

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 козлового крана**»

Здобувач СВО «Бакалавр»: Судавний Микола Михайлович

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

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 16.06. 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» **Судавний Микола Михайлович**

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

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

Затверджено наказом ОНТУ від **30.01.2026** р. наказ № **58-03**

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 10.6.26

3. Вихідні дані роботи: вага моста (з візком і гаком) $G_M = 320$ кН; швидкість руху моста $v_M = 1$ м/с; швидкість підйому вантажу $v_{гр} = 0,13$ м/с; радіус колеса моста і візка $r = 0.3$ м; висота підйому вантажу $h = 12$ м; с.час стоянки крана при навантаженні $t_{01} = 44$ с; час стоянки крана при розвантаженні $t_{02} = 34$ с.

4. Перелік питань, які потрібно розробити : метод дослідження; кінематична схема; електричний вал; **розрахунок** навантажень і вибір двигуна; вибір перетворювача частоти; моделювання електроприводу.

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 козлових 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: Суда́вний М.М. _____

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 . Суда́вний М.М. _____

РЕФЕРАТ

Судавний М.М. «Модернізація електроприводу козлового крану». Кваліфікаційна робота бакалавра. – Одеса: ОНТУ, 2026. – 66 с.

Бібліогр.: 8. Іл.: 28.

У кваліфікаційній роботі бакалавра приведена система управління електроприводом переміщення козлового крану за системою електричного валу; розраховано потужність і вибір 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.

ABSTRACT

Sudavny M.M. "Modernization of the electric drive of a gantry crane". Bachelor's qualification work. – Odesa: ONTU, 2026. – 76 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.....	5
РОЗДІЛ 1.АНАЛІЗ СИСТЕМ ПЕРЕСУВАННЯ КОЗЛОВИХ КРАНАМІВ.....	6
1.1 Сучасний стан експлуатації електроприводів механізмів пересування козових кранів.....	6
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
РОЗДІЛ 3. ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА	34

3.1.Розрахунок потужності двигуна переміщення козового крана.....					34
КРВ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6					
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	35
Розробив.	Судавний	М.М.			
Перевірив.	Штепа Є. П.				
Реценз.					
Н. Контр.					
Затверд.					
Модернізація електроприводу козового крана					Арк
					Аркуш
					Аркушів
					5
					ОНТУ

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

ЕЛЕКТРОПРИВОДУ44.

5.1.Схема заміщення електродвигуна. 44

електричного в

5.2.модель електропривода в matlab simulink50

РОЗДІЛ 6.ЕКОНОМІКА..... 50

РОЗДІЛ 7.Охорона праці..... 59

					КРБ АТЕРС. 641-03.26.11.25.1.3.6			
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив.	Судавний М.М.				Модернізація електроприводу козлового крана	Арк	Аркуш	Аркушів
Перевірів.	Штепа Є. П.						6	
Реценз.						ОНТУ		
Н. Контр.								
Затверд.								

ВСТУП

Широке застосування електроприводів в промисловості для різного роду робочих механізмів обумовлює їх класифікацію на декілька груп, залежно від призначення і їх режимів роботи. Особливу групу представляють механізми, при роботі яких виникають часті і великі динамічні навантаження. До такої групи устаткування промислових підприємств насамперед входять 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 крани мостового типу. Основними причинами динамічних перевантажень цих механізмів є інтенсивні повторно-короткочасні режими роботи в складних умовах навколишнього виробничого середовища, наявність пружних механічних коливань системи і пружних механічних зв'язків іззазорами із-за недосконалості вживаних систем управління електроприводами.

Козлові крани є одним видів кранів мостового типу, міст якого спирається на шлях крана за допомогою двох стійок.

Козлові крани виконують з електродвигунами, що забезпечують роботу механізмів пересування самого крана. .

Механізми горизонтального пересування козових кранів виконуються тільки з роздільними приводами. Приводу встановлюються у опор, що є частиною крана, що несе. Основною вимогою до даного механізму є узгоджене пересування опоркозового крана при однаковій швидкості обертання електроприводів. Тому, на основі даної вимоги, необхідне застосування спеціальної системи узгодження приводів. Механізми пересування є єдиними, де необхідна система узгодження або синхронізації. Застосування відповідної системи пов'язане з усуненням можливості укосу опор, що є наслідком порушення ідентичності механічних характеристик електродвигунів при нерівномірному розподілі навантаження на

мосту крана у момент пересування. Одним з чинників, що впливають на електропривод механізмів пересування, є вітрове навантаження. Парусність вітрового навантаження здібна до дії на статичний момент електродвигуна.

У механізмах пересування козлових кранів застосування отримали декілька видів систем управління: релейно-контакторні, дросельні і частотнорегульовані.

Зараз широко використовуваним типом електроприводу для козлових кранів є електропривод на основі асинхронного двигуна з фазним ротором (АД ФР) при реостатному управлінні за допомогою силових контролерів або простих релейно-контакторних систем. Це пов'язано з тим, що терміни служби кранів складають десятки років. Використання релейно-контакторних систем управління, обумовлено умовами роботи козлових кранів: троллейная система живлення, високий вміст електропровідного пилу, вологість, загазованість, висока температура і її різкі коливання по довжині прольоту, висока інтенсивність роботи крана, що характеризується великою тривалістю і частотою включень. Проте не дивлячись на її широке застосування (шляхом електричного узгодження роторів), вона є неефективною.

Це пов'язано з багатьма чинниками. По-перше, перемикання ступенів пускових опорів в процесі розгону двигуна викликає стрибкоподібні зміни його моменту і кидки струмів у великих межах, що посилюється при зниженні числа ступенів. Це може з'явитися причиною виникнення пружних механічних коливань і порушити плавність протікання перехідних процесів.

По-друге, при використанні систем багаторухового електроприводу для козлових кранів з відносно великим прольотом (25 метрів) не одночасне замикання контактів релейно-контакторної системи приводить до різних прискорень кожного двигуна, що викликає додаткові динамічні навантаження в механізмах і металоконструкції крана, і, кінець кінцем, до зниження продуктивності і передчасного виходу з ладу елементів крана.

Результати вимірів, що неодноразово проводилися на експлуатованих кранах, показали, що відхилення опорів роторних ланцюгів бувають вельми значними. В середньому відношення між еквівалентними опорами двигунів

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

протилежних опор складає 1,4...1,6, у деяких кранів 2,0...2,2.. Для зменшення ступеня відмінності при завантаженні опор роторних ланцюгів двигунів протилежних опор, застосовуються зрівнюючі додаткові резистори, що не вимикаються, опором 2...2,5 Кр. При їх застосуванні необхідна часта перевірка стану контактів апаратів управління, включених в роторні ланцюги. При цьому наявність додаткових резисторів приводить до появи додаткових втрат.

Разом з тим практично після кожного гальмівного процесу узгодженість двигунів порушуватиметься, і при електричному розузгодженні їх роторів біля 180° під час пуску двигунів неминуче виникають сильні поштовхи.

Застосування даної системи виключає з роботи всі опори, релейно-контакторну схему управління і кабелі підключення апаратури в ланцюг ротора, що до мінімуму спрощує схему електроприводу механізму.

Основними перевагами системи частотно-регульованого є:

- плавність регулювання і висока жорсткість механічних характеристик, що дозволяє регулювати швидкість в широкому діапазоні;
- економічність регулювання, визначувана тим, що двигун працює з малими величинами абсолютного ковзання, і втрати в двигуні не перевищують номінальних.

Із застосуванням частотно-регульованих електроприводів в козлових кранах не розроблені математичні моделі дводвигунового електроприводу стосовно автоматизованого електроприводу механізму пересування козлового крана при регулюванні швидкостей обертання двигунів за допомогою напівпровідникових перетворювачів по системі «Перетворювач частоти - асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором» (ПЧ-АД), не проведений аналіз ефективності способу управління для частотно-регульованого електроприводу

- **Мета роботи:** Здійснення узгодженості пересування опор механізмів пересування козлового крана і зниження динамічних навантажень за допомогою спеціальної розробленої системи управління для дводвигунового електроприводу.

- **Об'єкт дослідження:** Електропривод козлового крана

Завдання роботи:

- аналіз причин виникнення динамічних навантажень при пересуванні козлового крана;
- складання математичної моделі дводвигунової системи узгодженого обертання на базі частотно-регульованих асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором;
- дослідження дводвигунової системи на стійкість при впливі різних динамічних навантажень і їх нерівномірного розподілу на кожен електропривод в; MATLAB.

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ПЕРЕСУВАННЯ КОЗЛОВИХ КРАНАМІВ.

1.1 Сучасний стан експлуатації електроприводів механізмів пересування козових

В даний час, козові крани є одним з основних засобів механізації перевантажувальних і складських робіт в різних галузях. Козлові крани відносять до кранів мостового типу, входять в групу підйомно-транспортних машин, що відрізняються короткочасним і повторно-короткочасним режимами роботи електроприводів.

За призначенням козові крани підрозділяють на три основні групи: загального призначення (перевантажувальні), будівельно-монтажні і спеціального призначення. Козлові крани (КК) загального призначення експлуатують на відкритих складах і вантажних майданчиках, що обслуговуються засобами наземного рейкового і безрейкового транспорту; вантажопідйомність їх зазвичай 3,2...50 т. Прольоти 10...40 м, висота підйому залежно від умов завантаження-розвантаження транспортних засобів або штабелювання вантажів 7...16 м.

Зі всіх груп козових кранів широкого поширення набули КК загального призначення. Вони простіші по конструкції і менш металоемні, а якщо порівнювати їх з мостовими кранами, то за фактичними витратами вони навіть трохи великі.

Козлові крани виготовляють по різних конструктивних схемах, залежно від яких виконується решта вузлів і механізмів.

На малюнку 1.1 представлений наочний вид двостійкового козового крана. Стійки (або опори) жорстко з'єднуються змостом. Стійки бувають двох видів: одна жорстка, а інша шарнірно-гнучка. Виняток становлять крани, що мають проліт менше 25 метрів, в яких використовуються тільки жорсткі стійки. На мосту кріпиться електроталь, яка виконує функцію підйому-спуску і

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

захоплення вантажу. У підстави опор встановлюються ходові візки, що пересуваються по рейках. Переміщенню ходових візків сприяють механізми пересування, які представляють особливий інтерес в області багаторухового електроприводу узгодженого або синхронного обертання. Він полягає в технологічній вимозі: умові однакового пересування ходових коліс по рейках при переміщенні самого крана з вантажем (Рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Наглядний вигляд двостійкового козлового крана

У зв'язку з необхідністю виконання різних механічних операцій в КК застосовують електроприводу різного типу. Їх класифікують в основному на електроприводу підйому вантажу, пересування візка (на мосту), механізмів пересування крана.

Механізми пересування КК загального призначення в основному виконують багаторуховими, де ведеться роздільне управління кожним електроприводом. Співвідношення електроприводів не має бути менше 50% ходових коліс. Незважаючи, на нарізність в управлінні електроприводами, між ними існують зв'язок, здійснюваному за допомогою зовнішньої системи узгодження. В результаті забезпечується одна функція - пересування крана по рейках.

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Конструктивно механізми пересування виконують у вигляді тих, що скріпляються зпідставоюстійок опор одноколісних або балансирних візків і, рідше, ходових балок, на які попарно спираються дві стійкі. На малюнку 1.2 є два що погоджено працюють механізму пересування козлового крана. Кожен механізм складається з електродвигуна, редуктора 5, валу 3, що обертається в підшипниках, приводних коліс 7, муфти 6 і гальма 1.

У механізмах пересування як електроприводи використовуються електродвигуни постійного струму і змінного струму. Проте у зв'язку з розвитком електроприводів, застосування двигунів постійного струму залишилося у минулому. У сьогодення широкого поширення набули асинхронні електродвигуни з фазним і короткозамкнутим роторами. Причому другі застосовують в КК вантажо підйомністю менше 5 тонн (а в електричних потужностях до 30 кВт), а перші в решті всіх випадків.

