

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту: 92с., 20 рис., 1 табл., 8 джерел.

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, МОСТОВИЙ КРАН, АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН З КОРОТКОЗАМКНУТИМ РОТОРОМ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАТОТИ.

Об'єктом проектування є автоматизований електропривод із системою управління перетворювачем частоти.

Мета роботи - розробити автоматизований електропривод механізму підйому мостового крана із системою керування перетворювачем частоти.

У процесі роботи було розроблено автоматизований електропривод з асинхронним двигуном, автоматизовано систему керування двигуном.

Основні конструктивні та техніко-економічні показники: плавний пуск та гальмування при підйомах та опусканнях вантажу, забезпечення переходу на знижену швидкість при збереженні утримуючого моменту двигуна, більш тривалий термін служби електричних вузлів приводу.

Ефективність установки визначається підвищеним терміном служби вузлів електричного приводу, стабільною керованістю та стійкістю при підвищеному статичному навантаженні.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Опис промислової установки та аналіз технологічного процесу	9
1.2 Аналіз взаємодії оператор - промислова установка	15
1.3 Аналіз кінематичної схеми, визначення параметрів та проектування розрахункової схеми механічної частини електроприводу	16
2. ВИБІР СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВОЇ УСТАНОВКИ	16
2.1 Літературний огляд на тему дипломного проекту	16
2.2 Формулювання вимог до автоматизованого електроприводу та системи автоматизації	20
2.3 Визначення можливих варіантів та вибір раціональної системи електроприводу	22
2.4 Проектування функціональної схеми автоматизованого електроприводу .	23
3. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА	25
3.1 Розрахунок навантажень та побудова механічної характеристики та навантажувальної діаграми механізму.....	25
3.2 Попередній вибір електродвигуна за потужністю.....	27
3.3 Вибір номінальної швидкості двигуна та типорозміру двигуна.....	28
3.4 Побудова навантажувальної діаграми електроприводу.....	30
3.5 Перевірка двигуна з нагрівання та перевантажувальної здатності	34
4. ПРОЕКТУВАННЯ СИЛОВОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ І ВИБІР КОМПЛЕКТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	36
4.1 Визначення можливих варіантів та обґрунтування вибору типу комплектного перетворювача.....	36

4.2 Розрахунок параметрів та вибір елементів силового ланцюга	37
4.3 Вибір датчиків регульованих координат електроприводу	41
5. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ.....	42
5.1 Розробка математичної моделі автоматизованого електроприводу	42
5.2 Розрахунок параметрів об'єкта управління.....	45
5.3 Визначення структури та параметрів керуючого пристрою	46
6. АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ І СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	48
6.1 Розробка програмного забезпечення для комп'ютерного моделювання автоматизованого електроприводу.....	48
6.2 Розрахунок та визначення показників якості перехідних процесів.....	49
6.3 Побудова статичних характеристик електроприводу	54
7. КІНЦЕВА ПЕРЕВІРКА ДВИГУНА ПО НАГРІВУ З ОБЛІКОМ ТОЧНОЇ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ДІАГРАМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	56
8. ВИБІР І ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧОЇ УСТАНОВКИ.....	66
8.1 Формалізація умов роботи установки	66
8.2 Розробка функціональної схеми, логічної схеми	67
8.3 Вибір апаратів.....	71
9. ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	73
10. ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ	75
10.1 Вибір апаратів, проводів та кабелів.....	75
10.2 Складання таблиці переліку елементів електроустаткування	77
11. ОХОРОНА ПРАЦІ	78
11.1 Вимоги безпеки під час експлуатації мостового крана. Кабіни управління	78

11.2 Вимоги безпеки до механізмів та апаратів управління	80
11.3 Вимоги безпеки до приладів та пристроїв безпеки	81
11.4 Вимоги безпеки до електроустаткування.....	84
11.5 Вимоги безпеки до огорож	88
ВИСНОВОК	90
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	92

ВСТУП

Кранове обладнання є одним із основних засобів комплексної механізації всіх галузей народного господарства. Розширення галузі машинобудування, що займається виробництвом вантажопідйомних машин, є важливим напрямом розвитку народного господарства для вирішення задачі усілякого скорочення та ліквідації важкої ручної праці.

В даний час вантажопідйомні машини випускаються великою кількістю заводів у багатьох галузях народного господарства і ці машини використовуються практично у всіх сферах народного господарства: при видобутку корисних копалин, в металургії, машинобудуванні, будівництві, на транспорті та ін.. Переважна більшість з них має електричний привід основних робочих механізмів і тому ефективність дії цих машин значно залежить від якісних показників використовуваного кранового електрообладнання.

Електропривод більшості вантажопідйомних машин характеризується повторно-короткочасним режимом роботи при великій частоті включень, широкому діапазоні регулювання швидкості і значних перевантаженнях, що постійно виникають, при розгоні і гальмуванні механізмів. Особливі умови використання електроприводу в вантажопідйомних машинах стали основою створення спеціальних серій електричних двигунів і апаратів кранового виконання. В даний час кранове електрообладнання має у своєму складі серії кранових електродвигунів змінного і постійного струму, серії силових і магнітних контролерів, командоапаратів, кнопкових постів, кінцевих вимикачів, гальмівних електромагнітів і електрогідравлічних штовхачів, пускагальмових резисторів і ряд інших апаратів, комплектуючих різні кранові електроприводи.

У крановому електроприводі почали досить широко застосовуватися різні системи тиристорного регулювання та дистанційного керування радіоканалом або одним проводом.

Для забезпечення механізованого транспортування феромагнітних матеріалів промисловістю виготовляється дві серії вантажопідійомних електромагнітів. Виробництво кранового електроустаткування стало однією з найважливіших галузей електротехнічної промисловості.

Для проведення практичних інженерних розрахунків в даний час створено та впроваджено в практику нові прогресивні та доступні для широкого кола працівників методи проектування більшості кранових електроприводів, що відображають сучасні напрями оптимізації систем та їх техніко-економічного обґрунтування.

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис промислової установки та аналіз технологічного процесу

Мостовий кран - кран мостового типу, міст якого спирається на надземний рейковий крановий шлях, а вантажозахоплювальний орган підвішений до вантажного візка або електроталі, що переміщається мостом. Мостові крани загального призначення виготовляють вантажопідйомністю до 320т, спеціального призначення – до 630 т, прольоти – 60 м, висота підйому – 50 м. Крани загального призначення використовують при монтажі обладнання, провадженні ремонтних робіт, для технологічних робіт у цехах основного виробництва, на складах, при перевантажувальних роботах.

