонансні явища, особливо при пусках, реверсах і гальмуваннях, що веде до передчасного зносу і руйнування елементів механізмів кранів і підкранових конструкцій

Козлові крани є одним видів кранів мостового типу, міст якого спирається на шлях крана за допомогою двох стійок. У кранах даного вигляду застосовуються типові приводи, електроустаткування і кабіни управління, розроблені для мостових кранів. Проте разом із спільністю деяких конструктивних реалізацій, варто також врахувати специфіку козових кранів, обумовлену винятковою роботою на відкритому повітрі, наявністю консолей (одноконсольні і двоконсольні) у мостів, довжина яких значна і схильна до вітрового навантаження з різною парусністю, а також підвищеним розташуванням центрів тиску і мас

Козлові крани будують з множиною електроприводів, що забезпечуює роботу

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

механізмів. У їх числі електроприводи, що забезпечують горизонтальне пересування самого крана. Такими є механізми пересування.

Актуальність.

Механізми горизонтального пересування козових кранів виконуються тільки з роздільними приводами. Привод встановлюється в опору, яка є частиною несучої конструкції крана.

Основною вимогою до даного механізму є узгоджене пересування опор (стійок) козового крана при однаковій швидкості обертання електроприводів.

Ця задача може бути вирішена систмою електричного валу.

Мета роботи:

Здійснення узгодженості пересування опор механізмів козового крана і зниження динамічних навантажень за допомогою дводвигунового електроприводу за системою електрчного вала.

Завдання роботи:

Розробка електронної моделі електроприводу з частотним перетворювачем в колі роторів двигунів; дослідження на електронній моделі системи електроприводу для різних навантажень і їх нерівномірного розподілу на кожен двигун

Метод дослідження:

Моделювання динамічних процесів за допомогою комп'ютерної програми MATLAB.

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

РОЗДІЛ 1.АНАЛІЗ СИСТЕМ ПЕРЕСУВАННЯ КОЗЛОВИХ КРАНАМІВ

1.1. Сучасний стан електроприводів механізмів переміщення козових кранів.

Козлові крани представляють один з головних засобів механізації вантажних та складських робіт в різних секторах економіки загальнонародного хазяйства. Козлові крани зараховують до кранів мостового виду, що належать до категорії підйомно-транспортних машин, які відрізняються короткочасним та повторно-короткочасним режимами роботи електроприводів.

Відповідно до призначення, козові крани розділяються на 3 ключові категорії: загального призначення(перевантажувальні), будівельно-монтажні та спеціального призначення.

Козлові крани застосовують з метою сервісу відкритих складів та вантажних площадок, монтажу будівельних споруд та постачання, індустріальних підприємств, обслуговування гідротехнічних будов та виконання вантажо-розвантажувальних операцій в контейнерних площадках залізнодорожних станцій з температурою навколишнього середовища від – 40 до 40 градусів по Цельсію. Вантажопідйомність зазвичай складає 3.2 – 50т; прольоти 10-40 м; рівень росту вантажа в залежності від ситуацій завантаження – розвантаження транспортних засобів або штабелювання вантажів 7 – 16 м.

В сімействі козових підйомних пристроїв почесне місце займає унікальний за своїм застосуванням козовий кран ЛТ-62

Козловий кран ЛТ-62 (рисунок 1.1.1) отримав широке використання в нижніх лісних складах в розвантаженні хлестів з лісо перевізного хазяйства та формуванні запасів.

Козловий кран ЛТ-62 призначений для вивантаження хлестів або дерев з рухомого складу лісовозних доріг, а також для їх укладання в штабелі запасу. Технічна характеристика крана ЛТ-62 представлена в табл. 1.

Загальний вигляд крана ЛТ-62 наведено на рис. 1.1.1. Несуча ферма 3 крана, що має гратчасту конструкцію, спирається на жорстку 10 і шарнірну 1 опори. Остання з'єднана з несучої фермою за допомогою шарніра 2. Кожна з опор встановлена на двох візках: ведучою 14 і веденою 12, взаємопов'язаних затягуванням 13. Несуча ферма складається з окремих секцій, з'єднаних між собою болтами. За рахунок видалення середньої секції проліт крана може бути зменшений з 40 м до 32 м. На кінцях несучої ферми встановлено дві вантажні

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист 9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

лебідки 8 і одна лебідка 7 (над жорсткою опорою) пересування вантажного візка 5. Для переміщення вантажного візка служить рейковий шлях, прокладений по верхньому поясу несучої ферми. По кінцях цього шляху закріплені тупикові упори 6, що обмежують пересування візка.

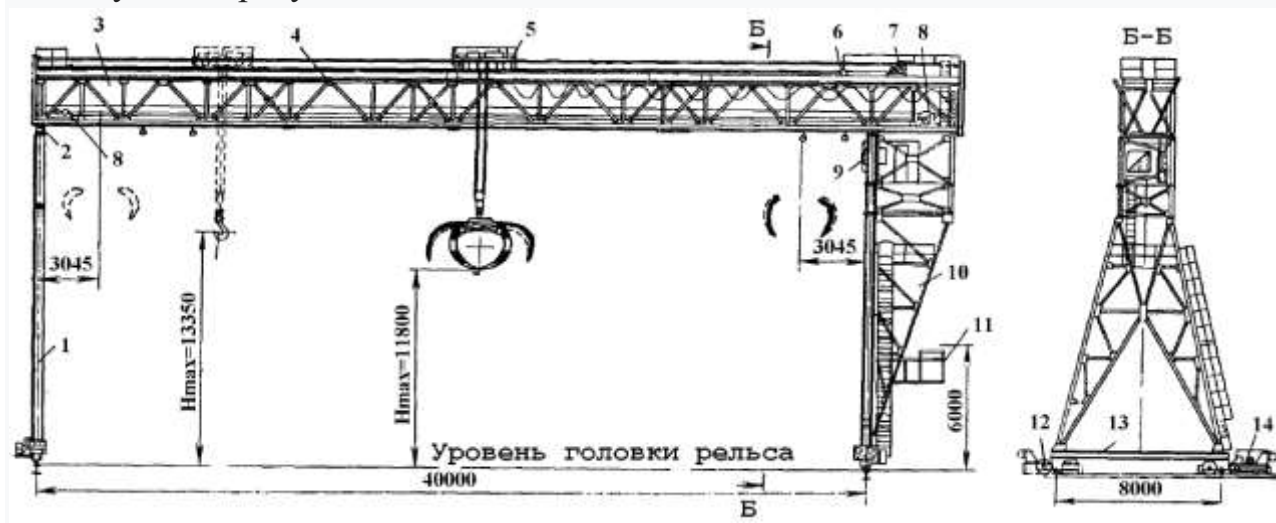


Рисунок 1.1 – Козловий кран ЛТ-62

Управління всіма механізмами крана зосереджено в кабіні кранівника 9, яка розташована в верхній частині жорсткої опори. Для подачі електроенергії до крана на жорсткій опорі може бути змонтований балкон з тролейним струмознімачем 11. За обома кінцями кранового шляху встановлені обмежувальні лінійки і тупикові упори. При підході крана до кінця шляху кінцевий вимикач, встановлений на ведучому візку, взаємодіє з обмежувальною лінійкою, в результаті чого відключаються і загальмовуються електродвигуни обох ведучих візків.

На рамі 1 ведучого візка (рис. 1.1.2., а) встановлений електродвигун 4, від якого через редуктор 12 і ведучу шестерню 3 обертання передається на два ходових колеса 7 з зубчастими вінцями 11. Останні з'єднані між собою проміжною шестернею 10. Між двигуном і редуктором розташовано гальмо 13. На кінцях рами розташовані протиугінні захвати 9, які за допомогою болтів 8 затискають головку рейки, утримуючи тим самим кран від переміщення під дією вітрового навантаження. на одному ведучому візку встановлений кінцевий вимикач 6, який взаємодіє з обмежувальною лінійкою. В зовнішнього кінця візків встановлені пружні упори 5. Опора 2 сприймає навантаження від ноги крана. Ведений візок відрізняється від ведучого відсутністю приводу і зубчастої передачі до ходових коліс.

На крані на кінцях несучої ферми встановлені дві вантажні (Рис.1.2.,б) і одна тягова (рис. 1.2, в) лебідки. їх компоновка однакова: підставою є рама 1, на якій встановлений електродвигун 4, що передає обертання через редуктор 2 барабану 5. Між електродвигуном і редуктором розташовано електромагнітне гальмо 3.

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

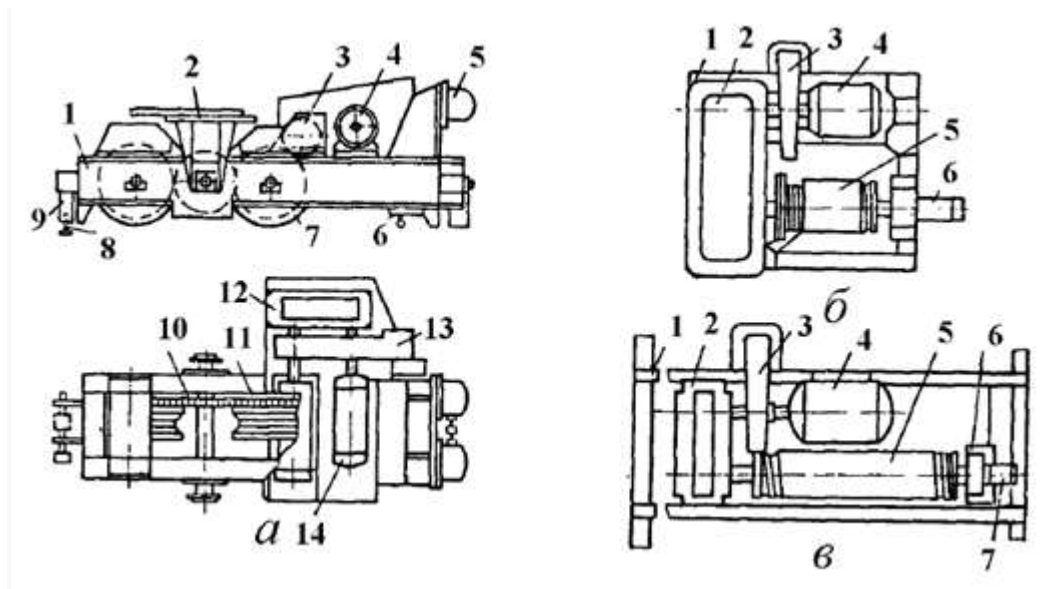


Рисунок. 1.2- Механізми крана ЛТ-62: а- ходовий привідний візок; б- вантажна лебідка; в- лебідка переміщення вантажного візку.

Вантажний візок (рис 1.1.3.) складається з рами 1, яка спирається на ходові колеса 3. По краях візка розташовані нерухомі блоки 4 поліспасти вантажопідйомного каната. Тяговий канат з допомогою накладок і болтів кріпиться знизу до рами візка. Вільна гілка тягового каната, що проходить над візком, спирається на підтримуючі ролики 2. На торцях рами закріплені дерев'яні бруси, що пом'якшують удари візка про тупикові упори. З боків візка розташовані ремонтні майданчики 5. Гніздо 8 служить для установки в нього ремонтного консольного крана з ручним керуванням. [1]

Схема запасування вантажопідйомного і тягового канатів

зображена на рис. 1.1.4. Запасовка канатів вантажопідйомного механізму складається з двох однакових канат-блокових систем з приводом від одnobарабанных лебідок. Вантажний канат 2, що йде від барабана 1 лебідки, проходить уздовж несучої ферми, огинає встановлені на її кінці напрямні блоки 8, а також нерухомі 6 і рухомі 12 блоки поліспасти і, повертаючись до лебідки, закріплюється в кінці несучої ферми через обмежувач вантажопідйомності 4.

Нерухомі блоки поліспасти розташовані по обидва боки вантажного візка 5, рухомі змонтовані на траверсі 10. До скобів 11 траверси підвішуються стропи, а до гака 13 - грейфер. Для пересування вантажного візка служить одnobарабанна лебідка, на барабані 9 якої закріплені кінці обох гілок тягового каната 7, що утворюють замкнену петлю. Нижня гілка кріпиться до рами вантажного візка 5, верхня проходить над візком, спираючись на ролики, встановлені на її рамі.

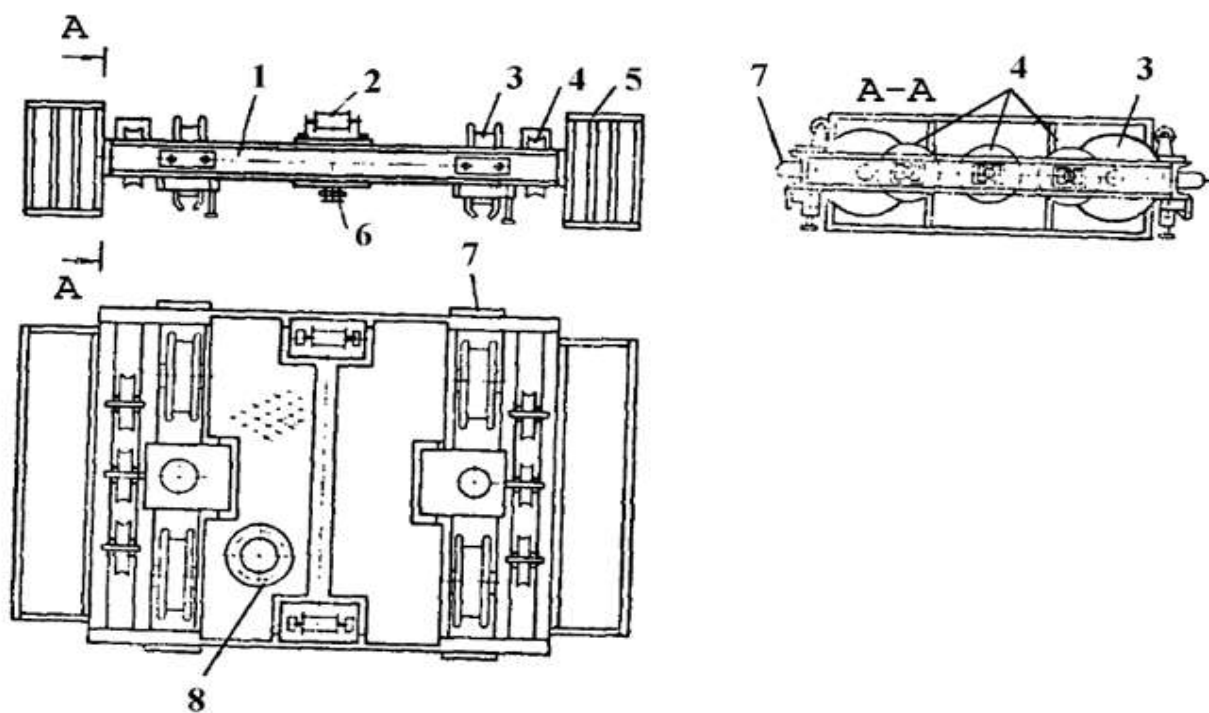


Рисунок 1.3- вантажний візок крана ЛТ-62

Блок 3 пов'язаний з гвинтовим натяжним пристроєм, забезпечує необхідне натягнення тягового каната. Завдяки тому, що напрямки навівки на барабан гілок тягового каната різні, одна з гілок при включенні барабана 9 намотується, а інша - змотується, в результаті чого вантажний візок переміщається по несучій фермі. Для зміни напрямку руху візка двигун лебідки реверсують. На приводах всіх трьох механізмів крана застосовуються кранові електродвигуни з фазовим ротором, розраховані для роботи в повторно-короткочасному режимі. управління всіма електродвигунами проводиться за допомогою кулачкових контролерів, встановлених в кабіні кранівника. Плавний пуск і регулювання частоти обертання електродвигунів здійснюється шляхом ступінчастої зміни опорів, включених в ланцюг ротора.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики крану.

Назва показника	Значення
Вантажопід'ємність номінальна, т	32
Проліт крану (ширина кранового шляху), м	32 або 40
Найбільша висота підйому вантажу, м	11.8
Довжина шляху вантажного візка, м:	32 м
- при прольоті	26
- при прольоті 40 м	34
Швидкість підйому вантажу, м/хв	13.2±1.0

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

Швидкість плавного спускання вантажу, м/хв	12
Швидкість пересування візка, м/хв	34.2±1.0
Швидкість пересування крану, м/хв.	51.0±2.0
Режим роботи двигунів, ТВ %	Середній 25
Довжина прольоту, м	40 ± 0.04

Таблиця 2- Технічні дані механізму пересування.

Найменування	Діаметр, мм	Довжина прольоту 40 м	позначення
Канат вантажний (2 кінця)	21.5	203	21.5-Г-В-Н-180 ГОСТ 3079-69
Тяговий канат пересування візка	15.0	126	15-Г-1-Н-170 ГОСТ 3081-69

1.2 Огляд існуючих систем управління електроприводами механізмів пересування козлових кранів

В механізмах пересування козлових кранів застосовувалися наступні системи керування: релейно-контакторні, дросельні та частотно-регульовані.