Кінематична схема дводвигунового асинхронного електропривода (Рисунок 1.2 механізмів пересування має двигуни 1 і 2; два редуктори 4 і ходові колеса (Рисунок 1.2)

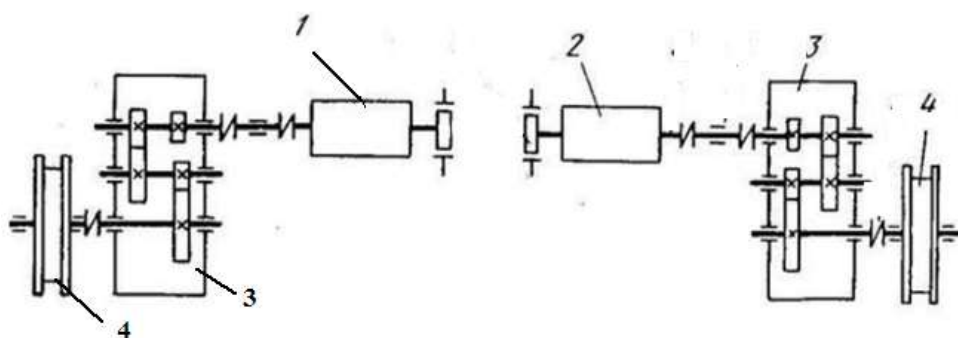


Рисунок 1.2 – Кінематична схема дводвигунового асинхронного електропривода механізмів пересування

Вживані електродвигуни розраховують для роботи в повторно-короткочасному режимі, який характеризується тривалістю включення (ПВ) 15, 25, 40 і 60% при тривалості циклу не більше 10 мин. Основним номінальним режимом двигунів кранів змінного струму є $P_{в}=40\%$. Таким чином, вибору типів електроприводів сприяють режими роботи механізмів, а також параметричні вимоги вантажопідйомності. В даний час передбачається шість груп режимів

роботи механізмів КК, кожна з яких характеризується певним поєднанням класів використання і вантаження. Класи використання встановлюють залежно від норми часу роботи механізму. Всі ці класифікації є стандартними для всіх типів механізмів КК, у тому числі і для механізмів пересування.

На прикладі механізмів пересування КК, розглянуті орієнтовні характеристики класів використання і вантаження, які представлені в таблицях 1.1 і 1.2

Для гальмування з вищих швидкостей на нижчі швидкості електропривод повинен забезпечувати автоматичний перехід з рухового в гальмівний режим з обмеженням гальмівного моменту.

1.2 Огляд існуючих систем управління електроприводами механізмів пересування козових кранів

Традиційно, основне застосування в електроприводах кранів знаходять асинхронні двигуни з фазним ротором. Регулювання швидкості і моменту в електроприводах з такими двигунами здійснюється включенням в ланцюг ротора пускорегулюючих реостатів. Цей спосіб в основному використовується в релейно-контакторних системах управління на основі магнітних пускачів або силових контролерів, і на сьогодні вважається неефективним.

Найбільш типовим способом узгодження швидкостей обертання роторів в цих системах є використання «електричного робочого валу» (ЕРВ) і введення загального роторного опору для реостатного способу регулювання швидкості, схема якої приведена на малюнку 1.4. Зі збільшенням значення загального роторного опору швидкості обертання двигунів близька до номінальної, але при цьому зменшуються величини моментів, підтримувальні узгодженість обертання системи в цілому, через що система «ЕРВ» має деякі істотні недоліки, такі як слабка узгоджуюча здатність, схильність до коливань і низькі енергетичні показники.

Це пов'язано з тим, що наявність прольоту між електродвигунами механізмів пересування обумовлює неоднаковість замикання магнітних

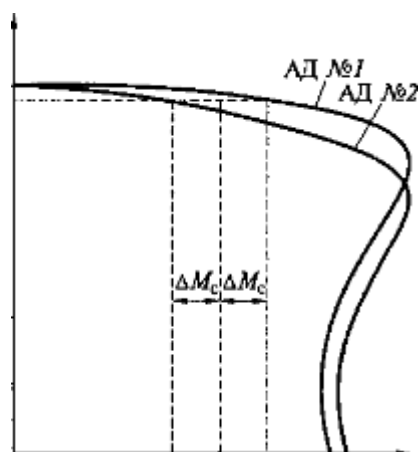
					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

пускатів(КМ1 і КМ2) і відмінності значень роторних опорів, пов'язаних з різницею в довжині дроту.

В середньому відношення між еквівалентними опорами двигунів протилежних опор складає 1,4...1,6, а в деяких випадках 2,0...2,2.Із-за різниці опорів з'являються різні ковзання, У результаті, при різному завантаженні електродвигунів, згідно з малюнком 1.5., обумовлюються неідентичні механічні характеристики між двома кінематично пов'язаними електродвигунами механізмів пересування.

Істотним недоліком реостатного управління є неможливість отримання стійких низьких швидкостей при малих моментах навантаження(при переміщенні малого вантажу) із-за великої крутизни регулювальних характеристик. Проте, незважаючи на це, система є простою в реалізації і має деяку міру надійності вимог, що відносно пред'являються.

Нерівномірний розподіл навантаження між двома електродвигунами механізмів пересування пов'з різними механічними характкристиками двигунів (Рисунок 13).



М: 2 М;ср

Рисунок 1.3 – Нерівномірний розподіл навантаження між двома електродвигунами механізмів пересування.

1.3 Причини виникнення сил перекоосу при різних рухах механізму пересування козлового крана

У багатьох кранах мостового типу динаміка горизонтального пересування є схожою, обумовленою наявністю моста у мостових і козлових кранів. Проте в козлових кранах окрім конструктивних і робочих навантажень, враховується і вітрове навантаження, що має позитивний знак моменту опору в двох напрямках. На підставі цього, в даному розділі, розгляд моментів опору вже умовно включає парусність і навантаження вітру, а динаміка позаимствована з дисертаційної роботи Дорофєєва А.А в списку літератури

Металоконструкція козлового крана загального призначення є плоскою прямокутною рамою, що складається з пролітних і кінцевих балок, причому останні виходять за межі прямокутника, утворюючи консолі, що спираються на ходові колеса. У дійсних умовах роботи міст крана двічі зовні і тричі внутрішньо статично невизначний в горизонтальній площині, його механізми в цілому представляють складну систему, що містить нерухомі, такі, що обертаються і рухомі поступально елементи. У загальному випадку, згідно малюнку 1.7, механізм пересування козлового крана включає два (на кранах великою вантажопідйомністю чотири і більш) однакові приводи, основними елементами яких є електродвигун 1, редуктор 2 проміжний вал 3, муфти 4, гальмо 5, що веде 6 і веден 7 коліс, (для кранів великою вантажопідйомністю кількість коліс крана на одній стороні доходить до шістнадцяти), рухомих по рейках, встановлених на колонах прольоту цеху.

Між ребордами ходових коліс козлового крана і підкрановими рейками є обов'язкові проектні зазори, порядку $A = 15 + 40$ мм. Внаслідок цього, корисний рух крана по напрямку підкранових шляхів супроводиться двома додатковими рухами: поперечним зсувом моста уперек рейок і обертанням навколо вертикальної осі, що проходить через центр тяжіння крана.

Насамперед поперечні зсуви викликані несиметричним розподілом сил що діють на кран в горизонтальній площині, що приводить до несинхронного руху

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист 16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

його опор і появи пружних сил деформації (сил перекосу) в металоконструкції крана, яка прагнути компенсувати різницю в швидкостях руху опор. Пружні сили деформації навантажують козловий кран одночасно з навантаженнями від власної ваги і ваги вантажу, як в процесі руху, так і післязупинки.

Відносна величина напруги в елементах крана від таких сил доходить до 30%, а для окремих елементів вони є визначальним навантаженням 100 %.

Величина і характер зміни пружних сил деформації в металоконструкції крана визначаються рядом причин, основними з яких є

- різні характеристики приводних двигунів пересування крана;
- зсув візка з вантажем від середини прольоту козлового крана, причому на величину і характер сили перекосу впливає також довжина і характер підвісу вантажу (гнучкий або жорсткий) і початковий стан вантажу (амплітуда і плоскість коливань), що приводить до різного опору руху опор крана;
- різниця в діаметрах провідних коліс крана, яка в процес експлуатації крана досягає величини близько 0,5 - -1,5 мм;
- установка коліс крана з кутом перекосу щодо рейкового шляху
- порушення зчеплення провідних коліс з рейками;
- зазори в елементах трансмісії;
- вітрове навантаження;
- поєднання робочих рухів механізмів: механізм пересування крана і підйому вантажу; механізм пересування крана і пересування візка і так далі.

По цих причинах рух опор козлового крана відбувається не синхронно що і приводить до появи сили перекосу в металоконструкції крана. Оскільки сила перекосу негативно впливає на роботу козових кранів, те визначення цих сил, оцінка впливу на їх величину різних чинників, а також розробка способів зменшення величини сил перекосу придбало велике значення.

Згідно малюнку 1.7, розглянемо дане питання детальніше. допустимо, що візок з вантажем зміщений до однієї з опор козлового крана, наприклад, вліво. Тоді опір пересуванню лівої сторони крана за рахунок збільшення вертикальних навантажень зростає, а правою зменшується.

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В наслідок цього виникає момент зовнішніх сил, що викликає забіг правої сторони крана щодолівої, обумовлений як поворотом моста, так і його пружною деформацією. Причому із-за останньої і виникає сила перекосу ферми моста (Рисунок 1.4).

Оскільки поперечний зсув і поворот моста відбуваються досить поволі то в першому наближенні, для аналізу причин виникнення сили перекосу, їх можна не враховувати, припускаючи що в точці контакту коліс і рейок накладені ідеальні поперечні зв'язки, що виключають дані переміщення.

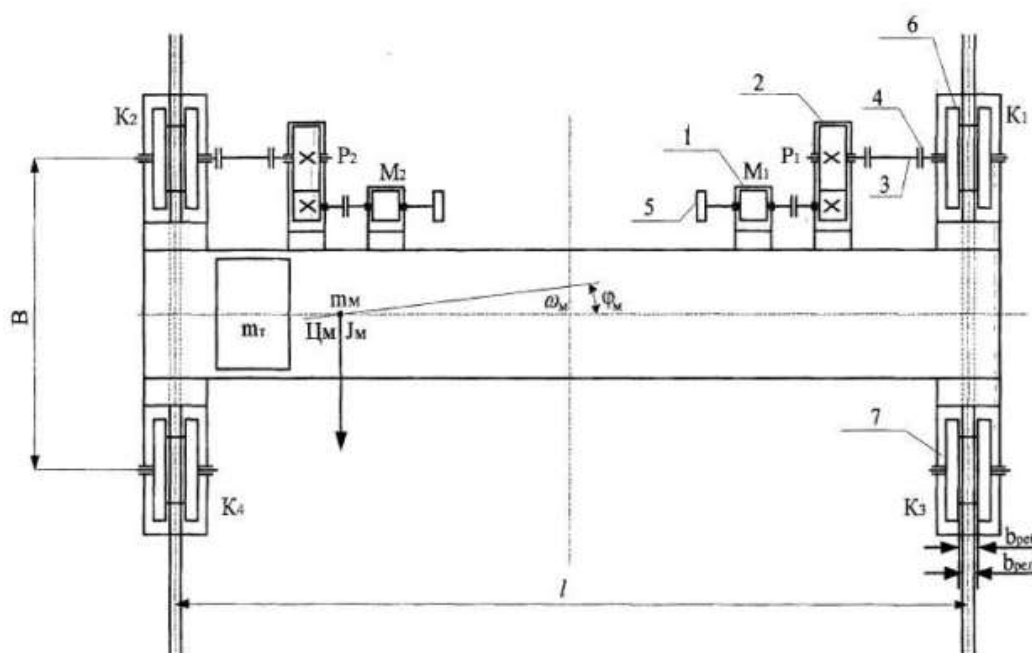


Рисунок 1.4 – Кінематична схема механізму переміщення крана.

1.4 Вимоги, що пред'являються до електроприводів механізмів переміщення

Електроприводи механізмів пересування відрізняються наявністю реактивного моменту навантаження, незалежного від напрямку руху. Ідеальний електропривод механізму пересування повинен забезпечувати жорсткі механічні характеристики, згідно малюнку 1.3, в руховому і гальмівному режимах. На відміну від механізму підйому гальмівний режим механізмів пересування займає

лише невеликий час циклу і виникає, як правило, при переході з вищих швидкостей на нижчі.

Основною вимогою при гальмуванні є чітка зупинка кт пов'язаного з технологічними вимогами.

Необхідна точність зупинки механізмів пересування крана, що здійснюють монтажні операції, може бути різною. Найбільша необхідна точність складає 5-10 мм. Таку точність зупинки може забезпечити знижена швидкість - приблизно 0,4-0,6 м/мін. При номінальній лінійній швидкості пересування 30-40 м/мін необхідний діапазон регулювання виявляється дуже великий 60:1-70:1. Крім того, неминуче розгойдування вантажу при переході на знижену швидкість зводить до мінімуму всі спроби досягти точного положення вантажу тільки зниженням швидкості.