Металоконструкція мостового крана складається з двох основних частин: мосту та візка. Міст перекриває робочий проліт виробничого приміщення чи складу. Він складається з двох головних та двох кінцевих балок. Через ходові колеса механізму пересування міст спирається на надземні кранові рейки. Останні закріплені на балках підкранових, змонтованих на консолях колон будівлі або кранової естакади. Колеса наводяться через передавальний механізм одним або двома електродвигунами. Ходові колеса кранів виконують дворобордними або безробордними з горизонтальними напрямними роликами. На головних балках закріплені рейки, якими переміщається візок за допомогою свого приводу. На рамі розміщені один або два механізми підйому вантажу, кожен з яких складається з гакової підвіски, канатного поліспасти, барабана, передавального механізму, гальма і електродвигуна. Механізмами крана керують з кабіни, підвішеної до металоконструкції мосту, що дозволяє мати найкращий огляд та безпеку роботи, а при необхідності - на візку (може автономно переміщатися вздовж прольоту крана). При роботі крана напрямки руху крана, візка та гака постійно чергуються. Робота механізму підйому складається з періодів підйому та опускання вантажу та періодів підйому та

опускання порожнього гака. Для збільшення продуктивності крана використовують суміщення операцій, наприклад одночасне пересування крана та візки. Під час навішування вантажу на гак та звільнення гака двигун вимкнено і механізм підйому не працює.

За призначенням різноманітні вантажопідйомні машини можна об'єднати у три групи:

1) універсальні вантажопідйомні машини - крани, лебідки, талі, службовці для підйому та переміщення різних вантажів за допомогою гакового підвісу на вантажному тросі;

2) вантажопідйомні машини для виконання певних технологічних операцій у промисловості, на транспорті та у будівництві;

3) крани для виконання будівельних, монтажних та ремонтних робіт, пов'язаних із переміщенням машинного обладнання.

У свою чергу, за умовами роботи вантажопідйомні машини можуть бути умовно поділені на такі групи:

1) машини універсального призначення, що використовуються для роботи в приміщеннях при повторно-короткочасному режимі та середній тривалості роботи до 16 год на добу;

2) машини універсального призначення, що використовуються для роботи в приміщеннях при повторно-короткочасному режимі та середній тривалості роботи від 8 до 24 год на добу;

3) машини для виконання певних технологічних операцій, що використовуються як у приміщеннях, так і на відкритому повітрі при повторно-короткочасному режимі та тривалістю роботи до 24 год на добу;

4) машини для виконання разових та епізодичних вантажопідйомних операцій, що використовуються в короткочасних та повторно-короткочасних режимах із загальним річним числом годин роботи не більше 500.

Універсальні вантажопідйомні машини виготовляються з урахуванням

різних умов використання за навантаженням та часом роботи, інтенсивності проведення операцій, ступеня відповідальності операцій та у зв'язку з цим можуть бути додатково віднесені до кількох усереднених категорій використання.

Механізми для виконання певних технологічних операцій, а також механізми для епізодичної роботи мають цілком певні умови використання відповідно до їх призначення. З метою систематизації всього різноманіття режимів роботи вантажопідійомних машин Держгіртехнагляд встановив такі категорії режимів роботи механізмів з машинним приводом: легкий-Л; середній-С; важкий-В; дуже важкий-ДВ.

Ряд кранів, призначених для технологічних комплексів, останнім часом проектується для використання при більш складних режимах роботи електроприводу в порівнянні з режимом ДВ, що визначається чинною класифікацією Держгіртехнагляду. Цей режим характеризується тривалістю включення до $TВ=100\%$ за число включень за годину 600 і від. Для цих випадків вводиться нова категорія режиму: особливо важкий-ОВ. В даний час існує стандарт, що передбачає п'ять категорій режимів, включаючи режим ОВ.

Швидкості переміщення вантажів визначають продуктивність і потужність механізмів та вибираються з урахуванням ефективності виконання вантажопідійомних операцій, тобто отримання необхідного часу операції за найменшої первісної вартості механізмів крана. Вибір оптимальної швидкості є важливим завданням, необхідне рішення якого може бути знайдено тільки на основі обліку факторів продуктивності, витрат енергії, можливості та ефективності регулювання швидкості, а також техніко-економічної оцінки системи регулювання.

За останні роки було проведено дослідження, пов'язані з оптимізацією швидкісних параметрів швидкохідних вантажопідійомних машин. В результаті цих досліджень встановлено, що при підвищенні швидкостей до певних меж

продуктивність машин зростає разом із швидкістю, проте при подальшому підвищенні швидкостей може відбутися зниження продуктивності за рахунок збільшення часу розгону та гальмування механізмів крана.

Аналіз швидкісних параметрів показує, що кожного виду механізмів (підйому, повороту і горизонтального переміщення) є межі швидкостей, перевершувати які недоцільно.

Швидкості вантажопідйомних механізмів вибираються, виходячи з наступних передумов:

1) номінальна швидкість визначається умовами технологічного процесу, тобто часом виконання циклу;

2) номінальна швидкість обмежується потужністю мережі живлення або можливістю установки приводного двигуна певних розмірів;

3) номінальна швидкість є функцією діапазону регулювання за заданої мінімальної швидкості механізму;

4) номінальна швидкість має забезпечити найбільшу продуктивність за найменших витрат енергії.

Для всіх перелічених випадків, крім першого, граничне значення швидкості не повинно перевищувати встановлених значень, а для четвертого випадку це значення є шуканим. Для першого випадку швидкість може мати будь-яке необхідне значення, але при цьому слід мати на увазі, що при перевищенні певних значень швидкостей час операції не скорочуватиметься, якщо не будуть застосовані системи зі спеціальними параметрами регулювання.

При виборі номінальної швидкості іноді вирішальне значення мають мінімальні швидкості, які визначаються технологією переробки різноманітних вантажів. В даний час для більшості технологічних процесів переробки вантажів отримано оптимальні значення мінімальних швидкостей точної установки вантажів. Користуючись цими значеннями, можна за заданої номінальної швидкості встановити необхідні діапазони регулювання швидкості

або для відомого та досяжного діапазону регулювання вибрати номінальну швидкість.

Вибір проміжних фіксованих швидкостей, перш за все, залежить від здібностей людини сприйняти різницю швидкостей сусідніх фіксованих положень та на основі сприйняття цієї різниці здійснювати наступні операції управління. Практикою встановлено значення шаблів наростання швидкостей механізмів підйому. Регулювання швидкості механізмів горизонтального переміщення у проміжку між максимальною та мінімальною швидкостями часто здійснюється шляхом зміни інтенсивності розгону або гальмування з урахуванням необхідних прискорень.

Продуктивність та кількість включень за годину вантажопідіймальних машин нерозривно пов'язані зі швидкісними параметрами. Продуктивність машин відповідає часу завершення операції з переробки вантажу. Скорочення години однієї операції за певної траєкторії руху вантажу визначає підвищення продуктивності машини. Шкірна машина може мати фактичний або умовний цикл проведення вантажопідіймальної операції.

Під повним циклом вантажопідіймальної операції слід мати на увазі застроповку вантажу, вибирання слабину каната, підйом вантажу та його переміщення в необхідну точку, спуск та встановлення вантажу, розстроповку я зворотне переміщення для початку нової операції. При цьому механізми вантажопідіймального пристрою мають мінімально необхідну кількість включень. Однак з різних причин протягом циклу оператор здійснює ще ряд додаткових включень, пов'язаних з недосконалістю системи регулювання, коливаннями вантажу на гнучкій підвісці, недостатнім досвідом керування тощо. Кількість таких додаткових включень може у 2-4 рази перевищити кількість необхідних включень.

