

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Управління енергетичними та економічними процесами»

Кафедра «Електротехніка та електромеханіка»

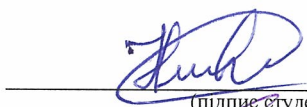
ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕТЕМ
 /Андрій МУХА/
(підпис)

Дата 20.12.23

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра

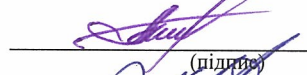
на тему: «Дослідження енергетичних показників електроприводу
переміщення мостового крану»
за освітньою програмою: «Енергетичні та електромеханічні системи на
транспорті»
зі спеціальності: «141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

Виконав: студент
групи «ЕЕ2221»


(підпис студента)

/Назар СІВАК/
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:


(підпис)

/доц. Олексій БАЛІЙЧУК/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:


(підпис)

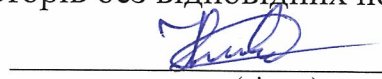
/доц. Оксана КАРЗОВА/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

_____	_____	//
(назва розділу)	(підпис)	(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)
_____	_____	//
(назва розділу)	(підпис)	(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)
_____	_____	//
(назва розділу)	(підпис)	(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)
_____	_____	//
(назва розділу)	(підпис)	(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

Дніпро – 2023 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty «Management of energy and economic processes»

Department «Electrical engineering and electromechanics»

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic: «Research of the energy indicators of the electric drive of the movement of the overhead crane»

according to educational curriculum «Energy and electromechanical systems in transport»

in the Speciality: «141 Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics»

Done by the student of the group EE2221:

/Nazar SIVAK/

Scientific Supervisor:

/Oleksii BALIICHUK/

Normative controller:

/Oksana KARZOVA/

Supervisors

	//
(Chapter title heading)	(position, name, surname)
	//
(Chapter title heading)	(position, name, surname)
	//
(Chapter title heading)	(position, name, surname)
	//
(Chapter title heading)	(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Факультет «Управління енергетичними та економічними процесами»

Кафедра: «Електротехніка та електромеханіка»

Рівень вищої освіти: магістр

Освітня програма: «Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті»

Спеціальність: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра
студенту Сівак Назар Геннадійович

1. Тема роботи: «Дослідження енергетичних показників електроприводу переміщення мостового крану»

Керівник роботи: Балійчук Олексій Юрійович, доцент
затверджені наказом № 56 ст від 18.01.2023

2. Строк подання студентом роботи: 01.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Кінематична схема електроприводу мостового крану, методи і засоби імітаційного моделювання електромеханічних систем

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: Опис кінематичної схеми електроприводу переміщення мостового крану. Характеристика технологічного процесу переміщення мостового крану. Формулювання вихідних даних дослідження

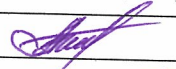
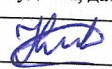
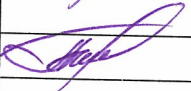
4.2 Основна частина: Створення і налаштування моделі електроприводу переміщення мостового крану для отримання енергетичних показників в динамічних режимах. Аналіз отриманих результатів моделювання

4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища: Охорона праці та безпека при надзвичайних ситуаціях

4.4 Економічна частина: -

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Огляд видів кінематичних схем механізму переміщення мостового крану. 2. Механізм переміщення мостового крану з роздільним однодвигунним приводом. 3. Модель електроприводу переміщення мостового крану. 4. Представлення і аналіз отриманих результатів.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Основна частина	Балійчук О.Ю., доцент		
Охорона праці та безпека при НС	Балійчук О.Ю., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	13.11.2023	5%
2	Розділ 1. Опис кінематичної схеми електроприводу переміщення мостового крану та характеристика його роботи	04.12.2023	10%
3	Розділ 2. Створення і налаштування моделі електроприводу переміщення мостового крану для отримання енергетичних показників в динамічних режимах роботи	15.12.2023	40%
4	Розділ 3. Результати моделювання	24.12.2023	30%
5	Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	03.01.2024	10%
6	Загальні висновки і рекомендації	05.01.2024	5%
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	08.01.2024	100%
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	24.01.2024	

Студент



(підпис)

Назар СІВАК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

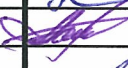
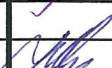


(підпис)

доц. Олексій БАЛІЙЧУК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

№ ряд ка	Формат	Позначення	Назва	Кільк. арк.	№ екз.	Прим
1			<u>Документація загальна</u>			
2			Заново розроблена			
3	A4	7.141.180096.ПЗ	Пояснювальна записка	58		
4						
5			Запозичена			
6						
7			<u>Графічна частина</u>			
8			Заново розроблена			
9	A4	7.141.180096.01	Огляд видів кінематичних схем			
10			механізму переміщення	1		
11			мостового крану			
12	A4	7.141.180096.02	Механізм переміщення			
13			мостового крану з роздільним	1		
14			одноривунним приводом			
15	A4	7.141.180096.03	Модель електроприводу	1		
16			переміщення мостового крану			
17	A4	7.141.180096.04	Представлення і аналіз	1		
18			отриманих результатів			
19						
20						
21			Запозичена			
22						
23			<u>Електронна частина</u>			
24						

					7.141.180096.ВР		
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Відомість кваліфікаційної роботи		
Розробив.	Сівак Н.Г.			20.12.23			
Керівник	Балійчук О.Ю.			20.12.23			
Консульт							
Н. Контр.	Карзова О.О.			20.12			
Зав.кафед.	Муха А.М.			20.12	Лім.		
					Арк.		
					Акрушів		
					5		
					58		
					МОН України. УДУНТ		
					Кафедра ЕТЕМ,		
					група ЕЕ2221		

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра на тему:
«Дослідження енергетичних показників електроприводу переміщення мостового крану»

58 с., 24 рис., 1 табл., 1 додаток, 17 джерел.

Об'єкт розробки – тахограма розгону і часові залежності $I = f(t)$, $P = f(t)$ та $Q = f(t)$ електроприводу переміщення мостового крану при реостатному пуску.

Мета роботи – створення структурної математичної моделі асинхронного електропривода з фазним двигуном з метою дослідження його енергетичних показників в режимі реостатного пуску.

Метод дослідження та апаратура – метод структурного імітаційного моделювання в системі MatLab Simulink.

У першому розділі проведено аналіз існуючих кінематичних схем приводів переміщення мостових кранів. Описано принципову схему керування однодвигунним електроприводом за допомогою кулачкового контролера.

Другий розділ присвячено характеристиці методів математичного моделювання електромеханічних систем з асинхронними двигунами, описано обмеження і припущення, які використовуються при моделюванні, описано математичну структурну модель електропривода переміщення мостового крану та ідентифіковано параметри досліджуваного привода.

У третьому розділі представлено результати моделювання у вигляді тахограми розгону і часових залежностей $I = f(t)$, $P = f(t)$ та $Q = f(t)$ електроприводу.

Четвертий розділ містить рекомендації з охорони праці та безпеки при надзвичайних ситуаціях.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОСТОВИЙ КРАН, АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, РЕОСТАТНИЙ ПУСК, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ПОТУЖНІСТЬ.

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ОПИС КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВОГО КРАНУ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ЙОГО РОБОТИ	12
1.1 Різновидності кінематичних схем механізмів пересування мостових кранів	12
1.2 Кінематична схема механізму переміщення мостового крану з роздільним приводом. Вимоги до електроприводу і характеристика його роботи	15
1.3 Електропривод механізму переміщення мостового крану	16
1.4 Висновки до розділу	19
РОЗДІЛ 2 СТВОРЕННЯ І НАЛАШТУВАННЯ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВОГО КРАНУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ В ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ.....	21
2.1 Загальна характеристика та класифікація математичних моделей асинхронного двигуна	21
2.2 Припущення при розробці математичних моделей асинхронних двигунів	24
2.3 Моделювання асинхронних машин в системі програмування Matlab.....	24
2.4 SPS-блоки моделей асинхронної машини	25
2.5 Опис SPS-моделі реостатного пуску асинхронного Електроприводу та налаштування параметрів блоків.....	29
2.6 Ідентифікація параметрів асинхронного двигуна.....	34

					Пояснювальна записка				
					Дослідження енергетичних показників електроприводу переміщення мостового крану	Літ.		Маса	Масштаб
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				1	1 : 1
Розроб.		Сівак Н.Г.		20.12.23					
Перевір.		Балійчук О.Ю.		20.12.23					
Т. Контр.						Арк.	7	Аркушів	58
Реценз.					7.141.180096.ПЗ	МОН України, УДУНТ Кафедра ЕТЕМ Група ЕЕ2221			
Н. Контр.		Карзова О.О.		20.12.23					
Затверд.		Муха А.М.		20.12.23					

2.7 Висновки до розділу	37
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ	39
3.1 Тахограма розгону електроприводу	39
3.2 Часові залежності струму статора та споживаних активної і реактивної потужностей	40
3.3 Висновки до розділу	43
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	44
4.1 Вимоги безпеки до електрообладнання мостових кранів.....	44
4.2 Організація проведення технічного огляду мостових кранів.....	48
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	51
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	53
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55
СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ.....	57
ДОДАТОК А.....	58

ВСТУП

Здійснення вантажно-розвантажувальних робіт, виключення важкої ручної праці при виконанні основних і допоміжних виробничих операцій, комплексна механізація і автоматизація виробничих процесів на промислових підприємствах є немислимими без використання широкого комплексу вантажопідйомних машин.

Сучасні поточні технологічні й автоматизовані лінії, вантажно-розвантажувальні операції на складах органічно пов'язані із застосуванням різноманітних типів підйомно-транспортних машин і механізмів. Ці машини забезпечують безперервність і ритмічність виробничих процесів. Застосуванням даного обладнання визначається ефективність сучасного виробництва в цілому та його енергоефективність та технологічність зокрема.

Вантажопідйомною машиною називається машина періодичної дії для транспортування на незначну відстань різного роду вантажів: штучних, сипучих і т ін.

Вантажопідйомні машини характеризуються наступними основними ознаками: наявністю механізму підйому вантажу, циклічністю, відсутністю постійних місць завантаження і розвантаження. Підйомний кран – це складна вантажопідйомна машина, яка характеризується можливістю надання різних рухів вантажів по тій чи іншій траєкторії [1].

Мостові крани відносяться до вантажопідйомних машин загального призначення і їх основними механізмами є механізми підйому і пересування.

Мостові крани працюють при циклічному навантаженні, при цьому перехідні режими руху механізму переміщення крана займають значну долю від всієї тривалості робочого циклу.

Загальна кількість мостових кранів на промислових об'єктах в Дніпропетровській області за даними Держнаглядохоронпраці України становить 5876 шт [2].

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Високий ККД, компактність, невелика вартість, задовільні експлуатаційні характеристики та висока надійність обумовлює застосування в якості приводу основних механізмів мостових кранів електричних двигунів.

Сучасний електропривод здатний задовольнити будь-які вимоги стосовно силового обладнання. Для нього характерним є дуже великий діапазон потужностей та робочих швидкостей, регулювання швидкостей може бути ступінчастим чи плавним. Є можливість програмного регулювання швидкостей за дуже складними законами, автоматичного регулювання за зворотнім зв'язком. Є змога забезпечити запобіжні властивості електроприводу [1].

Однак, з метою виконання головного критерію щодо конструкції чи проектних параметрів, а саме – мінімізації зведених витрат на транспортування однієї тонни вантажу за термін служби вантажопідйомної машини, більшість нині діючих кранових електроприводів не мають в своїй структурі складних і дороговартісних компонентів. Перевага надається досить простим та надійним типам приводів, що задовольняють переважну більшість специфічних вимог до механізмів підйому та переміщення.

Асинхронні електродвигуни становлять основу всього парку двигунів підйомно-транспортних машин завдяки таким незаперечним перевагам, як висока надійність, простота конструкції та експлуатації [1].

Широке застосування в механізмах мостових кранів знайшли асинхронні двигуни краново-металургійної серії із короткозамкненим ротором. Ці двигуни, на відміну від загальнопромислових серій, здатні витримувати більші теплові перевантаження, працювати в режимі частих вмикань, який характеризується високим тепловиділенням. Загальнопромислові двигуни мають обмежену можливість використання в кранових механізмах. Зокрема, ці двигуни успішно використовуються в механізмах пересування мостових кранів.

Електроприводи основних механізмів кранів обладнано потужними електричними асинхронними двигунами з фазовими роторами. Введенням в

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контур обмотки ротора додаткового опору досягається зменшення їх теплової напруженості.

Промисловий електропривод споживає за різними оцінками 60...70 % від усієї виробленої електроенергії. У зв'язку із зростанням цін на електроенергії та обмеженими можливостями збільшення потужності енергогенеруючих установок проблема зниження електроспоживання є актуальною задачею.

Експлуатаційна якість роботи кранових механізмів, їх продуктивність, а також проблема енергозбереження в значній мірі залежить від електропривода [4].

Важливим резервом підвищення ефективності роботи крана є оптимізація режимів руху механізму переміщення крана. Це дозволяє знизити динамічні навантаження на елементи конструкції, зменшити енергетичні витрати на приведення механізму у рух, підвищити зручність та безпечність експлуатації крана у цілому. Таким чином, для механізму переміщення крана необхідно провести синтез законів руху, який би забезпечував мінімізацію небажаних показників та максимізацію бажаних.

Варто відзначити, що продуктивність, надійність, а також зручність експлуатації вантажопідйомних кранів багато в чому залежать від коливань підвішеного на гнучкому підвісі вантажу. Усунення коливань вантажу та інших елементів конструкції крана (кранової балки, елементів приводу) дозволяє забезпечити роботу механізму переміщення крана з меншими навантаженнями, що позитивно впливає на довговічність та надійність їх елементів [3].

Оцінку енергетичних показників електроприводу переміщення мостового крану пропонується здійснювати на основі визначення кількості електричної енергії, яка буде споживатися електричним двигуном за період робочого циклу.

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ОПИС КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВОГО КРАНУ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ЙОГО РОБОТИ

1.1 Різновидності кінематичних схем механізмів пересування мостових кранів

В залежності від типу приводу розрізняють механізми пересування ручні і механічні. На мостових кранах застосовують механічні механізми переміщення крану.

В залежності від місця розташування приводу розрізняють: механізми переміщення, привод яких розташовано на об'єкті, що переміщується, і механізми переміщення, де привод розташовується поза переміщуваним об'єктом.

В залежності від конструкції основного елемента, який забезпечує рух, механізми переміщення кранів поділяються на: колісні, гусеничні, крокуючі [1]. На мостових кранах використовуються колісні механізми переміщення.

1.1.1 Механізм переміщення мостового крану із тихохідним валом та центральним приводом.

На рис. 1.1 показано кінематичну схему механізму переміщення із тихохідним валом та центральним приводом.

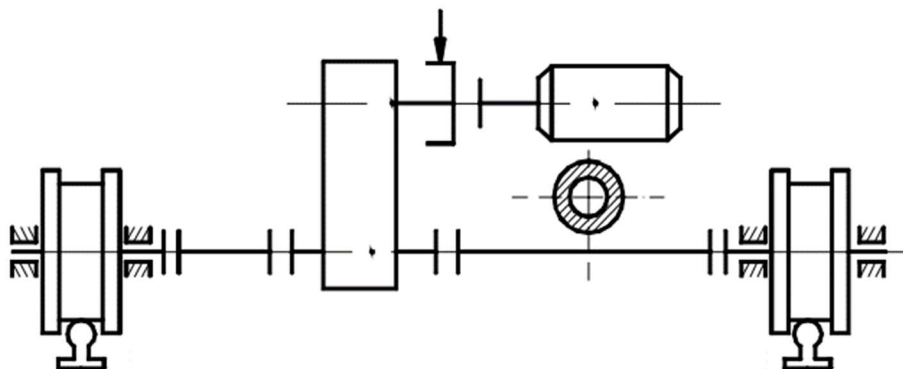


Рисунок 1.1 – Кінематична схема механізму переміщення з тихохідним
ВАЛОМ

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Такий вид приводу відрізняється надійністю роботи, проте має суттєвий недолік у вигляді важкого трансмісійного валу. Для його полегшення використовують трубчаті вали, такий вид приводу досить часто застосовують при довжині прольоту крану до 16 м.