На даний момент широко застосовуваним типом електропривода для козлових кранів вважається електропривод на базі асинхронного двигуна з фазним ротором при реостатному керуванні за допомогою силових контролерів або простих релейно-контакторних систем.

В дану систему також входить функція узгодження пристроїв маневрування. Впровадження релейно-контакторних систем керування обґрунтоване критеріями роботи козлових кранів: тролейна система живлення, високий вміст електропровідного пилу, вологість, загазованість, підвищена температура, висока інтенсивність роботи крана, яка характеризується великою тривалістю та частотою ввімкнень. Але, незважаючи на її широке застосування (методом електронного узгодження роторів), вона вважається неефективною. [1]

Дане пов'язане за багатьма факторами. По-перше, перемикання ступенів пускових опорів в процесі розгону двигуна викликає стрибкоподібні зміни моментів та кидки струму в значних межах, що погіршується при зменшенні кількості ступенів. Це може призвести до появи тугих автоматичних коливань та погіршення плавності протікання перехідних процесів.

По-друге, при застосуванні систем багатодвигуного електропривода для козлових кранів з порівняно великим просвітом (25 і більше метрів) неодноразово замикання

контакті релейно-контакторної системи призводить до різних прискорень приводних двигунів переміщення крану, що викликає додаткові динамічні перенавантаження механізмах та металоконструкції крану, і в кінцевому результаті до зниження продуктивності крана та достроковому виходу з ладу його частин та механізмів.

Разом з релейно-контакторною системою в кранових механізмах застосовується дросельна система. Вона вважається більш доброю в нерегульованому електроприводі козлового крану. Впровадження пускового дроселя для обмеження струму ротора асинхронного двигуна в пускових та гальмівних режимах гарантує плавність пуску та гальмування за відсутності системи керування ротором електродвигуна, зберігаючи постійність моментів до швидкості 0.5-0.6 від синхронної. [2]

Використання такої системи ліквідує в роботі всі енергетичні протидії, релейно-контакторна схема керування та кабелі для підключенні техніки в ланцюг ротора до мінімуму спрощує схему електропривода пристрою.

За рахунок забезпечення плавного розгону і в особливості, плавного гальмування дозволяє подовжити строк експлуатації автоматичних вузлів (редукторів, муфт, валів, скатів і т.п.). Виключається «людський фактор» машиніста крана, оскільки обрана при налаштуванні інтенсивність розгину та гальмування пристроїв залишається постійною. Хоча все ж таки використання АД з ФР на сьогодні вважається не актуальним, що пов'язано з неекономністю.

на регульовані і більш надійні електроприводи. Дане пов'язане з інтенсивним використанням в кранових механізмах перетворювачів частоти з асинхронними двигунами з коротрозамкнутим ротором (АКЗ).[2]

Частотне керування вважається більш ефективним методом регулювання швидкості двигуна змінного струму, яке дозволяє досягти хороших механічних характеристик асинхронних двигунів.

Головними плюсами даної системи регульованого електропривода вважаються: Плавність регулювання і висока жорсткість На основі вище викладеного, для зниження динамічних навантажень та стабільності роботи пристрою потрібна краща система

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Пис
Из	Пис	№ докум	Подп	Па		13

керування електроприводами пристроїв маневрування козлового крана за рахунок модернізації наявних систем керування, або за допомогою досліду новітніх систем. Внаслідок має підвищитися стабільність та точність роботи пристроїв козлового крана з урахуванням усіх пред'явлених до нього вимог.

- На сьогодні слідує стійка направленість переходу від нерегульованих електроприводів козових кранів з релейно-контакторними, дросельними системами автоматичних рис, що дозволяє регулювати швидкість в широкому спектрі;
- Економічність регулювання, обумовлена тим, що двигун працює з невеликими величинами ковзання і втрати в двигуні не перевищують номінальних.

З використанням частотно-регульованих електроприводів в козових кранах не розроблені математичні моделі дводвигунного електропривода стосовно автоматичного електропривода пристроїв переміщення козлового крана при регулюванні швидкості двигунів за допомогою напівпровідникових перетворювачів за схемою «перетворювач частоти- АДзКЗР» (ПЧ-АД), не проведено тестування віддачі метода частотного керування.

Специфікою електроприводів горизонтального переміщення буде те, що більша їх частина реалізуються як багатодвигунні приводи. Вданому випадку електродвигуни можуть живитися як від 1-го перетворювача частоти, що вважається найбільш економічним варіантом, так і кожний від власного перетворювача, що забезпечить більш гнучке керування крановими пристроями.

Живлення двигунів від особистих перетворювачів підходить для приводів переміщення мостових кранів з великими просвітами. В даному випадку завдяки великій гнучкості керування може бути забезпечене вирівнювання перевантаження між двигунами за схемою електричного валу.

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Пис
Из	Пис	№ докум	Подп	Лз		14

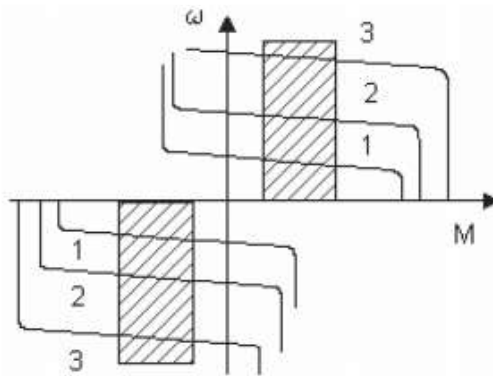


Рисунок 1.4 – Механічні характеристики горизонтального переміщення крана

1.3. Вимоги до електроприводів механізмів переміщення кранів

До механізмів горизонтального руху відносять механізми маневрів кранів та вантажних візків а також механізми повороту. Всі ці механізми мають реактивний момент опору (не залежить від напрямку руху).

Електропривод механізму горизонтального руху має забезпечувати жорсткі механічні характеристики в режимах двигуна та гальма (Рисунок 1.4).

На відміну від механізмів підйому, в механізмах горизонтального переміщення гальмівний режим займає невелику частину часу робочого циклу, зазвичай при переходах з високих швидкостей на нижчі.

Також електропривод горизонтального руху може працювати в режимі гальма при пересуванні крана під ухил (зазвичай виникає при виході з ладу рельсових шляхів) або при рухові проти вітру.

Важливою особливістю механізмів маневрування та повертання вважається досить висока інерція, вплив якої ти більший, чим більша маса конструкції що рухається та чим вища швидкість її руху, тому для запобігання підвищених динамічних навантажень на металоконструкції та механізми, електропривод повинен обмежувати прискорення при пуску та гальмуванні. Приведений до валу двигуна момент інерції рухаючихся мас при маневрах крана в 2-20 разів більший ніж момент інерції двигуна.

Спосіб стопоріння в електроприводах пристроїв горизонтального переміщення легший, ніж в електроприводах пристроїв підйому. В зв'язку з реактивним моментом навантаження, зняття гальма майже завжди можна здійснювати, не чекаючи, доки момент двигуна зросте до значення моменту статичного навантаження. Головною вимогою вважається накладання гальма при швидкості близькій до нульової для зниження динамічних навантажень та зносу гальмівних накладок.

Використання козлових кранів від відкритим небом піддається вітровим перенавантаженням, особливо у випадку великої вітрильності може призвести до значного розширення значень статичного моменту протидії, а також може змінюватись

і його напрям. Вітрове перенавантаження при будь-якому напрямі та значній вітрильності може охоплювати як режим двигуна так і гальма.

Діапазон регулювання швидкості пристрою, при даній номінальній швидкості, визначається необхідною зниженою швидкістю. Наявність такої зниженої швидкості, на яку переводиться пристрій перед зупинкою, спрощує роботу оператора, робить більш зручним керування краном та збільшує точність зупинки. [1, 7]

1.4. Кінематичні особливості козлових кранів

В механізмах переміщення кранів максимальне розповсюдження отримав багатодвигунний привод, згідно якому, будь-яка кінцева балка моста приводиться в рух власним незалежним приводом, до того ж, між електроприводами є зв'язок – взаємо узгодженість обертання, що забезпечує точний і плавний рух крана по рейкам.

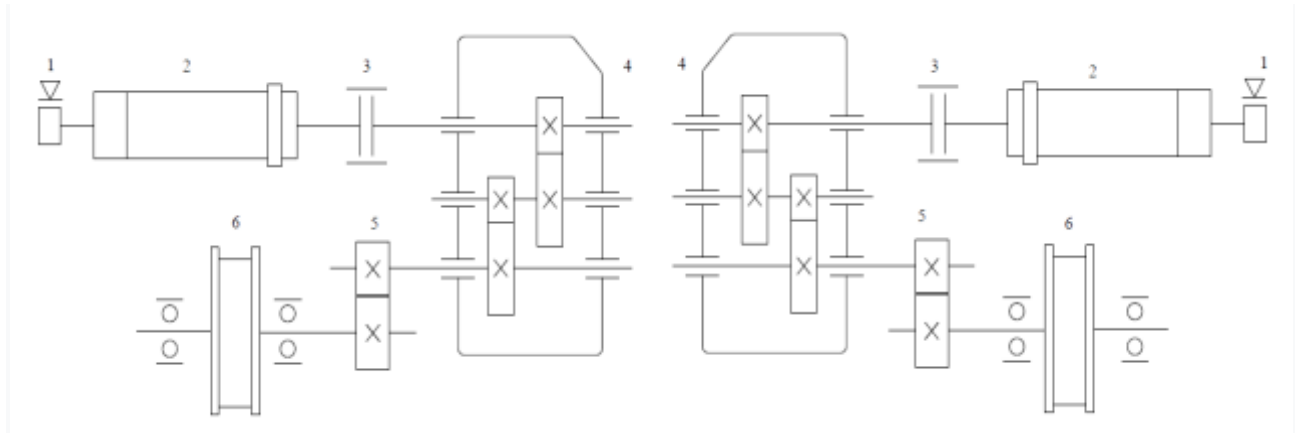


Рисунок 1.5 – Кінематична схема механізму пересування крана.

На рисунку 1.5 зображено два узгоджено працюючих механізми переміщення козлового крана. Кожна система включає в себе електродвигун 2, з'єднаний муфтою 3 з редуктором 4, який передає обертовий рух в привідні колеса 6 за допомогою шестерні 5, яка знаходиться у постійному зчепленні з зубчатим вінцем ходового колеса. На валу двигуна встановлено гальмо 1.

Переваги індивідуального привода полягають лише в компактності пристрою пересування, мінімальних махових мас двигунів та в зменшенні часу запуску. В механізмах переміщення в ролі електроприводів застосовуються асинхронні двигуни.

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА

2.1. НАВАНТАЖУВАЛЬНА ДІАГРАМА.

Козловий кран ЛТ-62 призначений для роботи під відкритим небом, тому вибір потужності двигуна оснований на розрахунку зусиль, що виникають в механізмі, згідно. [5,8,9]

Зобразимо діаграму навантаження, яку має виконувати заданий механізм для виконання технологічного циклу. Технологічний цикл має наступний вигляд: Спершу двигуни приводу переміщення крану пересувають масу конструкції крану (130 т) без вантажу з вихідної позиції до місця завантаження на протязі часу t_{01} , потім двигуни зупиняються на час t_{02} , доки буде виконано спускання вантажозачіплюючого механізму, закріплення до нього переміщуваного вантажу, та підйом механізму з вантажем, потім на протязі часу t_{03} електроприводи переміщують вагу конструкції крану та переміщуваного вантажу (130 т + 32 т) до місця вивантаження, де кран зупиняється на час t_{04} для позиціонування переміщуваного вантажу, його опускання та відєднання від вантажозачіплюючого механізму. Після цього робочий цикл повторюється.

(Рисунок 2.1).

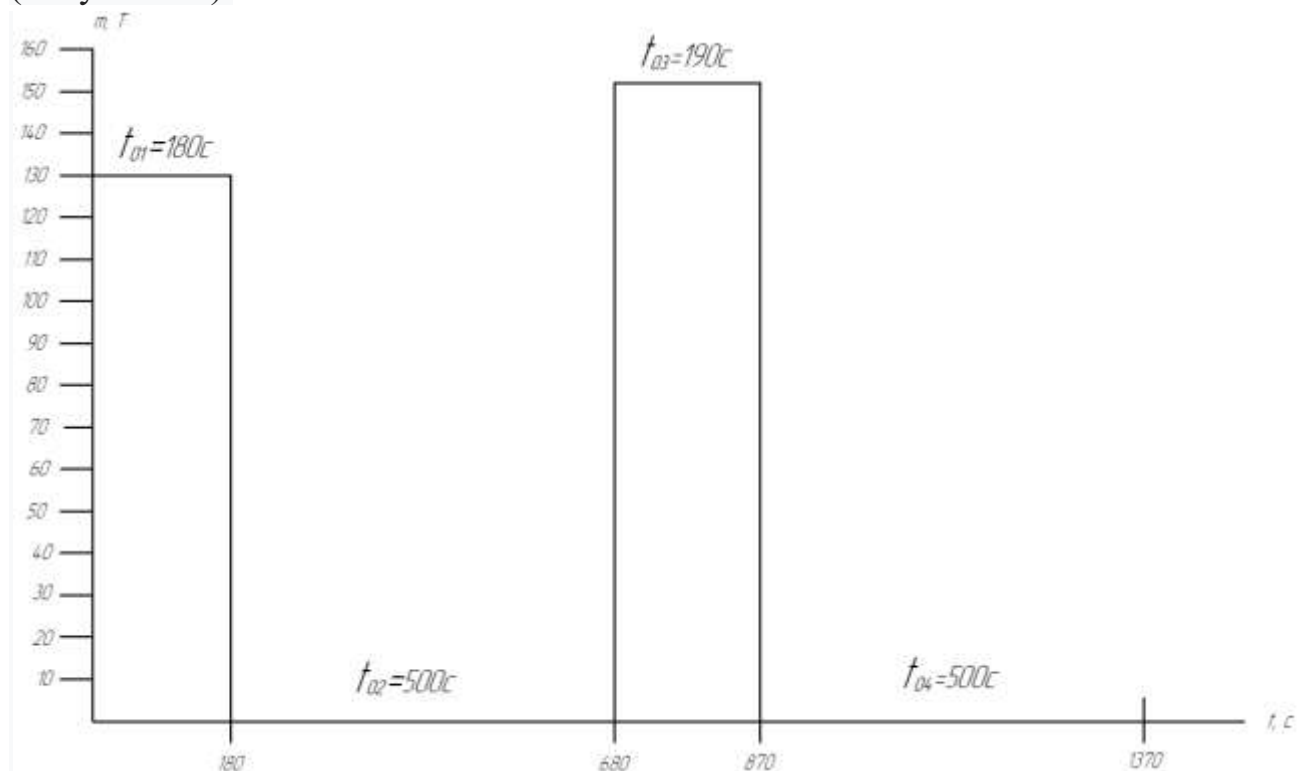


Рисунок 2.1 – Навантажувальна діаграма.

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

2.2. РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ

Вага конструкції крану без вантажу

$$G_0 := 1300000 \text{ Н}$$

Номинальна вага переміщуваного вантажу

$$G := 320000 \text{ Н}$$

Коефіцієнт тертя у підшипниках кочення

$$\mu := 0.01$$

Коефіцієнт тертя ковзання

$$f := 0.0021$$

Коефіцієнт тертя реборд з рейками

$$K_p := 1.5$$

Швидкість пересування крану

$$V := 0.85 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Передатне число відкритої зубчатої пари

$$i_{\Pi} := 2.8$$

загальне передатне число механізму

$$i_M := i_p \cdot i_{\Pi} \rightarrow 12.5 \cdot 2.8 = 35$$

Діаметр ходового колеса, м

$$D := 0.6 \text{ м}$$

Діаметр цапфи ходового колеса, м

$$d := 0.15 \text{ м}$$

ККД передач механізму

$$\eta_M := 0.88$$

Радіус цапфи ходового колеса

$$r := \frac{d}{2} \rightarrow \frac{0.15}{2} = 0.075 \text{ м}$$

Передатне число редуктора

$$i_p := 12.5$$

Радіус ходового колеса

$$R := \frac{D}{2} \rightarrow \frac{0.6}{2} = 0.3 \text{ м}$$

2.3. Моменти навантажень двигунів

Момент статичного навантаження, приведений до валу двигуна при переміщенні вантажу

$$M_{c1} := \frac{K_p \cdot (G_0 + G) \cdot (\mu \cdot r + f)}{i_M \cdot \eta_M} \rightarrow \frac{1.5 \cdot (1300000 + 320000) \cdot (0.01 \cdot 0.075 + 0.0021)}{35 \cdot 0.88} = 225 \text{ Н·м}$$

Момент статичного навантаження, приведений до валу двигуна без вантажу

$$M_{c2} := \frac{K_p \cdot G_0 \cdot (\mu \cdot r + f)}{i_M \cdot \eta_M} \rightarrow \frac{1.5 \cdot 1300000 \cdot (0.01 \cdot 0.075 + 0.0021)}{35 \cdot 0.88} = 180 \text{ Н·м}$$

Розрахункова кутова швидкість обертання двигуна

$$\omega_p := \frac{i_M \cdot V}{R} \rightarrow \frac{35 \cdot 0.85}{0.3} = 99 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Розрахункова частота обертання двигуна

$$n_p := \frac{60 \cdot \omega_p}{2 \cdot \pi} \rightarrow \frac{60 \cdot 99}{2 \cdot \pi} = 947 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

2.3. Потужності двигунів

Потужність двигуна при переміщенні крану з вантажем

$$P_1 := M_{c1} \cdot \omega_p \cdot 10^{-3} \rightarrow 225 \cdot 99 \cdot 10^{-3} = 22 \quad \text{кВт}$$

2.4. Розрахунок тривалості вмикання і еквівалентної потужності.