Важливим завданням розробки високоефективних вантажопідіймальних машин є наближення фактичного числа включень до мінімально необхідного. В

даний час найбільш якісні системи регулювання дозволяють забезпечити виконання операцій із середнім числом включень лише в 1,5 рази більшим за мінімально необхідний, у той час як найбільш масові системи параметричного регулювання вимагають до 20-30 включень на один цикл переміщення вантажу, що в 5- 6 разів перевищує мінімально необхідну кількість включень. Число включень за годину у різних механізмів може становити від 40-60 при режимі Л; до 500-600 – для режиму ДВ. При створенні та освоєнні виробництва систем управління, що забезпечують стійкі швидкості з широким діапазоном їхньої зміни, відбувається загальна тенденція зниження числа включень механізмів при одночасному підвищенні продуктивності перевантажувальних робіт.

У даному проекті ми вибираємо двобалковий мостовий кран, який відноситься до середнього режиму роботи з вантажопідйомністю до 20 тонн, який здійснює підйом та переміщення вантажів у ремонтно-механічних та складальних цехах з наступним циклом роботи:

1. Підйом номінального вантажу із номінальною швидкістю на розрахункову висоту;
2. Пауза (переміщення вантажу на задане місце);
3. Опускання номінального вантажу з розрахункової висоти на нульову позначку із номінальною швидкістю;
4. Пауза (розвантаження);
5. Підйом порожнього гака на розрахункову висоту з підвищеною швидкістю;
6. Пауза (переміщення крана у вихідне положення);
7. Опускання порожнього гака з розрахункової висоти на нульову позначку із підвищеною швидкістю;
8. Пауза (завантаження).

1.2 Аналіз взаємодії оператор - промислова установка

Взаємодія оператора з промисловою установкою може здійснюватися як з панелі управління, розташованої в кабіні так і дистанційно. За допомогою кнопки «Аварійна зупинка» здійснюється відключення крана. Пульст управління є блоком з кнопками, на яких нанесені символи.

Системи управління крановими механізмами відносяться до категорії пристроїв, що знаходяться під безперервним контролем оператора, тобто в цих системах вибір моменту початку операції, швидкісних параметрів і моменту закінчення операції здійснюється особою, що управляє механізмом. У свою чергу, система управління повинна забезпечувати необхідну послідовність перемикачів для реалізації бажаних швидкісних параметрів, запобігти при цьому недопустимим навантаженням і забезпечити необхідний захист.

Все різноманіття різних систем управління може бути поділено на такі групи. За способом керування:

- 1)керовані безпосередньо командоконтролерами, де процес управління, включаючи вибір необхідних прискорень, здійснюється виключно оператором;
- 2)керовані кнопковими постами, де можливості керування обмежені конструктивними особливостями посту;
- 3)керовані складним комплектним пристроєм (магнітним контролером із використанням перетворювача енергії або без нього). У цьому випадку оператор вибирає лише необхідні швидкості, а процеси розгону, гальмування та необхідні проміжні перемикачів здійснюються автоматично.

При поліпшенні умов праці кранівника підвищується продуктивність праці та забезпечується велика безпека під час виконання робіт. При створенні крана, компонуванні робочого місця (кабіни управління, розробці пульстів та органів управління) враховують вимоги ергономіки - сукупність вимог, що висуваються до умов праці, виробничого середовища та засобів виробництва.

У цьому проекті ми з усіх систем керування вибираємо систему, де

основне керування краном здійснюється оператором з кабіни за допомогою командоконтролерів, які є апаратами ручного керування та призначаються для дистанційного керування крановими механізмами.

1.3 Аналіз кінематичної схеми, визначення параметрів та проектування розрахункової схеми механічної частини електроприводу

Технічні дані до проекту:

Максимальна висота підйому $H_{max} = 16,5$ м;

Номінальна швидкість $V_{ном} = 0,35$ м/с;

Маса крюка $m_k = 600$ кг;

Діаметр барабана $D_B = 1450$ мм;

Кратність поліпасу $i = 4$;

Передатна кількість редуктора $j = 32,4$;

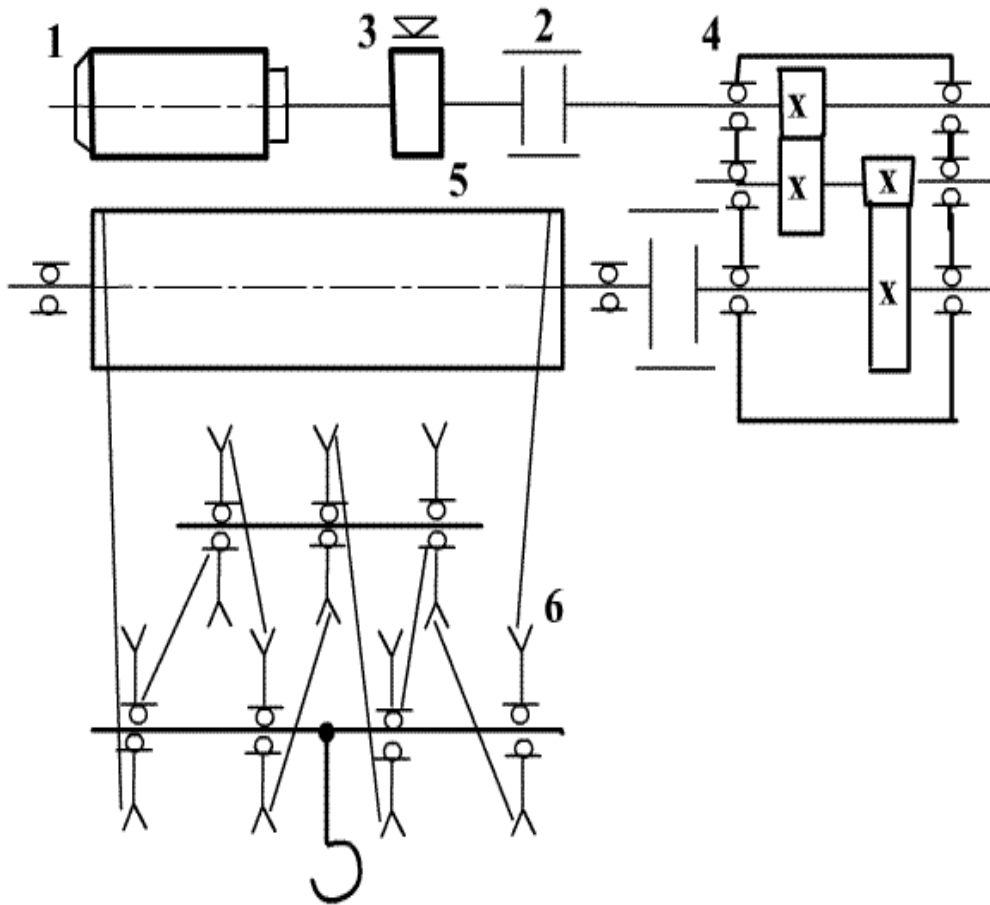
Момент інерції барабана $J_B = 1200$ кгм²;

Номінальний к.к.д. передачі $\eta_{п.ном} = 85$ %;

Швидкість гака $v_k = 2v_{ном}$; ПВ=40% ;

Вантажопідйомність 20 тонн.

Механізм підйому вантажу (рисунок 1.1) складається з гакової підвіски, поліпаста, барабана, передавального пристрою (редуктора, муфт, валів), гальма та електродвигуна. Вузли механізму змонтовано на металоконструкції крана. Вантажний канат від сходу з блоків оберігається жорсткими обмежувачами, що відсуваються.