1.1.2 Механізм переміщення мостового крану із швидкохідним валом.

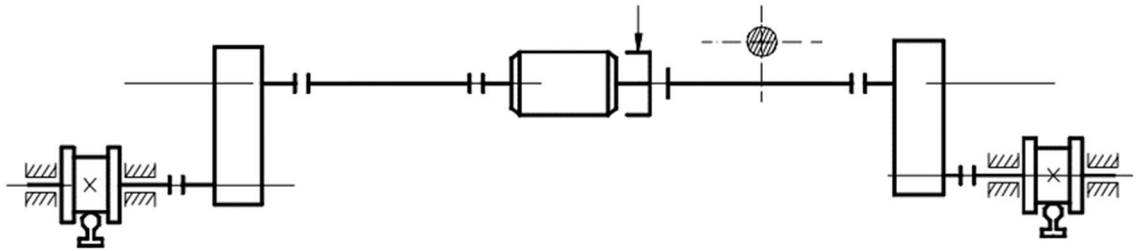


Рисунок 1.2 – Кінематична схема механізму переміщення із швидкохідним валом

На рис. 1.2 показано схему механізму переміщення мостового крану із швидкохідним валом. Перевагами такої схеми є мала вага трансмісійного валу, а, отже і всього механізму, блочна конструкція, легкість монтажу і демонтажу. Проте такий тип механізму також володіє рядом недоліків, зокрема, швидкохідна частина складна в монтажі через необхідність її ретельного центрування, а, отже, робота такого компонуального рішення ненадійна.

1.1.3 Механізм переміщення мостового крану із середньоходовим валом

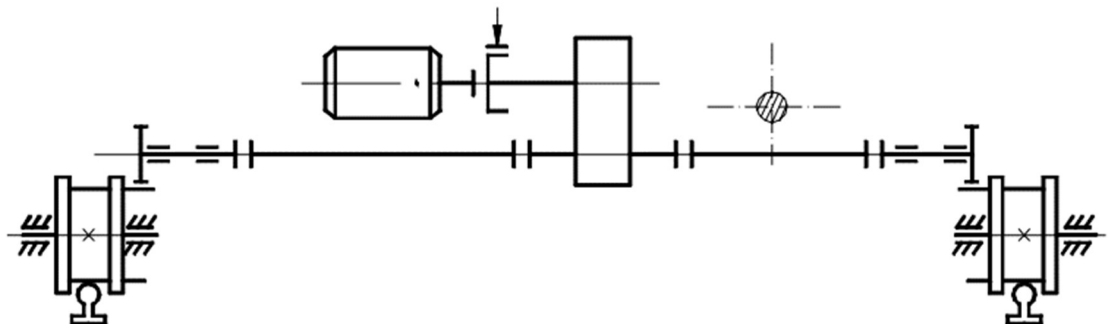


Рисунок 1.3 – Кінематична схема механізму переміщення із середньоходовим валом

Перевагами схеми, показаної на рис. 1.3. є: зручність застосування для мостового крану з решітчастим мостом, простота конструкції, надійність у роботі. Ходове колесо може стежити за рейкою, зрушуючись вправо і вліво. Така компоновка забезпечує надійність і збільшує термін служби ходової частини крану, зокрема коліс. Проте недоліком такої схеми є наявність відкритої зубчатої пари і, як наслідок, її швидкий знос; також ускладнюється монтаж і демонтаж ходових коліс.

1.1.4 Механізм переміщення мостового крану із роздільним приводом

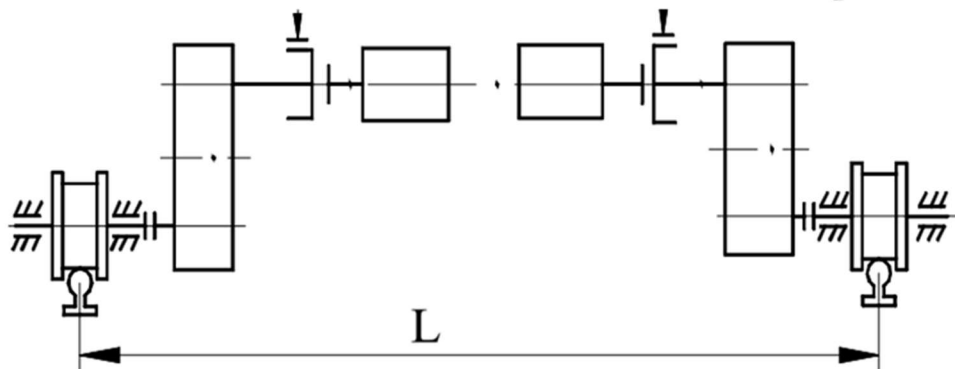


Рисунок 1.4 – Схема роздільного приводу

На рис. 1.4 показано кінематичну схему роздільного приводу, який в останні роки набув широкого застосування. Синхронізації між двигунами немає, тому привод добре працює при

$$\frac{L}{B} \leq 6,$$

де B - база крана.

Якщо показане відношення більше 6, то схема працює погано.

Перевагами даної схеми є мала вага, блочність конструкції, легкість монтажу і демонтажу, зменшення бічних навантажень на рейки при переміщенні крана.

Недоліки – необхідність мати два приводи на одному крані, що збільшує вартість конструкції в цілому, невиконання вимоги стосовно продовження термінів служби ходових коліс через те, що ця конструкція сприяє тривалому

навантаженню та підвищенню сил навантаження ходових коліс і кранових рейок при перекосах кранів, що знижує термін їхньої служби [1].

1.2 Кінематична схема механізму переміщення мостового крану з роздільним приводом. Вимоги до електроприводу і характеристика його роботи

Кінематична схема дводвигунного електропривода показано на рис. 1.4, але на практиці існує велика кількість мостових кранів із однодвигунним механізмом. Кінематичну схему такого механізму показано на рис. 1.5.

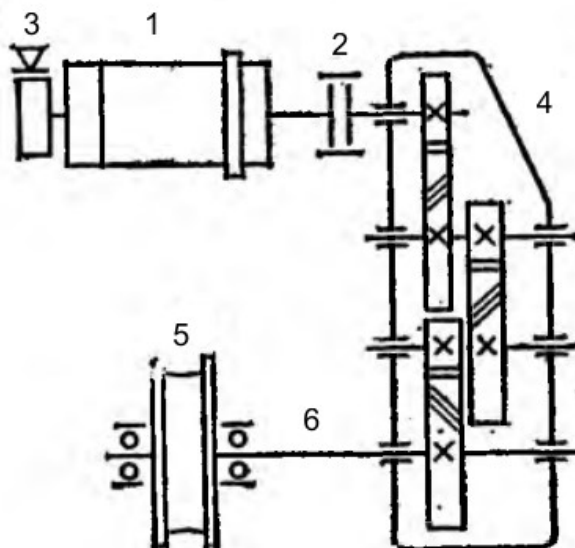


Рисунок 1.5 – Кінематична схема механізму переміщення мостового крану з роздільним однодвигунним приводом

У кінематичній схемі на рис. 1.5 обертальний рух від двигуна 1 через муфту 2 і гальмо 3 передається до редуктора 4, який приводить в рух трансмісійний вал 6, до якого прикріплено ходові колеса 5.

Режими роботи вантажопідйомних машин в частині тривалості робочих циклів, а також тривалості увімкнення окремих механізмів обумовлюються вимогами діючих нормативно-правових документів, зокрема [5, 6].

Опираючись на вимоги нормативних документів відзначимо, що для

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

привода переміщення мостового крану, який працює в умовах цеху промислового підприємства із середньою інтенсивністю технологічного процесу характерним є повторно-короткочасний режим роботи. Тривалість увімкнення становить 40%, нормована середньозмінна кількість вмикань за годину 120, розрахункова тривалість роботи впродовж року – 1000 год, середньодобова тривалість роботи механізму крану 3,5 год при цьому тривалість роботи на малих і установчих швидкостях становить 25% середньодобової тривалості роботи крану.

Серед іншого варто також відзначити ступінчате регулювання швидкості, значне перевантаження, часте реверсування, електричне гальмування, значні вібрації, поштовхи, часті пуски, в тому числі пуски під навантаженням і т.д.

Тому, зважаючи на вище перераховані фактори, можна стверджувати, що умови роботи кранового електрообладнання доволі важкі, крім того при розташуванні крана під дахом цеху електрообладнання зазнає впливу високої температури, диму, агресивних газів, пилу.

Умови роботи кранового електрообладнання висувають до електрообладнання ряд специфічних вимог, основними з яких є [1, 3, 4]:

- висока надійність;
- безперебійність роботи;
- висока механічна міцність;
- безпечне обслуговування, простота експлуатації і ремонту;
- забезпечення плавного пуску і регулювання швидкості (в діапазоні 3:1);
- підтримка заданої швидкості і заданого прискорення і уповільнення незалежно від швидкості перемикання контактів командоконтролера;
- реверсування.

1.3 Електропривод механізму переміщення мостового крану

Для приведення в рух механізму переміщення мостового крану використовується електропривод змінного струму з асинхронним фазним

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

двигуном і гальмуванням противмиканням. Діапазон потужностей, які охоплює такого роду електропривод з керуванням від кулачкового контролера становить 1,7...30 кВт і збільшується до 45 кВт при додаванні в схему контакторного реверсора. Методи регулювання, які застосовуються в такому електроприводі, визначають їх невисокі регульовальні та енергетичні властивості. Характерними особливостями для систем такого типу є відсутність стійких посадкових і проміжних швидкостей, а також великі втрати в пуско-гальмівних резисторах. Діапазон регулювання такого електропривода не перевищує 3:1, а еквівалентний коефіцієнт корисної дії за робочий цикл становить близько 65% [7].

Схему електропривода з кулачковим контролером ККТ61 представлено на рис. 1.6.

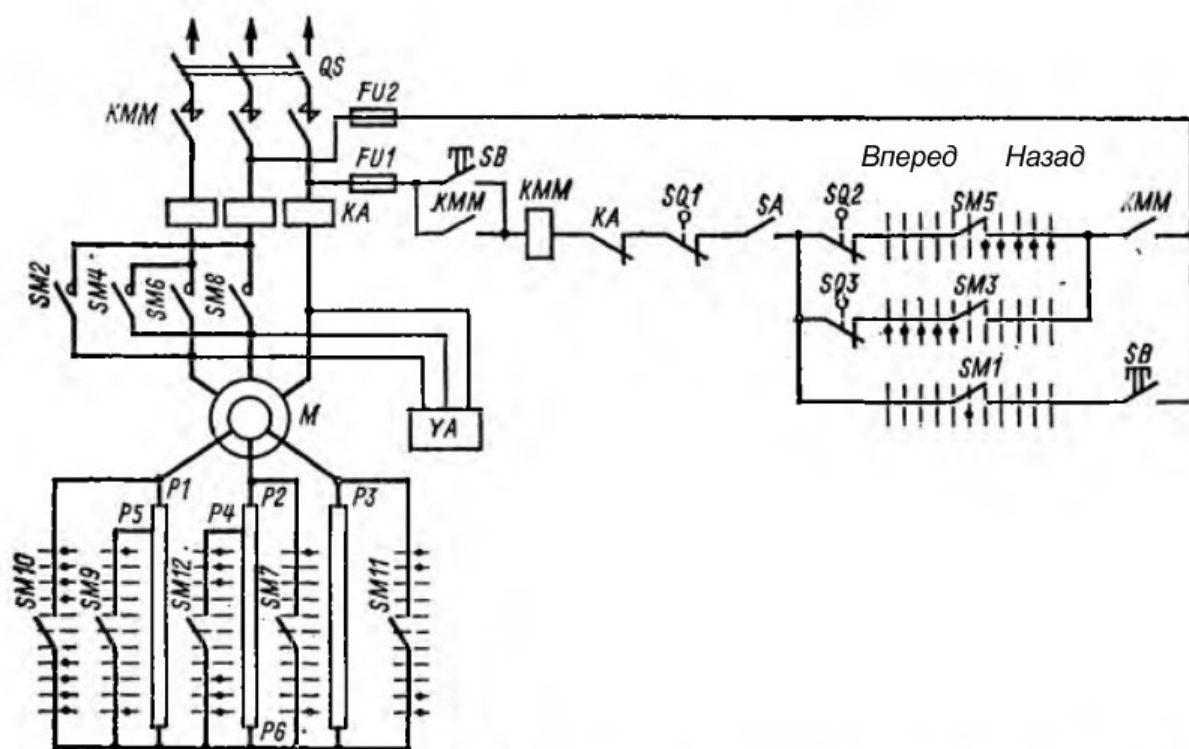


Рисунок 1.6 – Схема однодвигунного електропривода механізму переміщення мостового крану з кулачковим контролером ККТ61

Якісно механічні характеристики електропривода з кулачковим контролером показано на рис. 1.7.

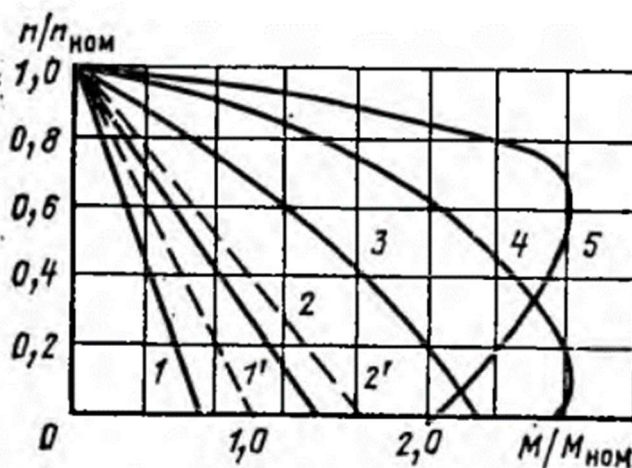


Рисунок 1.7 – Механічні характеристики електропривода за схемою на рис. 1.6

При побудові механічних характеристик, розглянутого електропривода важливим питанням є вибір значення початкового пускового моменту (характеристики 1 та 1'). Початковий пусковий момент повинен становити приблизно $0,7M_{ном}$. На рис. 1.7 в якості номінального моменту прийнято момент при $TB = 40\%$. Тоді в режимі $TB = 25\%$ першій позицій контролера буде відповідати характеристика 1' з пусковим моментом, що дорівнює $M_{пуск} = M_{ном}$ при $TB = 40\%$, відповідно другій позиції – характеристика 2'. Для забезпечення цього пускорегулювальні резистори мають відпайки, які дозволяють шунтувати частину опору останньої ступені.

На схемі, яку представлено на рис. 1.6 контакти SM2, SM4, SM6 та SM8 контролера виконують реверс двигуна, контакти SM7, SM9...SM12 – комутують ступені резисторів, контакти SM1, SM3 та SM5 використовуються в колах захисту. Одночасно з двигуном вмикається котушка гальма YA.

Захист електропривода виконується захисною панеллю, на якій знаходяться лінійний контактор КММ, силовий рубильник QS, запобіжники FU1, FU2 і блок максимальних реле КА. Кінцевий захист забезпечується вимикачами SQ2 та SQ3. В коло котушки контактора КММ увімкнено

контакти кнопки вмикання SB, аварійного вимикача SA і контакти блокування люка SQ1 [7].

На сьогоднішній день основним типом регульованого електроприводу в сучасних кранах є частотно-регульований асинхронний електропривод побудований за системою «перетворювач частоти – асинхронний двигун». Поряд із цим видом електроприводу для вирішення окремих технологічних задач використовують систему «перетворювач напруги – асинхронний двигун».

Однак, в експлуатації знаходиться велика кількість електроприводів на основі асинхронних двигунів з фазовим ротором, які регулюються за допомогою зміни додаткових опорів в роторних ланцюгах, тобто являють собою системи реостатного регулювання «реостатне регулювання – асинхронний двигун»[4].