Тому для досягнення більшої точності фіксації вантажу слід забезпечити можливість визначеного практично прийняттого зниження швидкості (частіше - до 15-20 % номінальною) і - головне - високій плавності пусків і гальмувань. При цьому можна отримати малі переміщення короточасними включеннями приводу при «доведенні».

У гальмівному режимі електропривод механізмів пересування може працювати також при русі під уклон (що буває при несправності рейкових шляхів) або при русі за вітром.

Механізми пересування мають великий приведений момент інерції, тому, щоб уникнути підвищених динамічних навантажень на металоконструкції і механізми крана, електропривод повинен обмежувати прискорення при пуску і гальмуванні. У зв'язку з великим моментом інерції електродвигуни таких механізмів вибираються з урахуванням підвищених пускових втрат, через це статичний момент на валу електродвигунів в сталому режимі не перевищує, як правило, 50% номінального моменту. Маса переміщуваного вантажу, як правило, робить невеликий вплив на статичний момент електроприводу механізму пересування, оскільки маса металоконструкції крана звичайна більше маси вантажу. Так, вага вантажного візка козлових кранів залежно від

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

вантажопідйомності коливається в межах 30-55 % номінального вантажу. Це означає, що статичний момент механізму при роботі без вантажу складає (з урахуванням зменшеного ККД механізму) 20-30% моменту при переміщенні номінального вантажу.

Для механізмів пересування діапазон зміни статичних моментів значно менше, оскільки залежно від вантажопідйомності і довжини прольоту моста вага крана в 1,2-6 разів $n < 50$ т перевищує n ; для кранів з $n > 75$ т вага переміщуваних частин складає (0,75-1,5) n . Тому статичний момент механізмів пересування кранів із звичайною довжиною прольоту ($B \sim 20$ м) і ($n > 75$ т змінюється приблизно в 2 рази, а у кранів з ($n < 50$ т при роботі без вантажу він складає 60-75 % моменту при переміщенні номінального вантажу

Алгоритм управління гальмом в електроприводах механізмів пересування КК простіший, ніж в електроприводах механізмів підйому. Із-за реактивного моменту навантаження зняття гальма в більшості випадків можна проводити не чекаючи, поки момент електродвигуна зросте до значення статичного моменту. Основною вимогою є накладення гальма при швидкості, близькій до нульової, для зниження динамічних навантажень і зменшення зносу гальмівних накладок. Проте експлуатація козлових кранів на відкритому повітрі, піддається дії вітру, що у разі великої парусності може привести до значного розширення меж зміни статичного моменту опору, при цьому може змінитися і знак моменту. Звідси витікає, що електродвигун, в сталому режимі, завжди працюватиме як в руховому, так і в гальмівному режимах. Діапазон регулювання швидкості механізму, при заданій номінальній, визначається необхідною зниженою швидкістю. Наявність такої зниженої швидкості, на яку перекладається механізм перед зупинкою, полегшує роботу оператора, створює зручність управління і підвищує точність зупинки.

1.5 Постановка завдань

На підставі вище сказанного буде розглянутий дводвигуновий асинхронний електропривод узгодженого обертання механізмів пересування козлового крана. Управління даними багаторуховими електроприводами може здійснюватися за від окремих перетворювачів частоти. Враховуючи вимоги і специфіку, що

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

пред'являються до механізмів пересування козлових кранів, необхідно добитися повної узгодженості швидкостей електроприводів і забезпечити оптимальні критерії розгону, гальмування і стійкості до будь-яких динамічних дій, пов'язаних з нерівномірністю розподілу навантажень і вітровими діями.

Для розв'язання поставлених завдань потрібно:

- Розглянути роботу електроприводу за системою електричного валу з двигунами постійного струму; синхронними двигунами та асинхронними двигунами;
- проаналізувати роботу електроприводу за системою електричного валу з двигунами з допоміжними машинами і без них;
- проаналізувати механічні характеристики двигунів при різних кутах непогодження;
- розглянути роботу електричного валу при наявності додаткових опорів в колі роторів а також при заміні їх частотними перетворювачами;
- розробити математичну модель дводвигунового асинхронного електроприводу узгодженого обертання;
- дослідження дводвигунового асинхронного електроприводу узгодженого обертання при різних частотах;
- дослідити роботу за системою електричного валу з двигунами при різних навантаженнях;
- дослідження за системою електричного вала на електронній моделі .

РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРОПРИВІД ЗА СИСТЕМОЮ ЕЛЕКТРИЧНОГО ВАЛУ

2.1. Робота декількох двигунів на загальний вал

Для деяких механізмів буває доцільною установка двох (або більше) двигунів, механічно пов'язаних між собою загальною кінематичною схемою. Як правило, двигуни вибираються одного типу, однакової потужності і з рівними номінальними швидкостями обертання. Такий тип приводу зазвичай використовується для великих потужностей.

Застосування його може бути обумовлено наступними причинами:

- необхідністю зменшити момент інерції системи для підвищення її швидкодії. При використанні двох двигунів замість одного значення момент інерції завжди буде менше, так як при цьому збільшується відношення довжини ротора до двигуна до його діаметра;
- труднощами розміщення одного двигуна з великими габаритами або з метою зменшення зносу механічної передачі, підключенням двох провідних шестерень в двох діаметрально протилежних точках веденої шестерні, пов'язаної з механізмом;
- необхідність зменшити вплив зазору в останній кінематичній парі редуктора; при цьому одна з електричних машин використовується в режимі двигуна, а інша - в гальмівному режимі, що забезпечує збереження незмінності контакту в зубцову зачепленні;
- відсутність можливості досягнення в приводах з параметричним управлінням низьких швидкостей при достатньо жорсткій механічній характеристиці. Застосовуючи дві машини, скажемо асинхронні, з яких одна працює в режимі, а інша — в гальмівному, наприклад в режимі динамічного гальмування, можна отримати необхідну характеристику

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.2 Робота двигунів постійного струму на загальній вал.

При роботі двигунів на загальний вал з метою забезпечення необхідного моменту, виникає істотна вимога — забезпечення рівномірного розподілу навантажень двигунів як в статичних, так і динамічних режимах. Для забезпечення цієї вимоги в статиці необхідною умовою є ідентичність механічних характеристик. У двигунів постійного струмунезалежного збудження мають бути рівні швидкості ідеального холостого ходу і однакові кутові коефіцієнти. Оскільки використовуються, як правило, двигуни одного типу і рівної потужності, то це практично дотримується, хоча деякі відхилення можуть мати місце. У двигунів постійного струмунезалежного збудження можуть відрізнятися, як швидкості ідеального холостого ходу, так і нахили характеристик. Нерівність швидкостей холостого ходу може бути обумовлена неповною ідентичністю магнітних кіл і деякою відмінністю опорів обмот.

Причиною відмінності нахилу характеристик в основному може бути нерівність опорів якоря, а також вплив потоків реакції якоря. (Рисунок 2.1)

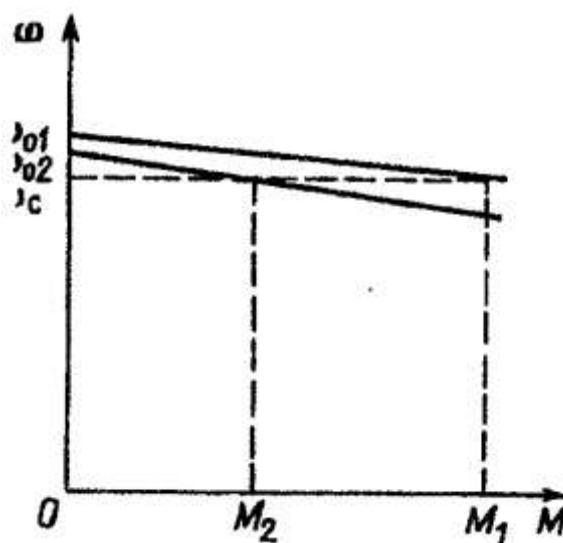
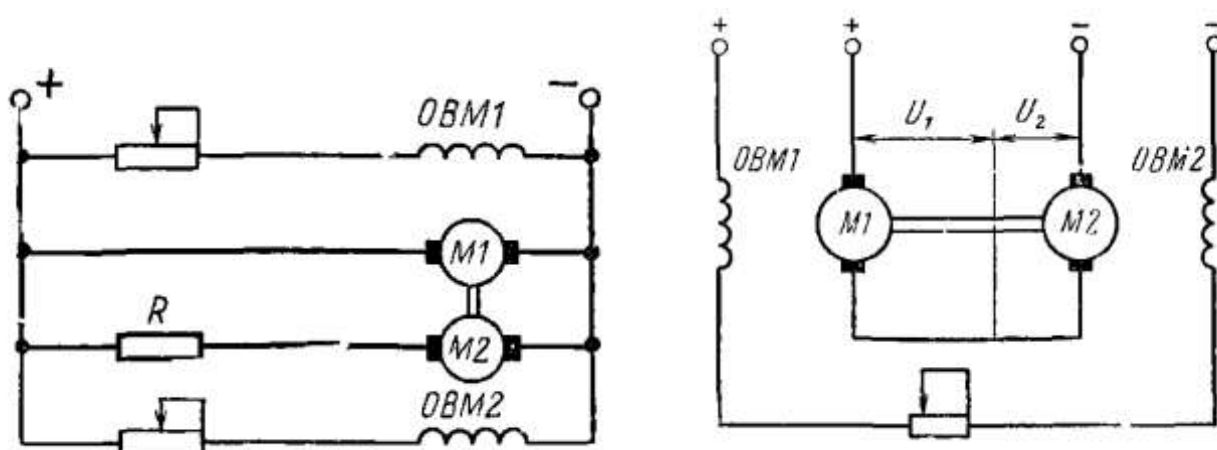


Рисунок 2.1 Розподіл навантажень між двигунами незалежного збудження, що працюють на загальний вал.

При жорсткому механічному зв'язку роторів двигунів, середня швидкість їх однакова. Проте навіть незначна неідентичність механічних характеристик при їх достатній жорсткості, приведе до не рівномірного розподілу навантажень (Рисунок.1.2) При нерівності швидкостей ідеального холостого одна з машин може перейти у гальмувальний рекуперативний режим.



А)

Б)

Рисунок 2.2 – А) Схема вмикання двигунів паралельного збудження; Б)- Схема вмикання двигунів послідовного збудження

Кути нахилу характеристик двигунів незалежного збудження можуть вирівнюватися введенням додаткового опорів коло якоря двигуна, що має менші показники характеристики. Нерівність швидкостей ідеального холостого ходу може бути усунено введенням додаткового опору в коло збудження двигуна, що має меншу швидкість. (Рис. 2.2)

Проте при цьому одночасно декілька змінюється і нахил механічної характеристики. Іноді для забезпечення близьких один до одного величин магнітних потоків обмотки збудження обох машин з'єднуються послідовно, причому вони мають бути розраховані на напругу, рівну половині напруги мережі.

Для того, щоб забезпечити вирівнювання навантажень, також використовуються двигуни, що мають, окрім обмотки незалежного збудження, по

дві однакові послідовні обмотки. У коло кожного двигуна погоджено включена обмотка одного двигуна і зустрічно - іншого двигуна.

При збільшенні навантаження одного з двигунів, його струм буде підсилювати магнітне поле, викликаючи збільшення ЕРС, і послаблювати магнітний потік іншого, зменшуючи його ЕРС і підвищуючи його навантаження.

Двигуни послідовного збудження мають м'які механічні характеристики і умови розподілу навантажень при їх роботі на загальний вал сприятливіші (рис.