1 - електродвигун; 2 - муфта; 3 - гальмо; 4 - редуктор; 5 - барабан;
6 - поліпаст.

Рисунок 1.1. Кінематична схема механізму підйому

2. ВИБІР СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВОЇ УСТАНОВКИ

2.1 Літературний огляд на тему дипломного проекту

Значна роль у здійсненні комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів, ліквідації ручних вантажно-розвантажувальних робіт належить підйомно-транспортному машинобудуванню. Істотне скорочення важкої праці під час перевантажувальних робіт здійснюється головним чином шляхом автоматизації вантажозахоплювальних операцій, точної установки вантажів, а також автоматизації процесів керування вантажопідйомними машинами. Оскільки ці завдання вирішуються за допомогою електроприводу, значення вдосконалення і впровадження сучасних електроприводів постійно зростає.

У крановому електроприводі в даний час широко застосовують як повністю тиристорні системи регулювання, так і різні некеровані та керовані напівпровідникові випрямлячі, а також окремі напівпровідникові силові прилади, що дозволяє при порівняно невисоких витратах отримувати системи з досить значним регулюванням швидкості переміщення механізмів. Для скорочення експлуатаційного персоналу застосовують системи керування вантажопідйомними машинами, зокрема кранами, по радіоканалу (дистанційно). У цих системах максимальний ефект досягається також за умови забезпечення сталого регулювання швидкості.

Основна увага приділяється новим методам вибору електроустаткування для кранів з урахуванням вже введеної нової класифікації навантаження механізмів та електрообладнання, а також новим системам керування, включаючи керування радіоканалом, та різним системам регулювання швидкості.

Механізми підйому мостових кранів відносяться до механізмів циклічної дії з активним навантаженням. У загальному випадку цикл роботи

цих механізмів визначається технологічним процесом, але на вибір приводних двигунів істотно впливають динамічні режими: пуск, реверс, гальмування.

Переважає більшість вантажопідійомних машин, що виготовляються вітчизняною промисловістю, має електричний привід механізмів, і тому ефективність дії та продуктивність цих машин значною мірою залежать від якісних показників кранового електроустаткування, що використовується. Сучасний крановий електропривод за останній час зазнав істотної зміни в структурі та застосовуваних системах управління.

Для найбільш масових кранів загального призначення починають широко застосовуватися електроприводи на основі короткозамкнених двигунів, значна частина кранів виготовляється з керуванням з підлоги, а швидкохідні крани для важких режимів роботи комплектуються різними тиристорними системами, що забезпечують глибоке регулювання швидкості, плавність пуску і гальмування економії енергоресурсів.

Більшість вантажопідіймальних кранів характеризується постійно мінливими умовами використання при переробці вантажів, і тому механізми кранів, що мають у своєму складі електроприводи, повинні бути максимально пристосовані до постійно видозмінної роботи з вантажами, різноманітними за масою, розмірами, формою, та в умовах виробничих приміщень або на відкритих вантажних майданчиках.

Надзвичайно широкий діапазон зміни навантажень практично будь-якого з кранових електроприводів є одним із головних факторів, що потребують особливого підходу до вибору розрахункових параметрів приводних електродвигунів, апаратури керування та захисту.

2.2 Формулювання вимог до автоматизованого електроприводу та системи автоматизації

При виборі структури електроприводу слід зважати на особливості технологічного процесу, вимоги надійності, гнучкості в управлінні, зручності налагодження. До електроприводів механізмів підйому мостових кранів, які в більшості випадків керуються оператором, пред'являються жорсткі вимоги до простоти їх експлуатації та надійності за умови забезпечення необхідного діапазону регулювання швидкості. Діапазон регулювання при підйомі та опусканні номінального вантажу визначається мінімальною швидкістю при посадці вантажів. Величина цього діапазону залежить від технологічного процесу та номінальної вантажопідйомності крана. Так, для кранів вантажопідйомністю понад 20 тонн середнього режиму роботи $D \geq 20:1$, при цьому при підйомі та опусканні порожнього гака швидкість повинна бути в 1,5-2 рази більша, ніж швидкість при підйомі номінального вантажу. Важливою вимогою для електроприводів зазначеного класу є плавна зміна швидкості в перехідному процесі, що різко знижує ривок і, отже, зменшує амплітуду розкачування вантажу.

Для виконання зазначених вимог система керування електроприводом повинна бути напів-або повністю автоматичною, особливо під час роботи в перехідних режимах.

Основні вимоги до системи електроприводу мостового крана можна сформулювати так:

1. На перших положеннях контролера підйому двигун повинен розвивати такий пусковий момент, щоб виключалася можливість спуску номінального вантажу при нарузі мережі живлення 90% номінального і в той же час бажана мінімальна швидкість становила при найменшому навантаженні не більше 30% номінального значення.

2. При переміщенні рукоятки командоконтролера у напрямку зниження

швидкості остання не повинна підвищуватись навіть короткочасно. Це в першу чергу стосується перемикання з першого положення в нульове, коли запізнення механічного гальмування не повинно призводити до підвищення малої швидкості спуску.

3. Система електричного гальмування повинна мати необхідний запас, що забезпечує надійне уповільнення вантажу, що дорівнює 125% номінального, при напрузі мережі живлення 90% номінального.

4. Рух вантажу має відбуватися тільки у напрямку, що встановлюється командоапаратом, та при несправностях у схемі. В останньому випадку вантаж може залишатися нерухомим.

Вибір системи електроприводу для кранових механізмів складає основу аналізу порівняльних показників.

Економічна оцінка систем електроприводу повинна базуватися на принципі мінімальних витрат, пов'язаних із початковими витратами, експлуатаційними витратами на ремонт, а також витратами енергії, що споживається з мережі на розгін та гальмування кранових механізмів за період експлуатації до капітального ремонту (10 років).

Економічна оцінка може бути здійснена розрахунком за певною методикою.

Вибирається система, що має найкращі економічні показники. Якщо економічні показники систем, що порівнюються, близькі (розбіжність не перевищує 15%), то проводиться додаткова оцінка за масогабаритними показниками та умовами розміщення електрообладнання.

Істотною вимогою до електроприводу механізму підйому є забезпечення надійного гальмування під час активного моменту навантаження. При цьому з метою енергозбереження доцільно застосовувати рекуперативне гальмування, особливо при потужностях двигунів понад 30 кВт.

2.3 Визначення можливих варіантів та вибір раціональної системи електроприводу

Для регульованих кранових електроприводів з діапазоном регулювання швидкості більше 20:1 найбільш застосовні такі системи електроприводу:

1. Система з тиристорним перетворювачем напруги (система ТП-Д);
2. Система з тиристорним регулятором напруги (ТРН-АД);
3. Система з перетворювачем частоти (система ПЧ-АД);
4. Система з асинхронним двигуном та імпульсним регулятором у ланцюгу випрямленого струму без рекуперації енергії ковзання (система АД-ІР);
5. Система з асинхронним двигуном та імпульсним регулятором у ланцюгу випрямленого струму з рекуперацією енергії ковзання в мережу (система АД-ІР-І).