Регульований електропривод є потужною енергосиловою основою, яка забезпечує механізми крана потрібною механічною енергією. Відомо, що промисловий електропривод споживає за різними оцінками від 60% до 70% всієї виробленої електроенергії. Подальше зростання вартості електроенергії, відсутність можливості швидкого нарощення об'ємів її генерації робить задачу по дослідженню енергетичних показників та енергоефективності промислових електроприводів загалом, та механізмів мостових кранів зокрема з метою вироблення концепції дій щодо зниження енергоспоживання актуальною дослідницькою задачею.

1.4 Висновки до розділу

Проаналізовано основні види кінематичних схем приводів, що використовуються в механізмах переміщення мостових кранів. Встановлено, що наразі в експлуатації в основному переважають роздільні однодвигунні приводи на основі асинхронних електродвигунів із фазним ротором, регулювання яких здійснюється за допомогою реостатів в колі обмотки

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ротора, а в основі принципової схеми такого електроприводу лежить кулачковий контролер.

З урахуванням сучасних умов, які складаються в енергосистемі, а також вважаючи на загальні тенденції стосовно підвищення енергоефективності промислових електроприводів встановлено, що дослідження енергоефективності кранових електроприводів в цілому, та механізмів переміщення мостового крану зокрема є актуальною дослідницькою задачею.

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 СТВОРЕННЯ І НАЛАШТУВАННЯ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВОГО КРАНУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ В ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ

2.1 Загальна характеристика та класифікація математичних моделей асинхронного двигуна

Питання математичного опису і моделювання асинхронних машин часто розглядається спільно з питаннями аналізу та синтезу різноманітних систем автоматизованого електроприводу на базі цих двигунів. Відповідно й при створенні моделі асинхронного електроприводу для механізму переміщення мостового крану спершу розглянемо саме моделювання асинхронного двигуна, як основи такого електроприводу, як вже було сказано раніше.

Трифазний асинхронний двигун з точки зору теорії автоматичного керування є нелінійним багатомірним об'єктом із досить складною структурою. При його математичному описі величезне значення має коректність прийнятих у кожному конкретному випадку припущень. Різноманітність математичних моделей АД пов'язана зі способом живлення двигуна, з особливостями його конструкції (фазний ротор, біляча клітка, подвійна біляча клітка), зі зробленими при математичному описі припущеннями, із системою координат, у якій виконано його математичний опис, зі складом вхідних і вихідних сигналів моделі та із системою прийнятих відносних величин [8].

Моделі асинхронних двигунів, для яких вхідними сигналами є напруга статора називають напруговими, а, відповідно, моделі, де вхідним сигналом є струм статора – струмовими. Перший тип моделей використовується при моделюванні двигунів, які живляться від джерела змінної ЕРС, а другий – при живленні двигунів від джерела змінного струму [8]. Очевидно, зважаючи на принципову схему електропривода переміщення мостового крану, що в

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

нашому дослідженні буде використана модель, яка побудована за першим типом, тобто – напругова модель.

Залежно від прийнятої системи координат моделі асинхронних двигунів розподіляються на моделі у природних трифазних системах координат статора і ротора, моделі у двофазних ортогональних системах координат та моделі з використанням ефективних або амплітудних значень електромагнітних сигналів (умовно названі однофазними).

Характерними особливостями однофазних моделей є певною мірою точне відображення статичних властивостей, спрощене відображення динамічних властивостей та відсутність інформації про миттєве значення фазних сигналів. З урахуванням цього такий вид моделей підходить для аналізу двигунів, що працюють в тривалому режимі роботи або при малих діапазонах регулювання швидкості, систем «тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун», асинхронно-вентильних каскадів, двигунів з реостатним пуском. Ще більш лінеаризовані однофазні моделі знаходять своє застосування при дослідженні технологічних процесів, які протікають значно повільніше, ніж електромагнітні процеси у двигуні [8].

Для трифазних моделей у природних фазних координатах статора та ротора характерним є високий порядок системи диференціальних рівнянь, що описують двигун, наявність в моделі гармонічних коефіцієнтів та необхідність вирішення чисельного інтегрування системи лінійних рівнянь зі змінними коефіцієнтами для визначення струмів статора і ротора. Названі недоліки компенсуються можливістю дослідження різних несиметричних режимів [8].

Двофазні моделі розподіляються між собою залежно від швидкості обертання системи координат та її орієнтації, а також від наявності в них тих, чи інших сигналів. Двофазні моделі створюються за допомогою розкладання просторових векторів фазних величин на ортогональні осі відповідних систем координат, при цьому одна з осей вважається дійсною, інша – уявною.

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Такі ортогональні системи координат розподіляють на нерухомі (стаціонарні) та обертові. Системи координат, що обертаються із кутовою швидкістю, яка дорівнює кутовій частоті джерела живлення $\omega_k = 2\pi f_s$ називають синхронними.

За орієнтацією ортогональні системи поділяються на системи, прив'язані до однієї з електричних осей статора або ротора та прив'язані до будь-якого з узагальнених векторів фазних величин асинхронного двигуна.

Моделі асинхронного двигуна в синхронних обертових системах координат статора зручно використовувати для синтезу та дослідження систем скалярного частотного керування та пристроїв плавного пуску асинхронних двигунів, тому що вхідними сигналами таких моделей є частота та амплітуда напруги або струму статора.

Моделі асинхронних двигунів в обертових системах координат, орієнтованих за векторами потокозчеплення, використовують для синтезу та аналізу різних систем векторного керування. Усі фазні величини в таких системах координат втрачають свій періодичний характер, що призводить до спрощення синтезу регуляторів.

Двофазні моделі у порівнянні з трифазними мають менший порядок і більш прості залежності для розрахунку струмів і моментів. Однак вони не можуть застосовуватися для дослідження несиметричних режимів.

Всі двофазні моделі отримують із трифазних методом еквівалентних координатних перетворень, що може свідчити про те, що всі вони можуть в однакових умовах при правильно обраних методах і параметрах розрахунку перехідних процесів давати практично однакові результати. Відмінності в чисельних даних є непомітними при візуалізації перехідних процесів.

Вибір системи координат та конфігурації моделі, тобто складу вхідних та вихідних сигналів, залежить від структури системи керування, зокрема від сукупності сигналів, за допомогою яких побудовані зворотні зв'язки, та від особливостей джерела живлення двигуна [8].

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Припущення при розробці математичних моделей асинхронних двигунів

При створенні математичних моделей на першому етапі їх створення зазвичай роблять ряд припущень, зокрема:

1. Намагнічувальні сили обмоток розподілені синусоїдально вздовж кола рівномірного повітряного зазору, тобто відсутні вищі гармоніки магнітного потоку;
2. Втрати та насичення магнітних кіл у сталі статора та ротора відсутні;
3. Обмотки статора та ротора симетричні, тобто фазні обмотки мають однакову кількість витків;
4. Комплексні опори обмоток не мають ємнісних складових;
5. Параметри обмоток ротора приведені до статора;
6. Відсутнє явище витиснення струму з пазів;
7. Джерело живлення є ідеальним джерелом ЕРС або струму.

В залежності від напрямку дослідження, для якої створюється дана модель, частина спрощень уточнюється та вводиться до структури моделі [8].

2.3 Моделювання асинхронних машин в системі програмування Matlab

Система програмування Matlab містить значну кількість додаткових пакетів програм, які можуть виконуватися в даному середовищі. Одним з таких додатків є програма структурного математичного моделювання Simulink, де модель розробляється на основі математичного опису досліджуваного об'єкту і є його графічним відображенням. Проте процес математичного моделювання різних фізичних процесів можна ще більше спростити, скориставшись підпорядкованими додатку Simulink бібліотеками віртуального фізичного моделювання SimScare, в яких від користувача не вимагається знання математичного опису досліджуваного процесу.

В останніх версіях SimScare зокрема блоки електричних машин набули ще більшої гнучкості, наприклад, завдяки можливості приєднання до них

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

блоків, що моделюють механічні системи і забезпечення необхідних, прихованих від користувача, змін в математичних моделях [8].

До складу SimScape входять бібліотеки фундаментальних процесів Foundation Library (Electrical, Hydraulic, Magnetic, Mechanical, Pneumatic, Thermal), SimElectronics, SimMechanics, SimHydraulics, SimDriverline та SimPowerSystems.

Блоки бібліотеки SimPowerSystems подаються у вигляді позначень відповідних елементів на принципових електричних схемах. При з'єднанні між собою ці блоки утворюють електричні кола. Математичний опис окремих елементів приховується від користувача, що створює ілюзію віртуального фізичного моделювання. Проте, блоки SimPowerSystems (SPS-блоки) створені на основі математичного опису, складеного розробниками пакету, очевидно, що із певними припущеннями.

SPS-блоки мають ряд наступних особливостей:

1) їх виходи та входи не мають напрямку передачі сигналу, бо вони є еквівалентами електричних контактів;

2) лінії зв'язку між блоками є моделями (ідеальних без внутрішнього опору) електричних проводів, якими струм тече в обох напрямках;

3) SPS-блоки та S-блоки не можуть з'єднуватися один з одним безпосередньо; для цього потрібно використовувати керовані джерела енергії при напрямку зв'язку від SPS до S-блоку, а в зворотньому напрямку – через блок Measurements;

4) в моделі, що містить в собі блоки SPS, обов'язково має бути присутнім один з вимірювальних SPS-приладів;

5) в SPS-моделі має бути встановлено блок powergui [8].

2.4 SPS-блоки моделей асинхронної машини

В розділі Machines бібліотеки SimPowerSystems є два блоки, якими моделюється асинхронна машина, це блок Asynchronous Machine SI Units

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

(асинхронна машина в абсолютних одиницях системи СІ (див. рис. 2.1) та Asynchronous Machine pu Units (асинхронна машина у відносних одиницях).

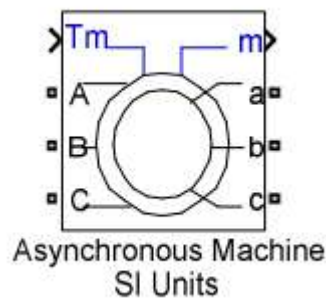


Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд блоку Asynchronous Machine SI Units з фазним ротором

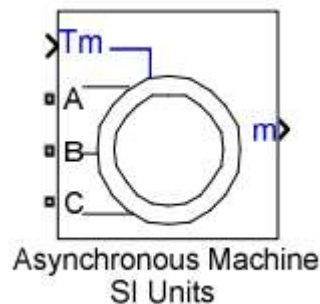


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд блоку Asynchronous Machine SI Units з короткозамкненим ротором та портом «момент навантаження»

Як можна побачити на рис. 2.1, блок має порти A, B, C та a, b, c, які відповідають електричним затискачам статора і ротора відповідно. Крім електричних роз'ємів модель має один механічний вхід (наприклад, T_m) та вимірювальний вихід, на який передається інформація про контрольовані величини асинхронної машини у вигляді вектора (m).

Визначним чинником по відношенню до зовнішнього вигляду блоку є налаштування його типу ротора та механічного входу, їх встановлюють за допомогою меню параметрів Rotor type та Mechanical input вкладки Configuration, як показано на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Вікно параметрів блоку Asynchronous Machine SI Units

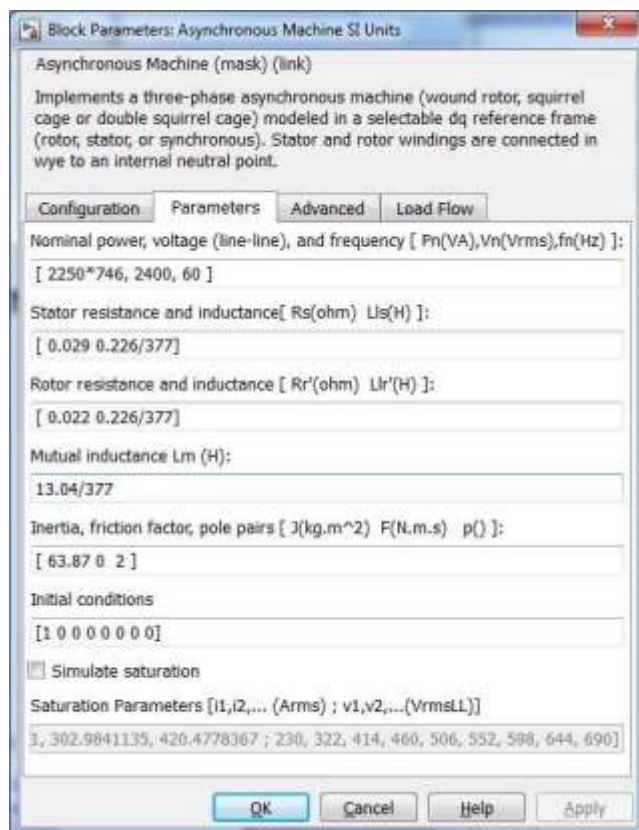


Рисунок 2.4 – Вкладка вводу параметрів блоку Asynchronous Machine SI Units

На рис. 2.4 показано зовнішній вигляд вкладки Parameters блоку налаштувань Asynchronous Machine SI Units, яка дозволяє встановлювати значення наступних параметрів асинхронного двигуна:

Nominal power P_n (VA) – номінальна потужність $P_{\text{ном}}$ (ВА);

Voltage (line-line) V_n - діюче (ефективне, середньоквадратичне) значення номінальної лінійної напруги $U_{\text{лн}}$ (В);

Frequency f_n (Hz) – номінальна частота живлячої напруги $f_{\text{ном}}$ (Гц);

Stator resistance R_s (Ohm) – активний опір фази статора R_1 (Ом);

Stator inductance Ll_s - індуктивність розсіяння фази статора $L_{1\sigma}$ (Гн);

Rotor resistance R'_r (Ohm) – активний опір фази ротора, приведений до статора R'_2 (Ом);

Rotor inductance Ll'_r - індуктивність розсіяння фази ротора, приведена до статора $L'_{2\sigma}$ (Гн);

Mutual inductance L_m (H) – головна взаємна індуктивність, L_m (Гн);

Inertia J (kg.m²) – момент інерції ротора J (кг · м²);

Friction factor F (N.m.s) – коефіцієнт в'язкого тертя;

Pole pairs p – кількість пар полюсів p ;

Initial conditions – початкові умови а координатами: ковзання, кутове положення ротора, амплітуди та фазові кути струмів фаз статора та ротора (за потреби);

Simulate saturation – при обранні цього параметру буде враховуватись ефект насичення магнітного кола відповідно до табличних даних залежності $U_s = f(I_s)$.

Для моделі Asynchronous Machine pu Units номінальні значення напруги, потужності і частоти задаються в абсолютних одиницях, решта – у відносних (в долях певної базової величини). У відповідних джерелах можна знайти вирази для обчислення параметрів асинхронних двигунів у відносних одиницях [8].

Так як в основі даного блоку лежить рівняння ідеалізованої еквівалентної двофазної машини, їй притаманні ті ж обмеження, що й для моделей асинхронних двигунів в ортогональних системах координат. Проте, така модель є найбільш зручною у використанні, якщо перед дослідженнями не ставиться задача врахування в результатах дослідження асиметрії асинхронного двигуна та зміни його параметрів в процесі роботи [8].

2.5 Опис SPS-моделі реостатного пуску асинхронного електроприводу та налаштування параметрів блоків

Як вже було показано раніше (див. розділ 1), для приводу механізму переміщення мостового крану використовується асинхронний електропривод, в основі якого лежить двигун із фазним ротором.

Відповідно до принципової схеми керування електроприводом, двигун запускається в три ступені. Тобто, пусковий реостат, тимчасово введений в коло обмотки ротора, має по три ступені для кожного напрямку руху механізму переміщення крану. По мірі розгону електроприводу ступені пускового реостату виводяться до моменту, коли обмотка двигуна повністю закорочується і він починає працювати на своїй природній механічній характеристиці.