Еквівалентна потужність двигуна

$$P_e := \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_{03} + P_2^2 \cdot t_{01}}{t_p}} \rightarrow \sqrt{\frac{22^2 \cdot 190 + 18^2 \cdot 180}{370}} = 20 \quad \text{кВт}$$

Стандартне значення ПВ

$$PВ_{ст} := 25 \quad \%$$

Розрахункова еквівалентна потужність

$$P_{ep} := P_e \cdot \sqrt{\frac{PВ}{PВ_{ст}}} \rightarrow 20 \cdot \sqrt{\frac{27}{25}} = 21 \quad \text{кВт}$$

2.5. Потужність двигуна.

Потрібна потужність двигуна

$$P_{треб} := K_{зап} \cdot P_{ep} \rightarrow 1.5 \cdot 21.1 = 31.6 \quad \text{кВт}$$

Коефіцієнт запасу $K_{зап} := 1.5$

Оскільки, на даному крані встановлено два приводних двигуна, а для спрощення розрахунків, моменти навантажень, приведених до валу двигуна, було вирішено розраховувати так, як якщо б на крані був лише один привідний двигун, тому потужність двигунів, які треба обрати, визначається як половина від розрахованої.

$$P_{ДВ} := \frac{P_{треб}}{2} \rightarrow \frac{31.6}{2} = 15.8 \quad \text{кВт}$$

За довідниками обираємо спеціальний крановий двигун з фазним ротором серії МТФ-312-6У1. З номінальною потужністю 17.5 кВт при режимі завантаження 25%. Технічні дані двигуна приведені в таблиці 2.1.

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Тип	МТФ
Таблиця 2.1. – Технічні дані асинхронного двигуна МТФ-312-6У1-312- двигуна	6У1
P_H , кВт	17.5
n_H , об/хв	950
I_1 , А	43.5
I_2 , А	54
U_1 , В	380
U_2 , В	219
η_H , %	82
$\cos\varphi_H$	0.75
$J_{ДВ}$, кг·м ²	0.37 4
M_H , Н·	176
$M_{\max}/M_H$	3.1
$M_{\text{пуск}}/M_H$	2.8
КС – К – П	А – Б

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

РОЗДІЛ 3. РОБОТА ДЕКІЛЬКОХ ДВИГУНІВ НА ЗАГАЛЬНИЙ ВАЛ

3.1 Робота двигунів постійного струму

При роботі двигунів на загальний вал з метою забезпечення потрібного моменту виникає значна вимога – забезпечення рівномірного розподілу навантажень двигунів як в динамічному так і в статичному режимах роботи. Для забезпечення цієї умови в статичному режимі необхідною умовою є ідентичність механічних характеристик. У двигунів постійного струму незалежного збудження мають бути однакові швидкості ідеального холостого ходу і однакові кутові коефіцієнти. Оскільки, зазвичай, використовуються двигуни одного типу та однакової потужності, то дана вимога практично дотримується, хоча можуть бути присутні деякі відхилення. (Рисунок 3.1.1) У двигунів постійного струму незалежного збудження можуть відрізнятися як швидкості ідеального холостого ходу так і нахили характеристик. Нерівність швидкостей холостого ходу може бути обумовлена неповною ідентичністю магнітних кіл і деякими відмінностями опорів обмоток збудження. Причиною відмінності нахилу характеристик в основному являється нерівність опорів обмоток якоря, а також вплив потоків реакції якоря.

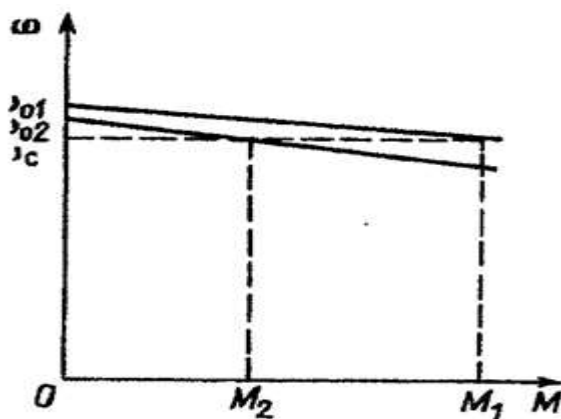


Рисунок 3.1. – Розподіл навантажень між двигунами незалежного збудження, які працюють на загальному валі. При жорсткому механічному зв'язку роторів двигунів, середня

швидкість їх однакова. Проте, навіть незначна не ідентичність механічних характеристик при їх достатній жорсткості може призвести до нерівномірного розподілу навантажень.

швидкістю .

При нерівних швидкостях ідеального холостого ходу, одна з машин може перейти у режим рекуперативного гальмування. Кути нахилів характеристик двигунів постійного струму незалежного збудження можуть вирівнюватися за допомогою введення додаткового опору в коло якоря двигуна, що має менші показники

характеристики. Нерівність швидкостей ідеального холостого ходу можна усунути за допомогою введення додаткового опору у коло збудження двигуна з меншою. Проте при цьому одночасно трохи змінюється і нахил механічної характеристики. Іноді для забезпечення близьких один до одного величин магнітних потоків, обмотки збудження обох машин з'єднують послідовно, при чому, вони мають бути розраховані на напругу, рівну половині напруги живлячої мережі.

Для забезпечення вирівнювання навантажень, також використовуються двигуни, які мають окрім обмотки незалежного збудження, по дві однакові послідовні обмотки. У коло кожного двигуна погоджено ввімкнена обмотка одного двигуна і зустрічно – іншого. При збільшенні навантаження на валу одного із двигунів, його струм буде підсилювати власне магнітне поле, тим самим викликаючи збільшення ЕРС підвищуючи його навантаження.

Двигуни послідовного збудження мають м'які механічні характеристики і тому умови розподілу навантажень при їх роботі на загальний вал більш сприятливі.

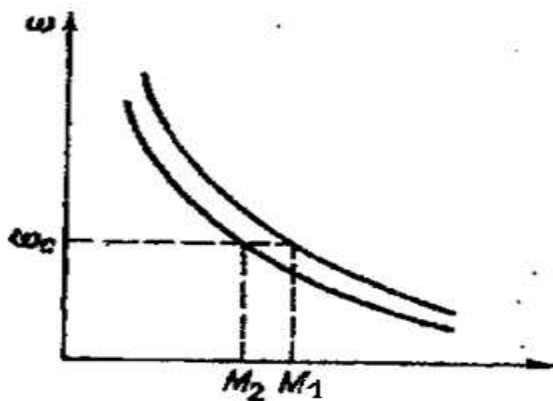


Рисунок 3.2-Розподіл навантаження між двигунами послідовного збудження.

Повне вирівнювання моментів в статичних режимах роботи може бути реалізовано шляхом послідовного з'єднання якорів двигунів постійного струму незалежного збудження(Рисунок 3.2).

Так як в цьому випадку якоря завжди мають один і той самий струм, а швидкості обертання внаслідок жорсткого зв'язку валів завжди однакові, то двигуни вимушено працюють на загальній для них характеристиці. Якщо природні характеристики двигунів не зовсім ідентичні, то при послідовному з'єднанні якорів відбудеться перерозподіл напруг.

Таким чином, послідовне з'єднання якорів забезпечує рівність середніх швидкостей і рівномірний розподіл навантажень (Рисунок 3.2).

Недоліком даного способу є конструктивні особливості двигунів постійного струму – а саме щітково-колекторний вузол, через що знижується надійність. Також для живлення ДПТ необхідний випрямляч, що додатково ускладнює конструкцію.

3.2 Робота асинхронних двигунів.

Відома наступна схема синхронізації обертання асинхронних двигунів.

Два приводних двигуни, для яких необхідно забезпечити синхронність обертання, підключаються паралельно до спільного перетворювача частоти.

Оскільки обидва двигуна отримують енергію від одного джерела і одночасно, то можна досягнути їх одночасного запуску та синхронності обертання.

Але в такій схемі присутній наступний недолік: при виникненні додаткового навантаження на одному з двигунів, можливе його відставання від менш навантаженого двигуна, внаслідок відсутності зв'язку між двигунами.

Уникнути такої проблеми можна з використанням зв'язку між двигунами за системою електричного валу.

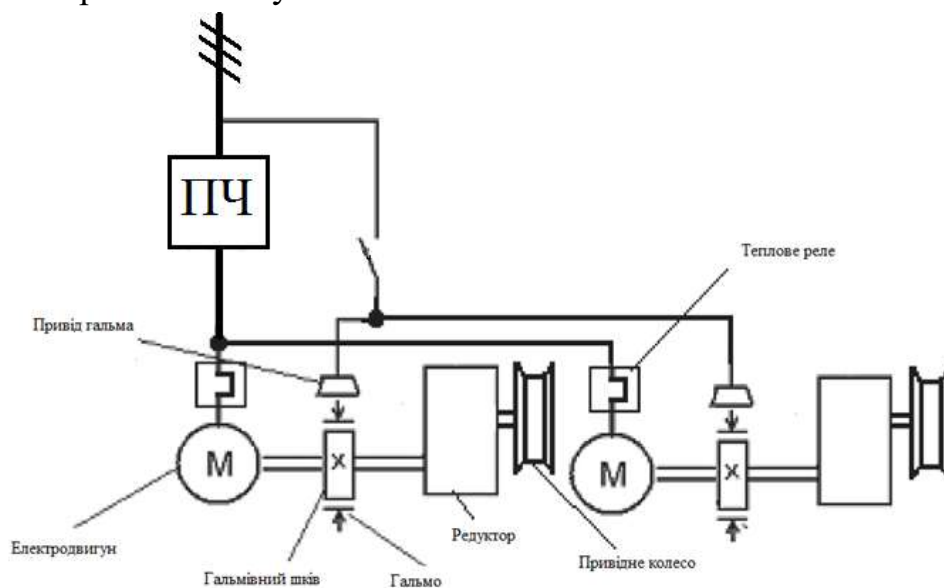


Рисунок 3.3- Паралельне підключення двигунів до одного ПЧ

3.3 Робота двигунів за системою електричного валу із допоміжними машинами

В якості головних приводних двигунів в системі з допоміжними асинхронними машинами можуть використовуватися електродвигуни будь-якого типу як постійного, так і змінного струму. Принципово можуть бути використані і двигуни неелектричні, наприклад турбіни, дизелі. Принципова схема системи

синхронного обертання з головними і допоміжними асинхронними машинами представлена на рисунку 3.4 . При наявності рівних навантажень на обох осях робочої машини 1 і 2 і при ідентичності механічних характеристик головних приводних двигунів ПД1 і ПД2, ротори останніх будуть обертатися синхронно. При

цьому ЕРС роторів допоміжних машин ВАМ1 і ВАМ2 будуть рівні за величиною і перебувати в протифазі. У результаті ніякого струму в ланцюзі роторів допоміжних машин не буде, а в їх ста-торні обмотки будуть надходити з мережі лише намагнічуючі струми.

При нерівності статичних моментів на осях 1 і 2, наприклад, якщо $A_{fcl} > M_{c2}$, ротор більш завантаженого приводного двигуна ПД1 відстане від ротора двигуна ПД2 на деякий кут θ . Відповідно буде мати місце фазовий зсув ЕРС, індукованих в роторах допоміжних машин.

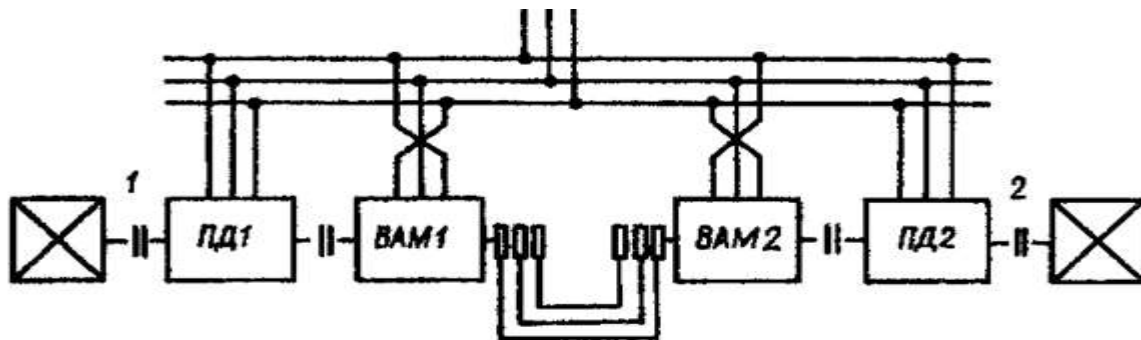


Рисунок 3.4- Система синхронного обертання з допоміжними асинхронними машинами. Прийнемо, що ротори зрівняльних машин обертаються в ту ж сторону, що і магнітні поля, створювані бмотками статорів. Тоді при відставанні ротора допоміжної машини ВАМ1 на кут θ , вектор ЕРС її статора, навпаки, буде випереджувати вектор ЕРС ротора машини ВАМ2 на той же кут θ , (Рисунок. 3.5) так як ротор ВАМ1 при цьому зміститься проти напрямку

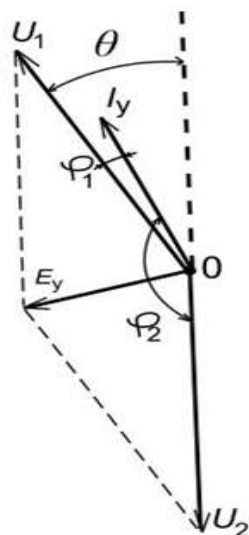


Рисунок. 3.5 – Векторна діаграма для кола ротора.

обертання поля. У результаті зсуву по фазі ЕРС роторів, у їх ланцюзі з'явиться деяка результуюча ЕРС, яка у свою чергу, зумовить появу зрівняльного струму. Так як опір ланцюга роторів в основному індуктивний, то цей струм буде відставати дів викликавшої його ЕРС на кут, близький до 90 градусів (Рисунок. 3.5)

При появі струмів в роторному колі допоміжних машин, виникнуть струми і в їх статорах. [6]

Ці струми, природно, викличуть відповідні падіння напруги в обмотках, які слід було б врахувати при аналізі системи. Однак необхідно взяти до уваги тільки індуктивний

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

опір, а впливом активного падіння напруги в обмотці статора асинхронного двигуна можна знехтувати. Для спрощення аналізу також виключимо з розгляду вплив намагнічують струмів. Фактичний фазовий зсув роторів замінимо еквівалентним зрушенням по фазі напруг в ланцюзі статорів зрівняльних машин. Дійсно, відставання однієї з машин, наприклад ВАМ1, можна уявити відповідним поворотом її статора по напрямку обертання ротора. Поворот статора можна замінити відповідним зрушенням вектора напруги, що підводиться до статора, в тому ж напрямку.

Зрівняльні моменти кожної допоміжної машини визначаються за формулами:

$$M_1 = \frac{M_{\max}}{(s/s_k) + (s_k/s)} (1 - \cos \theta - \frac{s}{s_k} \sin \theta);$$

$$M_2 = \frac{M_{\max}}{(s/s_k) + (s_k/s)} (1 - \cos \theta + \frac{s}{s_k} \sin \theta);$$

При малих кутах неузгодженості $1 - \cos \theta \approx 1$ і тоді

$$M_{1,2} = \frac{M_{\max}}{(s/s_k) + (s_k/s)} \frac{s}{s_k} \sin \theta$$

Як впливає з отриманих рівностей, момент допоміжної машини ВАМ1 виявляється позитивним, а момент машини ВАМ2- негативним. Отже, машина ВАМ1 працює двигуном, допомагаючи приводного двигуна ПД1 долати підвищений статичний момент, а машина ВАМ2 знаходиться, в генераторному режимі і, отримуючи енергію з валу, додатково завантажує приводний двигун ПД2. Таким чином, навантаження приводних двигунів вирівнюється і, незважаючи на відмінність статичних моментів, вони будуть працювати з рівними швидкостями, залишаючись в режимі синхронного обертання.

Допоміжні машини можуть обертатися не тільки по напрямку електромагнітного поля, а й проти. Умови роботи системи при цьому принципово не зміняться. Однак у цьому випадку ротор допоміжної машини ВАМ1, що знаходиться на осі з великим статичним моментом, при відставанні.

Розглянемо розподіл потужностей в системі синхронного обертання з допоміжними асинхронними машинами.

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Пис
						25
Из	Пис	По докум	Подп	Па		

Потужність допоміжних машин повинна вибиратися відповідно до можливої нерівномірності навантажень. У першому наближенні потужність допоміжних машин повинна дорівнювати:

$$P_{\text{в.ном}} = (P_{c1} - P_{c2})/2,$$

де P_{c1} и P_{c2} — статичні потужності на осях механізму при найбільшій нерівномірності навантажень.