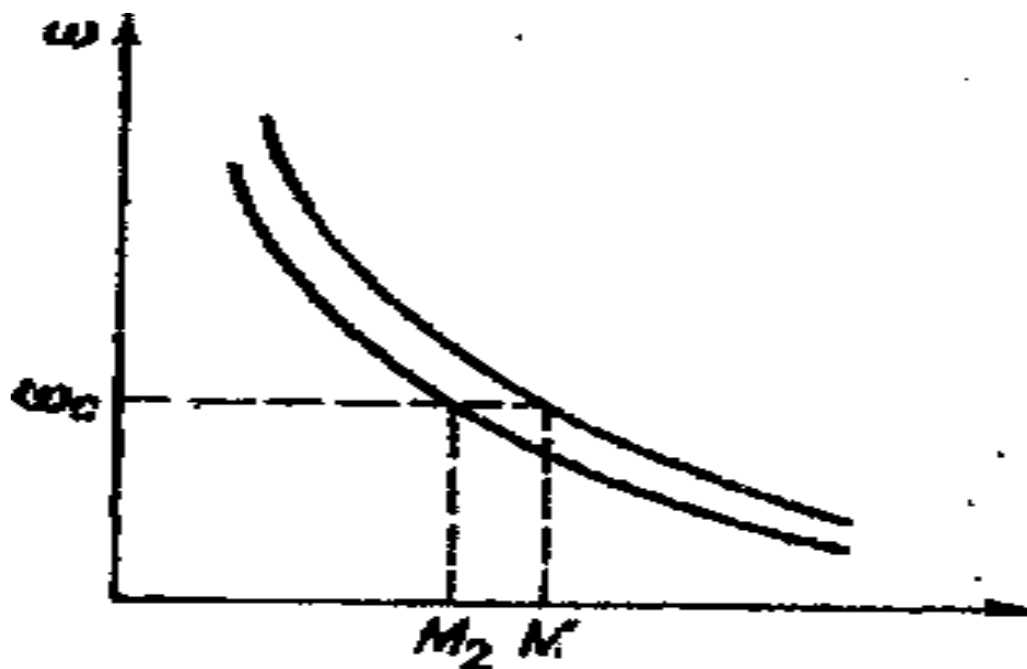


Рисунок.2.3 -Розподіл навантаження між двигунами послідовного збудження, що працюють на один вал.

2.2). Вмикання додаткового опору в коло якорів двигунів приводить до більш рівномірного розподілу навантажень двигунів.

Повне вирівнювання моментів в статичних режимах може бути досягнуто послідовним з'єднанням якорів двигунів постійного струму незалежного збудження.

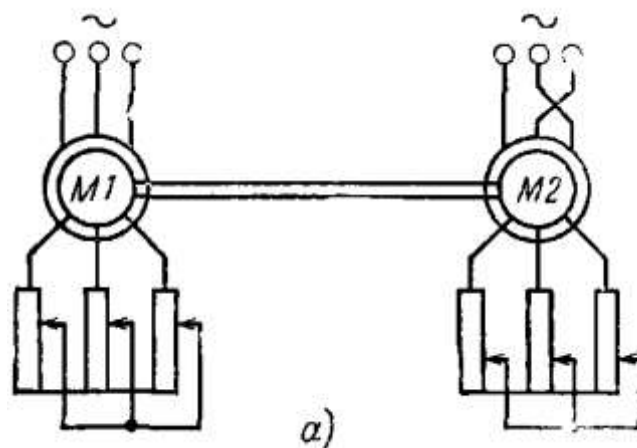


Рисунок 2.4-Схема вмикання асинхронних двигунів

Так як в цьому випадку якоря завжди обтекаються одним і тим же струмом, а швидкості обертання внаслідок жорсткого зв'язку валів завжди строго однакові, то двигуни вимушено працюють на загальній для них характеристиці. .

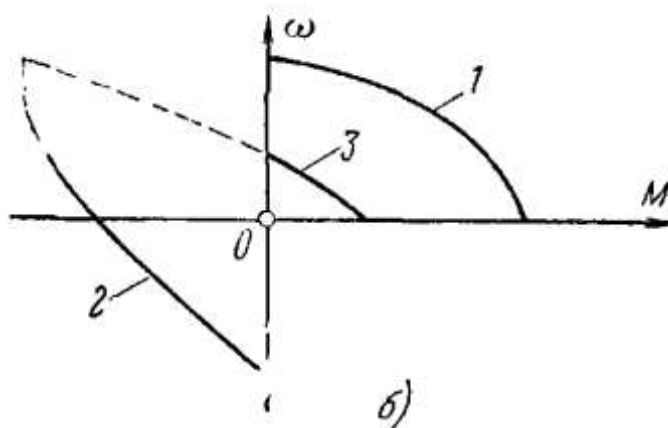


Рисунок 2.5-Механічні характеристики: 1-першого двигуна; 2-другого двигуна; 3-сумісна характеристика.

Якщо природні характеристики двигунів не зовсім ідентичні, то при послідовному з'єднанні якорів станеться перерозподіл напруг.

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

Робота асинхронних двигунів протікає приблизно в тих же умовах, що і двигунів постійного струмунезалежного збудження.(Рис.2.4). Проте в цьому випадку можливо тільки, нерівністьнахилу механічних характеристик. Для одержання малих швидкостей один із двигунів працює в режимі противключення. (Рис.2.5) Швидкості ідеального холостого ходу, визначувані швидкістю обертання магнітного поля, при однаковому числі полюсів обмотки статора і при живленні від загальної мережістрого однакові.

2.3. Робота асинхронних двигунів на загальній вал

У деяких виконавчих механізмах потрібно строго синхронне обертання двох або декількох осей або підтримання сталості співвідношення швидкостей. При великій віддаленості ланок механізму, для яких має бути забезпечено рівність швидкостей або кутових переміщень з'єднання їх допомогою різного роду механічних передач, як правило, не є раціональним в силу складності і високої вартості.

Для спрощення кінематики робочого механізму буває доцільною установка окремих двигунів для кожного робочого органу і використання системи синхронного обертання, яку називають також «електричним валом». Як правило, в цих системах застосовуються асинхронні двигуни .

Використання синхронних двигунів для приводу окремих ланок робочої машини не вирішує завдання, тому що в цих системах синхронність обертання необхідна в широкому діапазоні швидкостей, у тому числі при пуску і зупинці. Тому, якщо навіть ускладнити систему і використовувати частотне управління, задовільних результатів досягти не можна, так як момент синхронної машини при частоті близькій до нуля дуже малий. Відповідно синхронність обертання може бути порушена.

В системі синхронного обертання забезпечується не тільки синхронність обертання, а синфазність положення обертових елементів. Проте можливе

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист 27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

розбіжність повороту осей двигунів може бути досить великим (в межах до 90).

У подібних установках ставиться умова збереження стійкої роботи при максимально можливій навантаженні, особливо при піковому її характері. Отже, максимальний кут розбіжності осей повинен бути обмежений 20-30 електричними градусами.

З необхідністю забезпечення синхронності обертання ми зустрічаємося в механізмах, ряду галузей промисловості та народного господарства і, перш за все, в механізмах гідротехнічних споруд: затворах, воротах шлюзів, розвідних мостах.

Велика величина прольоту, що перекривається затвором або щитом, а для шлюзу також складність прокладки з'єднувального вала як у підводному, так і в надводній частинах камери, роблять важким застосування однодвигунового приводу. Тим часом, для усунення можливості виникнення перекосів і появи великих механічних напружень в конструкції затвора, переміщення обох сторін щита повинні бути строго однаковими. Тому, як правило, встановлюються самостійні двигуни на кожній лебідці і використовується система синхронного обертання.

Система синхронного обертання потрібно для механізмів вертикально-підйомних мостів, в яких пролітна будова піднімається двома або чотирма лебідками, встановленими на двох вежах, розташованих по обидві сторони прольоту. Часто синхронне обертання повинно мати місце і в приводі розвідного моста. У цьому випадку синхронність і навіть синфазність особливо необхідна в момент дії замкового пристрою при зведенні крил.

У металургійній промисловості системи електричного вала застосовуються в «летючих» ножицях, в приводі подачі візків у піч для відпалу.

У підйомно-транспортних механізмах електричний вал використовується для приводу моста в порталних кранах з великою відстанню між опорами. В транспортерах з багатодвигунним приводом.

Системи електричного вала знайшли деякий застосування в металорізальних верстатах, натомість ходових гвинтів. Подібні системи при великих відстанях між центрами верстата вимагають менших витрат.

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

Електричний вал також використовується в приводах машин поліграфічної та текстильної промисловості, при роботі їх в безперервному потоці.

Синхронізація обертання двигунів може бути доцільною в приводі суднових гребних гвинтів. При збереженні відносного розташування гвинтів незмінним, вібрації судів зменшуються. Системи синхронного обертання використовуються також у приводі злипів - споруд для спуску суден.

Існуючі системи електричного вала можуть бути розбиті на дві основні групи:

- системи з допоміжними зрівняльними машинами;
- системи, в яких синхронний зв'язок здійснений між основними приводними двигунами.

Хоча системи другої групи простіше у виконанні, оскільки вимагають меншого числа електричних машин та устаткування управління ними, вони внаслідок притаманних їм недоліків, поширені значно менше, ніж системи з допоміжними машинами.

У системах з допоміжними зрівняльними машинами в якості останніх в основному застосовуються асинхронні машини з фазним ротором.

Як зазначалося вище, в більшості випадків система електричного вала використовується для забезпечення синхронності ходу двох або декількох двигунів, що приводять в обертання різні механічно один з одним не пов'язані ланки одного робочої машини. При цьому електричний вал сприяє вирівнюванню режимів роботи приводних двигунів шляхом передачі енергії з валу одного менш завантаженого двигуна на вал іншого, більш завантаженого. Такий електричний вал, вирівнюючий навантаження двигунів, називають зрівняльним.

У деяких випадках на одній з двох осей робочої машини приводний двигун може зовсім відсутніми, і обертання її буде здійснюватися за допомогою машини системи електричного вала. При цьому вся енергія на цю вісь надходить через електричний вал, який може бути названий «робочим електричним валом». Такого роду систему можна зустріти в приводі металорізальних верстатів і найпростіших робіт.

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.4. Електричний вал з 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 2.6 .

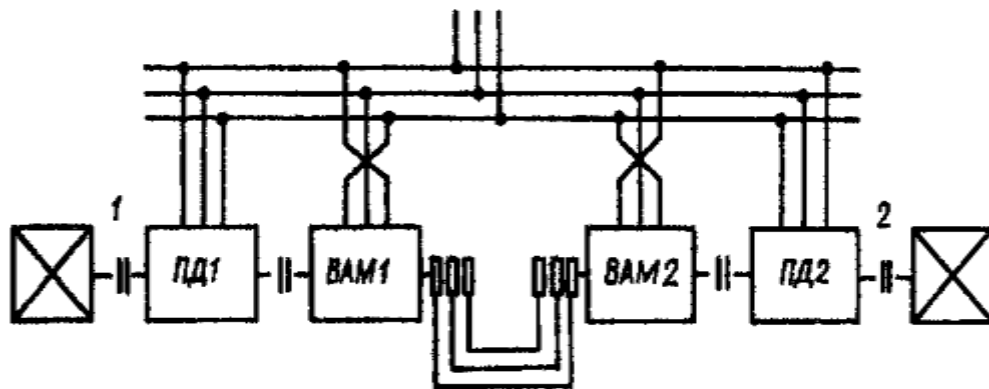


Рисунок. 2.6- Система синхронного обертання з допоміжними асинхронними машинами

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 $A_{fc1} > M_{c2}$, ротор більш завантаженого приводного двигуна ПД1 відстане від ротора двигуна ПД2 на деякий кут β .

Відповідно буде мати місце фазовий зсув ЕРС, індукованих в роторах допоміжних машин. Покладемо, що ротори зрівняльних машин обертаються в ту ж сторону, що і магнітні поля, створювані обмотками статорів. Тоді при відставанні ротора допоміжної машини ВАМ1 на кут θ вектор ЕРС її ротора, навпаки, буде випереджати вектор ЕРС ротора машини ВАМ2 на той же кут θ , так як ротор ВАМ1 при цьому зміститься проти напрямку 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 від викликавшої його ЕРС на кут, близький до 90° (рис.2.7). При появі струмів в роторному колі допоміжних машин виникнуть струми і в їх статорах.

Ці струми, природно, викличуть відповідні падіння напруги в обмотках, які слід було б врахувати при аналізі системи. Однак необхідно взяти до уваги тільки індуктивний 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 ж статора можна замінити відповідним зрушенням вектора напруги, що підводиться до статора, в тому ж напрямку.

Для зрівняльного струму в, після додаткових перетворень остаточно матимемо:

$$M_1 = \frac{M_{\max}}{(s/s_k) + (s_k/s)} (1 - \cos \theta - \frac{s}{s_k} \sin \theta); \quad (2.1)$$

$$M_1 = \frac{M_{\max}}{(s/s_k) + (s_k/s)} (1 - \cos \theta + \frac{s}{s_k} \sin \theta); \quad (2.2)$$

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

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

(2.3)

Графіки наведені на рисунку 2.7.

Як видно з графіків обертові моменти двигунів діють на зустріч одне одному, тобто якщо момент одного двигуна збільшується, то момент іншого двигуна вирівнює момент першого. Таким чином досягається рівність обертових моментів двигунів при погодженому обертанні.

Як впливає з отриманих рівностей, момент допоміжної машини ВАМ1 виявляється позитивним, а момент машини ВАМ2- негативним.