У цій роботі виконано порівняльний аналіз енергетичних та економічних показників названих систем кранових електроприводів, причому ефективнішою вважається та система електроприводу, яка споживає менше електроенергії при виконанні одиниці механічної роботи технологічного циклу. У цикл роботи крана входять етапи підйому вантажу, переміщення його на необхідну відстань, опускання вантажу та пауза для стропування. Задана стандартна тривалість включення $T_B=40\%$, причому у циклі роботи є ділянки руху зі зниженою швидкістю.

При визначенні раціональних меж застосування системи електроприводу слід оцінювати як енергетичні показники порівнюваних систем, а й річні наведені витрати.

Виходячи з того, що розглядається нами кран, який здійснює підйом і переміщення вантажів у ремонтно-механічних та складальних цехах, відноситься до середнього режиму роботи з вантажопідйомністю до 20 тонн потужністю двигуна механізму підйому більше 55 кВт і діапазоном

регулювання D , то на підставі викладеного можна обґрунтовано прийняти як раціональну систему електроприводу підйому мостового крана систему ПЧ-АД.

З іншого боку, слід врахувати, що система ПЧ-АД краще пристосована реалізації дистанційного телемеханічного управління, ніж інші системи електропривода.

2.4 Проектування функціональної схеми автоматизованого електроприводу

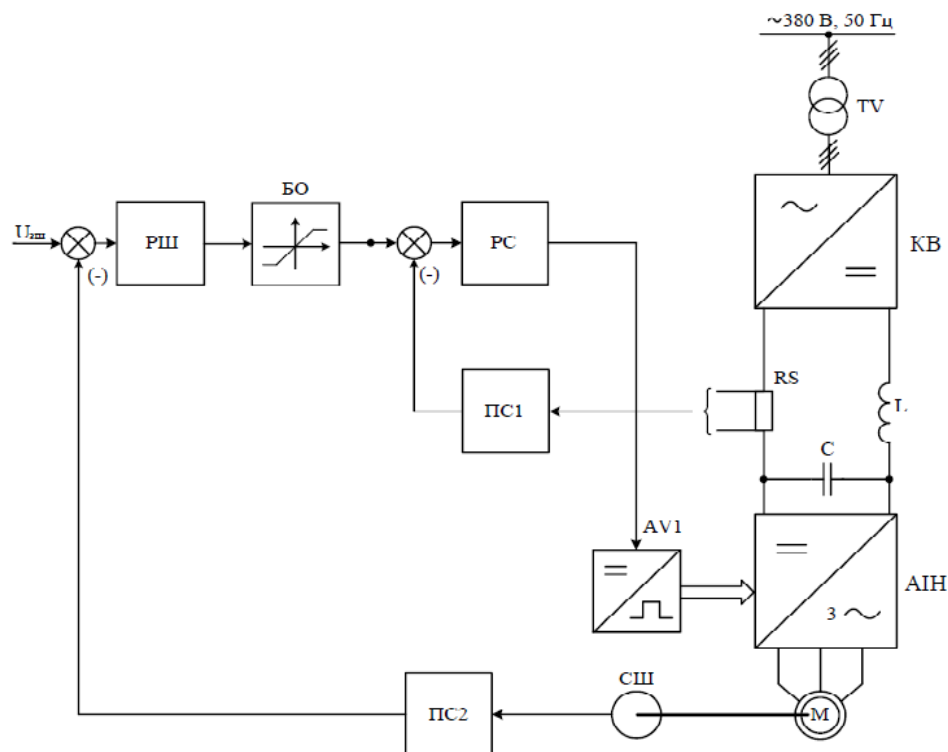


Рисунок 2.1 Функціональна схема системи частотно-керованого електропривода

БО – блок обмеження;

РС1, РС2 – перетворювачі сигналу;

AV1 – пристрій керування;

RS – шунт.

Система керування виконана двоконтурною з регуляторами швидкості (РШ) та струму (РС). Сигнал зворотного зв'язку за струмом береться з сенсора струму (RS), який знаходиться в колі постійного струму.

Регулятор швидкості забезпечує формування сигналу керування контуру струму. Сенсор зворотного зв'язку за швидкість (СШ) забезпечує формування контуру швидкості. Застосування зворотніх зв'язків забезпечує бажану статичну точність швидкості обертання та динаміку привода.

3. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА

3.1 Розрахунок навантажень та побудова механічної характеристики та навантажувальної діаграми механізму

Технологічні параметри механізму:

номінальна швидкість підйому 0,35 м/с;

максимальна висота підйому 16,5 м;

тривалість включення 40%.

Технологічний процес є циклом, що складається з: підйому гака, опускання вантажу, завантаження, підйому вантажу на висоту шести метрів, опускання вантажу, розвантаження.

Статична потужність при підйомі вантажу:

$$P_{ср}^{\uparrow} = \frac{g \cdot (m_{ном} + m_k) \cdot v_{ном}}{1000 \cdot \eta_{пном}} = \frac{9,81 \cdot (20000 + 600) \cdot 0,35}{1000 \cdot 0,8} = 88,413 \text{ кВт}$$

де m_k - маса гакової підвіски, кг

$m_{ном}$ - номінальна маса вантажу, кг

$v_{ном}$ - номінальна швидкість підйому (опускання) вантажу, м/с

$\eta_{пном}$ - номінальний ККД кінематичної схеми, що дорівнює добутку її окремих елементів

g - прискорення сили тяжіння, м/с²

Статическая мощность при опускании груза:

$$P_{ср}^{\downarrow} = \frac{g \cdot (m_{ном} + m_k) \cdot v_{ном}}{1000 \cdot \eta_{пном}} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_{пном}}\right) = \frac{9,81 \cdot (20000 + 600) \cdot 0,35}{1000 \cdot 0,8} \cdot \left(2 - \frac{1}{0,8}\right) = 53047 \text{ Вт}$$

Статична потужність при підйомі гака:

$$P_{\text{ск}}^{\uparrow} = \frac{g \cdot m_{\text{к}} \cdot 2v_{\text{ном}}}{\eta_{\text{п}}} = \frac{9,81 \cdot 600 \cdot 0,7}{0,28} = 11036 \text{ Вт}$$

$\eta_{\text{п}}$ - ККД передачі, величина якого залежить як від кінематичного ланцюга, так і від величини завантаження і визначається як

$$\eta_{\text{п}} = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{\text{ном}}} + \frac{\alpha}{k_3} - \alpha} = \frac{1}{\frac{1}{0,85} + \frac{0,07}{0,029} - 0,07} = 0,28$$

де α - коефіцієнт, що приймається рівним 0,07

k_3 - коефіцієнт завантаження

$$k_3 = \frac{m_{\text{к}}}{m_{\text{ном}} + m_{\text{к}}} = \frac{600}{20000 + 600} = 0,028$$

Статична потужність при опусканні гака:

$$P_{\text{ск}}^{\downarrow} = P_{\text{ск}}^{\uparrow} (2\eta_{\text{п}} - 1) = 11036 (2 \cdot 0,28 - 1) = -4856 \text{ Вт}$$

Розрахуємо тепер час виконання технологічних операцій:

$$t_{\text{гр}}^{\uparrow} = \frac{H}{v_{\text{ном}}} = \frac{16,5}{0,35} = 47,1 \text{ с}$$

$$t_{\text{кр}}^{\uparrow} = \frac{H}{2 \cdot v_{\text{ном}}} = \frac{16,5}{2 \cdot 0,35} = 23,6 \text{ с}$$

$$t_{\text{п}} = 2 \cdot 47,1 + 2 \cdot 23,6 = 141,5 \text{ с}$$

Розрахуємо час циклу:

$$PB = \frac{t_p}{t_u} \cdot 100\% = 40\%$$

$$t_u = \frac{t_p}{PB} = \frac{141,5}{0,4} = 353,8c$$

Оскільки $t_{ц} = 5,89$ хв < 10 хв, то режим роботи повторно-короткочасний.