Якщо все статичне навантаження може бути додано до однієї осі, а інша вісь при цьому повністю розвантажується, то потужність допоміжних машин повинна бути рівна потужності головних машин. Ця умова зазвичай і приймається при розрахунку більшості систем синхронного обертання. При меншій нерівномірності навантажень потужність допоміжних машин може бути відповідно знижена.

У системі синхронного обертання допоміжні машини працюють в режимі подвійного живлення. Електрична енергія може підводитися або відводиться як з боку статора, так і з боку ротора.

Отримані рівності дозволяють виявити напрямок потоків енергії при різних режимах допоміжних машин. Якщо машина працює в руховому режимі, то P_m позитивна. При обертанні її по полю зі швидкістю, менше синхронної ($0 < \omega < \omega_0$), електрична потужність, що підводиться з боку статора, більше механічної $P_{ст} > P_m$. Надлишок потужності $P_{рот}$ відводиться від ротора.

При обертанні допоміжних машин по полю зі швидкістю, що перевищує синхронну механічна потужність виявляється більшою тієї потужності, яка може надходити через статор. У цьому випадку енергія підводиться до першої машини як з боку статора, так і з боку ротора.

При обертанні допоміжних машин проти напрямку поля ($\omega < 0$) потік активної енергії в ланцюзі статора повинен змінити напрям на зворотне: $P_{ст} < 0$. При цьому вся енергія, як йде на вал, так і надходить в мережу, повинна підводитися з боку ротора.

Особливо цікавий режим при $\omega = 2\omega_0$. У цьому випадку з боку статора і ротора допоміжної машини підводяться однакові потужності, рівні половині необхідної зрівняльної потужності.

Наведені картини розподілу потоків потужності в системі синхронного обертання дані в припущенні відсутності втрат в машинах.

Необхідно вказати, що обов'язковою умовою нормальної роботи системи синхронного обертання є повна ідентичність механічних характеристик головних приводних двигунів. Якщо крутизна їх неоднакова, то навіть при рівних статичних моментах

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

неминуча передача потужності через зрівняльні машини.

Тут так само, як і при безпосередній роботі на загальний вал, двигун з жорсткою характеристикою буде нести більше навантаження, ніж двигун з більш м'якою характеристикою.

Наявність у системі електричного вала спеціальних допоміжних машин призводить до збільшення габаритів та подорожчання установки.

3.4 Робота двигунів за системою електричного валу без допоміжних машин

Схема ввімкнення системи синхронного обертання без допоміжних машин ілюструється на рисунку 3.6.

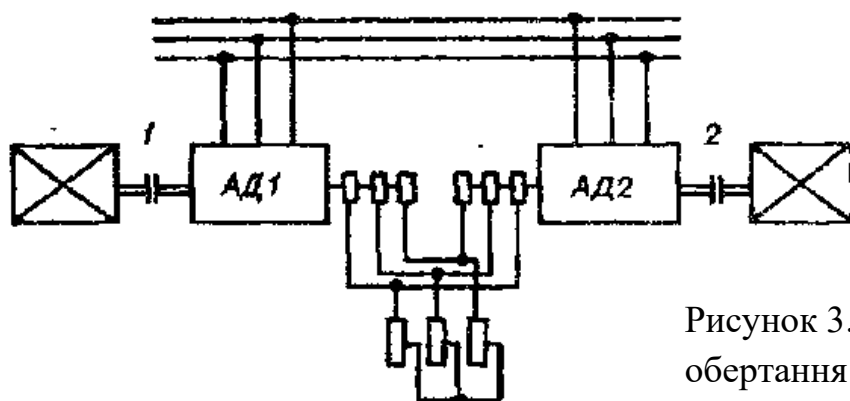


Рисунок 3.6- Система синхронного обертання двигунів.

Припустимо, що навантаження на валу першого двигуна більше, ніж на валу другого.

При цьому ротор першого двигуна

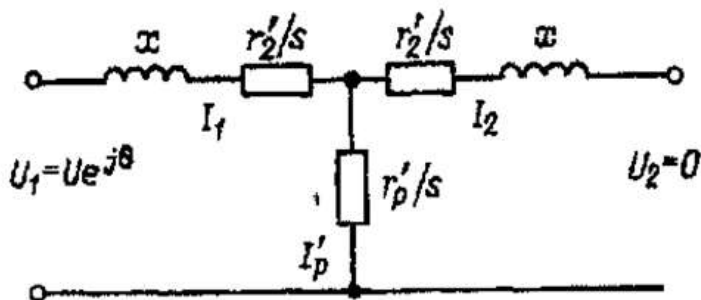


Рисунок 3.7-Схема заміщення електрично зв'язком роторів двигунів.

відставатиме у просторі від ротора другого двигуна на деякий кут θ .

У розглянутій системі синхронного обертання ротори двигунів завжди обертаються в тому ж напрямку, що і поле. Тому при прийнятій умові ЕРС ротора першого двигуна завжди буде випереджати ЕРС ротора другого двигуна на кут $\pi + \theta$. Струми двигунів I_1 та I_2 будуть відставати

Струм у реостаті буде $I_p = I_1 + I_2$

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Як і в системі синхронного обертання з допоміжними машинами, дійсне неузгодженість роторів сзамінімо еквівалентним фазовим зрушенням напруг в ланцюзі статорів(.

Напруга, прикладена до статора першого двигуна, відповідно випереджає напругу,

$$I_p \frac{r_p'}{s} \sin \varphi_p + I_2 \frac{r_2'}{s} \sin(\varphi_2 + \theta) - I_2 x \cos(\varphi_2 + \theta) = U \sin \theta$$

прикладену до статора другого двигуна на кут θ .

Напруга, прикладена до будь-якого з двигунів, являє собою геометричну суму падіння напруги в реостаті $I_p' (r_p'/s)$, наведеного до умов нерухомого двигуна, і падіння напруги в обмотках двигуна, наведеного до тих же умов. Модулі векторів напруг вважатимемо однаковими:

$$U_1 = U_2 = U.$$

Обертаючі моменти двигунів можуть бути представлені равенствами:

$$M_1 = C_M \Phi I_1 \cos \varphi_1; \quad M_2 = C_M \Phi I_2 \cos \varphi_2;$$

Значення активних складових струмів $I_1 \cos \varphi_1$ та $I_2 \cos \varphi_2$ можуть бути визначені збігається з напрямком U_1 і на нормальну до неї. Тоді можемо написати наступну систему рівнянь:

а) рівняння струмів

$$I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos(\varphi_2 + \theta) = I_p' \cos \varphi_p;$$

$$I_1 \sin \varphi_1 + I_2 \sin(\varphi_2 + \theta) = I_p' \sin \varphi_p;$$

В отриманих рівняннях необхідно виключити члени с I_p , а потім вирішити їх відносно $I_1 \cos \varphi_1$ та $I_2 \cos \varphi_2$, з тим щоб вирази для активних складових струмів можна було підставити у формули для моментів двигунів M_1 і M_2 .

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

$$I_2 \cos \varphi_2 = \left[\frac{\frac{r_p'}{s} (1 - \cos \theta) - x \sin \theta}{\left(\frac{r_p'}{s} \right)^2 + x^2} + \frac{\frac{r_2' + 2r_p'}{s} (1 - \cos \theta) - x \sin \theta}{\left(\frac{r_2' + 2r_p'}{s} \right)^2 + x^2} \right]$$

$$I_1 \cos \varphi_1 = \frac{U}{2} \left[\frac{\frac{r_p'}{s} (1 - \cos \theta) + x \sin \theta}{\left(\frac{r_p'}{s} \right)^2 + x^2} + \frac{\frac{r_2' + 2r_p'}{s} (1 + \cos \theta) - x \sin \theta}{\left(\frac{r_2' + 2r_p'}{s} \right)^2 + x^2} \right]$$

При цьому маємо:

$$M_1 = M_{\max} \left[\frac{1 - \cos \theta + \frac{s}{s_K} \sin \theta}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}} + \frac{1 + \cos \theta - \sin \frac{s}{s_K^*} \theta}{\frac{s}{s_K^*} + \frac{s_K}{s}} \right]$$

$$M_2 = M_{\max} \left[\frac{1 - \cos \theta - \frac{s}{s_K} \sin \theta}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}} + \frac{1 + \cos \theta + \sin \frac{s}{s_K^*} \theta}{\frac{s}{s_K^*} + \frac{s_K}{s}} \right]$$

Знайдені формули відповідають узагальненій системі електричного вала з асинхронними машинами. Поклавши $\Gamma P - \text{зі або } 5K^* = \infty$, ці формули безпосередньо перетворюються до виду, характерного для електричного вала з допоміжними машинами. Приймавши значення кута неузгодженості рівним нулю ($\theta = 0$), отримаємо звичайне рівняння штучної механічної характеристики.

3

3					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$M_1 = M_2 = M = \frac{2M_{\max}}{\left(s/s_k^*\right) + \left(s_k^*/s\right)}$$

$$s_k^* = \left(r_2' + 2r_p'\right)x$$

$$s_{k-\theta} = \left(r_2' + r_p'\right)/x$$

Необхідно, однак, відзначити, що в цю рівність входить критичне ковзання а не критичне ковзання для штучної механічної характеристики асинхронного двигуна;

в ланцюзі роторів залежать від кута неузгодженості і опору реостата. Залежності моментів асинхронних машин від кута неузгодженості при різних значеннях опору

Це обумовлено тим, що ротори обох машин підключені до загального реостату. У результаті, струм в реостаті дорівнює сумі струмів в роторах, і падіння напруги в реостаті має відповідно подвійне значення, тобто, якби для кожного двигуна в ланцюзі роторів було ввімкнено реостати з вдвічі більшим опором.

Як бачимо з отриманих рівностей моменти асинхронних машин в системі електричного вала із загальним реостатом ДЛЯ $s/s_k=1$. З кривих випливає, що для досягнення бажаних результатів у відношенні величини моментів двигунів необхідно підбирати опір реостата. При малих значеннях занадто мала гранична різниця моментів, при якій ще можлива синхронна робота системи. Повне скидання навантаження на одному з механізмів неприпустиме. при великих r_p момент однієї машини (другий) стає негативним, т. е. система може працювати тільки при підводі механічної енергії до валу другої машини, коли остання знаходиться в генераторному режимі.

Таким чином, система синхронного обертання асинхронних машин із загальним реостатом в ланцюзі роторів може знайти застосування лише тоді, коли можлива відносна різниця моментів на валах двигунів невелика.

Слід зазначити, що підключення роторів головних двигунів до загального реостата може бути доцільним в системі з допоміжними машинами. У цьому випадку має місце збільшення моментів, що утримують систему в режимі синхронного обертання при малих швидкостях в процесі пуску, що дуже важливо, тому що саме в перехідних процесах можна чекати найбільшої нерівномірності моментів на осях механізмів. Характеристики системи електричного вала із

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

загальним реостатом в ланцюзі роторів двигунів можуть бути дещо покращені ввімкненням у вторинну обмотку ланцюга з комбінацією елементів r , L , C . Ємність, як правило, вмикається паралельно до реостата, а дроселі – у вторинні ланцюги двигунів послідовно.[7,8]

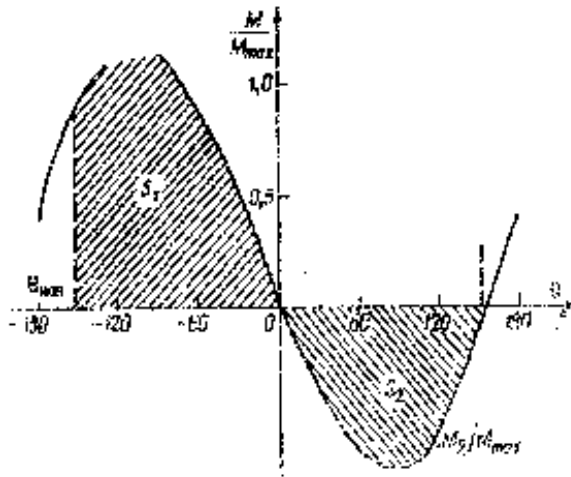


Рисунок 3.8- Залежність моментів асинхронних двигунів від кута неузгодженості при різних опорах реостата в ланцюзі роторів при $s/s_k=1$

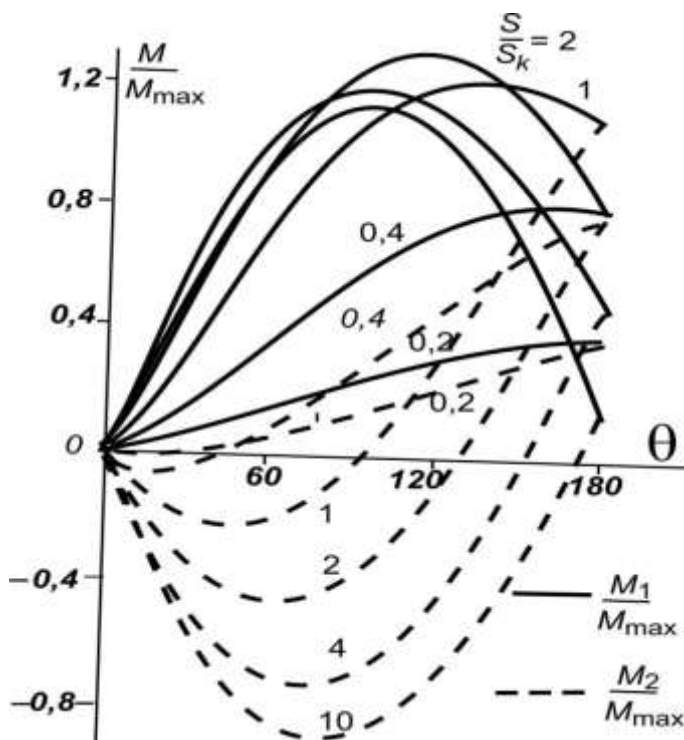


Рисунок 3.9- Графіки моментів двигунів кута неузгодженості θ при $s/s_k=2$

При цьому можливе збільшення моментів і поліпшення демпфуючих властивостей. Однак можуть з'явитися резонансні явища і відповідно зрости струми при деяких

швидкостях обертання.

Системи синхронного обертання при включенні вимагають попередньої синхронізації. При відключенні установки ротори, як правило, не зупиняються в узгодженому положенні, а зміщуються відносно один одного на деякий кут. Однією з основних причин виникнення неузгодженості є неодноразовість накладення механічних гальм. Тому прагнуть схему компонування таким чином, щоб гальма накладалися після повної зупинки двигунів, а відключення допоміжних магніт відбувалося після накладення гальм. Однак при зупинці завжди неминуче деяке неузгодженість в положенні роторів. Включення допоміжних машин при наявності кута неузгодженості за нормальною трифазною схемою може супроводжуватися небажаними явищами. Якщо кут неузгодженості невеликий, то після ряду коливань ротори займуть узгоджене становище. При великому початковому вуглі неузгодженості і незначних статичних моментах двигуни можуть прийти в обертання.

На рисунку 2.7.5. представлені криві моментів допоміжних машин при $S/S_k=2$. Як видно, при великому куті неузгодженості $\theta_{нач}$ обидві машини створюють моменти одного знака. У зв'язку з цим після включення вони почнуть обертатися в одну сторону, причому ротор перший допоміжної машини, обертаючий момент якої більше, буде намагаючись ротор другою. Кут неузгодженості θ буде зменшуватися, і друга машина потім перейде в гальмівний режим. Однак ротор першої машини маючи деякий запас кінетичної енергії, пройде узгоджене положення ($\theta = 0$) і знову виникає неузгодженість, але вже іншого знака. Тоді знак моменту другої машини зміниться на позитивний, і вона почне збільшувати швидкість, обертаючись в тому ж напрямку.

У такій послідовності обидві машини по черзі будуть підвищувати швидкості обертання, які поступово вирівнюються. При цьому зміни кута неузгодженості будуть зменшуватися, моменти відповідно падати і ротори машин, обертаючись, займуть в просторі займуть узгоджене становище. Подальше обертання буде протікати лише в результаті запасу кінетичної енергії. Коли він буде витрачений ротори зупиняться, займаючи узгоджене положення.

Трохи інакше процес відбуватиметься в тому випадку, якщо статичний момент на валу першої машини малий, а на валу другої машини вельми великий, т.е практично ротор заморожений. При включенні з великим кутом неузгодженості ротор першої машини прийде в обертання, при досягненні узгодженого становища він придбає деякий запас кінетичної енергії. Тому рух не припиниться .якщо витрата енергії при наростанні кута неузгодженості в негативному напрямку, пропорційний площі S_2 , буде менше запасу енергії, отриманого при зменшенні кута визначається площею S_1 , то ротор,

прийшовши в початкове положення, збереже деякий запас кінетичної енергії, і

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

швидкість двигуна буде наростати і далі. При другому повороті на 380° запас енергії зростає. Поступово прискорюючись, двигун досягне деякої швидкості і буде працювати в режимі подвійного живлення.