Вилучення частини резисторів, включених в коло ротора, в загальному випадку може здійснюватися у функції швидкості, струму статора та часу і в такому випадку пуск асинхронного двигуна буде здійснюватися в автоматичному режимі. Однак, в даній застосованій схемі пуск відбувається в ручному режимі. Виведення частини пускового реостату відбувається перемиканням кулачкового контролера, відповідно до положення, що його встановлює машиніст мостового крану.

З урахуванням цього для дослідження енергетичних показників електроприводу переміщення мостового крану пропонується використовувати SPS-модель, структуру якої показано на рис. 2.5.

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

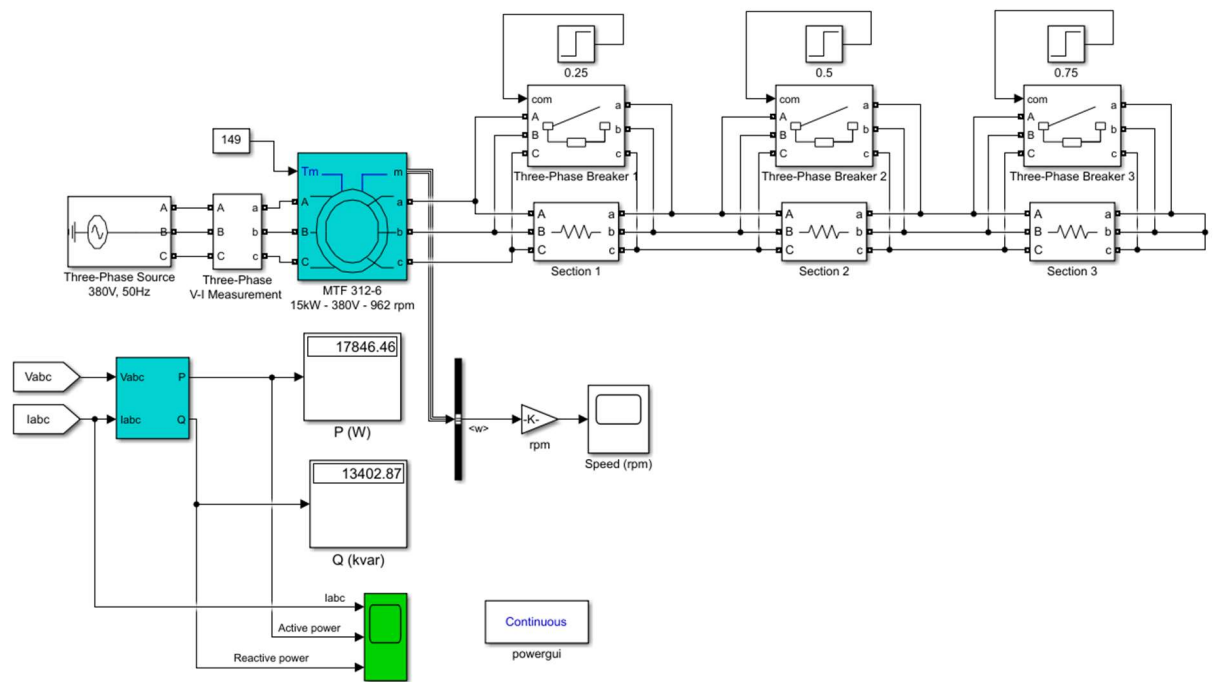


Рисунок 2.5 – SPS-модель для дослідження енергетичних показників при реостатному пуску асинхронного електроприводу

Живлення досліджуваного двигуна відбувається від блоку Three-Phase Source 380V, 50Hz. Цей блок є моделлю трифазного джерела напруги із можливістю налаштування внутрішніх параметрів, таких як внутрішній опір, внутрішня індуктивність та ін. Основними ж параметрами джерела, які налаштовуються, є фазна напруга джерела, фазовий зсув напруги в градусах та частота вихідної напруги. Налаштування блоку показано на рис. 2.6.

Блок Three-Phase V-I Measurement використовується в сукупності із блоком вимірювання потужності Power. Являє собою ідеальний вимірювач напруги і струму, який збирає вимірювані величини в локальну пам'ять програмного середовища в матрицю назвою, якої є ім'я присвоєне користувачем. На рис. 2.7 показано налаштування блоку Three-Phase V-I Measurement.

Блоки Section 1, Section 2, Section 3 є блоками, що моделюють секції пускового реостата. По суті це блок Three-Phase Parallel RLC Branch.

Block Parameters: Three-Phase Source 380V, 50Hz

Three-Phase Source (mask) (link)

Three-phase voltage source in series with RL branch.

Parameters Load Flow

Configuration: Yg

Source

☒ Specify internal voltages for each phase

Line-to-neutral voltages [Va Vb Vc] (Vrms) [380 380 380]/sqrt(3)

Phase angle of line-to-neutral voltages [phia phib phic] (deg) [0 -120 +120]

Frequency (Hz): 50

Impedance

☐ Internal ☐ Specify short-circuit level parameters

Source resistance (Ohms): 0.8929

Source inductance (H): 16.58e-3

Base voltage (Vrms ph-ph): 25e3

OK Cancel Help Apply

Рисунок 2.6 – Налаштування блоку Three-Phase Source 380V, 50Hz

Block Parameters: Three-Phase V-I Measurement

Three-Phase VI Measurement (mask) (link)

Ideal three-phase voltage and current measurements.

The block can output the voltages and currents in per unit values or in volts and amperes.

Parameters

Voltage measurement phase-to-ground

☒ Use a label

Signal label (use a From block to collect this signal)

Vabc

☐ Voltages in pu, based on peak value of nominal phase-to-ground voltage

Current measurement yes

☒ Use a label

Signal label (use a From block to collect this signal)

Iabc

☐ Currents in pu

OK Cancel Help Apply

Рисунок 2.7 – Налаштування блоку Three-Phase V-I Measurement

Налаштування блоків ідентичне і буде показано на рис. 2.8 на прикладі блоку Section 1.

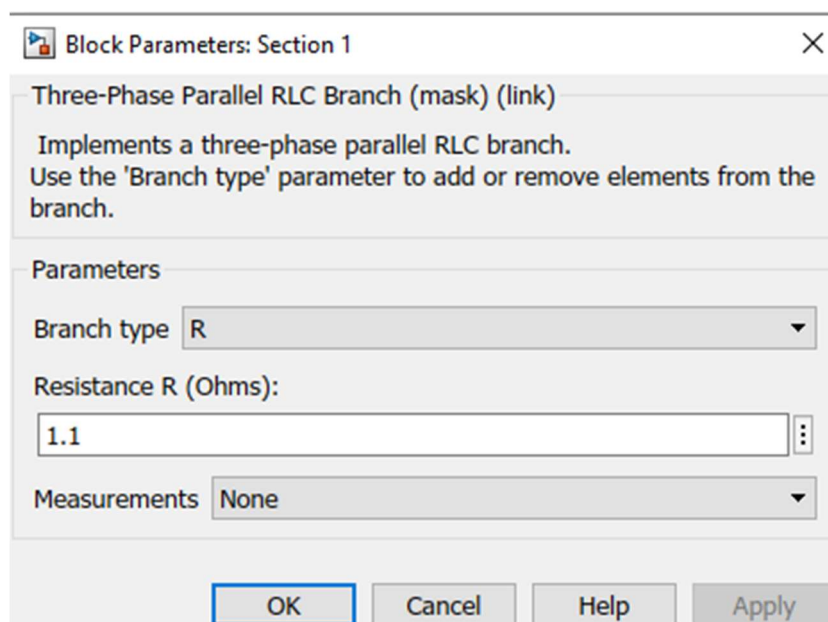


Рисунок 2.8 – Налаштування блоку Section 1

Величина опору однієї секції пускового реостату підбирається такою, щоб виконувалась умова, що при введенні пускового реостату $M_{\text{пуск}} = M_{\text{max}}$

Імітація виведення частин пускового резистора відбувається в даній моделі в функції часу.

Шунтування секцій в процесі пуску відбувається за рахунок трьох трифазних вимикачів Three-Phase Braker 1, Three-Phase Braker 2 та Three-Phase Braker 3. Вікно налаштувань блоку показано на рис. 2.9.

Керування блоками трифазних вимикачів відбувається, як сказано вище, у функції часу, для цього в моделі використовуються блоки Step (позначені на рис.2.5 відповідно за часом спрацювання 0,25; 0,5; 0,75). У вікні налаштувань параметрів блоків Step (див. рис. 2.10) встановлюється час кроку (Step time), початкове значення величини, що змінюється стрибком (Initial value) та кінцеве значення стрибкоподібно змінної величини (Final value).

Всі три блоки налаштовуються аналогічно, виключенням є лише час спрацювання, який відповідно встановлюється 0,25 с, 0,5 с та 0,75 с.

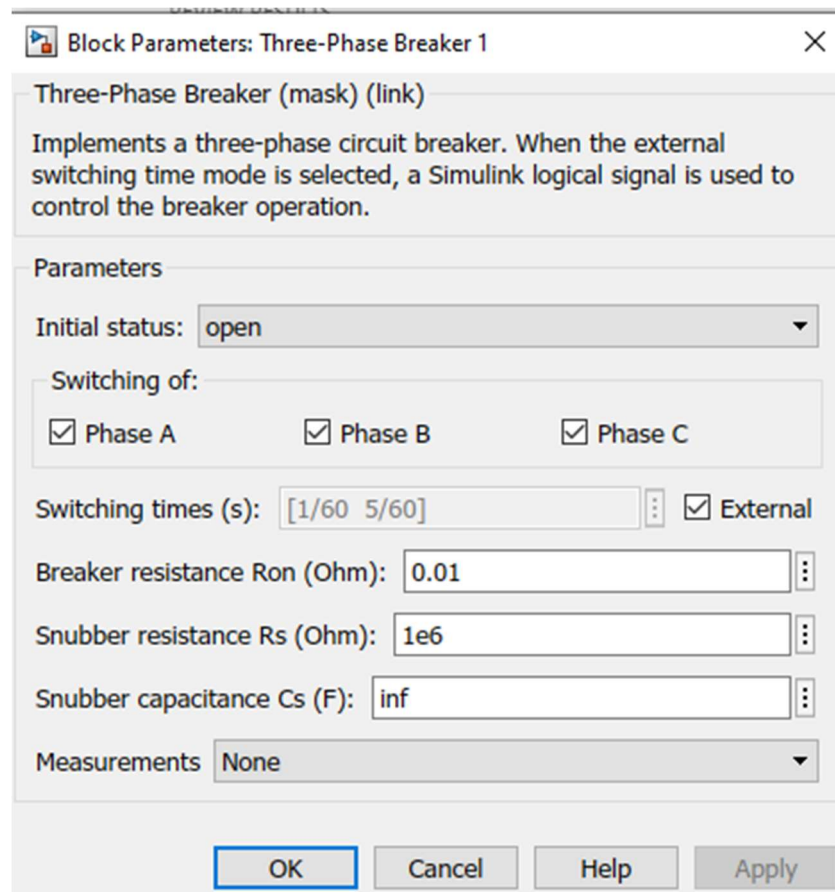


Рисунок 2.9 – Налаштування блоку Three-Phase Braker 1

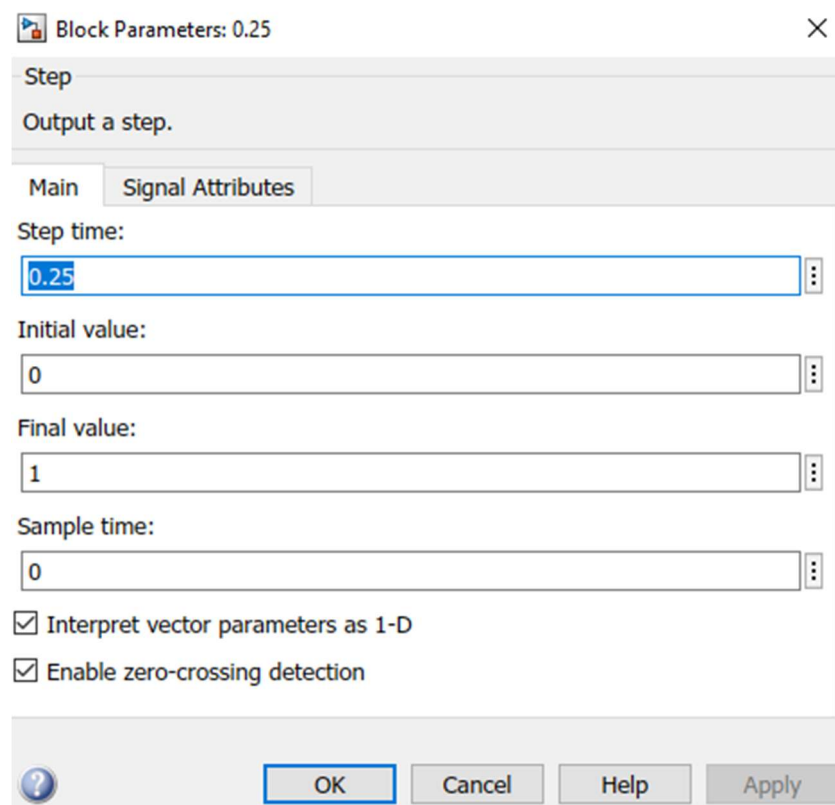


Рисунок 2.10 – Налаштування блоку Step

Контроль за тахограмою розгону відбувається за допомогою блоку Score Speed (rpm). Відображення швидкості обертання в даному блоці здійснюється в традиційній формі – об/хв. Для цього між вимірювальним портом m блоку асинхронного двигуна та блоком Score вмикається блок Gain rpm. В цьому блоці на основі функціональної залежності, показаної на рис. 2.11 відбувається перетворення швидкості обертання із рад/с в об/хв.

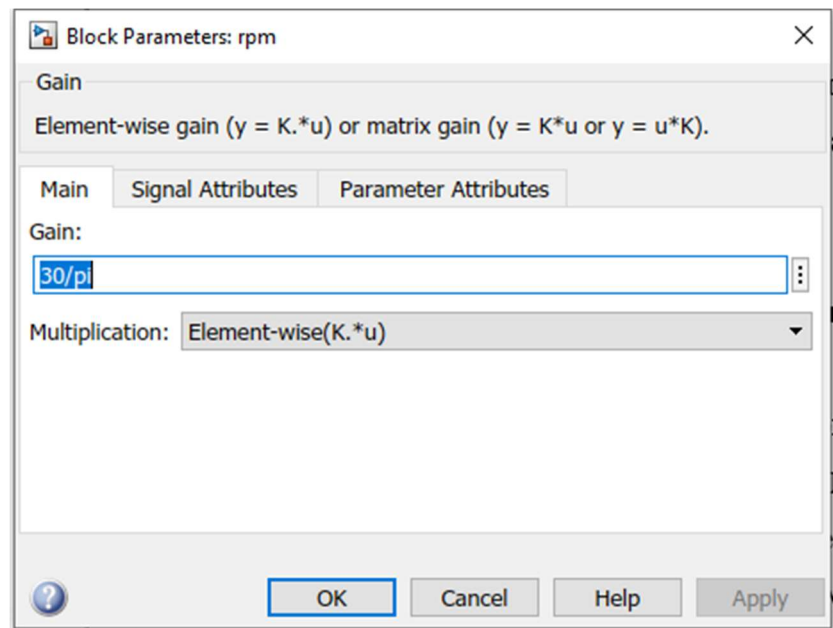


Рисунок 2.11 – Налаштування блоку Gain rpm

Сукупність функціональних блоків SPS-моделі, яку показано на рис. 2.12 виконує функцію вимірювання потужності, споживаної електроприводом, а також демонстрацію часових залежностей $P = f(t)$ та $Q = f(t)$ на екрані блоку Score.

2.6 Ідентифікація параметрів асинхронного двигуна

В електроприводі переміщення мостового крану використовується асинхронний двигун із фазним ротором типу MTF 312-6 [9].