Сумарний час пауз:

$$\Sigma t_0 = t_{ц} - t_p = 353,8 - 141,5 = 212,3 c$$

$$\Sigma t_0 = t_{01} + t_{02} + t_{03} + t_{04}$$

$$\text{Примем } t_{01} = t_{03} = 53 c$$

$$t_{02} = t_{04} = 53 c$$

За результатами розрахунків будемо швидкісну та навантажувальну діаграми механізму.

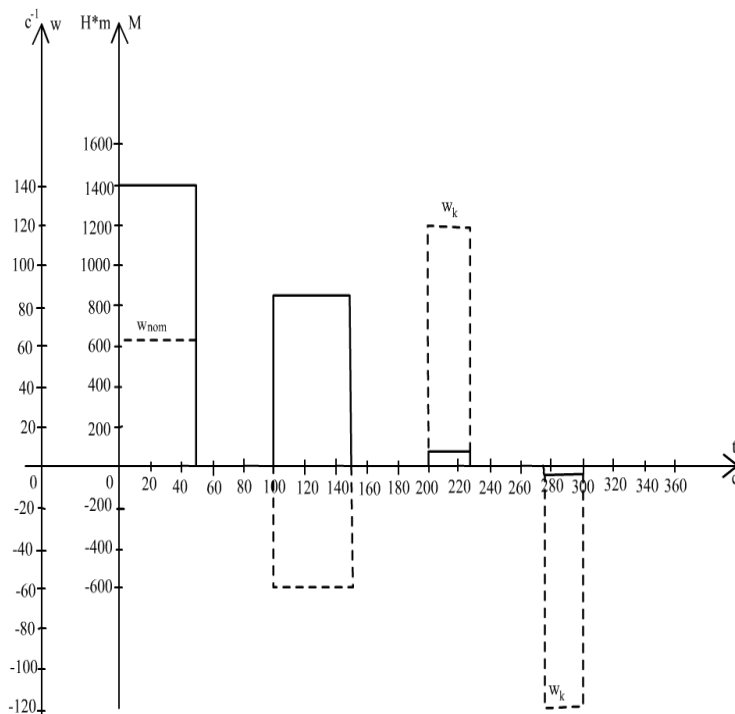


Рисунок 3.1. Швидкісна та навантажувальна діаграми механізму

3.2 Попередній вибір електродвигуна за потужністю

Визначаємо еквівалентну потужність. Статична еквівалентна потужність за робочий період:

$$P_{ce} = \sqrt{\frac{(P_{ск}^{\uparrow 2} + P_{ск}^{\downarrow 2}) \cdot t_{кр}^{\uparrow} + (P_{зр}^{\uparrow 2} + P_{зр}^{\downarrow 2}) \cdot t_{зр}^{\uparrow}}{2 \cdot t_{кр}^{\uparrow} + 2 \cdot t_{зр}^{\uparrow}}} =$$

$$\sqrt{\frac{(11036^2 + 4856^2) \cdot 23,57 + (11036^2 + 4856^2) \cdot 47,1}{14,5}} = 59730 \text{ Вт}$$

Перерахуємо цю потужність на ТВ=100%:

$$P_{ce} (TB = 100\%) = P_{ce} (TB = 40\%) \cdot \sqrt{\frac{40}{100}} = 59730 \cdot 0,63 = 45331 \text{ Вт}$$

3.3 Вибір номінальної швидкості двигуна та типорозміру двигуна

$$P_{розр} = P_{ce} \cdot K_{зап} = 45331 \cdot 1,2 = 54397,2 \text{ Вт}$$

де $K_{зап} = 1,05$ - коефіцієнт запасу

З формули знаходимо $n_{ном}$:

$$j_{ред} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{ном}}{v_{ном} \cdot 60 \cdot i}$$

$$n_{ном} = \frac{j_{ред} \cdot v_{ном} \cdot 60 \cdot i}{\pi D} = \frac{32,4 \cdot 0,35 \cdot 60 \cdot 4}{3,14 \cdot 1,45} = 597 \text{ об/мин}$$

З [1] відповідно до прийнятого $P_{розр}$ вибираємо двигун так, щоб $P_n \geq P_{розр}$.

Вибираємо двигун 4АН280М10У3 на синхронну швидкість $n_0 = 600$ об/хв.

Параметри вибраного двигуна з [1]:

- номінальна потужність $P_n = 55$ кВт,
- Номінальна напруга $U_n = 380/220$ В,
- номінальне ковзання $s_{ном} = 0,5\%$,
- номінальний ккд $\eta_{ном} = 90,5\%$,
- номінальний коефіцієнт потужності $\cos \varphi_{ном} = 0,81\%$,

кратність максимального моменту $M_{\max} / M_{\text{ном}} = 2$,

кратність пускового моменту $M_n / M_{\text{ном}} = 1$,

- критичне ковзання $s_k = 10\%$,
- кратність пускового струму $I_{\text{п}}/I_{\text{ном}} = 5$,
- момент інерції двигуна $J_{\text{дв}} = 4,0 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Параметри схеми заміщення двигуна у відносних одиницях:

$$X_{\mu}^* = 2.3;$$

$$R_1^* = 0,03;$$

$$X_1^* = 0,14;$$

$$R_2'^* = 0,035;$$

$$X_2'^* = 0,17.$$

Розрахуємо параметри електродвигуна:

Опір фази, Ом

$$Z_{\phi} = \frac{U_{\text{фн}}}{I_{1\text{н}}},$$

где $I_{1\text{н}}$ - номинальный фазный ток статора, А,

$$I_{1\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{3 \cdot U_{\text{фн}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}}},$$

$$I_{1\text{н}} = \frac{55000}{3 \cdot 220 \cdot 0,905 \cdot 0,81} = 114 \text{ А}$$

$$Z_{\phi} = \frac{220}{114} = 1.92 \text{ Ом.}$$

$$X_{\mu} = X_{\mu}^* \cdot Z_{\phi} = 2.3 \cdot 1.92 = 4.42 \text{ Ом};$$

$$R_1 = R_1^* \cdot Z_{\phi} = 0,036 \cdot 1.92 = 0.069 \text{ Ом};$$

$$X_1 = X_1^* \cdot Z_{\phi} = 0,14 \cdot 1.92 = 0.26 \text{ Ом};$$

$$R_2' = R_2'^* \cdot Z_{\phi} = 0,035 \cdot 1.92 = 0,067 \text{ Ом};$$

$$X_2' = X_2'^* \cdot Z_{\phi} = 0,17 \cdot 1.92 = 0.32 \text{ Ом};$$

Індуктивний опір короткого замикання, Ом

$$X_K = X_1 + X'_2 = 0.26 + 0.29 = 0.55 \text{ Ом.}$$

3.4 Побудова навантажувальної діаграми електроприводу

Навантажувальна діаграма електроприводу використовується для попередньої перевірки двигуна нагріву і перевантажувальної здатності. Спочатку визначимо сумарний момент інерції електроприводу у разі підйому гака (J_2) и груза (J_1).