Основною причиною розглянутих явищ можна вважати несиметричність кривих моментів двигунів щодо осі абсцис. Вони мають як би постійну складову, яка обумовлює розгін двигунів.

Щоб уникнути описаних явищ система синхронного обертання попередньо синхронізується по одній з можливих однофазних схем. При однофазному включенні криві моментів повністю симетричні. Тому ні за яких умов явища, описані вище, виникнути не можуть.

Слід зазначити, що і включення за однофазною схемою зазвичай супроводжується гойданнями біля положення рівноваги, причому, як правило, загасання невелика. Ці гойдання обумовлені наявністю в системі двох рівних інерційних постійних. Система синхронного обертання може бути уподібнена механічній моделі, що складається з двох деталей з однаковими масами, які пов'язані між собою пружиною.

3.5. Робота двигунів за системою електричного валу з перетворювачем частоти у колі роторів

У приведених вище схем електричного валу з реостатами у колі статорів присутні наступні недоліки:

- Значні втрати енергії у реостатах
- Нагрів реостатів
- Зниження ККД
- Можливість лише ступінчатого регулювання швидкості обертання валу двигуна

У зв'язку з приведеними недоліками реостатних схем електричного валу вирішено здійснювати регулювання швидкості двигунів за допомогою перетворювача частоти, ввімкненого у коло роторів, замість реостатів.

За такою схемою, статорні обмотки двигунів живляться від мережі 380 В, 50 Гц, від цієї ж мережі живиться і перетворювач частоти. Ротори двигунів електрично пов'язані між собою, і отримують напругу живлення від ПЧ. Перетворювач частоти має бути з керуванням випрямлячем, для того, щоб задати необхідне значення напруги на виході, оскільки напруга роторів складає 219 В, на відміну від статорної напруги 380 В.

Особливістю даної схеми є те, що швидкість обертання роторів двигунів буде

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

пропорційною до ковзання та обернено пропорційною до частоти живлення, яка на них подаватиметься. Швидкість обертання машин буде рівною:

Це справедливо при рівних навантаженнях на обох двигунах. При збільшенні навантаження на одному з двигунів, його ковзання збільшиться, а швидкість зменшиться. При новому ковзанні ЕРС ротора більш завантаженого двигуна збільшиться, що призведе до збільшення струму його ротора, а відповідно і збільшення моменту. Система повернеться у вихідне положення і працюватиме узгоджено.

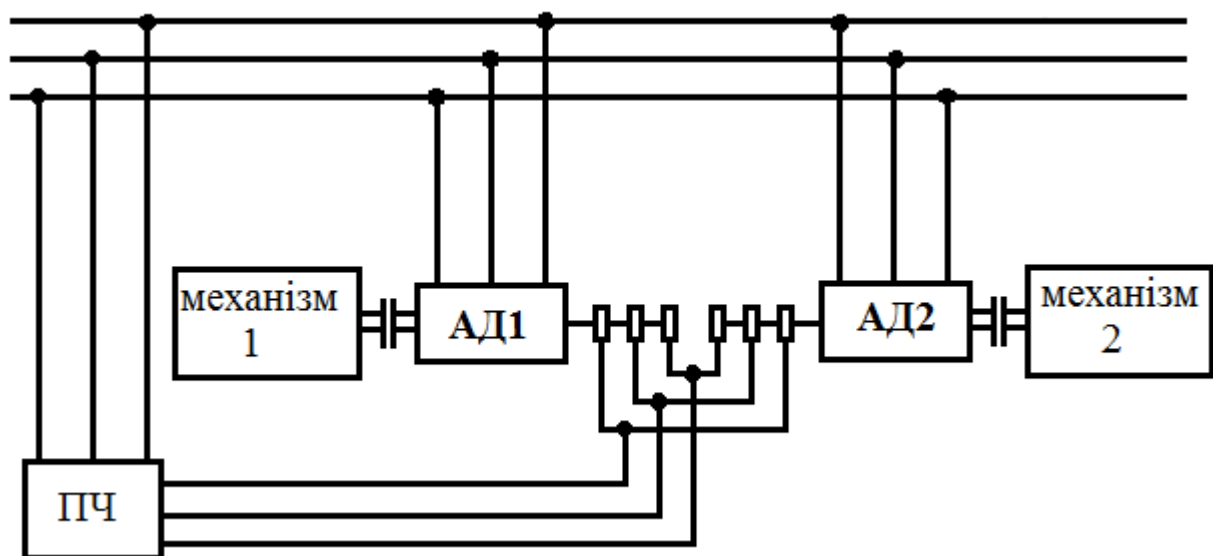


Рисунок 3.10 – схема

електричного валу з ПЧ в колі роторів.

Також дана схема дозволяє плавно керувати швидкістю двигунів, на відміну від пускових резисторів у колі роторів, а також здійснювати плавний пуск двигуна. Відповідно до виразу швидкості ротора, можна побудувати графік залежності швидкості обертання двигуна від частоти напруги живлення ротора.

$$\omega_p = \frac{2 \cdot \pi}{p} \cdot (f_1 - f_2)$$

$$f_1 = 50 \text{ Гц} \quad f_2 = 0,05 \cdot 50 \text{ Гц}$$

$$\omega_p(f_2) = \frac{2 \cdot \pi}{p} \cdot (f_1 - f_2) \quad n_p(f_2) = \frac{30 \cdot \omega_p(f_2)}{\pi}$$

де f_1 – частота напруги живлення статора, f_2 – частота напруги живлення ротора.

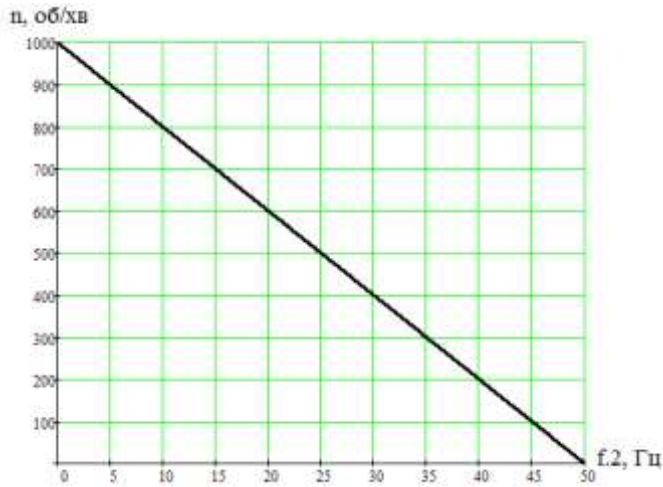


Рисунок 3.11 – Графік залежності швидкості від частоти живлення роторів.

З графіку зрозуміло, що зміна частоти на 5 Гц призводить до зміни швидкості на 100 об/хв. Відповідно, зміна частоти на 1 гц призведе до зміни швидкості на 20 об/хв. Щоб збільшити або зменшити швидкість обертання двигуна на 1 об/хв., треба відповідно зменшити, або збільшити частоту живлення ротора на 0.05 Гц.

Струм, що протікає у колі зустрічно ввімкнених роторів називається врівноважуючим струмом. Цей струм залежить від кута непогодження роторів та від ковзання. Якщо кут непогодження рівний 0, тобто, система працює синхронно, то струм узгодження рівний 0. Чим більший кут непогодження, тим відповідно більше значення врівноважуючого струму. Також струм збільшується при збільшенні ковзання.

$$I_y := \frac{U_r \cdot \sin\left(\frac{\Theta}{2}\right)}{\sqrt{\left(\frac{R'_2}{s_1}\right)^2 + X'_{2\sigma}{}^2}}$$

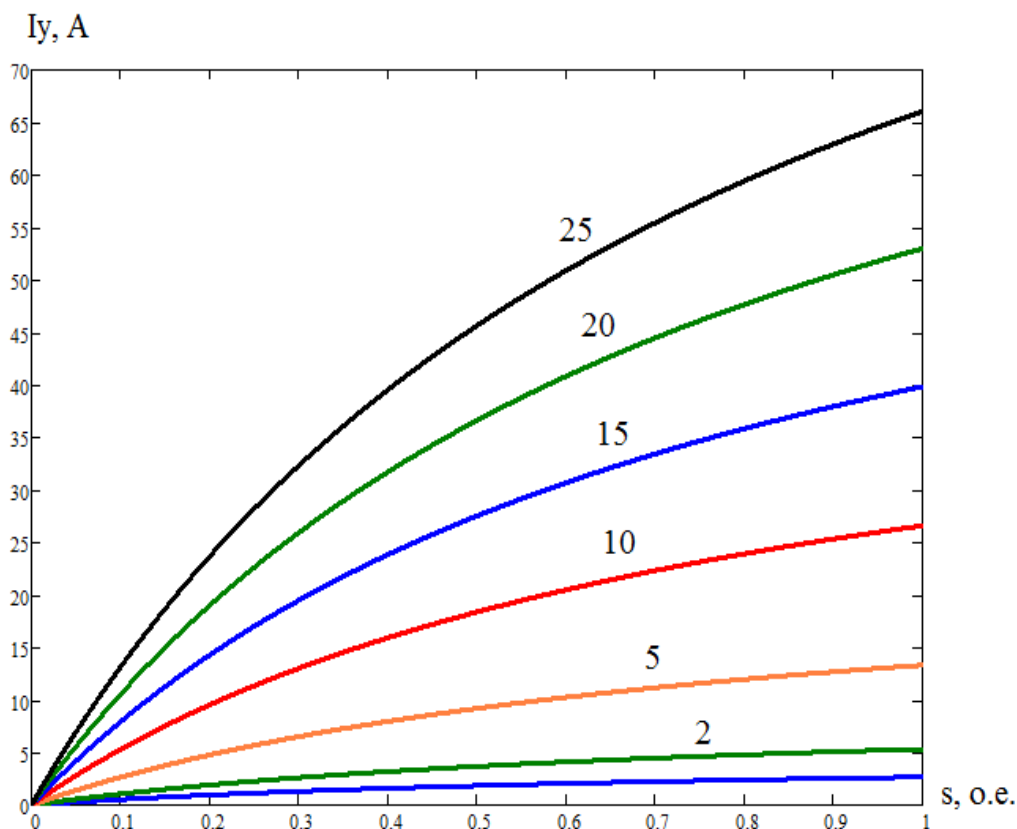


Рисунок.3.12.- Графік залежності врівноважуючого струму від кута непогодження при ковзанні від 0 до 1.

З приведенного графіку можна зробити висновок, що для даної системи номінальним являється кут непогодження до 15 градусів, оскільки при ньому, та при ковзанні близькому до 1, що відповідає швидкості крану при рушанні з місця, врівноважуючий струм не перевищує номінального струму роторів та перетворювача частоти.

РОЗДІЛ 4. Вибір перетворювачів частоти.

РОЗДІЛ 4. ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ

4.1. Скалярний принцип управління

Скалярне керування, або U/f-керування асинхронним двигуном – це зміна швидкості двигуна шляхом впливу на частоту напруги на статорі при одночасній зміні модуля цієї напруги. При U/f-керуванні частота та напруга виступають як два керуючих впливи, які зазвичай регулюються спільно. При цьому частота приймається за незалежний вплив, а значення напруги при заданій частоті визначається виходячи з того, як повинен змінюватися вигляд механічних характеристик привода при зміні частоти, тобто, з того, як має змінюватися в залежності від частоти критичний момент двигуна. Для реалізації такого закону регулювання необхідно забезпечити постійність відношення $U/f = \text{const}$, де U - напруга на статорі, а f – частота напруги статора. При

КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	37

постійності перенавантажувальної здатності номінальні коефіцієнти потужності та корисної дії двигуна на всьому діапазоні регулювання частоти обертання практично не змінюються.

До законів U/f - регулювання можна віднести закони, які пов'язують величину та частоту живлячої двигун напруги ($U/f=\text{const}$, $U/f^2=\text{const}$, та інші). Їх перевагою є можливість одночасного керування групою електродвигунів. Скалярне керування використовується для більшості практичних випадків застосування частотного електропривода з діапазоном регулювання частоти обертання двигуна без використання датчика зворотнього зв'язку до 1:40.

Алгоритми скалярного керування не дозволяють реалізувати контроль та керування обертовим моментом електродвигуна, а також режим позиціонування. Найбільш ефективна область застосування даного способу керування: вентилятори, насоси, конвеєри та ін..

4.2. Векторний принцип керування

Векторне керування – це метод керування асинхронним двигуном, який не тільки формує гармонічні струми та напруги фаз (скалярне керування), а й забезпечує керування магнітним потоком двигуна. В основі векторного керування лежить представлення про напруги, струми та потокозчеплення, як про просторові вектори.

Основні принципи були розроблені в 70-х роках 20-го сторіччя. В результаті фундаментальних теоретичних дослідів та успіхів в області силових напівпровідникової електроніки та мікропроцесорних систем, на сьогодні, розроблені електроприводи з векторним керуванням, котрі серійно випускаються виробниками привідної техніки усього світу.

При векторному керуванні в асинхронному електроприводі в перехідних процесах мається можливість підтримання постійності потокозчеплення ротора, на відміну від скалярного керування, де потокозчеплення ротора в перехідних процесах змінюється при зміні струмів статора та ротора, що призводить до зниження темпа зміни електромагнітного моменту. У приводі з векторним керуванням, де потокозчеплення ротора можна підтримувати постійним, електромагнітний момент змінюється настільки швидко, наскільки швидко змінюється складова струму статора (аналогія зі зміною моменту при зміні струму якоря в машині постійного струму.).

При векторному керуванні в ланці керування мається на увазі наявність математичної моделі регульованого електроприводу. Режими векторного керування можна про класифікувати наступним чином.

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист 38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1. За точністю математичної моделі електродвигуна, яка використовується в ланці керування:

- Використання математичної моделі без додаткових уточнюючих вимірювань пристроєм керування параметрів електродвигуна (використовуються лише типові дані двигуна, введені користувачем);

- Використання математичної моделі з додатковими уточнюючими

вимірюваннями пристроєм керування параметрами електродвигуна; тобто активних та реактивних опорів статора та ротора, напруги та струму двигуна.

2. За наявністю або відсутністю зворотного зв'язку за швидкістю (датчик швидкості) векторне керування можна розподілити на:

- Керування двигуном без зворотного зв'язку за швидкістю – при цьому пристроєм керування використовуються дані математичної моделі двигуна та значення, отримані при вимірюванні струму статора та/або ротора.

- Керування двигуном із зворотним зв'язком за швидкістю – при цьому пристроєм використовується не тільки значення, отримані при вимірюванні струму статора та/або ротора електродвигуна (як в попередньому випадку), але і дані про швидкість (положення) ротора від датчика, що в деяких задачах керування дозволяє підвищити точність відроблення електроприводом завдання швидкості (положення).

До основних законів векторного керування модно віднести наступні:

а. Закон, який забезпечує постійність магнітного потокозчеплення статора Ψ_1 (відповідне постійності $E_{звн}/f$).

б. Закон, який забезпечує постійність магнітного потокозчеплення повітряного зазору Ψ_0 (постійність E/f).

в. Закон, який забезпечує постійність магнітного потокозчеплення ротора Ψ_2 (постійність $E_{внутр}/f$).

Закон підтримання постійності потокозчеплення статора реалізується при підтриманні постійного відношення ЕРС статора до кутової частоти поля. Основний недолік такого закону – знижена перевантажувальна здатність двигуна при роботі на

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

високих частотах. Це зумовлено збільшенням індуктивного опору статора, а отже, зниженням потокозчеплення у повітряному зазорі між статором та ротором при збільшенні навантаження.

Підтримання постійності головного потоку підвищує перевантажувальну здатність двигуна, але ускладнює апаратну реалізацію системи управління та потребує або зміни конструкції машини, або наявності спеціальних датчиків. При підтриманні постійного потокозчеплення ротора, момент двигуна не має максимуму, але при збільшенні навантаження збільшується головний магнітний потік, що призводить до насичення магнітних ланцюгів, і відповідно до

неможливості підтримки постійності потокозчеплення ротора.

4.3. Принцип роботи перетворювача частоти.

В даний час більшість перетворювачів виготовляють за схемою авто автономних інвертора напруги. Це пов'язано з появою повністю керованих силових напівпровідникових приладів: IGB-транзисторів і замикаються

тиристорів. Типова схема електроприводу з інвертором напруги на повністю керованих приладах дана на рис. 2.9.1. схемних особливості інвертора напруги є наявність зворотних діодів VD1 ... VD6 і фільтрового конденсатора С.