Отже, машина ВАМ1 працює двигуном, допомагаючи приводного двигуну ПД1 долати підвищений статичний момент, а Потужність допоміжних машин повинна вибиратися відповідно до можливої нерівномірністю навантажень. У першому наближенні потужність допоміжних машин повинна дорівнювати: 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.

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

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

$$P_{\text{в.ном}} = (P_{c1} - P_{c2})/2, \quad (2.4)$$

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

Якщо вся статичне навантаження може бути додана 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.

$$P_{\text{ст}} = (\omega/\omega_0)P_m \quad (2.5)$$

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 (Рис.2.7).

Отримані рівності дозволяють виявити напрямок потоків енергії при різних режимах допоміжних машин. Якщо машина

В даний час є позитивний досвід експлуатації асинхронних двигунів потужністю до 55 кВт з короткозамкнутим ротором при живленні від перетворювачів частоти. Таке технічне рішення ухвалювалося при модернізації кранів, обладнаних традиційними системами електроприводу крана на базі асинхронного двигуна фазним ротором.

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

В цьому випадку електродвигуни можуть харчуватися як від одного перетворювача частоти, як на малюнку 2.5, що є найбільш економічним варіантом, так і від індивідуальних перетворювачів, що забезпечують гнучкіше управління механізмами кранів. Можна припустити, що в багаторухових приводах мостових і козлових кранів загального призначення з невеликими прольотами достатньо одного перетворювача для живлення групи двигунів. В цьому випадку, кожен двигун має бути обладнаний індивідуальним захистом від перевантаження у вигляді теплового реле. В цьому випадку завдяки більшій гнучкості управління можливе забезпечення вирівнювання навантаження між двигунами по схемі «ведущий», узгодження руху приводів з метою усунення перекосу моста крана і так далі. Не дивлячись на достоїнства застосування перетворювачів частоти по схемі «ведущий - ведений», все ж таки присутні свої, а саме в підтримці швидкостей двигунів в механізмах пересування, згідно заданим. Це обумовлено тим, що при зміні навантаження на першому провідному двигуні при тій, що просіла швидкості обертання, автоматично знижується і на в другому веденому.

Технічні характеристики крана ККС-10

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

- Температурний діапазон експлуатації °С от -40 до +40;
- Управління — електричне, величина вхідної напруги, В 380;
- Загальна маса конструкції т 42;
- Висота м 15;
- Величина прольота м від 14-ти до 32-у;
- Виліт правої консолі м 7,5;
- Виліт лівої конслоі м 8,5;
- Транспортування вантажів, не більш м 8;
- Вантажопідйомність (разом з візком) т 10;
- Висота підйому вантажів м 10;
- Швидкість підйому м/мин 15;
- Переміщення заповненого візка м/мин 36;
- Максимальна швидкість переміщення крана м/мин 40;

РОЗДІЛ 3. ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА

3.1. Розрахунок потужності двигуна переміщення козлового крана

Технічні дані установки

Вага моста (з візком і гаком) $G_m = 320 \text{ кН}$;

Вага візка $G_t = 37 \text{ кН}$;

Вага вантажу (вантажопідйомність) $G_{gr} = 100 \text{ кН}$;

Вага вантажозахватної установки $G_{гак} = 30 \text{ кН}$;

Швидкість руху моста $V_m = 1 \text{ м/с}$;

Швидкість руху візка $V_t = 0,5 \text{ м/с}$;

Швидкість підйому вантажу $V_{gr} = 0,13 \text{ м/с}$;

Радіус колеса моста і візка $R = 0.3 \text{ м}$;

Радіус шийки колеса $r = 0,04 \text{ м}$;

Діаметр барабана лебідки $D_b = 0,6 \text{ м}$;

Момент інерції барабана $J_b = 3,0 \text{ кг м}^2$;

ККД механізмів руху $\eta_{п} = 0,7$;

ККД механізмів лебідки $\eta_{л} = 0,75$;

Передаточне відношення редуктора моста $i_m = 25$;

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Передаточне відношення редуктора візка $i_T = 60$;

Передаточне відношення редуктора лебідки $i_L = 60$;

Передаточне відношення полиспаста $i_n = 2$;

Шлях пройдений мостом $L_M = 20$ м;

Шлях пройдений візком $L_T = 12$ м;

Висота підйому (спуска) вантажу $h = 12$ м;

Час стоянки крана при навантаженні $t_{01} = 44$ с;

Час стоянки крана при розвантаженні $t_{02} = 34$ с.

3.2.. Розрахунок часу роботи під навантаженням та часу циклу.

Перед тим, як приступити до розрахунку потужності двигунів необхідно розрахувати час роботи під навантаженням та циклом часу, а також тривалості включення двигунів механізмів руху і підйому.

Цикл роботи козлового крана: спуск пустого крюка, стоянка при навантаженні, підйом нагруженого крюка, рух тележки, рух мосту, спуск нагруженого крюка (Рисунок 3.1), стоянка при розвантаженні, підйом пустого крюка, рух тележки, рух крюка.

Час зпуску і час підйому крюка, с

$$t_{\text{сп}} = t_{\text{п}} = \frac{h}{v_{\text{Гр}}} = \frac{12}{0,13} = 92,30 \quad \text{с.}$$

Час руху візка

$$t_T = \frac{L_T}{v_T} = \frac{12}{0,5} = 24 \quad \text{с.}$$

Час руху крана, с

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{сп}} + t_{01} + t_{\text{п}} + t_T + t_M + t_{\text{сп}} + t_{02} + t_{\text{п}} + t_T + t_M = t_{\text{грп}} + t_{01} + t_{\text{рт}} + t_{02} + t_{\text{рм}} \\ = 369,2 + 44 + 48 + 34 + 40 = 535,2$$

де $t_{\text{грп}} = t_{\text{сп}} + t_{\text{п}} + t_{\text{сп}} + t_{\text{п}} = 4t_{\text{сп}}$ - час роботи двигуна лебідки;

$t_{\text{рт}} = 2t_T = 48$ - час роботи двигуна візка;

$t_{\text{рм}} = 2t_M = 40$ - час роботи двигунів переміщення крана.

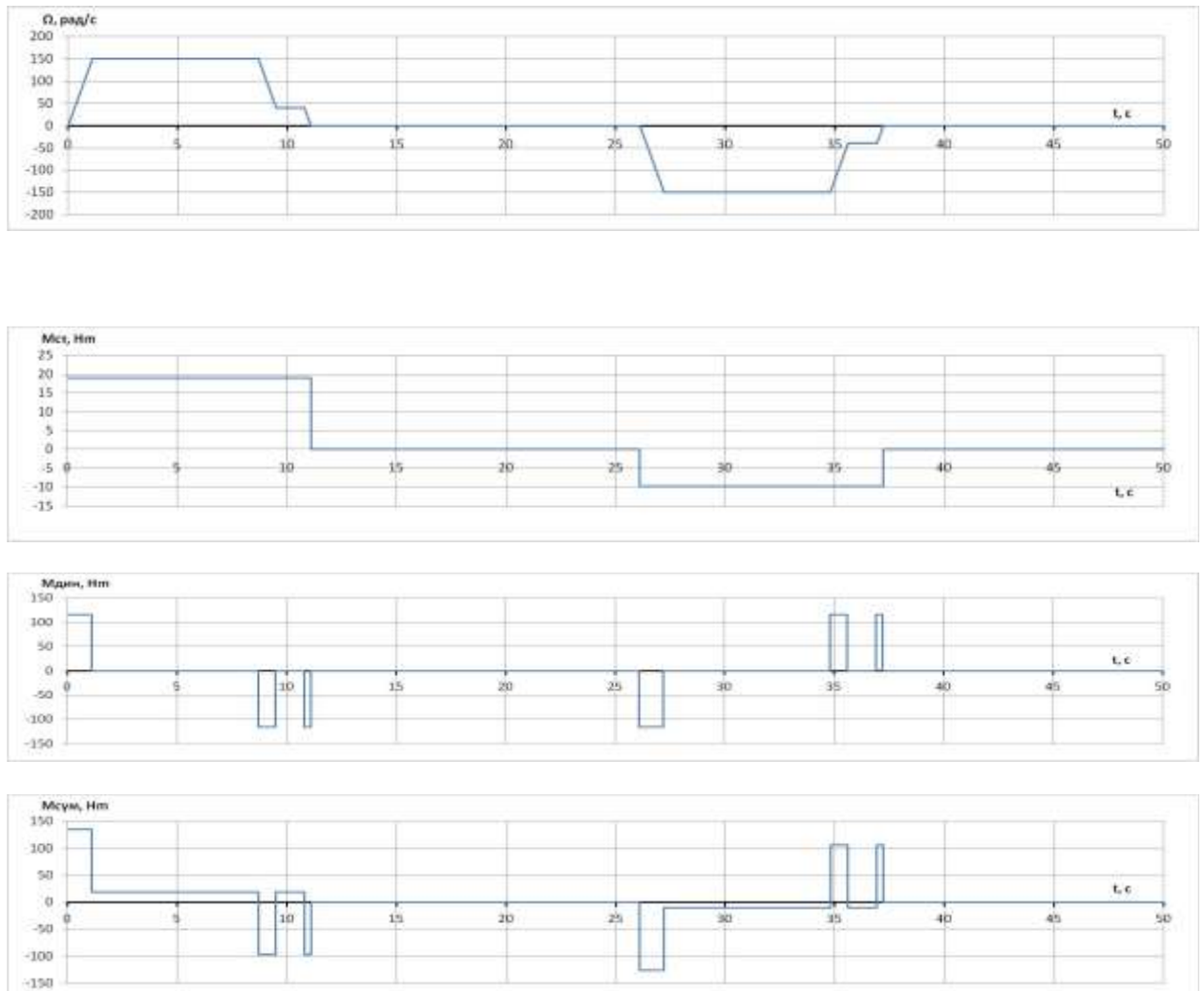


Рисунок 3.1 – Навантажувальні діаграми.

$t_{01} = 44$ - час стоянки під навантаженням;

$t_{02} = 34$ - час стоянки під розвантаженням.

Тривалість включення двигуна лебідки, с

$$T_E = \frac{t_{PM}}{t} \times 100\% = \frac{30,7}{44} \times 100\% = 69,77$$

Тривалість включення двигуна візка, с

$$T_B = \frac{t_{PT}}{t_{TP}} \times 100\% = \frac{48}{535,2} \times 100\% = 8,96$$

Тривалість включення двигуна крана, с

$$TB = \frac{t_{pm}}{t_n} \times 100\% = \frac{40}{535,2} \times 100\% = 7,47$$

де t_n – час циклу.

3.3.. Розрахунок потужності, статичного моменту і швидкості двигунів

Момент статичного навантаження, приведений до валу двигуна, при завантаженні вантажозахватного пристрою, Нм

$$M_c = \frac{k_p(G + G_0) * (\mu * r + f)}{i_p * \eta_m} ;$$

де $k_p = 1,3$ - коефіцієнт тріювання реборду ходових коліс механізмів руху на рельсах (ходові колеса з конічним обідом, підшипники кріплення);

$G_0 = 320$ Н - вага без завантаженого механізму,

$G = 100$ Н - вага рухомого вантажу,

$\mu = 0,1$ - коефіцієнт трієнсу для підшипників ходових коліс механізмів руху (підшипник качення, балічних та роликових коннічних),

$r = 0,04$ м - радіус шейки осі колеса,

$f = 0,7 * 10^{-3}$ м - коефіцієнт трения качения ходового колеса механізмів руху (ходові колеса сталіні, тип рельсу плоский),

$v = 1$ м / с - швидкість руху механізму,

$\eta_m = 0,7$ - КПД передач механізму,

$i_p = 25$ - передаточне відношення редуктора механізму руху.

$$M_{c1} = \frac{k_p(G + G_0) * (\mu * r + f)}{i_p * \eta_m} = \frac{1,3 * (100 * 10^3 + 320 * 10^3) * (0,1 * 0,04 + 0,7 * 10^{-3})}{25 * 0,7} = 146,64$$

Момент статичної навантаження, приведенний до валу двигуна, при пустому пристрої,

$$M_{c2} = \frac{k_p * G_0 * (\mu * r + f)}{i_p * \eta_m} = \frac{1,3 * 320 * 10^3 * (0,1 * 0,04 + 0,7 * 10^{-3})}{25 * 0,7} = 111,73$$

Розрахункова кутова швидкість обертання двигуна, рад/с

$$\omega_p = \frac{i_p * v}{R} = \frac{25 * 1}{0.3} = 83,3$$

де R = 0,3м - радіус колеса.