Каталожні дані двигуна, наведено в [10], представимо їх в табл. 2.1

Робоча схема з'єднання обмотки статора – «зірка», так як номінальна напруга двигуна $U_{\text{ном}} = 220 / 380$ В, а живлення електроприводу здійснюється від мережі з лінійною напругою $U_{\text{л.ном}} = 380$ В. Кратність

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

пускового струму $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}} = 5,5$, кратність пускового моменту $M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}} = 2,7$. Момент інерції двигуна $J = 0,374$ Н·м.

Таблиця 2.1 – Каталожні дані двигуна типу MTF 312-6

$P_{2\text{ном}}$, кВт	$n_{\text{ном}}$, об/хв	η , %	$\cos \varphi$	$I_{1\text{ном}}$, А	$I_{2\text{ном}}$, А	$U_{2\text{ном}}$, В	$M_{2\text{ном}}$, Нм	k_M
15	962	83	0,81	59/34	46,5	218	149	2,7

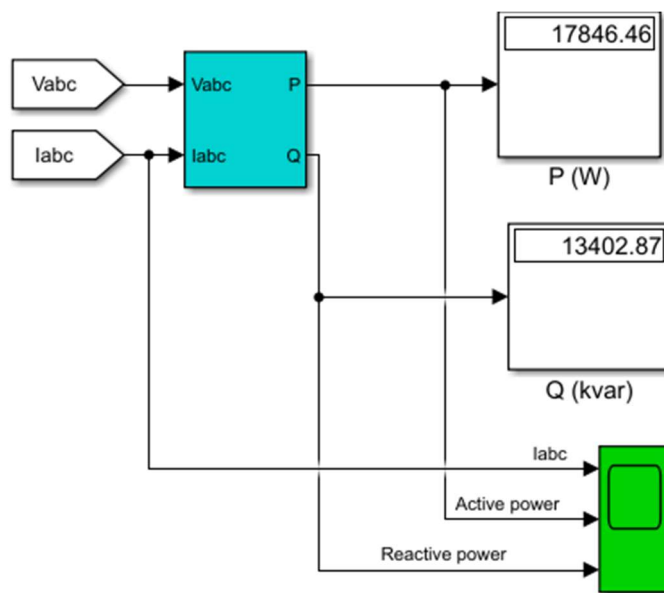


Рисунок 2.12 – Система вимірювання потужності і відображення часових залежностей $P = f(t)$ та $Q = f(t)$

Даних, наведених вище не достатньо для налаштування параметрів блоку Asynchronous Machine SI Units

Використовуючи методику наведену в [11, 12] визначимо параметри схеми заміщення двигуна MTF 312-6 за представленими каталожними даними.

1. Задаємося конструкційним коефіцієнтом машини $c_1 = 1,03$.

2. Визначаємо механічні втрати в двигуні:

$$\Delta p_{\text{мех}} = 0,05 \cdot P_{2\text{ном}} = 0,05 \cdot 15000 = 750 \text{ Вт.}$$

3. Визначаємо номінальне значення струму статора:

$$I_H = \frac{P_{2\text{НОМ}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi_{\text{НОМ}} \cdot \eta_{\text{НОМ}}} = \frac{15 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,81 \cdot 0,83} = 33,9 \text{ А}$$

4. Визначаємо номінальне ковзання:

$$s_{\text{НОМ}} = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1000 - 962}{1000} = 0,038$$

5. Визначаємо критичне ковзання:

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{НОМ}} \cdot \left(k_M + \sqrt{k_M^2 - 1} \right) = 0,038 \cdot \left(2,7 + \sqrt{2,7^2 - 1} \right) = 0,2$$

6. Активний опір обмотки статора дорівнює:

$$R_s = \frac{3}{2} \cdot \frac{\left(\frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}} \right)^2 \cdot (1 - s_{\text{НОМ}})}{c_1 \cdot \left(1 + \frac{c_1}{s_{\text{кр}}} \right) \cdot k_M \cdot (P_{2\text{НОМ}} + \Delta p_{\text{мех}})} =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot \frac{\left(\frac{380}{\sqrt{3}} \right)^2 \cdot (1 - 0,038)}{1,03 \cdot \left(1 + \frac{1,03}{0,2} \right) \cdot 2,7 \cdot (15000 + 750)} = 0,26 \text{ Ом}$$

7. Приведений активний опір обмотки ротора:

$$R'_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{(P_{2\text{НОМ}} + \Delta p_{\text{мех}}) \cdot k_{\Pi}}{(1 - s_{\text{НОМ}}) \cdot k_I^2 \cdot I_H^2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(15000 + 750) \cdot 2,7}{(1 - 0,038) \cdot 5,5^2 \cdot 33,9^2} = 0,42 \text{ Ом}$$

8. Визначимо індуктивність кола намагнічування:

$$L_m = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{НОМ}}} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}} / \sqrt{3}}{I_H \cdot \left(\sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} - \cos \varphi \cdot s_{\text{НОМ}} / s_{\text{кр}} \right)} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} \cdot \frac{380 / \sqrt{3}}{33,9 \cdot \left(\sqrt{1 - (0,81)^2} - 0,81 \cdot 0,038 / 0,2 \right)} = 0,048 \text{ Гн}$$

9. Визначаємо індуктивності розсіяння обмоток статора і ротора асинхронного двигуна:

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$L_{\ell s} \approx L'_{\ell r} = \frac{\sqrt{\left(U_{\text{НОМ}} / \sqrt{3} / (k_I \cdot I_{\text{Н}}) \right)^2 - (R_s + R'_r)^2}}{4 \cdot \pi \cdot f_{\text{НОМ}}} =$$

$$= \frac{\sqrt{\left(380 / \sqrt{3} / (5,5 \cdot 33,9) \right)^2 - (0,26 + 0,42)^2}}{4 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0015 \text{ Гн}$$

10. Визначаємо індуктивності обмоток статора і ротора асинхронного двигуна:

$$L_s \approx L'_r = L_m + L_{\ell s} = 0,048 + 0,0015 = 0,049 \text{ Гн}$$

11. Визначимо коефіцієнт в'язкого тертя:

$$F = \frac{\Delta p_{\text{мех}}}{\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{НОМ}}}{60} \right)^2} = \frac{750}{\left(\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 962}{60} \right)^2} = 0,074 \text{ Нм} \cdot \text{с}$$

12. Розрахункове значення коефіцієнту c_1 :

$$c_1 = 1 + \frac{L_{\ell s}}{L_m} = 1 + \frac{0,0015}{0,049} = 1,032.$$

На рис. 2.13 показано вікно параметрів блоку налаштувань SPS-блоку Asynchronous Machine SI Units із введеними відповідно до розрахунку параметрами.

2.7 Висновки до розділу

Проведено загальний аналіз існуючих методів моделювання асинхронних електроприводів, в основі яких лежать двигуни з фазним ротором. Розглянуто випадки застосування, припущення та обмеження для кожного із видів моделей. Серед наявної сукупності видів моделей виокремлено структурне математичне моделювання засобами програмного середовища Matlab Simulink.

Matlab Simulink, як середовище для виконання математичного моделювання процесів, що відбуваються в електромеханічних системах є достатньо зручним дослідницьким інструментом. Він містить велику за обсягом бібліотеку структурних блоків різних фізичних систем, які

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

представляють собою блоки – зображені у вигляді умовно-графічних позначень на принципових електричних схемах. Ці блоки достатньо зручно об'єднувати в досліджувані системи.

Опираючись на загальновідомі методи роботи з системою Matlab Simulink, розроблено структурну математичну модель електроприводу переміщення мостового крану на основі трифазного асинхронного двигуна з фазним ротором.

Проведено ініціалізацію параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна на основі його каталожних даних. Внесено відповідні налаштування до блоків моделі.

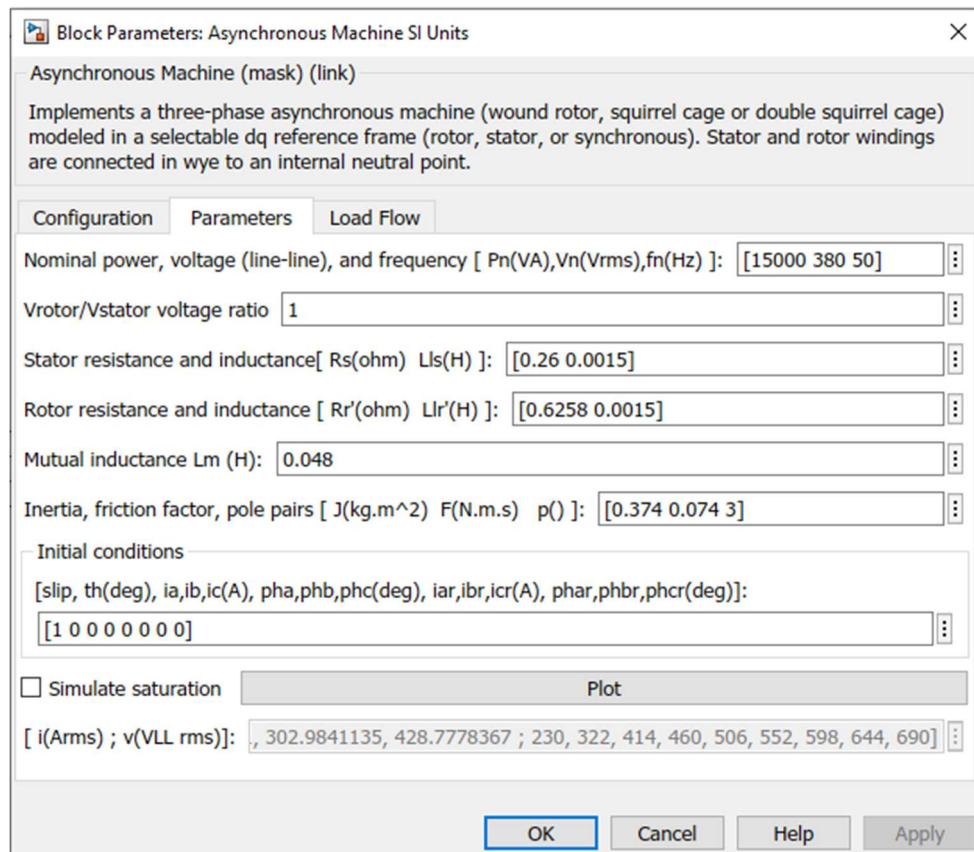


Рисунок 2.13 – Вікно параметрів блоку налаштувань SPS-блоку Asynchronous Machine SI Units

РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

3.1 Тахограма розгону електроприводу

На рис. 3.1 показано результат моделювання розгону асинхронного електроприводу переміщення мостового крану при номінальному завантаженні. Вага переміщуємого вантажу становить 10 т, що є номінальною вагою для даного мостового крану.

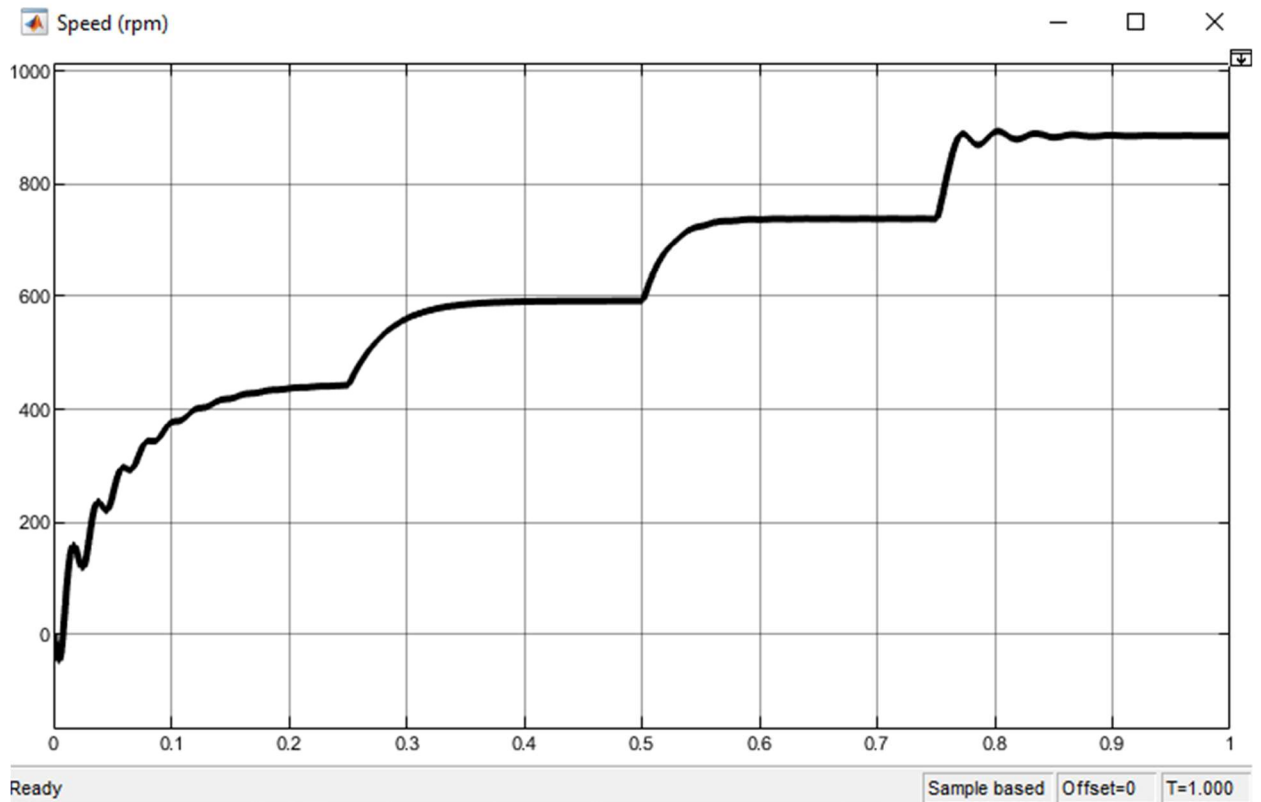


Рисунок 3.1 – Знімок тахограми розгону електропривода при номінальному завантаженні, отриманої в результаті моделювання

Як можна побачити на рис. 3.1, загальний час моделювання становить 1 с. При цьому тахограма розгону має 4 характерні ділянки. Перша ділянка $t_1 = 0 \dots 0,25$ с – це розгін двигуна на першій ступені пускового реостату $R'_{2д1} = 3,3$ Ом. При моменті статичного опору $M_c = 149$ Н·м за 0,25 с двигун розганяється до швидкості $n = 425$ об/хв. Певний затухаючий періодичний коливальний процес, який можна спостерігати на першому етапі пуску (до швидкості $n \approx 400$ об/хв) пов'язаний із наявністю деяких особливостей

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

математичного опису самого SPS-блоку Asynchronous Machine SI Units в перехідних режимах, а також із неврахуванням насичення осердь в даній моделі.

На другій ділянці тахограми $t_2 = 0,25 \dots 0,5$ с двигун працює із опором пускового реостату $R'_{2д2} = 2,2$ Ом, що відповідає опорі його другої ступені. Можна спостерігати розгін двигуна від швидкості $n = 425$ об/хв до швидкості $n = 600$ об/хв.

Опір третьої ступені пускового реостату становить $R'_{2д3} = 1,1$ Ом. На цій ступені отримано третю ділянку тахограми, якій відповідає проміжок часу $t_3 = 0,5 \dots 0,75$, впродовж якого двигун набирає швидкість $n = 750$ об/хв.

Четверта ділянка тахограми $t_4 = 0,75 \dots 1$ с – вихід двигуна на природню швидкісну характеристику. На цій ділянці додатковий опір пускового реостату із кола ротора повністю виведено і двигун розвиває свою номінальну швидкість обертання - $n = 962$ об/хв.

При виході на номінальну швидкість обертання на тахограмі також можна спостерігати затухаючий коливальний процес, сутність якого пояснено раніше.