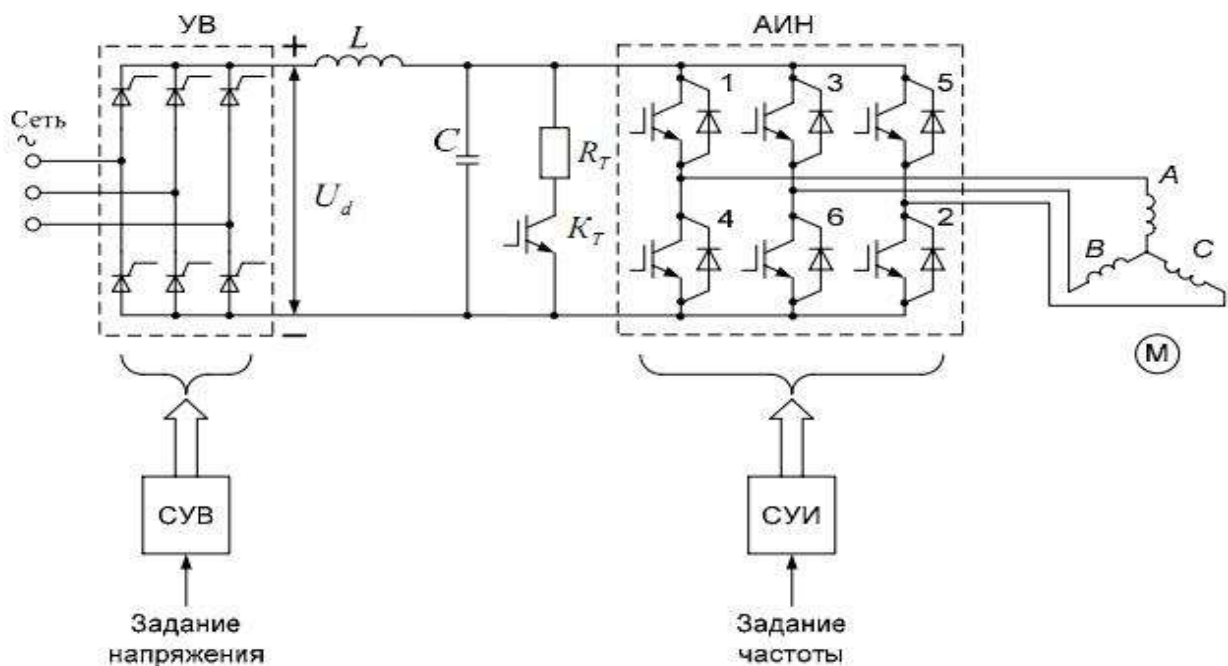


Рисунок 4.1.- Схема частотно-керованого електропривода

На відміну від інверторів струму, для яких характерним є робота в кожен момент часу по одному вентилю в анодному і катодному групах, в інверторах напруги більш доцільна одночасна робота двох вентилів в одній групі і, одного вентиля в іншій групі. При цьому тривалість роботи кожного вентиля становить π . Припустимо, що в деякий момент часу працюють транзисторні ключі VT1, VT2 і VT6. Тоді струм протікає по всіх трьох фазним обмоткам двигуна, причому $2/3$ напруги U_d прикладається до фази а й до двох паралельно увімкнених фазам і з (рис. 4.1). При замиканні транзисторного ключа VT6 і включенні транзисторного

ключа VT3 струм в фазі В не може миттєво змінитися і замикається через діод VD3 на конденсатор С, чим забезпечується циркуляція реактивної потужності між обмотками двигуна і конденсатором С. Після включення транзисторного ключа VT4 струм буде протікати по паралельно включеним фазам.

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

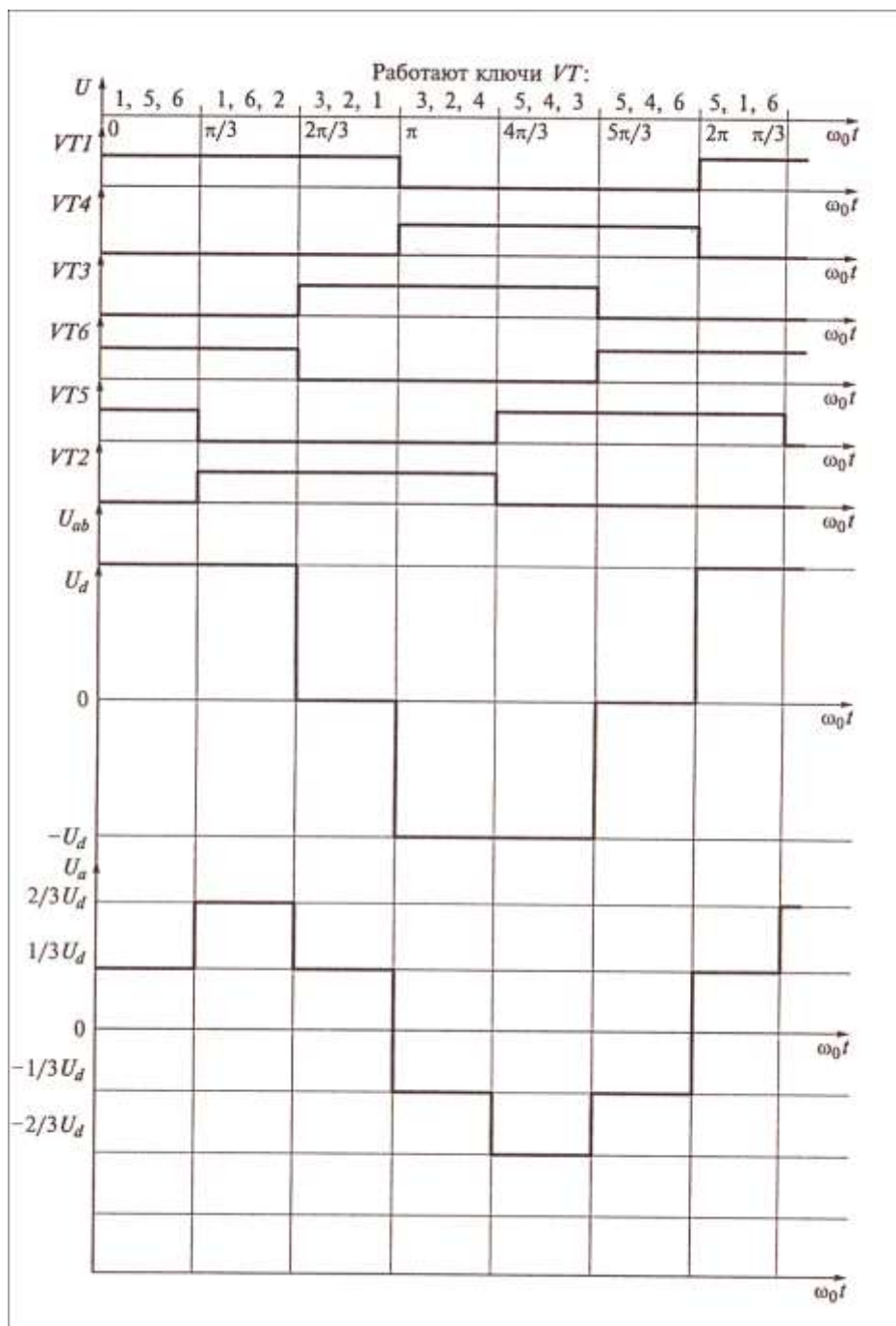


Рисунок 4.2-Діаграма роботи ключів VT1 ... VT6 і епюри лінійної і фазної напруг

$$U_{\pi} = \frac{U_d}{2} (2\gamma - 1),$$

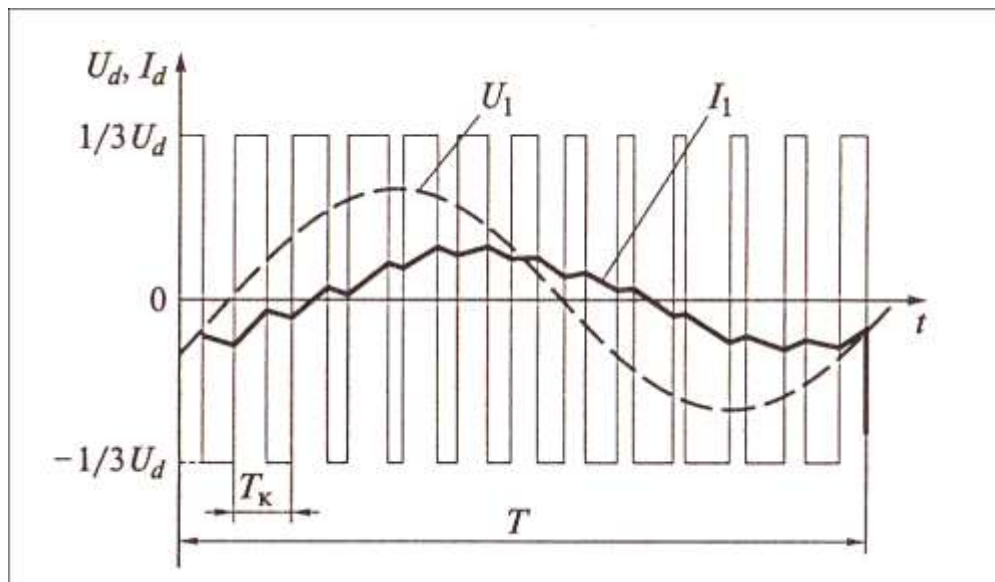


Рисунок 4.3- Графік, що пояснює принцип широтно-імпульсної модуляції напруги і струму фази автономного інвертора напруги:

U_1, I_1 - фазні відповідно напруга і струм статора; U_d – напруга живлення; T_k - період ШІМ; T - період частоти вихідної напруги.

Лінійне $U_{ав}$ і фазну U_a напруги, що прикладаються до обмоток двигуна, матимуть форму, показану на рисунку 4.3.

Необхідна вихідна частота визначається частотою перемикання вентилів інвертора і задається каналом регулювання частоти. Регулювання вихідної напруги може виконуватися двома способами:

- 1) за допомогою керованого випрямляча на вході інвертора, за допомогою якого регулюється U_d ,
- 2) використанням способу широтно-імпульсного регулювання, здійснюваного вентилями інвертора; в цьому випадку вхідний випрямляч може бути некерованим.

Перший спосіб характеризується двома недоліками: ступінчастою формою вихідної напруги (див. Рисунок 4.3) і низьким коефіцієнтом потужності перетворювача.

Більш ефективним є другий спосіб. При широтноімпульсній способі регулювання (рис. 8) можливо не тільки регулювання середньої напруги за період, а й корекція форми вихідної напруги U_1 . таке регулювання називають широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Вона заснована на принципі широтно-імпульсного регулювання.

Так як при двухполярной комутації вихідна напруга перетворювача

то, регулюючи безперервно шпаруватість у за синусоїдальним законом можна отримати середню фазна напруга, також змінюється по синусоїді.

Змінюючи за допомогою системи управління амплітуду U_1 можна регулювати вихідну напругу перетворювача.

При використанні інверторів напруги для реалізації режиму рекуперативного гальмування асинхронного двигуна необхідно на вході встановлювати реверсивний перетворювач з двома групами вентилів, що ускладнює схему перетворювача і знижує її надійність. Тому в інверторах напруги зазвичай передбачають розрядний резистор R (див. Рис. 2.6), який підключається в режимі гальмування транзисторним ключем VT_7 і в якому розсіюється енергія гальмування.

Існує велика кількість різновидів схем перетворювачів частоти з автономними інверторами струму і напруги, які описані у відповідній літературі.

4.4. вибір перетворювача частоти

Для регулювання швидкості електроприводу було вирішено використовувати перетворювач частоти. Перетворювач частоти повинен забезпечувати як можливість регулювання частоти напруги на виході так і її амплітуди, оскільки напруга між кільцями ротора відрізняється від напруги промислової мережі і складає 219 В. Тому перетворювач частоти повинен бути з керованим випрямлячем. Також треба враховувати тип навантаження в електроприводі, а це постійний момент навантаження, тому, для підтримання постійної швидкості треба обрати перетворювач частоти з векторним типом регулювання.

Потужність перетворювача частоти для електричного валу подвійного живлення можна визначити за наступним виразом, використовуючи паспортні дані двигунів, в роторне коло яких і буде вмикатися перетворювач.

$$P_{ПЧ} := \sqrt{3} \cdot U_p \cdot I_p \rightarrow \sqrt{3} \cdot 219 \cdot 54 = 20483 \text{ Вт}$$

Обираємо перетворювач частоти фірми Omron з модельного ряду, який найбільше відповідає потрібній потужності. Omron серії G7 модель CIMR-G7C-40221 потужністю 22 кВт. Перетворювачі частоти G7 представляють з себе якісне та надійне рішення, яке забезпечує просте та швидке індивідуальне налаштування інвертора у відповідності до вимог виконуваної задачі.

Відмінні особливості:

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- 3-рівневе керування зменшує стрибки напруги на обмотках двигуна до 50%. Немає необхідності у використанні стабілізатора змінного струму на довгих кабелях живлення двигуном.

- Керування вектором потоку

- гарна продуктивність в режимі розімкнутого контуру з обертовим моментом 150% при 0.3 Гц

- Режим безшумної роботи без зниження струму (за рахунок підвищення несучої частоти)

- Широкий вибір додаткових карт зв'язку: промислові мережі, плата ПЛК, Mechatrolink, аналогові та цифрові входи-виходи та ін..

Технічні данні даної моделі перетворювача наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.-Технічні дані перетворювача частоти CIMR-G7C-40221

Виробник:	Omron
Серія:	G7
Модель:	CIMR-G7C-40221
Потужність, кВт:	22
Номінальний струм, А:	52
Напруга живлення, В:	380-480
Кількість фаз:	3
Вихідна частота, Гц:	0.01-250
Клас захисту:	NEMA1 (тип 1)
Перевантаження, % на протязі 1 в.	150

РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

5.1 Розрахунок механічних характеристик двигунів та схеми заміщення

За паспортними даними двигуна побудуємо його природну та штучні механічні характеристики а також розрахуємо параметри для схеми заміщення двигуна, які будуть використовуватися в моделюванні.

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

Дані Двигуна:

$$P_{\text{дв.н}} := 17500 \text{ Вт} \quad U_{1\text{лн}} := 380 \text{ В} \quad j_{\text{дв}} := 0.374 \text{ (кг·см)}^2 \quad f_{1\text{н}} := 50 \text{ Гц}$$

$$n_0 := 1000 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad n_{\text{ном}} := 950 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad m_{\text{п}} := 2.8 \quad m_{\text{к}} := 3.1 \quad k_1 := 4.5 \quad \sin\varphi := 0.6726$$

$$\eta := 0.82 \quad \cos\varphi := 0.75 \quad I_{\text{ном}} := 43.5 \text{ А} \quad \beta := 1 \quad p' := 0.75 \quad \cos\varphi_{p'} := 0.69 \quad \eta_{p'} := 0.82$$

Синхронна кутова частота обертання двигуна

$$\omega_0 := \frac{(\pi \cdot n_0)}{30} \rightarrow \frac{\pi \cdot 1000}{30} = 104.7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номінальна кутова частота обертання

$$\omega_{\text{н}} := \frac{(\pi \cdot n_{\text{ном}})}{30} \rightarrow \frac{\pi \cdot 950}{30} = 99.5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номінальне ковзання

$$\frac{n_{\text{ном}}}{n_0} = 0.95$$

$$S_{\text{н}} := 1 - 0.95 = 0.05$$

Номінальний момент двигуна

$$M_{\text{н}} := \frac{P_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{н}}} \rightarrow \frac{17500}{99.5} = 175.9 \text{ Н·м}$$

Номінальна фазна напруга і номінальний фазний та лінійний струми статора

$$U_{1\text{фн}} := \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} \rightarrow \frac{380}{\sqrt{3}} = 219.4 \text{ В}$$

$$I_{1\text{фн}} := \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} \rightarrow \frac{17500}{3 \cdot 219.4 \cdot 0.8 \cdot 0.8} = 43.2 \text{ А}$$

$$I_{1\text{лн}} := I_{1\text{фн}} = 43.2 \text{ А}$$

Струм фази статора при частковому завантаженні

$$I_{1p'} := \frac{(p' \cdot P_{\text{дв.н}})}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos\varphi_{p'} \cdot \eta_{p'}} \rightarrow \frac{0.8 \cdot 17500}{3 \cdot 219.4 \cdot 0.7 \cdot 0.8} = 35.2 \text{ А}$$

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Критичне ковзання

$$S_k := S_H \cdot \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} \rightarrow 0.05 \cdot \frac{3.1 + \sqrt{3.1^2 - [1 - 2 \cdot 0.05 \cdot (3.1 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0.05 \cdot (3.1 - 1)} = 0.4$$

$$S_k = 0.4$$

Струм холостого ходу

$$I_0 := \frac{I_{1p'}^2 - \left[\frac{p' \cdot I_{1\Phi H} \cdot (1 - S_H)}{(1 - p' \cdot S_H)} \right]^2}{1 - \left[\frac{p' \cdot (1 - S_H)}{(1 - p' \cdot S_H)} \right]^2} \rightarrow \frac{35.2^2 - \left[\frac{0.8 \cdot 43.2 \cdot (1 - 0.1)}{1 - 0.8 \cdot 0.1} \right]^2}{1 - \left[\frac{0.8 \cdot (1 - 0.1)}{1 - 0.8 \cdot 0.1} \right]^2} = 22 \text{ A}$$