З метою обмеження динамічних навантажень, забезпечення надійного зчеплення механізмів пересування з рейками та канатів зі шківками в підйомнику, а також формування необхідних перехідних процесів прискорення механізмів обмежується. Лінійне прискорення приймаємо: $a_{\text{доп}} = 0,2 \text{ м/с}^2$.

Номінальна швидкість двигуна:

$$\omega = \frac{\pi n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 597}{30} = 62,48 \text{ с}^{-1},$$

Радіус приведення:

$$\rho = \frac{v_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{0,35}{62,48} = 5,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{рад}}$$

Допустиме кутове прискорення (уповільнення):

$$\varepsilon_{\text{доп}} = \frac{a_{\text{доп}}}{\rho} = \frac{0,2}{5,6 \cdot 10^{-3}} = 35,7 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

Приймаємо момент інерції барабана заданим: $J_6 = 1200 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Момент інерції електроприводу під час підйому вантажу:

$$\begin{aligned} J_1 &= \delta \cdot J_0 + \frac{J_6}{J_{\text{ред}}^2} + (m_{\text{ван}} + m_2) = 1,2 \cdot 6,4 + \frac{1200}{32,4^2} + (20000 + 600) \cdot (5,6 \cdot 10^{-3})^2 = \\ &= 9,46 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \end{aligned}$$

де $\delta = 1,2$ - коефіцієнт, що враховує момент інерції частин механізму, що обертаються.

Момент інерції електроприводу при підйомі гака:

$$J_1 = \delta \cdot J_{\delta} + \frac{J_{\delta}}{J_{ред}^2} + m_2 \cdot \rho^2 = 1,2 \cdot 6,4 + \frac{1200}{32,4^2} + 600 \cdot (5,6 \cdot 10^{-3})^2 = 8,82 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Час розгону при підйомі та опусканні гака:

$$t_{m,к}^{\uparrow} = t_{m,к}^{\downarrow} = \frac{2 \cdot v_{ном}}{a_{доп}} = \frac{2 \cdot 0,35}{0,2} = 3,5 \text{ с}$$

$$t_{m,сп}^{\uparrow} = t_{m,сп}^{\downarrow} = \frac{v_{ном}}{a_{доп}} = \frac{0,35}{0,2} = 1,75 \text{ с}$$

Динамический момент електропривода $M_{дин}$ определим, принимая линейный закон изменения скорости.

$$M_{дин} = J \frac{dw}{dt} = J \cdot \varepsilon_{доп},$$

Динамический момент електропривода $M_{дин}$:

$$M_{дин1} = J_1 \cdot \varepsilon_{доп} = 9,46 \cdot 35,71 = 337,81 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{дин2} = J_2 \cdot \varepsilon_{доп} = 8,82 \cdot 35,71 = 315 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

На кожному інтервалі навантажувальної діаграми момент двигуна будемо розраховувати за такою формулою: $M = M_c + M_{дин} = M_c + J \varepsilon_{доп}$

Розрахуємо статичні моменти на всіх етапах циклу:

$$M_{c,к}^{\uparrow} = \frac{P_{c,к}^{\uparrow}}{2 \cdot \omega_{ном}} = \frac{11036}{2 \cdot 62,48} = 88,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c,к}^{\downarrow} = \frac{P_{c,к}^{\downarrow}}{2 \cdot \omega_{ном}} = \frac{-4856}{2 \cdot 62,48} = -38,86 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c,сп}^{\uparrow} = \frac{P_{c,сп}^{\uparrow}}{\omega_{ном}} = \frac{88413}{62,48} = 1415 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c,сп}^{\downarrow} = \frac{P_{c,сп}^{\downarrow}}{\omega_{ном}} = \frac{53047}{62,48} = 850 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Електромагнітний момент при розгоні та опусканні гака:

$$M_1 = M_{c,\kappa}^{\downarrow} - M_{\text{дин}2} = -38.86 - 315 = -353.86 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$t_1 = t_{m,\kappa}^{\uparrow} = 3.5 \text{ с}$$

Електромагнітний момент при опусканні гака із постійною швидкістю:

$$M_2 = M_{c,\kappa}^{\downarrow} = -38.86 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$t_2 = t_{m,\kappa}^{\uparrow} - 2 \cdot t_1 = 31.4 - 2 \cdot 3.7 = 24 \text{ с}$$

Електромагнітний момент при гальмуванні та опусканні гака:

$$M_3 = M_{c,\kappa}^{\downarrow} + M_{\text{дин}2} = -38.86 + 315 = 276.14 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$t_1 = t_{m,\kappa}^{\uparrow} = 3.5 \text{ с}$$

Електромагнітний момент при розгоні та підйомі вантажу:

$$M_4 = M_{c,\text{ep}}^{\uparrow} + M_{\text{дин}1} = 1415 + 337.81 = 1752.81 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$t_4 = t_{m,\text{ep}}^{\uparrow} = 1.75 \text{ с}$$

Електромагнітний момент під час підйому вантажу з постійною швидкістю:

$$M_5 = M_{c,\text{ep}}^{\uparrow} = 1415 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$t_5 = t_{\text{ep}}^{\uparrow} - 2 \cdot t_4 = 47.14 - 2 \cdot 1.75 = 43.64 \text{ с}$$

Електромагнітний момент при гальмуванні та підйомі гака:

$$M_6 = M_{c,\text{ep}}^{\uparrow} - M_{\text{дин}1} = 1415 - 337.81 = 1077.2 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$t_6 = t_{m,\text{ep}}^{\uparrow} = 1.75 \text{ с}$$

Електромагнітний момент при розгоні та опусканні вантажу:

$$M_7 = M_{c,\text{ep}}^{\downarrow} - M_{\text{дин}1} = 850 - 337.81 = 512.2 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$t_7 = t_{m,\text{ep}}^{\uparrow} = 1.75 \text{ с}$$

Електромагнітний момент під час опускання вантажу з постійною швидкістю:

$$M_8 = M_{c,\text{ep}}^{\downarrow} = 850 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$t_8 = t_5 = 43.64 \text{ с}$$