3.2 Часові залежності струму статора та споживаних активної і реактивної потужностей

На рис. 3.2 показано часову залежність струмів статора при реостатному пуску електропривода переміщення мостового крану.

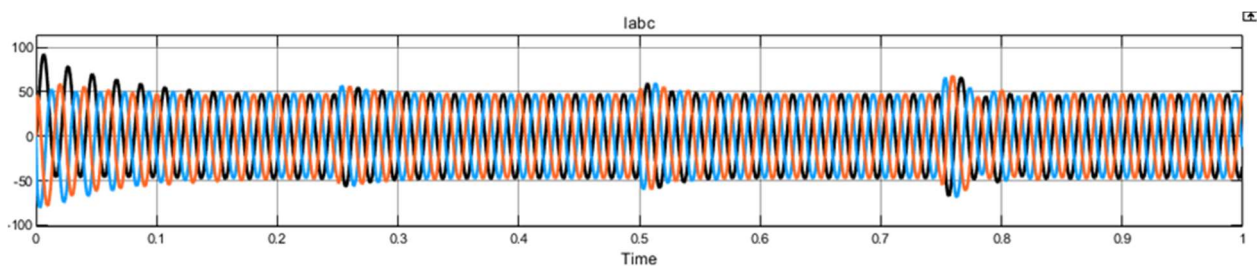


Рисунок 3.2 – Залежність $I_1 = f(t)$ при реостатному пуску асинхронного двигуна

Часова залежність струму статора будується на основі даних матриці I_{abc} , отриманих при роботі блоку Three-Phase V-I Measurement (див. рис. 2.5, рис. 2.7). На рис. 3.2 струми у відповідних фазах позначено кольором: фаза А – чорний; фаза В – зелений; фаза С – червоний. Представлені графіки струмів мають характерні для реостатного пуску асинхронного двигуна ділянки. В момент рушання двигуна і розгону його до швидкості $n = 425$ об/хв (перша ділянка тахограми, див. рис. 3.1) спостерігається підвищення амплітудного значення струму впродовж декількох періодів до значення 80 А з подальшим по мірі розгону зниженням до сталого амплітудного значення 48,1 А.

В момент часу, що відповідає початку другої ділянки ($t_2 = 0,25$ с), одночасно із шунтуванням першої ступені пускового реостату на графіку $I_1 = f(t)$ спостерігається незначне і нетривале збільшення амплітуди струму статора та його повернення до усталеного значення.

В момент часу t_3 та t_4 картина повторюється. При цьому варто відмітити, що рівень сплеску струму статора пропорційний зміні швидкості обертання. Чим більший приріст швидкості – тим більший сплеск струму статора.

Аналізуючи графік $I_1 = f(t)$ на рис. 3.2, варто відзначити, що опір ступенів пускового реостату підібрано так, щоб пусковий струм не перевищував двократного номінального струму. Це позитивно впливає на тепловий стан обмоток, а також дозволяє отримати бажану інтенсивність розгону механізму переміщення мостового крану.

На рис. 3.3 показано часову залежність $P = f(t)$ при пуску електропривода механізму переміщення мостового крану.

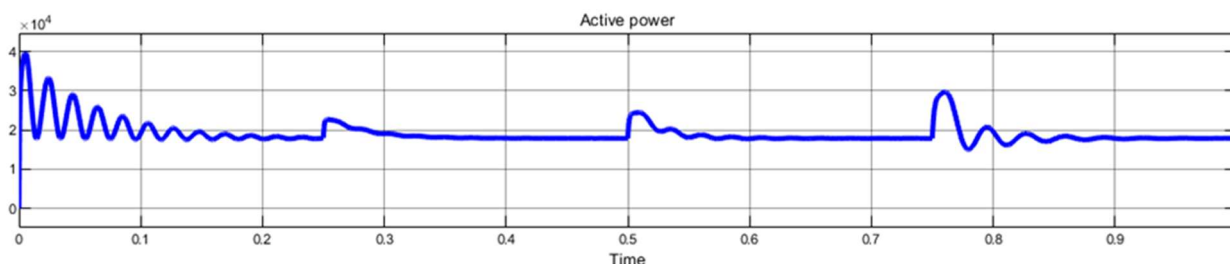


Рисунок 3.3 – Залежність $P = f(t)$ при пуску електропривода переміщення

Як можна бачити на графіку $P = f(t)$, показаному на рис. 3.3 в момент рушання двигуна спостерігається зростання миттєвого значення споживаної електроприводом активної потужності до 40 кВт і поступовим виходом на усталене значення 18,1 кВт, що відповідає потужності електропривода при номінальному навантаженні поруч із часом $t_2 = 0,25$ с.

При переході на наступні ступені пускового реостату спостерігаються короточасні збільшення миттєвого значення споживаної потужності: до 22 кВт при переході на другу ступень; до 25 кВт – на третій; до 30 кВт – при виході на природню швидкісну характеристику. Так само, як і у випадку із струмом статора, збільшення споживаної активної потужності пропорційне приросту швидкості двигуна.

На рис. 3.4 – показано часову діаграму реактивної потужності при пуску асинхронного двигуна.

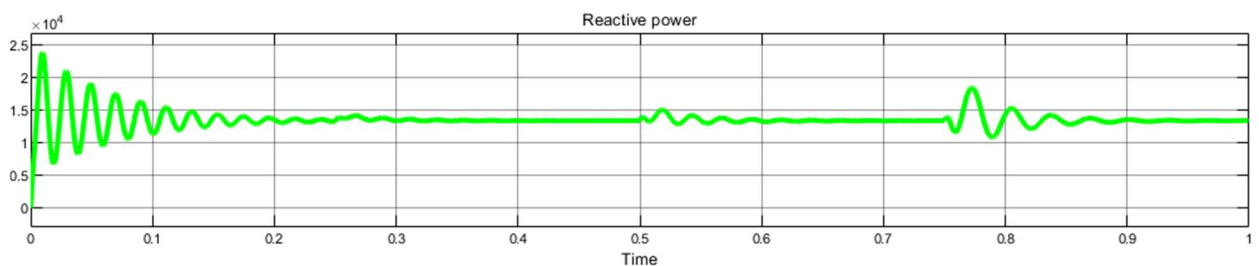


Рисунок 3.4 – Графік залежності $Q = f(t)$ при пуску асинхронного двигуна

Як видно з представленого графіка, усталене значення реактивної потужності при пуску електропривода переміщення мостового крану знаходиться на рівні 12 квар, що одночасно із усталеним рівнем активної потужності в 18,1 кВт свідчить, що рівень коефіцієнта потужності, як одного із енергетичних показників асинхронного електропривода, становить $\cos \varphi = 0,83$ в пускових режимах при номінальному навантаженні.

На графіку рис. 3.4, аналогічно як на графіках $I = f(t)$ та $P = f(t)$, в характерних точках (перехід між секціями пускового реостату) спостерігається збільшення миттєвого значення Q .

3.3 Висновки до розділу

В результаті моделювання реостатного пуску асинхронного електроприводу механізму переміщення мостового крану отримано наступні залежності: тахограму розгону електроприводу, часову діаграму струму статора та споживаних активної і реактивної потужностей.

Аналіз відповідних залежностей показав, що опір ступенів пускового реостату підбрано так, щоб пусковий струм не перевищував двократного номінального струму, це позитивно впливає на тепловий стан обмоток, а також дозволяє отримати бажану інтенсивність розгону механізму переміщення мостового крану.

В момент рушання двигуна спостерігається зростання миттєвого значення споживаної електроприводом активної потужності до 40 кВт з поступовим виходом на усталене значення 18,1 кВт. При переході на наступні ступені пускового реостату спостерігаються короточасні збільшення миттєвого значення споживаної потужності: до 22 кВт на другій ступені; 25 кВт – на третій; 30 кВт – при виході на природню швидкісну характеристику. Збільшення споживаної активної потужності пропорційне приросту швидкості двигуна.

В результаті взаємного аналізу часових діаграм $P = f(t)$ та $Q = f(t)$ визначено, що рівень коефіцієнта потужності асинхронного електропривода механізму переміщення мостового крану, становить $\cos \varphi = 0,83$ в пускових режимах при номінальному навантаженні.

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Вимоги безпеки до електрообладнання мостових кранів

Вимоги безпеки, які висуваються до обладнання вантажопідійомних кранів регламентуються нормами НПАОП 0.00-1.01-07. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів [13]. Нижче наведемо вимоги безпеки до електрообладнання та апаратури керування вантажопідійомних кранів відповідно до [13].

Електрообладнання вантажопідіймальних кранів і машин, його монтаж, струмопроводи, освітлення, заземлення та інші заходи безпеки мають відповідати вимогам [13, 14, 15], та чинним нормативним документам (НД).

Електрообладнання вантажопідіймальних кранів і машин повинне мати труп умов експлуатації МЗ і М4 відповідно до вимог НД.

Розташованому на вантажопідіймальному крані чи машині електрообладнанню слід забезпечити ступінь захисту, не нижчий від наведеного в [13].

Електропостачання вантажопідіймального крана чи машини від зовнішньої електричної мережі має здійснюватися через увідний пристрій (рубильник, автоматичний вимикач тощо) з ручним або дистанційним приводом.

Увідний пристрій вантажопідіймального крана чи машини, розташований поза кабіною або у відкритій кабіні керування, має замикатися на замок у вимкненому стані й мати показчик ВИМКНЕНО, УВИМКНЕНО.

З метою уникнення несанкціонованого керування вантажопідіймальними кранами чи машинами їх захисна панель має бути обладнана індивідуальним контактним замком з ключем (ключем маркою), що унеможливило подачу напруги на вантажопідіймальний кран. У разі встановлення захисної панелі поза кабіною ключ марка може дублюватися на панелі керування в кабіні. У талів і вантажопідіймальних кранів, керованих з підлоги, ключем маркою

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

обладнується апарат керування, а керованих зі стаціонарного поста дистанційний пульт (панель). Захисна панель має бути опломбована.

Портальні, козлові крани, а також причальні та мостові перевантажувачі (далі – перевантажувачі), електропостачання яких здійснюється за допомогою гнучкого кабелю, обладнуються кабельним барабаном для автоматичного намотування (змотування) кабелю. Дозволяється не обладнувати кабельним барабаном вантажопідіймальні крани, шлях пересування яких не перевищує 50 м.

Система керування електродвигунами вантажопідіймального крана чи машини має унеможливлювати:

- самозапуск електродвигунів після відновлення електропостачання вантажопідіймального крана чи машини;
- пуск електродвигунів не відповідно до заданої схеми прискорення; пуск електродвигунів контактами пристроїв безпеки.

Кабіна й електроприміщення мають бути оснащені електричним освітленням, а також опаленням, кондиціонером, вентилятором тощо відповідно до вимог НД.

Живлення електричних кіл освітлення та сигнального пристрою має здійснюватися до ввідного пристрою і мати самостійні вимикачі.

До ввідного пристрою за наявності самостійних вимикачів можуть бути також підключені крановий підйомник, система гучномовного або телефонного зв'язку, кондиціонер, загороджувальні вогні, повітроочисні фільтри, холодильник, пилосос, опалювальні прилади для обігрівання електрообладнання.

Світильники (прожектори), установлені на вантажопідіймальних кранах і машинах для освітлення робочої зони, мають вмикатися самостійними вимикачами, установленими в кабіні і на порталі (естакаді, опорі тощо).

Дозволяється не обладнувати ремонтним освітленням однобалкові крани.

Використання металоконструкцій крана як струмопроводу для живлення кіл напругою більше 25 В не дозволяється.

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вантажозахоплювальний орган та інші елементи вантажопідіймальних кранів (наприклад, штирьового), що перебувають за умовами технологічного процесу під напругою, не заземлюються. У цьому разі вони мають бути ізольовані від заземлених частин вантажопідіймального крана не менше ніж трьома ступенями ізоляції. Опір кожного ступеня ізоляції має бути не меншим 10 МОм. Ізоляція електрообладнання й електропроводки має бути розрахована в разі прикладання до них напруги від вантажу, якщо пошкоджені або перекриті ступені захисної ізоляції.

Перевірка величини опору ступенів ізоляції та перевірка ізоляції електрообладнання й електропроводки виконуються під час проведення повного технічного огляду лабораторією, що одержала в установленому порядку дозвіл на виконання цих робіт.

Мостові електричні крани в корпусах електролізу у виробництві алюмінію повинні мати ізоляцію, що унеможливило б з'єднання електролізерів, які перебувають під напругою, із “землею” через гак (вантажозахоплювальний пристрій) або канат крана. Кількість послідовних ступенів ізоляції гака або вантажозахоплювального пристрою від “землі” має бути не менше трьох. Величина опору ізоляції кожного ступеня має бути не менше 1,5 МОм.

Перевірка величини опору ізоляції вантажозахоплювального пристрою мостового електричного крана і захвата механізму переставлення обпалених анодів (штирів) від металоконструкцій має проводитися кожної зміни. Перевірка опору двох інших ступенів ізоляції мостового крана має проводитися не рідше одного разу за 15 днів.

Гак крана чи іншого підіймального пристрою, що застосовується у виробництві кристалічного кремнію та електротермічного кремнію під час нарощування електродів без вимкнення печі, повинен мати не менше двох послідовних ступенів ізоляції від “землі”. Величина опору ізоляції кожного ступеня має бути не менше 1,5 МОм. Перевірка опору ізоляції має проводитися кожної зміни.

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати вимірювань опору ізоляції за [13] повинні заноситися до вахтового журналу.

Апарати керування мають бути виконані та встановлені так, щоб керування у сидячому положенні було зручним і не заважало спостереженню за вантажозахоплювальним органом і вантажем, а спрямування рухів органів керування (рукояток, важелів, джойстиків, маховиків) повинно, по змозі, відповідати напрямку рухів механізмів. Розташування та характеристики органів керування мають відповідати вимогам НД.

Умовне позначення напрямків рухів механізмів має зберігатися протягом усього строку експлуатації.

Окремі положення органів керування мають фіксуватися. Зусилля фіксації в нульовому положенні (або положенні ВИМКНЕНО) повинне перевищувати зусилля в інших положеннях. У разі безступінчатого регулювання забезпечується фіксація тільки в нульовому положенні.

Кнопки для реверсивного пуску механізмів повинні мати блокування, яке унеможливорює одночасне ввімкнення реверсивних кіл.

Кнопки або рукоятки апаратів для керування з підлоги мають оснащуватися пристроєм для самоповернення їх у нульове положення. Робота механізмів має бути можлива тільки за безперервного натискання на кнопку або затримування рукоятки в робочому положенні.

Підвішування апаратів для керування з підлоги здійснюється на сталевому тросику такої довжини, яка б давала змогу працівнику, який керує краном або талем, перебувати на безпечній відстані від вантажу, що переміщується. Апарат розташовується на висоті від 1 м до 1,5 м від підлоги.

Швидкість пересування кранів і талів, що керуються з підлоги (крім тих, що керуються по радіо), не повинна перевищувати 0,83 м/с, а вантажних візків – 0,53 м/с.

Увімкнення лінійного контактора має бути можливим тільки в разі, якщо всі контролери перебувають у нульовому положенні.

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контакти нульового блокування панелі керування механізму з індивідуальним нульовим захистом у коло контактора захисної панелі (ввідного пристрою) можуть не включатися. У цьому разі в кабіні керування встановлюється світлова індикація ввімкнення та вимкнення цієї панелі керування.

За наявності декількох постів керування передбачається блокування, що унеможливило одночасне керування з різних постів [13].

4.2 Організація проведення технічного огляду мостових кранів

Вантажопідіймальні крани і машини підлягають первинному, періодичному та позачерговому технічним оглядам у порядку, встановленому НД.

Первинному технічному огляду підлягають ново виготовлені вантажопідіймальні крани і машини перед введенням їх в експлуатацію.

Періодичному технічному огляду підлягають вантажопідіймальні крани і машини, що перебувають в експлуатації в продовж установленого строку служби:

- повному – не рідше одного разу на три роки;
- частковому – не рідше одного разу на 12 місяців.