Розрахункова частота обертання двигуна, об/хв

$$n_p = \frac{60 * \omega_p}{2\pi} = \frac{60 * 83,33}{2 * 3,14} = 796,$$

Потужність двигуна при завантаженні вантажозахватного пристрою, кВт

$$P_1 = 146,64 * 83,33 * 10^{-3} = 12,22 \text{ кВт}$$

Потужність двигуна при пустому вантажозахватному пристрої, кВт

$$P_2 = 111,73 * 83,33 * 10^{-3} = 9,31 \text{ кВт}$$

Еквівалентна потужність двигуна, кВт

$$P_e = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2}{t_p}},$$

$$P_e = \sqrt{\frac{12,22^2 * 20 + 9,31^2 * 20}{40}} = 10,86 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{ест}} = P_e \sqrt{\frac{TB_p}{TB_{CT}}}$$

$$P_{\text{ест}} = 10,86 \sqrt{\frac{7,47}{40}} = 4,7$$

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

$$K_{\text{зап}} = 1,5$$

$$P_{\text{треб}} = K_{\text{зап}} * P_{\text{ест}} = 1,5 * 4,69 = 7,035 \text{ кВт}$$

Обираємо двигун з фазним ротором по каталогу: МТ-22-6

Таблиця 3.1. Технічні дані двигунів

Тип	$P_{\text{ном}}$, кВт	$n_{\text{ном}}$, об/хв	$\cos \varphi$	$I_{1\text{ном}}$, А	R_1 , Ом	X_1 , Ом	E_p , В	I_p , А	R_2 , Ом	X_2 , Ом	J , кг.м ²
МТ-22-6	7.5	945	0.69	21	0.685	0.735	227	21.6	0.29	0.544	0.142

РОЗДІЛ 4. ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ

4.1 .Принцип роботи частотного перетворювача

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. 6. схемних особливості інвертора напруги є наявність зворотних діодів VD1 ... VD6 і фільтрового конденсатора С(Рисунок 4.1).

На відміну від інверторів струму, для яких характерним є робота в кожен момент часу по одному вентилю в анодному і катодного 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 п. Припустимо, що в деякий момент часу працюють транзисторні ключі VT1, VT2 і VT6.

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

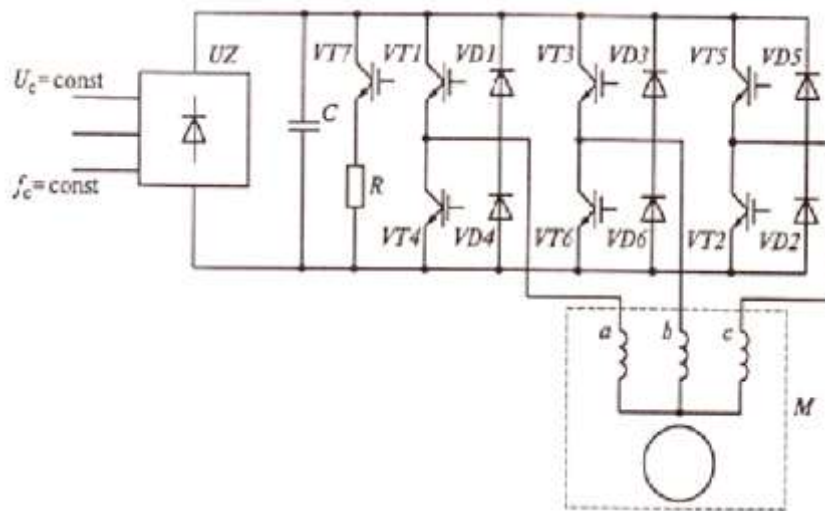
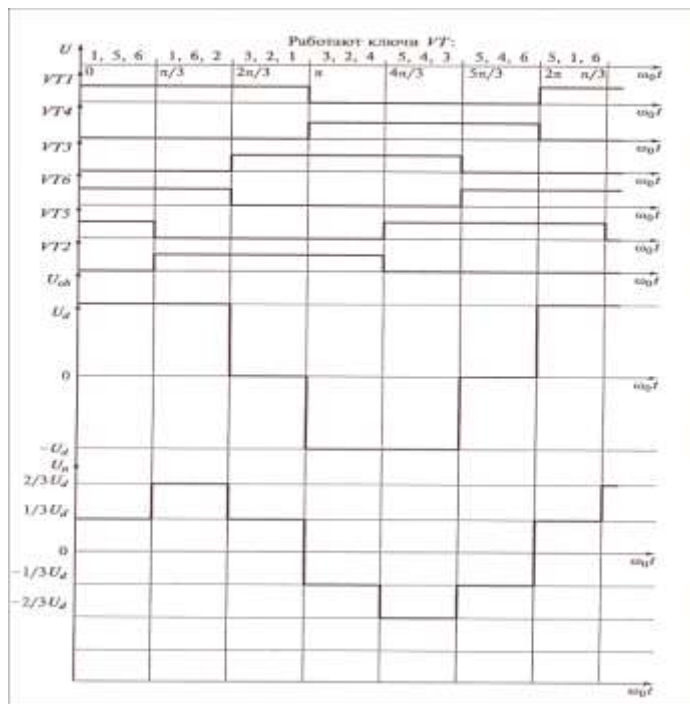


Рисунок 4.1- Схема частотного асинхронного електропривода з транзисторним інвертором напруги

Тоді струм протікає по всіх трьох фазним обмоткам двигуна, причому $2/3$ напруги U_d прикладається до фази a й до двох паралельно увімкнених фазам b і c (рис. 2.6). При замиканні транзисторного ключа $VT6$ і включенні транзисторного ключа $VT3$ струм в фазі b не може миттєво змінитися і замикається через діод $VD3$ на конденсатор C , чим забезпечується циркуляція реактивної потужності між обмотками двигуна і конденсатором C . Після включення транзисторного ключа $VT4$ струм буде протікати по паралельно включеним фазам



$VT4$ струм буде протікати по паралельно включеним фазам

Рисунок 4.2.-Діаграма роботи ключів $VT1 \dots VT6$.

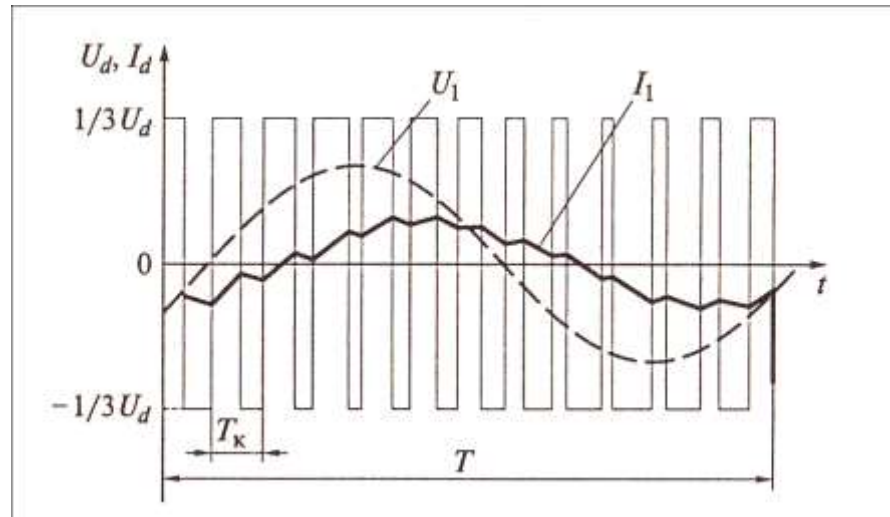


Рис.унок 4.3- Широтно-імпульсної модуляції напруги і струму фази автономного інвертора напруги:

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

зам а і з і по фазі в і т.д. Лінійне U_{av} і фазну U_a напруги, приклади-ваемие до обмоток двигуна, матимуть форму, показану на рис. 7.

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 ви-ходного напруги (див. Рис. 2.7) і низьким коефіцієнтом потужності перетворювача.

Більш ефективним є другий спосіб. При широтноімпульсної 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

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

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.

4.2. Вибір перетворювача частоти

Перетворювач частоти слід видирати виходячи з параметрів приводних двигунів, враховуючи те, що його потужність повинна складати не більше третини смарної потужності двигунів.

Перетворювач частоти вираємо за такими параметрами: номінальний струм кола роторів для двигуна МТ-22-6 21,6 А, напруга кола роторів 227 В.

Потужність перетворювача повинна бути:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_p \cdot I_p = 1,73 \cdot 227 \cdot 21,6 \cdot 0,5 = 4241 \text{ Вт} = 4,24 \text{ кВт}$$

Вибраний ПЧ має бути розрахований на потужність електродвигуна, що підключаються до нього, тобто на 3 кВт.

Приймаємо до установки частотний перетворювач типу HYUNDAI N700E

КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5

					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	43

055HF параметри якого приведені в таблиці 4.1(Рисунок 4.4).

Зовнішній вигляд перетворювача частоти :



Рисунок 4.4-Зовнішній вигляд перетворювача

Таблиця 4.1 - Паспортні дані ПЧ HYUNDAI N700E-055HF

Потужність перетворювача повинна бути:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_p \cdot I_p = 1,73 \cdot 227 \cdot 21,6 \cdot 0,5 = 4241 \text{ Вт} = 4,24 \text{ кВт}$$

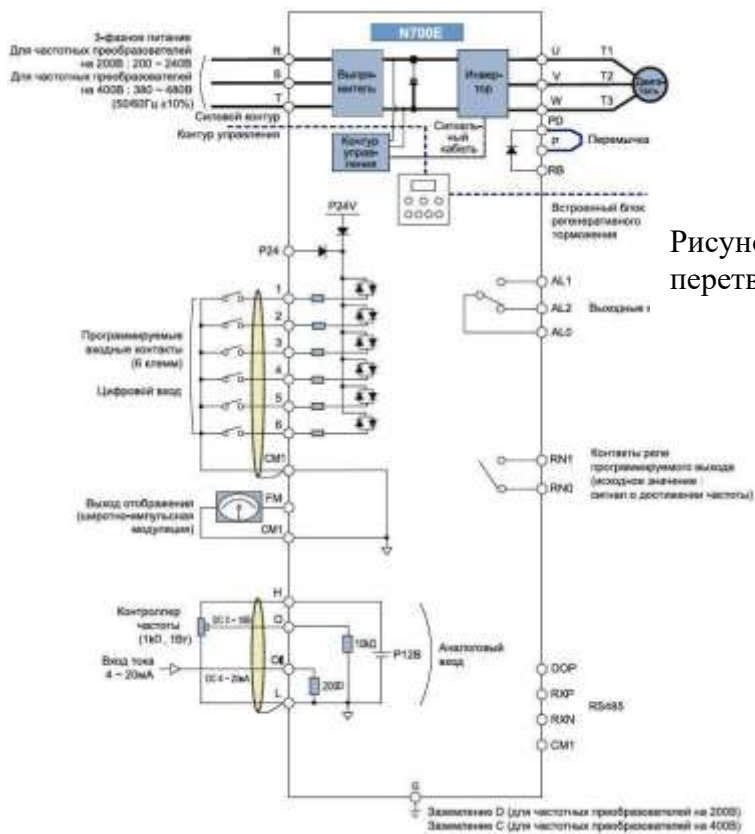
Паспортні дані ПЧ HYUNDAI N700E-010HF

Потужність 10 кВт

Номінальний струм 24 А

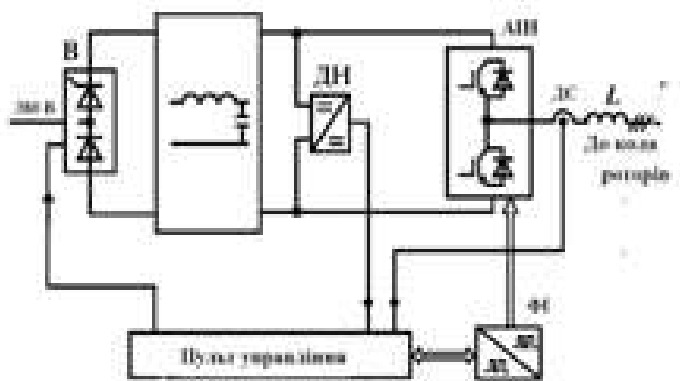
Діапазон регулювання частоти 1 – 400 Гц

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



В даний час більшість перетворювачів виготовляють по схемі автономного інвертора напруги. Це пов'язано з появою повністю керованих силових напівпровідникових приладів: IGB-транзисторів і тиристорів, що замикаються. Типова схема електроприводу з інвертором напруги на повністю керованих приладах дана на мал. 6. Схемною особливістю інвертора напруги є наявність зворотних діодів **VD1... VD6** і фільтрового конденсатора **C**. На відміну від інверторів струму, для яких характерною є робота в кожен момент часу по одному вентилю в анодній і катодній групах, в інверторах напруги доцільніша одночасна робота двох вентилів в одній групі і, одного вентиля в іншій групі. При цьому тривалість роботи кожного вентиля складає ***n***. Допустимо, що в деякий момент часу працюють транзисторні ключі ***VT1, VT2*** і ***VT6***. Тоді струм протікає по всіх трьом фазним обмоткам двигуна, причому 2/3 напругу ***U_d*** прикладається до фази ***a*** і до двох паралельно включеним фазам ***v*** і ***z*** (мал. 7). При замиканні транзисторного ключа ***VT6*** (див. мал. 6) і включенні транзисторного ключа ***VT3*** струм у фазі ***v*** не може миттєво змінитися і