Приведений до обмотки статора активний опір обмотки ротора

$$C_1 := 1 + \left(\frac{I_0}{2 \cdot k_1 \cdot I_{1\Phi H}} \right) \rightarrow 1 + \frac{22}{2 \cdot 4.5 \cdot 43.2} = 1.1$$

$$R'_2 := \frac{[3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot (1 - S_H)]}{2 \cdot m_k \cdot P_{дв.н} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{S_k} \right)} \rightarrow \frac{3 \cdot 219.39^2 \cdot (1 - 0.05)}{2 \cdot 3.1 \cdot 17500 \cdot 1.06^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{0.38} \right)} = 0.31 \text{ Ом}$$

$$R'_2 = 0.31 \text{ Ом}$$

Активний опір статора в номінальному режимі

$$R_1 := R'_2 \cdot \beta \cdot C_1 \rightarrow 0.31 \cdot 1.06 = 0.33 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір короткого замикання в номінальному режимі

$$\gamma := \sqrt{\left(\frac{1}{S_k} \right)^2 - \beta^2} \rightarrow \sqrt{\left(\frac{1}{0.38} \right)^2 - 1^2} = 2.4$$

$$X_{кн} := R'_2 \cdot \gamma \cdot C_1 \rightarrow 0.31 \cdot 2.4 \cdot 1.06 = 0.8 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір розсіяння обмотки статора в номінальному режимі

$$X_{1\sigma} := 0.42 \cdot X_{кн} \rightarrow 0.42 \cdot 0.8 = 0.34 \text{ Ом}$$

Індуктивність обмотки статора, обумовлена потоком розсіяння в номінальному режимі

$$L_{1\sigma} := \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} \rightarrow \frac{0.34}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.00107 \text{ Гн}$$

Приведений до обмотки статора індуктивний опір розсіяння обмотки ротора в ном. режимі

$$X'_{2\sigma} := 0.58 \cdot \left(\frac{X_{кн}}{C_1} \right) \rightarrow 0.58 \cdot \frac{0.8}{1.06} = 0.44 \text{ Ом}$$

Приведена індуктивність обмотки ротора, обумовлена потоком розсіяння в ном. режимі

$$L'_{2\sigma} := \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} \rightarrow \frac{0.44}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.0014 \text{ Гн}$$

					Лист
					47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6

Індуктивний опір контура намагнічування

$$E_1 := \sqrt{(U_{1\Phi H} \cdot \cos \varphi - I_{1\Phi H} \cdot R_1)^2 + (U_{1\Phi H} \cdot \sin \varphi - I_{1\Phi H} \cdot X_{1\sigma})^2} \rightarrow \sqrt{(219.4 \cdot 0.8 - 43.2 \cdot 0.3)^2 + (219.4 \cdot 0.7 - 43.2 \cdot 0.3)^2} = 200.7$$

$$X_{\mu} := \frac{E_1}{I_0} \rightarrow \frac{200.66}{21.96} = 9.14 \quad \text{Ом}$$

Результуюча індуктивність

$$L_m := \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} \rightarrow \frac{9.14}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.03 \quad \text{Гн}$$

Розрахуємо механічні характеристики

$$\psi_{2H} := \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = 0.9033$$

$$s := 0.00001, 0.01 \dots 1$$

$$M_{\Sigma M}(s) := \frac{(3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R'_2)}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left[\frac{(R_1 \cdot R'_2)}{s \cdot X_{\mu}} \right]^2 \right]}$$

$$n(s) := n_0 \cdot (1 - s)$$

Статичний момент навантаження на одному двигуні рівний $M_{c1/2}$

$$M(n) := \frac{225}{2}$$

Задамо діапазон та крок зміни швидкості

$$n := 0, 100 \dots 1000$$

$$n_1(s, f_1) := n_0 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right) \cdot (1 - s)$$

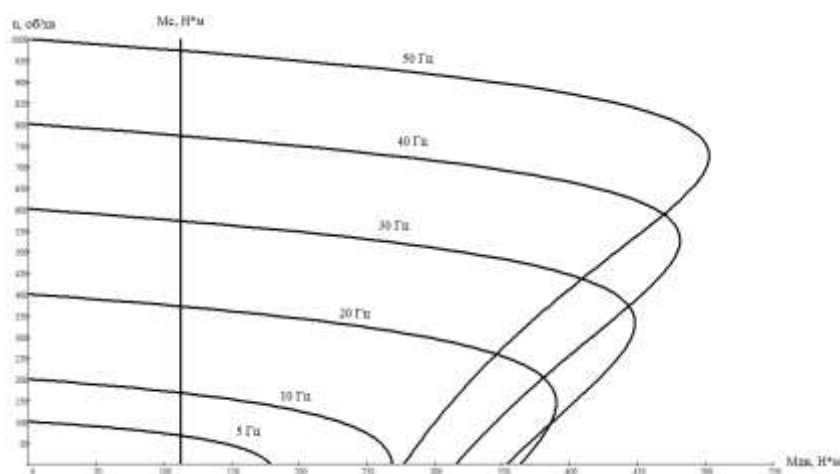


Рисунок 5.1- Механічні характеристики двигуна.

На основі механічних характеристик (Рисунок 5.1), можна зробити висновок, що двигун має достатній пусковий момент при пуску, який вищий за момент навантаження. Отже можна зробити висновок, що двигуном можна керувати у діапазоні частот від 50 до 5 Гц.

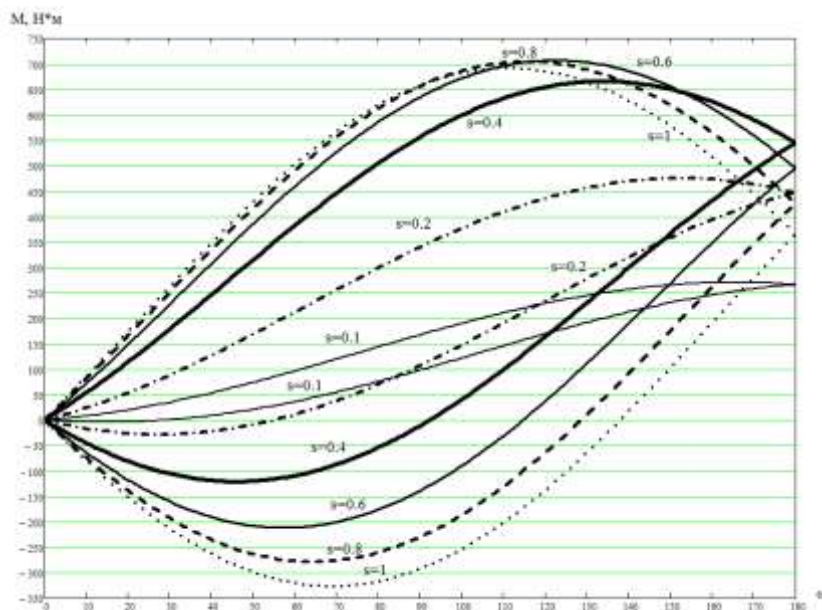


Рисунок 5.2 – Механічні характеристики моментів двигунів в залежності від кута непогодження при ковзаннях від 0 до 1.

Як видно з наведених залежності моментів двигунів знаходяться у протифазах, що відповідно допомагатимуть один одному при виникненні нерівностей навантаження

. Значення моменту тим більше, чим більше кут непогодження, (Рисунок 5.2) який викликає цей момент і врівноважуючий стум. Також більші значення моментів відповідають більшим значенням ковзання, з чого слідує, що при менших швидкостях система може врівноважуватись при більших значеннях нерівностей моментів навантаження та більших кутах непогодження.

5.2 Розробка електронної моделі електроприводу в середовищі Matlab Simulink. та результати досліджень

Для моделювання перехідних процесів було складено модель дводвигунного електропривода в програмі Matlab simulink (Рисунок. 5.3), яка складається з блоку, який формує трифазну напругу живлячої мережі (Three-phase source), двох двигунів із фазними роторами, які ввімкнені за схемою електричного валу (Asynchronous machine SI units), а також блоку, який імітує перетворю-

вач частоти, та блоків для зняття діаграм перехідних процесів.

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

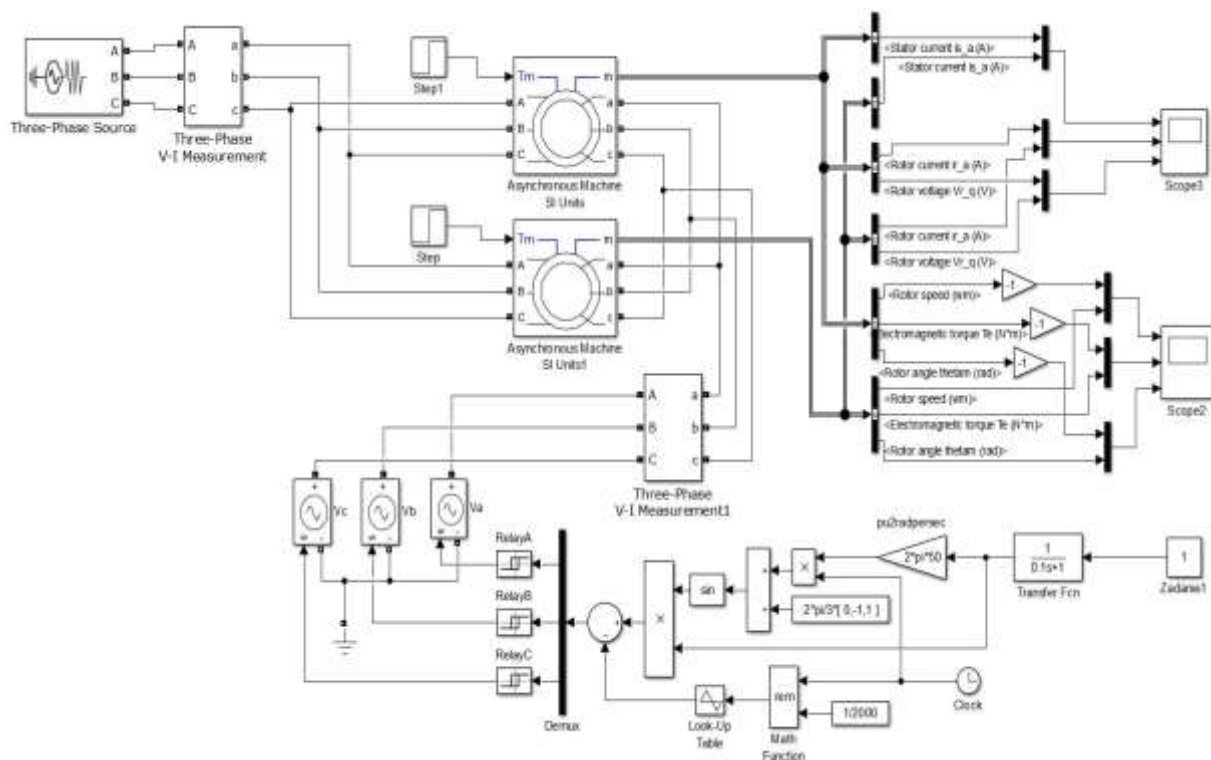


Рисунок. 5.3- Модель електроприводу в Matlab simulink

Для моделювання задамо наступні умови: обидва двигун працює з моментом номінального навантаження (175 Н*м), а інший – перевантажений (200 Н*м) (Рисунок. 5.4).

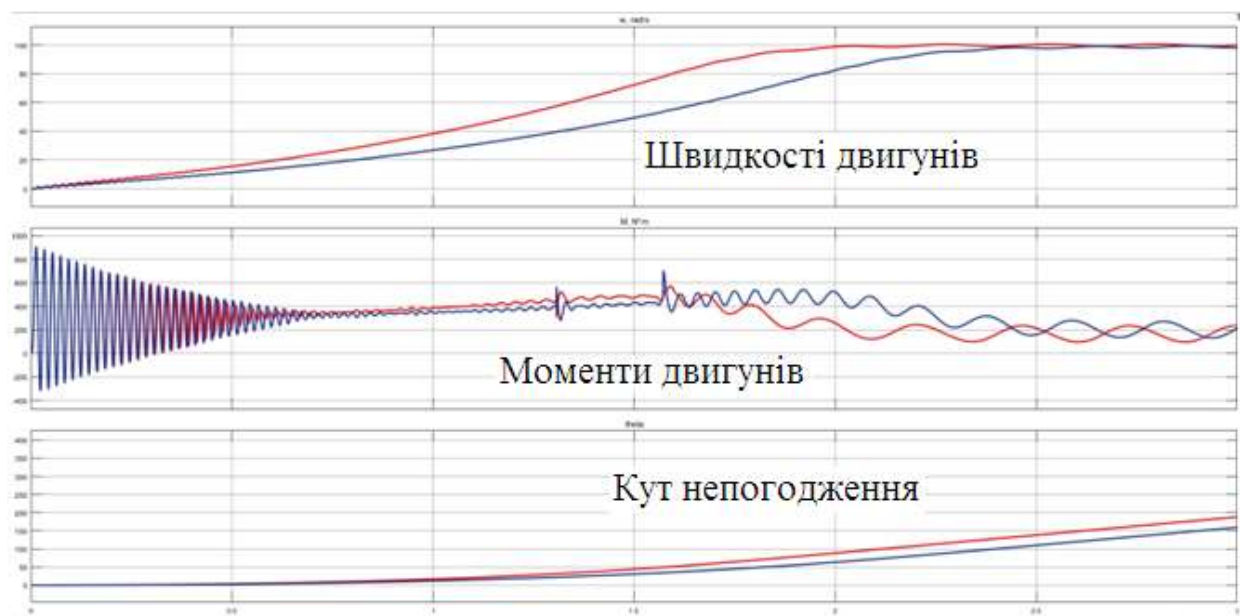


Рисунок. 5.4- Швидкості двигунів, моменти і кути непогодження.

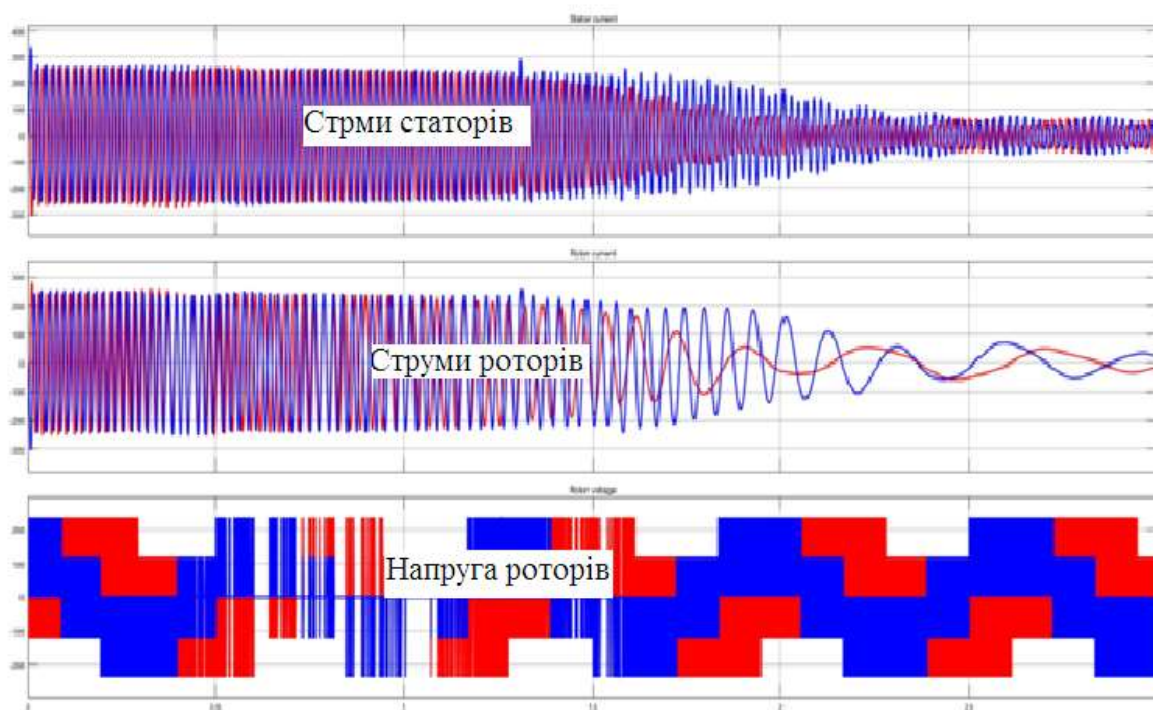


Рисунок. 5.5-. Струми статорів, роторів і папруги роторів.

Як видно з графіків перехідних процесів, спочатку присутня деяка відмінність між швидкостями двигунів, через нерівномірне навантаження, що викликає поворот роторів двигунів на різний кут, відповідно, з'являється і деякий зсув ЕДС роторів,

що викликає появу врівноважуючого моменту. Як видно з графіку моментів двигунів, вони зсунуті один відносно одного на деякий кут, і допомагають двигунам вирівняти свої швидкості. Як видно з графіку швидкостей, вони зрівнюються, і відповідають заданій величині – номінальній швидкості обертання (100 рад/с).

ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі бакалавра розроблена система синхронізації ведучих коліс механізму переміщення мостового крану. Система розроблена на базі електричного валу з перетворювачем частоти у колі роторів. Виходячи із завданих величин маси крану, маси переміщуваного вантажу, та швидкості переміщення, було розраховано потужність двигунів та обрано два двигуни типу MTF-312-6У1, а також, перетворювач частоти типу CIMR-G7C-40221.