Вантажопідіймальні крани, що обслуговують машинні зали електричних та насосних станцій, компресорні установки тощо і використовуються тільки під час ремонту обладнання, піддаються повному технічному огляду не рідше одного разу на п'ять років за погодженням з територіальним органом спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з промислової безпеки та охорони праці.

Технічний огляд має проводитися за участю працівника, який здійснює відомчий нагляд за утриманням та безпечною експлуатацією вантажопідіймальних кранів і машин, а також працівника, відповідального за утримання їх у справному стані.

Повний технічний огляд має включати:

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– вивчення експлуатаційних (паспорт, настанова з експлуатації, вахтовий журнал тощо), конструкторських (проектних) і ремонтних документів, а також інформації, накопиченої реєстратором робочих параметрів у разі наявності реєстратора на крані;

– аналіз умов та режимів експлуатації;

– огляд і перевірку роботи вантажопідіймального крана чи машини;

– статичне випробування;

– динамічне випробування;

– оцінку технічного стану;

– визначення умов експлуатації та строку чергового періодичного технічного огляду.

Під час часткового технічного огляду статичне та динамічне випробування не проводяться.

Під час технічного огляду мають бути оглянуті та перевірені в роботі всі механізми та їх гальма, прилади та пристрої безпеки, гідро пристрої та електрообладнання, сигналізація, а також перевіряються регламентовані НД розміри.

Граничні норми бракування елементів вантажопідіймального крана чи машини зазначаються в настанові з експлуатації. За відсутністю в настанові відповідних норм бракування елементів проводиться відповідно до вимог [13].

Під час перевірки справного стану вимикача блокування люка необхідно впевнитись у відсутності напруги на трелеях крана.

Перевірку стану металоконструкцій, гаків, ходових коліс і канатів дозволяється проводити із застосуванням прийнятих в Україні методів неруйнівного контролю.

Статичне випробування мостового крана, а також пересувного консольного проводиться таким чином. Кран установлюється над опорами кранових колій або в положення, яке відповідає найменшим згинальним навантаженням на кранову колію, а його візок (візки) у положення, що

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідає найбільшому провалу. Випробувальний вантаж підіймається на висоту від 200 мм до 300 мм з витримкою в такому положенні протягом 10 хвилин. Дозволяється захоплювати частину випробувального вантажу, маса якого має бути не меншою вантажопідймальності крана, підіймати його на висоту від 200 мм до 300 мм, а потім доводити навантаження до необхідного шляхом додавання решти випробувального вантажу з витримкою в такому положенні протягом 10 хвилин. Після опускання вантажу перевіряється відсутність залишкової деформації моста крана. За наявності залишкової деформації, яка є наслідком випробування крана вантажем, кран не допускається до роботи до з'ясування причин деформації та можливості подальшої його роботи.

Кран вважається таким, що витримав випробування, якщо протягом 10 хвилин піднятий вантаж не опустився на робочий майданчик або основу, а також не буде виявлено тріщин, залишкових деформацій та інших пошкоджень у металоконструкціях і механізмах крана.

Динамічне випробування вантажопідймальних кранів і машин проводиться вантажем, що на 10 % перевищує їх вантажопідймальність, і має на меті перевірку дії механізмів вантажопідймального крана чи машини та їх гальм. Під час динамічного випробування проводиться багаторазове (не менше трьох разів) підймання та опускання вантажу, пуск з проміжного положення, а також перевірка дії всіх інших механізмів вантажопідймального крана чи машини.

У вантажопідймального крана чи машини, обладнаних двома і більше механізмами підймання, має бути випробуваний кожний механізм. Маса вантажу для статичного та динамічного випробування цих вантажопідймальних кранів і машин має визначатися залежно від умов роботи механізмів (роздільна, спільна).

Статичне та динамічне випробування кранів мостового типу, призначених для обслуговування гідро і теплоелектростанцій, підстанцій тощо, можуть проводитися за допомогою спеціальних пристроїв, що дозволяють створити

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випробувальне навантаження без застосування вантажу, відповідно до вимог програми та методики випробувань, розробленої спеціалізованою організацією.

За допомогою пристрою проводять динамічне випробування механізму підіймання під навантаженням у межах не менше одного оберту барабана. Випробування під навантаженням механізму пересування не обов'язкове.

Випробування вантажопідіймального крана, що має декілька змінних вантажозахоплювальних органів, проводяться з тим вантажо–захоплювальним органом, що встановлений на момент випробування. Випробування магнітних і грейферних кранів проводяться з навішеним відповідно магнітом або грейфером.

Результати технічного огляду та строк наступного огляду вантажопідіймального крана чи машини записуються до їх паспорта особою, що його проводила.

Після проведення повного технічного огляду змонтованих вантажопідіймального крана чи машини записом у паспорті має підтверджуватися, що вантажопідіймальний кран або машина змонтовані та встановлені відповідно до вимог цих Правил, настанови з експлуатації та (або) інструкції з монтажу, пуску, регулювання та обкатки та витримали випробування.

Записом у паспорті діючого вантажопідіймального крана чи машини, що були піддані технічному огляду, має підтверджуватися, що вони знаходяться в справному стані та витримали випробування.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

В аварійній (надзвичайній) ситуації слід сповістити про небезпеку оточуючих людей і діяти відповідно до плану ліквідації аварій, зупинити роботу, вжити заходів з попередження травматизму людей, їх евакуації з небезпечної зони.

У разі виникнення пожежі негайно сповістити підрозділи з гасіння пожеж.

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У випадку травмування звернутися за допомогою до медичних працівників, надати домедичну допомогу собі та іншим постраждалим.

При ураженні електричним струмом:

- необхідно звільнити потерпілого від дії електричного струму;
- при відсутності дихання у потерпілого необхідно робити йому непрямий масаж серця та штучне дихання до приїзду швидкої медичної допомоги.

Дії у разі переломів, вивихів, забоїв, розтягнень:

- у разі переломів та вивихів кінцівок, пошкоджену кінцівку іммобілізувати шиною, чи підручним засобом;
- у разі передбачуваного перелома черепа прикласти до голови потерпілого холодний предмет чи зробити холодну примочку;
- у разі підозри перелому хребта укласти потерпілого на дошку не піднімаючи його, або повернути на живіт, обличчям донизу;
- у разі перелому ребер, ознакою якого є біль під час дихання, кашлю, чхання та рухів, необхідно туго забинтувати груди чи стягнути їх рушником під час видиху.

Дії у випадку кровотечі. Для того, щоб спинити кровотечу необхідно підняти поранену кінцівку догори, рану, яка кровоточить, закрити перев'язувальним матеріалом, притиснути її зверху, не торкаючись самої рани і потримати так впродовж 4 хвилин. У разі сильної кровотечі, яку не можна спинити пов'язкою, застосовується здавлювання кровеносних судин, які живлять поранену область, шляхом згинання кінцівок у суглобах, пальцями, джгутом або закруткою. При великих кровотечах необхідно звертатися за медичною допомогою [17].

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

Проаналізовано основні види кінематичних схем приводів, що використовуються в механізмах переміщення мостових кранів. Встановлено, що наразі в експлуатації в основному переважають роздільні однодвигунні приводи на основі асинхронних електродвигунів із фазним ротором, регулювання яких здійснюється за допомогою реостатів в колі обмотки ротора, а в основі принципової схеми такого електроприводу лежить кулачковий контролер.

З урахуванням сучасних умов, які складаються в енергосистемі, а також вважаючи на загальні тенденції стосовно підвищення енергоефективності промислових електроприводів встановлено, що дослідження енергоефективності кранових електроприводів в цілому, та механізмів переміщення мостового крану зокрема є актуальною дослідницькою задачею.

Проведено загальний аналіз існуючих методів моделювання асинхронних електроприводів, в основі яких лежать двигуни з фазним ротором. Розглянуто випадки застосування, припущення та обмеження для кожного із видів моделей. Серед наявної сукупності видів моделей виокремлено структурне математичне моделювання засобами програмного середовища Matlab Simulink.

Matlab Simulink, як середовище для виконання математичного моделювання процесів, що відбуваються в електромеханічних системах є достатньо зручним дослідницьким інструментом. Він містить велику за обсягом бібліотеку структурних блоків різних фізичних систем, які представляють собою блоки – зображені у вигляді умовно-графічних позначень на принципових електричних схемах. Ці блоки достатньо зручно об'єднувати в досліджувані системи.

Опираючись на загальновідомі методи роботи з системою Matlab Simulink, розроблено структурну математичну модель електроприводу переміщення мостового крану на основі трифазного асинхронного двигуна з фазним ротором.

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведено ініціалізацію параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна на основі його каталожних даних. Внесено відповідні налаштування до блоків моделі.

В результаті моделювання реостатного пуску асинхронного електроприводу механізму переміщення мостового крану отримано наступні залежності: тахограму розгону електроприводу, часову діаграму струму статора та споживаних активної і реактивної потужностей.

Аналіз відповідних залежностей показав, що опір ступенів пускового реостату підібрано так, щоб пусковий струм не перевищував двократного номінального струму, це позитивно впливає на тепловий стан обмоток, а також дозволяє отримати бажану інтенсивність розгону механізму переміщення мостового крану.

В момент рушання двигуна спостерігається зростання миттєвого значення споживаної електроприводом активної потужності до 40 кВт з поступовим виходом на усталене значення 18,1 кВт. При переході на наступні ступені пускового реостату спостерігаються короточасні збільшення миттєвого значення споживаної потужності: до 22 кВт на другій ступені; 25 кВт – на третій; 30 кВт – при виході на природню швидкісну характеристику. Збільшення споживаної активної потужності пропорційне приросту швидкості двигуна.

В результаті сумісного аналізу часових діаграм $P = f(t)$ та $Q = f(t)$ визначено, що рівень коефіцієнта потужності асинхронного електропривода механізму переміщення мостового крану, становить $\cos \varphi = 0,83$ в пускових режимах при номінальному навантаженні.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Григоров О.В., Петренко Н.О. Вантажопідйомні машини: навч. посібник. Харків: НТУ «ХП», 2005. 304 с.
2. Подъемные сооружения. Специальная техника: науч.-техн. и произв. журн, 2003. - №12.
3. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. Динаміка і оптимізація режимів руху мостових кранів. Монографія. Київ: ЦП «Компрінт», 2016. 310 с.
4. Савич С.П., Ярмолович В.Я., Орлик В.В., Савьолова Е.В. Енергетичні показники електроприводів кранових механізмів підйому. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2018. №27(103). С.157 – 164.
5. ДСТУ EN 13001-1:2018 Крани вантажопідіймальні. Загальні положення конструювання. Частина 1. Загальні принципи та вимоги. Чинний від 2019-10-01. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2018. 28 с.
6. ДСТУ EN 13001-2:2018 Крани вантажопідіймальні. Загальні положення конструювання. Частина 2. Вплив навантажень. Чинний від 2019-10-01. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2018. 52 с.
7. Яуре, А.Г., Певзнер Е.М. Крановый электропривод: справочник. Москва: Энергоатомиздат, 1988. 344 с.
8. Толочко О.І. Математичне моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник. Київ: НТУУ «КП», 2016. 150 с.
9. Сівак Н.Г. Проектування електроприводів мостового крану вантажопід'ємністю 10 т : дипломна робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка [текст] / наук. керівник О. Ю. Балійчук ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. Дніпро, 2022. 46 с.
10. Електродвигун MTF 312-6 (MTF312-6) 15кВт/955об/хв крановий з фазним ротором: веб-сайт. URL: <https://nasos-ukraina.com.ua/ua/p125236724-elektrodivigatel-mtf-312.html> (дата звернення 25.12.2023)

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

11. Захарченко В.Д., Стаценко О.В. Ідентифікація параметрів асинхронних електричних двигунів для задач керування та діагностики. Приладобудування: стан і перспективи: матеріали XIX міжнарод. наук.-техн. конф., м. Київ, 13 – 14 травня 2020 р. Київ, 2020 р. С. 171 – 172.

12. Пантель О. В. Методика расчета параметров асинхронного двигателя для моделирования режимов его работы в среде среде Matlab/Simulink. *Academy* 2015, № 2(2). С. 7-11.

13. НПАОП 0.00-1.80-18 Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання Наказ Міністерства соціальної політики України від 19.01.2018 № 62 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0244-18#Text> (дата звернення 25.12.2023).

14. Правила улаштування електроустановок. Зміни та доповнення. Харків: Видавництво «Форт», 2016. 252 с.

15. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Харків: Видавництво «Форт», 2012. 374 с.

16. НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Харків: Видавництво «Форт», 2008. 192 с.

17. Інструкція з охорони праці машиніста мостового крана: веб-сайт. URL: <https://ohoronapraci.com.ua/instructions/475182-instrukciya-z-okhoroni-praci-mashinista-mostovogo-krana> (дата звернення 25.12.2023)

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ

1. Огляд видів кінематичних схем механізму переміщення мостового крану.
2. Механізм переміщення мостового крану з роздільним однодвигунним приводом.
3. Модель електроприводу переміщення мостового крану.
4. Представлення і аналіз отриманих результатів.

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

					7.141.180096.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ОГЛЯД ВИДІВ КІНЕМАТИЧНИХ СХЕМ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВОГО КРАНУ

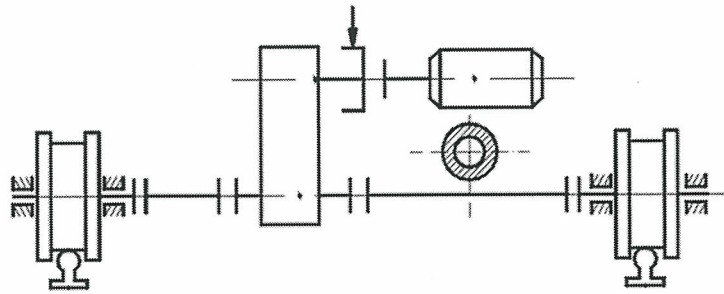


Рис. А.1 - Механізм переміщення з тихохідним валом

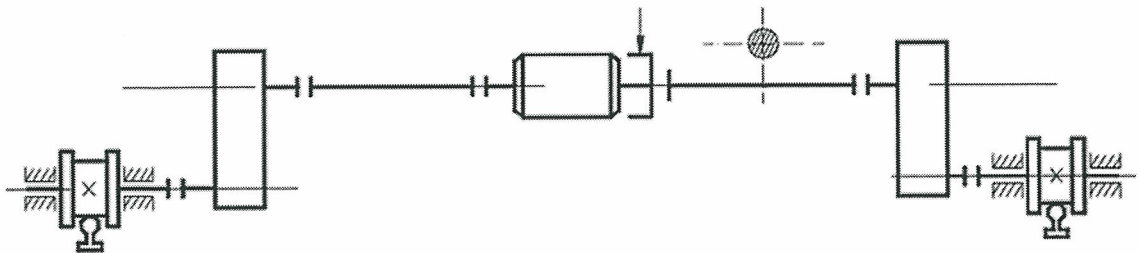


Рис.А.2 - Механізм переміщення із швидкохідним валом

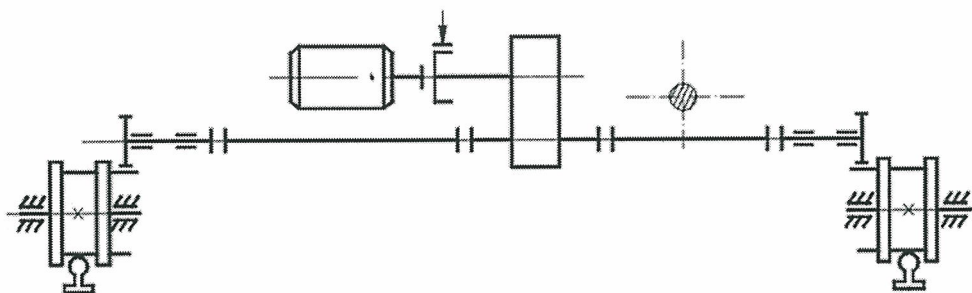


Рис. А.3 - Механізм переміщення із середньоходовим валом

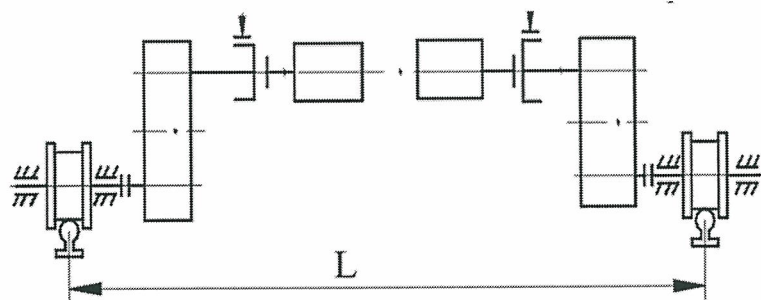


Рис. А.4 – Механізм переміщення з роздільним приводом

					Огляд видів кінематичних схем механізму переміщення мостового крану			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження енергетичних показників електроприводу переміщення мостового крану	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Сівак Н.Г.	<i>[Signature]</i>	20.12.13			1	1 : 1
Перевір.		Балійчук О.Ю.	<i>[Signature]</i>	20.12.13				
Т. Контр.						Арк.	1	Аркушів 4
Реценз.					Додаток А 7.141.180096.01	МОН України, УДУНТ Кафедра ЕТЕМ Група ЕЕ2221		
Н. Контр.		Карзова О.О.	<i>[Signature]</i>	24.12				
Затверд.		Муха А.М.	<i>[Signature]</i>	24.12				