замикається через діод **VD3** на конденсатор **3**, чим забезпечується циркуляція реактивної потужності між обмотками двигуна і конденсатором **С**. Після включення транзисторного ключа **VT4** струмпротікатиме по паралельновключеним Фа-у відмінність від інверторів струму, для яких характерною є робота в кожен момент часу по одному вентилю в анодній і катодній групах, в інверторах напруги доцільніша одночасна робота двох вентилів в одній групі і, одного вентиля в іншій групі. При цьому тривалість роботи Після включення транзисторного ключа **VT4** струм протікатиме по паралельно включеним фа-В на відміну інверторів струму, для яких характерною є робота в кожен момент часу по одному вентилю в анодній і катодній групах, в інверторах напруги доцільніша одночасна праця двох вентилів в одній групі і, одного вентиля в іншому гурті. При цьому тривалість роботи кожного вентиля складає п. Припустимо, що в деякий момент часу працюють транзисторні ключі VT1, VT2 і VT6. Тоді струм протікає по усіх трьом фазних обмоткам двигуна, причому 2/3 напруга U_d прикладається до фази а і до двох паралельно включеним фазамв і з (мал. 7). При замиканні транзисторного ключа VT6 (Рисунок 4.6) і включенні транзисторного ключаVT3 струм у фазі в не може миттєво змінитися і замикається через діод VD3 на конденсатор 3, чим забезпечується циркуляція



реактивної потужності між обмотками двигуна і конденсатором **С**. Після включення транзисторного ключа **VT4** струм протікатиме по паралельно включеним фа-

Рисунок 4.6-Структурна
схема перетворювача частоти

. Використання високовольтих на напругу до 3,3 кВ силових діод-тиристорних і IGBT-модулів забезпечило можливість створення ряду виконань

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

ПЧ електроприводу АТ1 2 з широкою шкалою вихідної напруги від 600 до 2000.

В Залежно від поєднання значень напруги мережі і АТ з урахуванням напруги ПЧ до складу АТ12 входять вхідний чи вихідний або обидва узгоджувальних трансформатора.

Номінальні параметри, склад і конструктивне виконання електроприводу АТ12 визначаються вимогами конкретного механізму та об'єкта експлуатації.

РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ .

5.1.Схема заміщення електродвигуна.

Для розробки електронної моделі треба знати параметри схем заміщення двигунів(Рисунок 5.1).

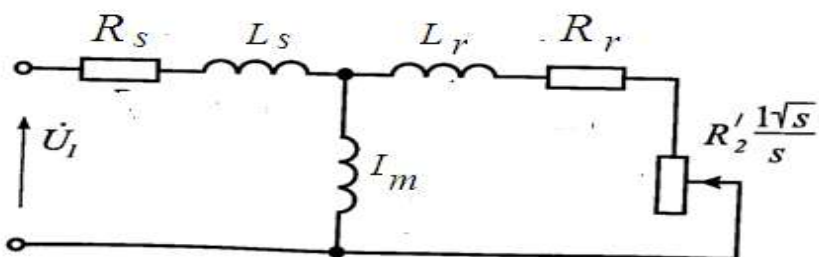


Рисунок 5.1-Схема заміщення двигуна.

Визначення параметрів схеми заміщення для моделювання здійснюється за формулами:

$$R_s = \frac{U \cos \varphi \cdot (1 - \eta)}{I_n} - C^2 R_r - \frac{\Pi_{\text{мех}}}{3 I_n^2}$$

-активний опір фази обмотки статора;

$$L_s = \frac{U}{2\pi f_1 I_n \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2\pi f_1 M_{\text{макс}}}{pU} \cdot \frac{s_n}{s_{\text{кр}}}}$$

-індуктивність фази обмотки статора;

$$R_r = \frac{1}{3} \frac{(P_n + \Pi_{\text{мех}})}{I_n^2 \frac{1 - s_n}{s_n}}$$

-активний опір фази обмотки ротора;

$$L_{sp} = L_{rp} = \frac{U}{4\pi f_1 (1 + C^2) k_l I_n}$$

-індуктивність фази обмотки ротора;

$$L_m = L - L_{sp}$$

-ідуктивність контура намагнічування.

В цих формулах:

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

$$s_{ном} = \frac{\Omega_0 - \Omega_{ном}}{\Omega_0} = \frac{n_0 - n_{ном}}{n_0}$$

-номінальне ковзання;

$$s_{кр} = s_{ном} \left(k_{M_{max}} + \sqrt{k_{M_{max}}^2 - 1} \right)$$

-критичне ковзання;

$$k_{M_{max}} = \frac{M_{max}}{M_{ном}}$$

-перевантажувальна здібність.

$$M_{ном} = \frac{9550 P_{ном}}{n_{ном}},$$

-номінальний момент.

Результати розрахунків для кожного двигуна наведені в табл. 2.3 та 2.4

Таблиця 3.1- Параметри схем заміщення двигунів (Перший двигун) :

Тип	Рн, кВт	Рнн , об/мин	η	$\cos \varphi$	Is,A	Ir,A	Er,B	КМmax	J, кг·м ²
МТ- 31-8	7,5	702	0,81	0,67	21,2	28	185	2.7	0.354

Rs, Ом	Ls, Гн	Rr, Ом	Lr, Гн	Lm, Гн
0,78	0,898	0,21	0,34	0,2

Таблиця 3.2- Параметри схем заміщення двигунів (Другий двигун):

Тип	P_H , кВт	n_H , об/мин	η	$\cos \varphi$	I_s, A	I_r, A	E_r, B	K_{Mmax}	J , кг·м ²
МТ-42-8	7,5	702	0,82	0,69	42,5	46,3	222	2,5	0.142

R_s , Ом	L_s , Гн	R_r , Ом	L_r , Гн	L_m , Гн
0,271	0,353	0,1	0,239	0,2

5.2.МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОПРИВОДА В MATLAB SIMULINK

На електронній моделі (Рисунок 5. цифрами показано: 1- трифазне джерело мережі; 2, 3 – двигуни з фазним ротором; 4 – осцилограф для спостереження при переходному процесі струмів статора кожного двигуна: $i_{s_A}(A)$, ротора- $i_{r_A}(A)$, напруги ротора $V_{r_q}(V)$; 5-осцилограф для спостереження при переходному процесі: швидкостей кожного двигуна – (ω_m) rad/s, момента - $T_e(N*m)$, а також кута непогодження – θ_{eam} (rad); 6-частотний перетворювач ; 7- панель настройки частотного перетворювача.

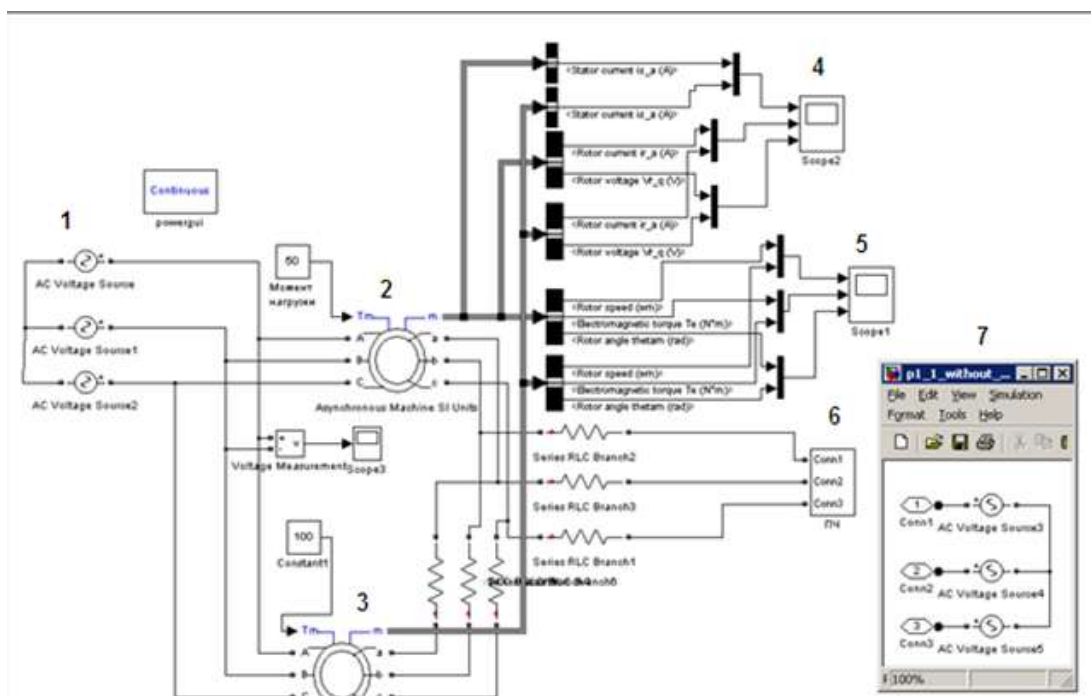


Рисунок 5.2- Модель електроприводу за системою електричного валу.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
						50

5.4.РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

В результаті моделювання одержані графіки перехідних процесів при частоті перетворювача 25 Гц на осцилографі 4 (червоний колір – перший двигун, синій другий двигун): струм статорів кожного двигуна Stator current ,

При тій же частоті на осцилографі 5 (Рисунок 5.3) одержані графіки швидкості розгону двигунів ω , rad/s; моментів M , N*m; кута непогодження θ .

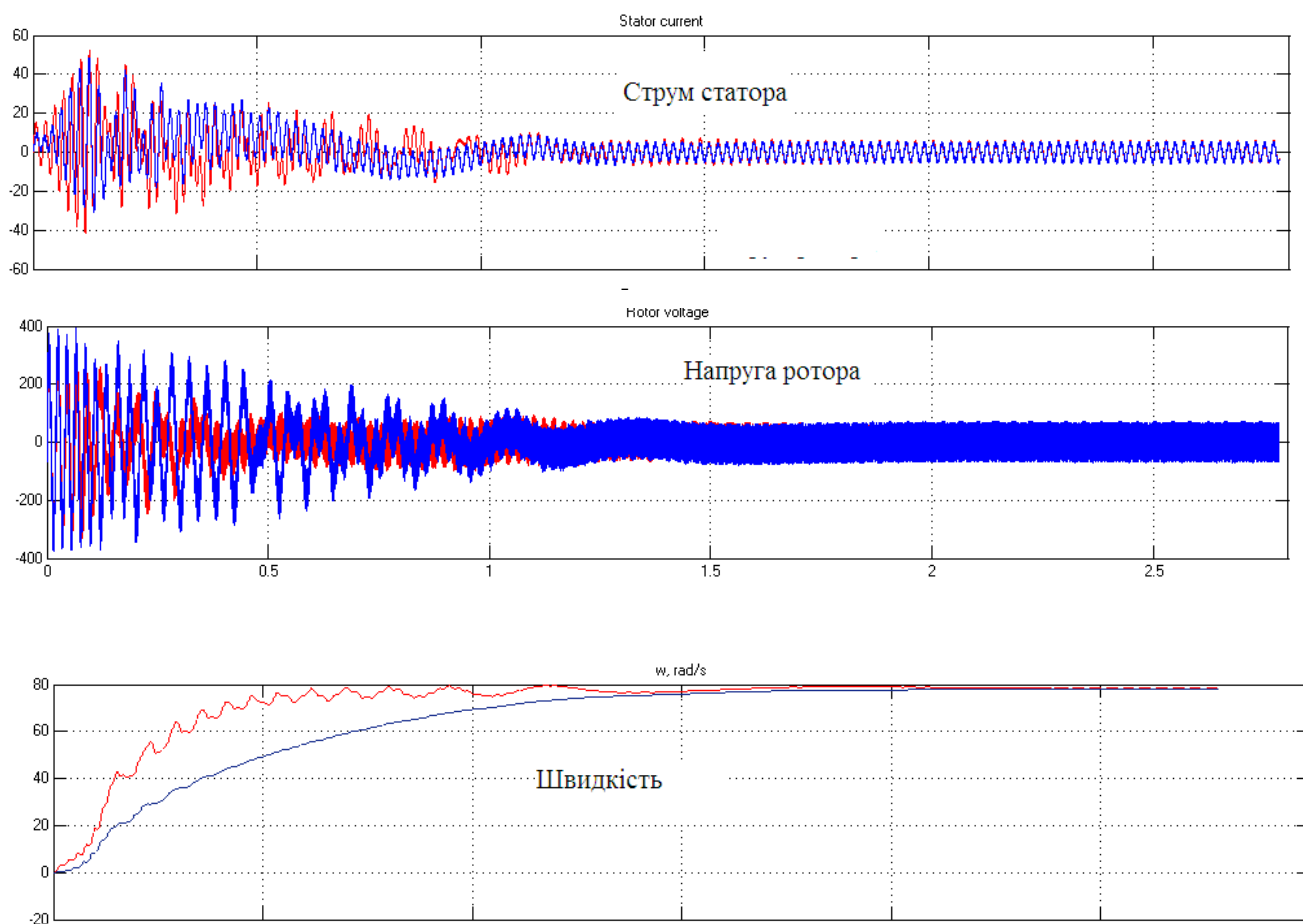


Рисунок 5.3-Графіки струму статора, напруги ротора і швидкості при частоті 25 Гц.