Результати моделювання показали, що розроблена система забезпечує синхронізацію обертання ведучих коліс при нерівномірному розподілі навантаження на них. Спроектований електропривод задовольняє вимогам електроприводу пересування козлового крану.

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІКА

6.1. Обґрунтування вибору системи електроприводу .

Використовувати двигуни постійного струму (ДПС) і системи побудовані на їх основі, в даному випадку, є недоцільним, оскільки вони мають значні масо-габаритні показники порівняно з двигунами змінного струму і потребують значно більших затрат на обслуговування та ремонт.

Двошвидкісні асинхронні двигуни (АД) порівняно з АД з короткозамкнутим (КЗ) ротором мають дещо більші масо-габаритні показники, більш дорогі, складніші за конструкцією. Окрім того, релейно-контакторна система керування (РКС) передбачає лише ступінчасте регулювання швидкості та більш складна для включення її в сучасну автоматизовану систему.

Недоліком АД з КЗ ротором є великий пусковий струм, який у 5...7 разів перевищує струм двигуна при роботі в номінальному режимі. Однак при його використанні в системах електропривода типу ТРН-АД; при застосуванні системи ПЧ-АД цей недолік суттєво згладжується.

Система електричного привода типу ПЧ-АД характеризується широким діапазоном регулювання швидкості, а отримані характеристики мають високу жорсткість. Сучасні перетворювачі частоти дозволяють значно підвищити ефективність технологічного процесу і реалізувати найбільш економічний алгоритм керування приводним двигуном, а також – зекономити від 20 до 50% електроенергії порівняно з іншими електроприводами, не оснащеними перетворювачами частоти. Окрім того, перетворювачі частоти реалізують принцип відкритих систем, тому їх досить просто включити в системи комплексної автоматизації, що є суттєвою їх перевагою.

Для остаточного прийняття рішення щодо вибору системи електричного привода здійснимо порівняння розглянутих варіантів згідно критерію приведених витрат:

$$Z = E_n \cdot K + C, \quad (6.1)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (приймається 0,17 для всіх галузей промисловості), 1/рік;

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

К – капітальні вкладення, грн;

С – загальні щорічні відрахування, які враховуються в собівартості продукції (враховуючи і амортизаційні відрахування), грн/рік.

Здійснимо розрахунок для системи ПЧ-АД.

Капітальні вкладення:

$$K = D + CK, \quad (6.2)$$

де Д – вартість приводного двигуна ($D = 5167$ грн);

СК – вартість системи керування ($CK = 10778$ грн),

$$K = 5167 + 10778 = 15945 \text{ (грн)}.$$

Річні капітальні витрати:

$$K_{\text{річні}} = E_n \cdot K, \quad (6.3)$$

$$K_{\text{річні}} = 0,17 \cdot 15945 = 2710,7 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування:

$$C = C_A + C_P + C_D + C_O, \quad (6.4)$$

де C_A – амортизаційні відрахування, грн/рік;

C_P – відрахування на ремонт, грн/рік;

C_D – додаткові відрахування, грн/рік;

C_O – відрахування на обслуговування, грн/рік.

Величина амортизаційних відрахувань в середньому приймається 10% від капітальних вкладень:

$$C_A = 0,1 \cdot K, \quad (6.5)$$

$$C_A = 0,1 \cdot 15945 = 1594,5 \text{ (грн/рік)}.$$

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

Відрахування на ремонт електрообладнання приймають в розрахунку 2% від капітальних вкладень:

$$C_p = 0,02 \cdot K, \quad (6.6)$$

$$C_p = 0,02 \cdot 15945 = 318,9 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії системі електричного привода у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік:

$$C_d = C_{d1} + C_{d2}, \quad (6.7)$$

де C_{d1} – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік, грн/рік;

C_{d2} – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік, грн/рік.

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік:

$$C_{d1} = \Delta W_{\Sigma \text{дв}} \cdot c, \quad (6.8)$$

де $\Delta W_{\text{дв}}$ – кількість втраченої електроенергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік, (кВт·год)/рік;

c – вартість для промисловості одного кіловата потужності за годину, грн/(кВт·год) ($c = 0,82$ грн/(кВт·год)).

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік:

$$\Delta W_{\Sigma \text{дв}} = (\Delta P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{перех.}}) \cdot k_z \cdot \Phi, \quad (6.9)$$

де $\Delta P_{\text{ном}}$ – втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи, кВт;

$\Delta P_{\text{перех.}}$ – додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи, кВт;

k_z – коефіцієнт завантаження по потужності (приймають рівним 0,8);

Φ – дійсний фонд часу роботи системи електричного привода за рік, год/рік.

Втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи:

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (6.10)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність електричного двигуна ($P_{\text{ном}} = 7,5$ кВт);

$\eta_{\text{ном}}$ – номінальний ККД двигуна ($\eta_{\text{ном}} = 0,735$),

$$\Delta P_{\text{ном}} = 7,5 \cdot \frac{1 - 0,735}{0,735} = 2,7 \text{ (кВт)}.$$

Додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи приймають рівними 10% від номінальних:

$$\Delta P_{\text{перех}} = 0,1 \cdot \Delta P_{\text{ном}}, \quad (6.11)$$

$$\Delta P_{\text{перех}} = 0,1 \cdot 2,7 = 0,27 \text{ (кВт)}.$$

Дійсний фонд часу роботи електричного привода за рік:

$$\Phi = \varepsilon \cdot Z_{\text{р.д.}} \cdot Z_{\text{р.з.}} \cdot t_{\text{р.з.}}, \quad (6.12)$$

де ε – відносна тривалість ввімкнення згідно тахограми ($\varepsilon = 0,45$);

$Z_{\text{р.д.}}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{\text{р.д.}} = 250$ 1/рік);

$Z_{\text{р.з.}}$ – кількість робочих змін ($Z_{\text{р.з.}} = 3$);

$t_{\text{р.з.}}$ – тривалість робочої зміни ($t_{\text{р.з.}} = 8$ год),

$$\Phi = 0,45 \cdot 250 \cdot 3 \cdot 8 = 2700 \text{ (год/рік)}.$$

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи згідно формули (4.9):

$$\Delta W_{\Sigma \text{дв}} = (2,7 + 0,27) \cdot 0,8 \cdot 2700 = 6415,2 \text{ ((кВт·год)/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (3.8):

$$C_{\text{дл}} = 6415,2 \cdot 0,82 = 5260,5 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік:

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$C_{Д2} = \Delta W_{\Sigma \text{ск}} \cdot c, \quad (6.13)$$

де $\Delta W_{\text{ск}}$ – кількість втраченої електроенергії в системі керування за рік, (кВт·год)/рік.

В Втрати енергії в системі керування за рік:

$$\Delta W_{\Sigma \text{ск}} = \Delta P_{\text{ск}} \cdot k_3 \cdot \Phi, \quad (6.14)$$

де $\Delta P_{\text{ск}}$ – втрати потужності в системі керування, кВт.

Втрати потужності в системі керування:

$$\Delta P_{\text{ск}} = P_{\text{сп}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{пп}}}{\eta_{\text{пп}}}, \quad (6.15)$$

де $P_{\text{пп}}$ – номінальна потужність перетворюючого пристрою ($P_{\text{пп}} = 7,5$ кВт);

$\eta_{\text{пп}}$ – номінальний ККД перетворюючого пристрою ($\eta_{\text{пп}} = 0,98$),

$$\Delta P_{\text{ск}} = 7,5 \cdot \frac{1 - 0,98}{0,98} = 0,1531 \text{ (кВт)}.$$

Втрати потужності в системі керування згідно формули (6.14):

$$\Delta W_{\Sigma \text{ск}} = 0,1531 \cdot 0,8 \cdot 2700 = 330,6 \text{ ((кВт·год)/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (3.13):

$$C_{Д2} = 330,6 \cdot 0,82 = 271,102 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (3.7):

$$C_{Д} = 5260,5 + 271,102 = 5531,6 \text{ (грн/рік)}.$$

Відрахування на обслуговування електрообладнання приймають рівним 5% від суми відрахувань на амортизацію, ремонт та додаткових витрат:

$$C_{O} = 0,05 \cdot (C_{A} + C_{P} + C_{Д}), \quad (6.16)$$

$$C_{O} = 0,05 \cdot (1594,5 + 318,9 + 5531,6) = 372,25 \text{ (грн/рік)}.$$

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Загальні додаткові відрахування згідно формули (3.4):

$$C = 1594,5 + 318,9 + 5531,6 + 372,25 = 7817,2 \text{ (грн/рік)}.$$

Приведені витрати згідно формули (4.1):

$$З = 0,17 \cdot 15945 + 7817,2 = 10528 \text{ (грн/рік)}.$$

Результати розрахунків зведемо в порівняльну таблицю 6.1.

Показники	Системи електричного привода				
	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР	ПЧ-АД	ТРН-АД	Електр. вал
Вартість двигуна Д, грн	12917	10334	12917	5167	5167
Вартість системи керування СК, грн	5389	5927,9	9700	9700	10778
Капітальні вкладення К, грн	18307	16262	22618	14867	15945
Річні капітальні витрати $K_{річн}$, грн/рік	3112,1	2764,5	3845	2527,4	2710,7
Амортизаційні відрахування C_A , грн/рік	1830,7	1626,2	2261,8	1486,7	1594,5
Показники	Системи електричного привода				
	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР	ПЧ-АД	ТРН-АД	Електр. вал
Відрахування на ремонт C_P , грн/рік	366,13	325,238	452,354	297,34	318,9
Додаткові відрахування C_D , грн/рік	10954	10954	5814	5814	5531,6
Відрахування на	657,52	645,25	426,4	379,9	372,25

обслуговування C_0 , грн/рік					
Загальні відрахування C , грн/рік	13808	13550	8954,5	7977,9	7817,2
Приведені витрати Z , грн/рік	16920	16315	12800	10505	10528

Висновок

Здійснено аналіз техніко-економічних показників усіх можливих для використання варіантів систем електричного привода. Як випливає із результатів розрахунків найбільш економічно вигідним є використання систем ПЧ-АД та АВК. Оскільки приведені витрати для них відрізняються менше ніж на 10%, то виберемо систему «електричний вал».

Строк окупаємості 1,6 роки в порівнянні з релейно-контакторною схемою

РОЗДІЛ 7.Охорона прці

1. Ці Правила поширюються на суб'єктів господарювання незалежно від форми власності та організаційно-правових форм, що займаються монтажем, демонтажем, експлуатацією (використання за призначенням, технічне обслуговування, ремонт) модифікацією (реконструкція чи модернізація), перевіркою технічного стану (технічний огляд, експертне обстеження) вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання (далі - обладнання), а також установлюють мінімальні вимоги безпеки до обладнання, яке роботодавцем повинно підтримуватися на рівні, зазначеному в цих Правилах та інших нормативно-правових актах з охорони та гігієни праці, під час його використання.

2. Дія цих Правил поширюється на таке обладнання:

вантажопідіймальні крани всіх типів;

крани-екскаватори, призначені для роботи з гаком або вантажопідіймальним магнітом;

однорейкові візки;

талі (ручні, електричні, гідравлічні та пневматичні);

кранові рейкові колії (далі - кранові колії);

кранові підйомники;

лебідки для підймання вантажу та (або) працівників;

колиски приводні для підймання працівників;

колиски для підймання працівників вантажопідіймальними кранами;

вантажозахоплювальні органи;

вантажозахоплювальні пристрої знімні;

тару, за винятком спеціальної тари, що застосовується в металургійному виробництві

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

(ковші, мульди, виливниці тощо), у морських і річкових портах;

самохідні (автомобільні, на спецшасі, пневмоколісні, гусеничні, залізничні тощо) та причіпні підйомники (далі - мобільні підйомники);

будівельні підйомники;

щоглові підйомники (робочі платформи щоглові);

скіпові підйомники;

спеціалізовані перевантажувальні комплекси;

підймальні вантажні платформи (столи) з висотою підймання понад 1,3 м і з доступними для працівників платформами;

підймальні платформи (вертикальні та похилі) для осіб з інвалідністю (осіб з обмеженими фізичними можливостями);

приводні засоби підмоцнування з висотою підймання понад 1,3 м;

інші стаціонарні підймальні пристрої (вертикальні чи похилі) з висотою підймання понад 1,3 м і з доступними для працівників платформами.

3. Дія цих Правил не поширюється на:

лісозаготівельні крани-маніпулятори, не оснащені гаком (вирубнопакувальні, вирубнотрелювальні, для безчокерного трелювання, пакетопідбиральні тощо);

маніпулятори, що застосовуються в робототехнічних системах;

вантажопідймальні крани та машини, призначені для застосування в шахтах, на морських і річкових суднах та інших плавучих спорудах, на які поширюються спеціальні правила;

екскаватори, призначені для роботи із землерийним обладнанням або грейфером;

вантажопідймальні крани, призначені виключно для роботи зі спеціальним навісним обладнанням (віброзанурювачами, шпунтовисмикувачами, буровим обладнанням

тощо);

КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6

Лист

58

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
------	------	----------	---------	------	--	--

вантажопідіймальні машини спеціального призначення: підлогові завалювальні та посадкові машини, трубоукладачі, електро- та автонавантажувачі, мостовкладальні машини;

монтажні поліспасти та конструкції, до яких вони підвішуються (щогли, шеври, балки тощо);

підйомники пожежні;

обладнання, зазначене в пункті 2 цієї глави, військового спеціального призначення, що перебуває в експлуатації у Збройних Силах України.

4. Виконання робіт підвищеної небезпеки та експлуатація (застосування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки має здійснюватися відповідно до вимог [статті 21](#) Закону України "Про охорону праці".

Вимоги щодо монтажу, налагодження, демонтажу та встановлення обладнання

1. Вимоги щодо монтажу, демонтажу

1. Монтаж, налагодження і демонтаж обладнання мають виконуватися відповідно до вимог цих Правил.

2. Монтаж і демонтаж має виконуватися згідно з вимогами проекту виконання робіт (далі - ПВР) на монтаж (демонтаж), розробленого з урахуванням документації на встановлення обладнання і експлуатаційних документів (настанови з експлуатації, інструкції з монтажу, пуску, регулювання та обкатки тощо) і вимог глави 2 цього розділу.

3. Монтаж (демонтаж) серійно виготовленого обладнання, у тому числі обладнання, що самотнтується, може виконуватися за типовими ПВР або технологічними картами на монтаж обладнання.

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

4. Перед проведенням монтажу обладнання суб'єкт господарювання, який виконує монтаж, має здійснити огляд металевих конструкцій (несучих і допоміжних), механізмів обладнання, кріпильних виробів (діаметр, клас міцності) з метою оцінки їх стану, відповідності технічній документації та комплектності. За результатами огляду складається акт, що підписується працівниками, які здійснювали огляд, і затверджується керівником суб'єкта господарювання, який виконує монтаж.

5. Влаштування фундаментів стаціонарних баштових кранів має здійснюватися відповідно до проектної документації, розробленої з урахуванням вимог документації на встановлення обладнання і експлуатаційних документів (настанови з експлуатації, інструкції з монтажу, пуску, регулювання та обкатки

тощо). Акти на закриття прихованих робіт, передбачені проектною документацією, мають зберігатися протягом періоду роботи крана разом з проектною документацією у працівника, який здійснює нагляд за утриманням та безпечною експлуатацією обладнання.

6. Після проведення монтажу та налагодження обладнання суб'єкт господарювання, який виконав монтаж, складає акт, що підтверджує проведення монтажних робіт і налагодження відповідно до вимог документів, зазначених у пунктах 2, 3 цієї глави.

В акті необхідно зазначити:

найменування суб'єкта господарювання, який виконав монтаж;

найменування, тип, виробник, заводський (серійний) номер обладнання;

відомості про матеріали, що використовувалися суб'єктом господарювання, який виконав монтаж, і не увійшли в обсяг постачання виробника;

відомості про зварювання (вид зварювання, тип і марка електродів, зварювального дроту, відомості про зварника, результати випробувань контрольних зразків (у разі проведення) і контролю зварних з'єднань;

висновки про відповідність виконаних монтажних і налагоджувальних робіт вимогам

документів, зазначених у пунктах 2, 3 цієї глави.					Лист
КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6					60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Список використаної літератури

1. Загірняк М. В., Невзлін Б. І. Електричні машини: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і доп. — Київ: Знання, 2009. — 400 с. — ISBN 978-966-346-644-6.
2. Півняк Г. Г. Електричні машини: навч. посіб. / Г. Г. Півняк та ін. — Д.: НГУ, 2003. — 328 с. — ISBN 966-8271-36-X.
3. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник /А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. - М.: Энергоиздат, 1982. — 324 с.
4. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовий О.В.— Кременчук, 2001. — 410 с.
5. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. — Київ: НТУУ «КПІ», 2016. — 150 с.
6. Методичні вказівки до виконання курсової роботи на тему: «Визначення параметрів асинхронного двигуна для дослідження на електронній моделі» з дисципліни“Електричні машини” для студентів професійного напрямку 6.050702 "Електромеханіка"/ Укладач Є.П.Штепа-Одеса: ОНТУ, 2022.- 29 с.

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