МЕХАНІЗМ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВОГО КРАНУ З РОЗДІЛЬНИМ ОДНОДВИГУННИМ ПРИВОДОМ

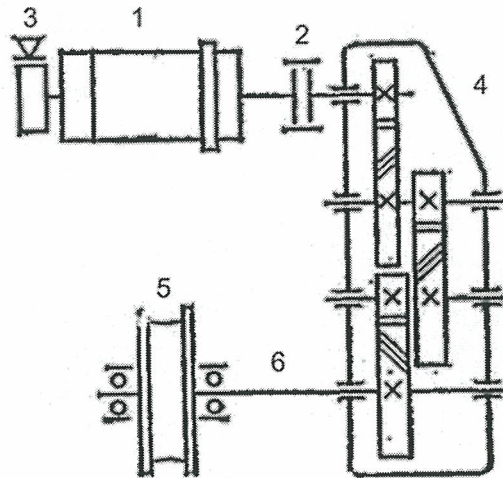


Рис. А.5 – Кінематична схема механізму переміщення мостового крану з роздільним
однорухунним приводом

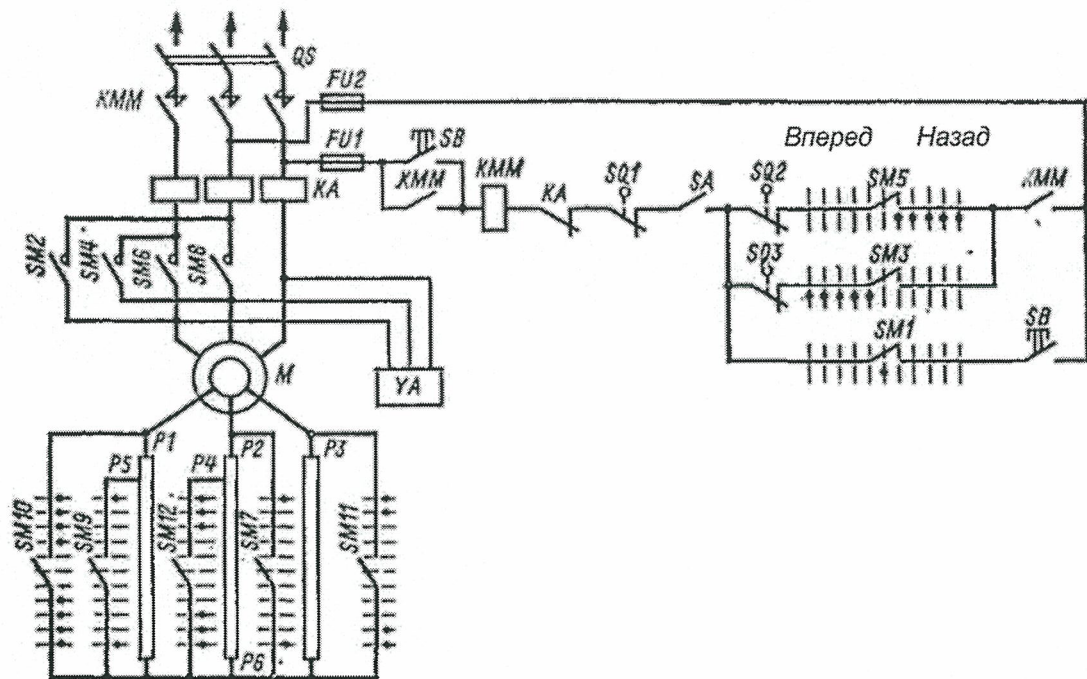


Рис. А.6 – Принципова схема однодвигунного електроприводу механізму переміщення
мостового крану з кулачковим контролером ККТ61

					Механізм переміщення мостового крану з роздільним однорухунним приводом			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження енергетичних показників електроприводу переміщення мостового крану	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Сівак Н.Г.	<i>[Signature]</i>	20.12.23			1	1 : 1
Перевір.		Балійчук О.Ю.	<i>[Signature]</i>	20.12.23				
Т. Контр.						Арк.	2	Аркуші 4
Реценз.					Додаток А 7.141.180096.02	МОН України, УДУНТ Кафедра ЕТЕМ Група ЕЕ2221		
Н. Контр.		Карзова О.О.	<i>[Signature]</i>	20.12				
Затверд.		Муха А.М.	<i>[Signature]</i>	20.12				

МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВОГО КРАНУ

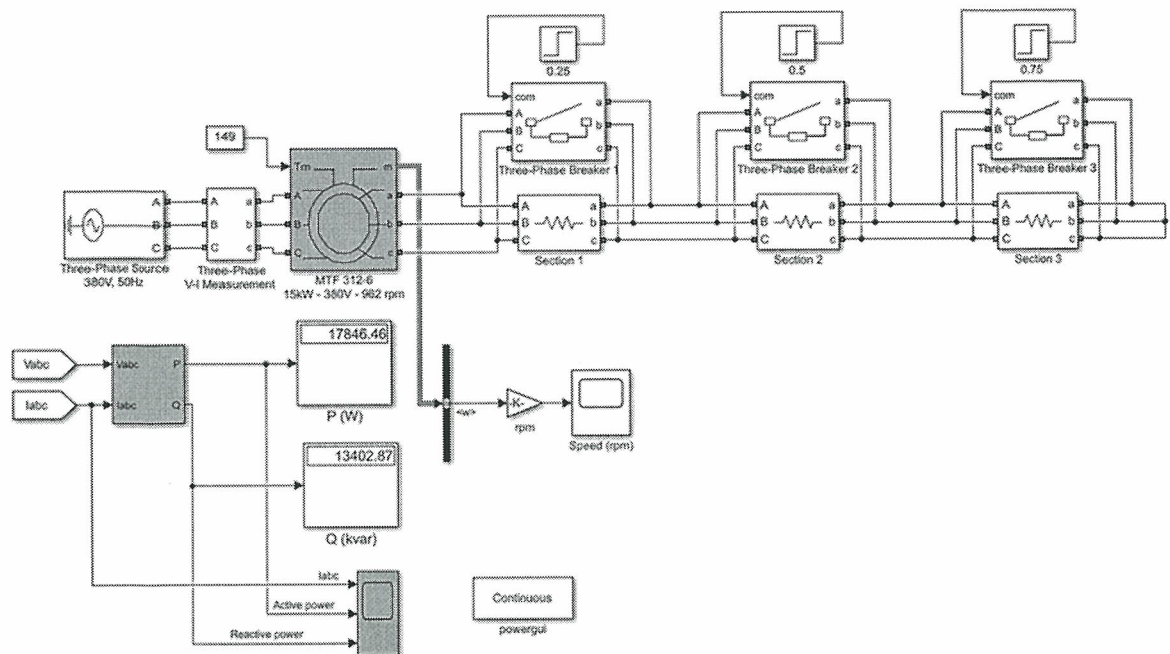


Рис. А.7 – SPS-модель електроприводу переміщення мостового крану

Block Parameters: Asynchronous Machine SI Units

Asynchronous Machine (mask) (link)

Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor, squirrel cage or double squirrel cage) modeled in a selectable dq reference frame (rotor, stator, or synchronous). Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Load Flow

Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA), Vn(Vrms), fn(Hz)]: [15000 380 50]

Vrotor/Vstator voltage ratio: 1

Stator resistance and inductance [Rs(ohm) Lls(H)]: [0.26 0.0015]

Rotor resistance and inductance [Rr(ohm) Llr(H)]: [0.6258 0.0015]

Mutual inductance Lm (H): 0.048

Inertia, friction factor, pole pairs [J(kg.m^2) F(N.m.s) p()]: [0.374 0.074 3]

Initial conditions

[slip, th(deg), ia, ib, ic(A), pha, phb, phc(deg), iar, ibr, icr(A), phar, phbr, phcr(deg)]:

[1 0 0 0 0 0 0]

☐ Simulate saturation

Plot

[I(Arms) ; v(VLL rms)]: [302.9841135, 428.7778367 ; 230, 322, 414, 460, 506, 552, 598, 644, 690]

OK Cancel Help Apply

Рис. А.8 – Вікно параметрів блоку налаштувань SPS-блоку Asynchronous Machine SI Units

					Модель електроприводу переміщення мостового крану							
					Дослідження енергетичних показників електроприводу переміщення мостового крану	Лім.			Маса		Масштаб	
									1		1 : 1	
							Арк. 3		Аркушів 4			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Додаток А 7.141.180096.03	МОН України, УДУНТ Кафедра ЕТЕМ Група ЕЕ2221						
Розроб.		Сівак Н.Г.		20.12.23								
Перевір.		Балійчук О.Ю.		22.12.23								
Т. Контр.												
Реценз.												
Н. Контр.		Карзова О.О.		21.12								
Затверд.		Муха А.М.		24.12								

ПРЕДСТАВЛЕННЯ І АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

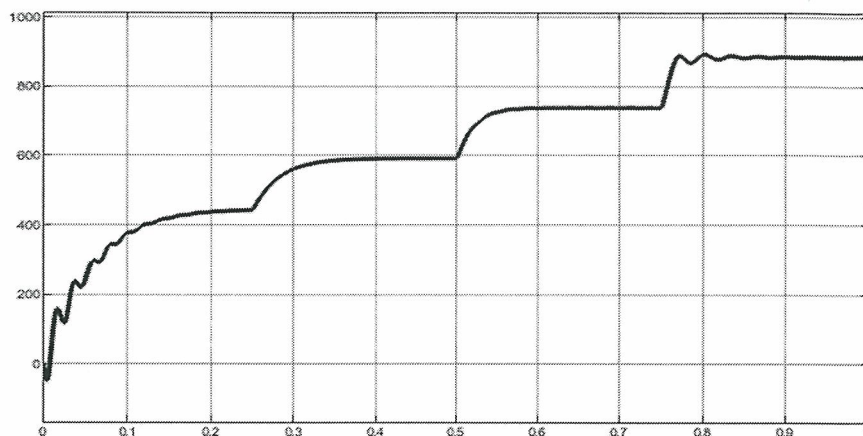


Рис. А.9 – Тахограма розгону електроприводу

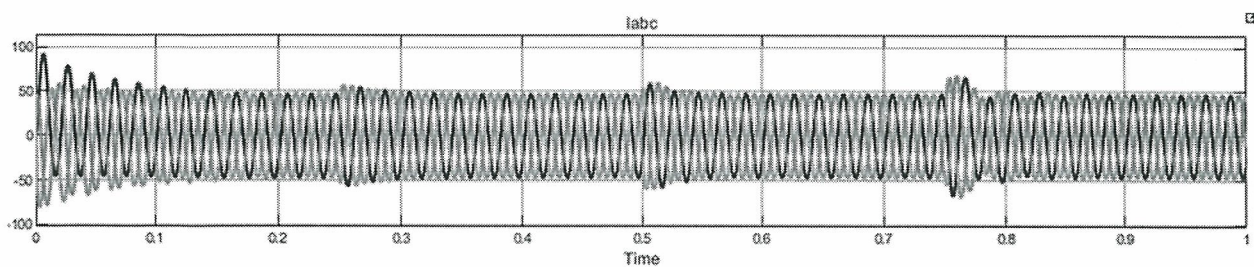


Рис. А.10 - Залежність $I_1 = f(t)$ при реостатному пуску асинхронного двигуна

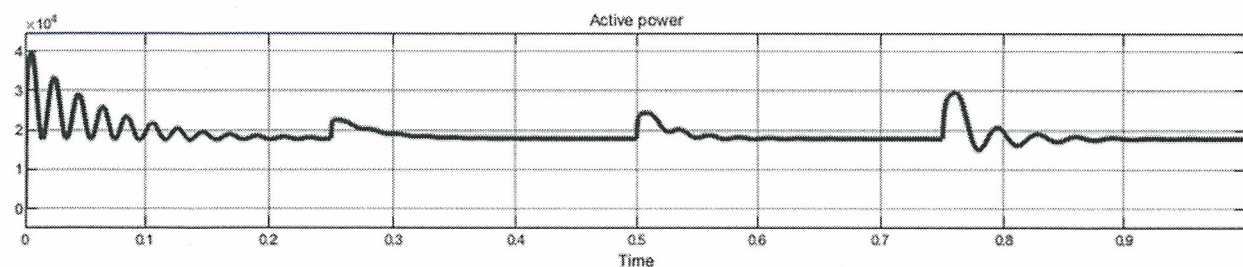


Рис. А.11 - Залежність $P = f(t)$ при пуску електропривода переміщення

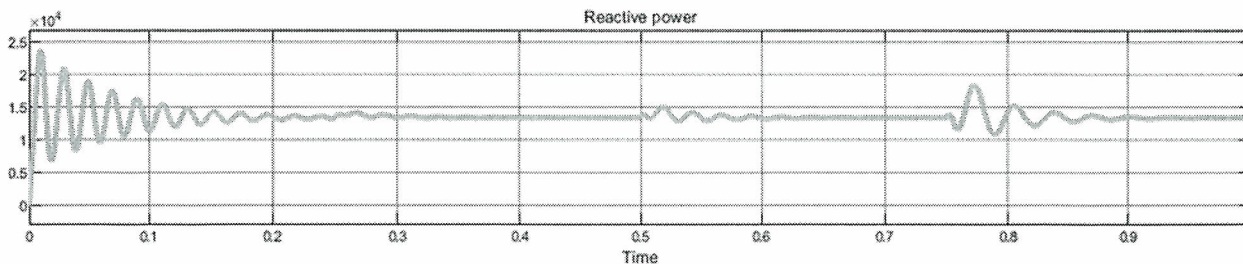
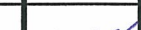


Рис. А.12 - Графік залежності $Q = f(t)$ при пуску асинхронного двигуна

					Представлення і аналіз отриманих результатів							
					Дослідження енергетичних показників електроприводу переміщення мостового крану	Лім.			Маса		Масштаб	
										1	1 : 1	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		Арк.			4	Аркушів 4		
Розроб.		Сівак Н.Г.		20.12.23								
Перевір.		Балійчук О.Ю.		20.12.23								
Т. Контр.												
Реценз.												
Н. Контр.		Карзова О.О.		20.12	Додаток А 7.141.180096.04	МОН України, УДУНТ Кафедра ЕТЕМ Група ЕЕ2221						
Затверд.		Муха А.М.		20.12								