В результаті моделювання одержані графіки перехідних процесів при частоті перетворювача 25 Гц на осцилографі 4 (червоний колір – перший двигун, синій другий двигун): струм статорів кожного двигуна Stator current ,

При тій же частоті на осцилографі 5 одержані графіки швидкості розгону двигунів ω , rad/s; моментів M , N*m; кута непогодження θ .

Ааналогічні графіки одержані при частоті перетворювач 10 Гц (Рисунок 5.4).

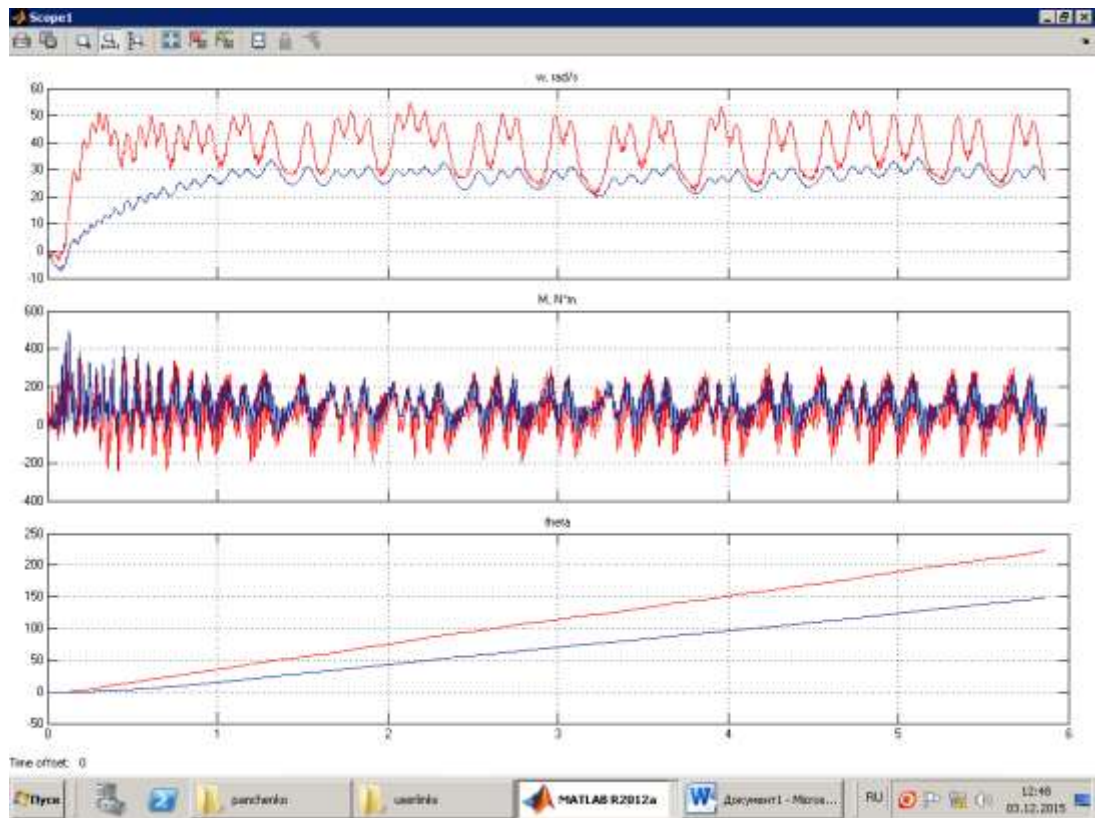


Рисунок 5.4- Графіки швидкості, моментів, кута непогодження при састоті 10 Гц..

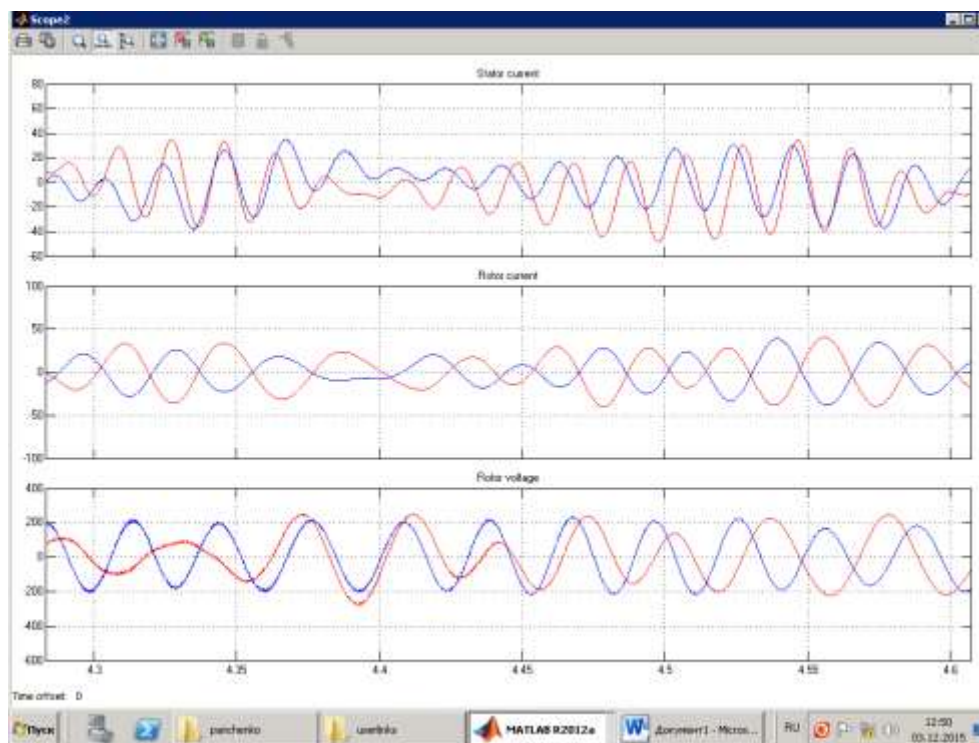


Рисунок 5.4- Графіки струмів і напруги при частоті 10 Гц розтянуті по осі абсцис.

З графіків при частоті 10 Гц видно суттєве коливання усіх величин. При цьому вони діють в протифазі, що направлено на синхронізацію обертання валів роторів. Синхронізація відбувається на швидкостях дещо відрізняючихся одна від другої. Це дозволяє зробити висновок про те, що двигуни повинні бути однакової потужності.

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:

$$З = E_n \cdot K + C, \quad (6.1)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних

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

вкладень (приймається 0,17 для всіх галузей промисловості), 1/рік;

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 (Д = 5167 грн);

СК – вартість системи керування (СК = 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:

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

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

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

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

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

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

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) ($c = 4.32$ 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:

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

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність електричного двигуна;

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

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

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

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):

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

Додаткові відрахування згідно формули (3.8):

$$C_{\text{д1}} = 6415,2 \cdot 0,82 = 5260,5 \text{ (грн/рік)}.$$

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

$$C_{\text{д2}} = \Delta W_{\Sigma \text{ск}} \cdot c, \quad (6.13)$$

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

В Втрати енергії в системі керування за рік:

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

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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):

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

Додаткові відрахування згідно формули (3.13):

$$C_{\text{д2}} = 330,6 \cdot 0,82 = 271,102 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (3.7):

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

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

$$C_{\text{О}} = 0,05 \cdot (C_{\text{А}} + C_{\text{Р}} + C_{\text{д}}), \quad (6.16)$$

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

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):

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

Для інших систем електричного привода проведемо аналогічні розрахунки, результати розрахунків зведемо в порівняльну таблицю 6.1

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

Таблиця 6.1. – Порівняльна таблиця

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_R , грн/рік	366,13	325,238	452,354	297,344	318,9
Додаткові відрахування C_D , грн/рік	10954	10954	5814	5814	5531,6
Відрахування на обслуговування C_O , грн/рік	657,52	645,25	426,4	379,9	372,25
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 праці

ПРАВИЛА

охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання

I. Загальні положення

1. Галузь застосування

1. Ці Правила поширюються на суб'єктів господарювання незалежно від форм 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;

звантажозахоплювальні органи;

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

вантажозахоплювальні пристрої знімні;

тару, за винятком спеціальної тари, що застосовується в металургійному виробництві (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);

вантажопідймальні машини спеціального призначення: підлогові завалювальні та посадкові машини, трубоукладачі, електро- та автотранспортувальні машини, мостовкладальні машини;

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

підйомники пожежні;

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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 самомонтується, може виконуватися за типовими ПВР або технологічними картами на монтаж обладнання.

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:

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

суб'єктом господарювання, який виконав монтаж, і не увійшли в обсяг постачання виробника найменування суб'єкта господарювання, який виконав монтаж;

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

відомості про матеріали, що використовувалися ;

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.

7. Акти, зазначені в пунктах 4, 6 цієї глави, складаються після кожного встановлення обладнання на новому місці.

ВИСНОВОК

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена дослідженню електроприводу за системою електричного валу для переміщення козлового крана.

. В роботі розглянуто такі питання: сучасний стан експлуатації електроприводів механізмів пересування козових кранів; зроблено огляд існуючих систем управління електроприводами механізмів пересування козових кранів; **вимоги**, що пред'являються до електроприводів механізмів пересування.

Також розглянута робота асинхронних двигунів на загальній вал.

Розроблена електронна модель електроприводу в середовищі Matlab Simulink та проведено експериментальні дослідження електроприводу на електронній моделі.

1. Проведено аналіз роботи електроприводу за системою електричного валу.
2. Обосновано перевагу електроприводу з частотним перетворювачем в колі роторів в порівнянні з регулюючими реостатами.
3. Розглянуто приклад використання досліджуваного електропривода з частотним перетворювачем в колі роторів.

					КРБ АТЕРС. 58-03.30.01.26.1.3.5	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

4. За аналізом принципу роботи різних типів перетворювачів частоти вибрано перетворювачі частоти.
5. Розраховані параметри та побудовані електронні моделі системи електроприводу в середовищі Matlab Simulink.
6. Одержані осцилограми перехідних процесів при роботі системи електричного вала при різних частотах в колі роторів.
7. З одержаних графіків перехідних процесів зроблено висновки про те, що при різних потужностях двигунів синхронізація обертання валів роторів відбувається на швидкостях, які дещо відрізняються одна від другої, а при частоті 10 Гц спостерігається суттєве коливання усіх величин.
8. При однакових потужностях двигунів синхронізація досягається повністю. Особливо це помітно по графіках моментів, які знаходяться в протифазі .
9. Двигуни повинні бути однакової потужності з ідентичними параметрами. З графіків при частоті 10 Гц видно суттєве коливання усіх величин.

При цьому вони діють в протифазі, що направлено на вирівнювання навантаження. В зв'язку з тим, що потужності двигунів транспортної установки вибрані різної потужності (7,5 і 15 кВт), то синхронізація відбувається на швидкостях дещо відрізняючихся одна від другої. Це дозволяє зробити висновок про те, що двигути повинні бути однакової потужності. З графіків можна зробити висновок про те що, при однакових потужностях двигунів синхронізація досягається повністю. Особливо це помітно по графіках моментів, які знаходяться в протифазі .

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.