Електромагнітний момент при гальмуванні та опусканні вантажу:

$$M_9 = M_{c, \text{ep}}^{\downarrow} + M_{\text{дин}1} = 850 + 337.81 = 1187.81 \text{H} \cdot \text{м}$$

$$t_9 = t_{m, \text{ep}}^{\uparrow} = 1.75 \text{с}$$

Електромагнітний момент при розгоні та підйомі гака:

$$M_{10} = M_{c, \kappa}^{\uparrow} + M_{\text{дин}2} = 88.3 + 315 = 403.3 \text{H} \cdot \text{м}$$

$$t_{10} = t_{m, \kappa}^{\uparrow} = 3.5 \text{с}$$

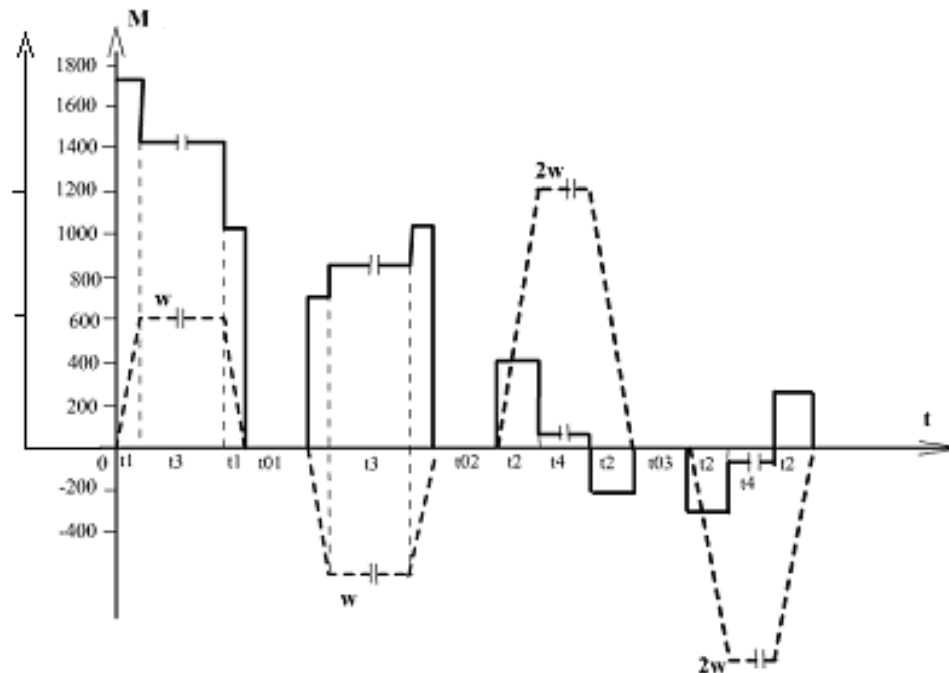


Рисунок 3.2. Навантажувальна та швидкісна діаграми електроприводу

Електромагнітний момент під час підйому гака з постійною швидкістю:

$$M_{11} = M_{c, \kappa}^{\uparrow} = 88.3 \text{H} \cdot \text{м}$$

$$t_{11} = t_2 = 24 \text{с}$$

Електромагнітний момент при гальмуванні та підйомі гака:

$$M_{12} = M_{c, \kappa}^{\uparrow} - M_{\text{дин}2} = 88.3 - 315 = -226.7 \text{H} \cdot \text{м}$$

$$t_{12} = t_{m, \kappa}^{\uparrow} = 3.5 \text{с}$$

За результатами розрахунків будемо діаграму електроприводу.

3.5 Перевірка двигуна з нагрівання та перевантажувальної здатності

Спрощена навантажувальна діаграма електроприводу використовується для перевірки двигуна по нагріванню та здатності до перевантаження. Електропривод працює у циклічному режимі зі змінним навантаженням. Для перевірки двигуна нагрівання використовуємо метод еквівалентного моменту. Умовою правильного вибору двигуна з нагрівання буде:

$$M_e \leq M_{ном}.$$

У повторно-короткочасному режимі еквівалентний момент визначається лише для робочих ділянок.

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n t_{p,i} \cdot M_{p,i}^2}{\alpha_0 \cdot \sum_{i=1}^m t_{n,m,i} + \sum_{i=1}^N t_{y,i}}},$$

де

M_{pi} - момент на i -му інтервалі,

t_{pi} - тривалість роботи на i -му інтервалі - кількість робочих інтервалів у циклі, - кількість інтервалів спуску та гальмування, - кількість інтервалів встановленого руху,

$t_{n.z.i}$ - тривалість пуску (гальмування) на i -му інтервалі,

α_0 - коефіцієнт, що враховує погіршення охолодження під час пуску (гальмування),

$t_{y,i}$ - тривалість руху, що встановився, на i -му інтервалі.

$$M_e = \sqrt{\frac{(1,75(1752,81^2 + 1077,2^2 + 512,2^2 + 1187,81^2) + 43,64(1415^2 + 850^2)) + 0,7 \cdot 2 \cdot (1,75 + 3,7) + 2(43,64 + 24)}{3,7((-353,7)^2 + 274,16^2 + 403,3^2 + (-226,7)^2)} + \frac{0,7 \cdot 2 \cdot (1,75 + 3,7) + 2(43,64 + 24)}{0,7 \cdot 2 \cdot (1,75 + 3,7) + 2(43,64 + 24)}}{2} =$$

$$= 912,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$\alpha_o = \frac{1 + \beta_o}{2} = \frac{1 + 0,4}{2} = 0,7$$

де β_o - коефіцієнт погіршення умов охолодження самовентильованого двигуна при відключенні.

Цей еквівалентний момент знайдено при $TB=40\%$, перерахуємо його на $TB=100\%$:

$$M_e (TB = 100\%) = M_e (TB = 40\%) \cdot \sqrt{\frac{40}{100}} = 576,9 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{55000}{62,48} = 880 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

По наближеній навантажувальній діаграмі також перевіряється двигун перевантажувальної здатності, т.к. максимальний момент у навантажувальній діаграмі дорівнює 1752, то:

$$\frac{M_{\max}}{M_{ном}} = \frac{1752}{880} = 1,99 < \lambda_m = 2,0$$

Отже, двигун за перевантажувальною здатністю підходить.

4. ПРОЕКТУВАННЯ СИЛОВОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ І ВИБІР КОМПЛЕКТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

4.1 Визначення можливих варіантів та обґрунтування вибору типу комплектного перетворювача

Як комплектний перетворювач можна використовувати перетворювач частоти зі скалярним керуванням, або з векторним керуванням. Так як у нас перетворювач має забезпечувати невеликий діапазон регулювання, то для наших цілей підходить частотний перетворювач зі скалярним керуванням.

Силова частина перетворювача повинна мати у своєму складі такі компоненти: випрямляч, інвертор, фільтр, резистор гальмування, вузли захисту.

Так як амплітуда напруги та частота регулюється перетворювачем в інверторі, випрямляч може бути виконаний на діодах, а при некерованому випрямлячі схема повинна мати гальмівний резистор.

Виходячи із струму та потужності обраного нами двигуна, вибираємо перетворювач.

В даний час існує багато перетворювачів, які відповідають нашим вимогам, наприклад, Hitachi, Siemens, ABB та багато інших.

Принципових відмінностей між ними немає, єдина їхня відмінність це їхня ціна та якість.

Вибираємо комплектний перетворювач фірми ABB типу ACS 601-0070-3.
Технічні дані вибраного перетворювача:

номінальна потужність, 55кВт;

номінальний вихідний струм перетворювача, 115А;

струм короткочасного навантаження, 123А;

трифазна напруга живлення, 380, 50Гц

маса перетворювача, 50 кг;

$$f_k = 1 \text{ кГц.}$$

4.2 Розрахунок параметрів та вибір елементів силового ланцюга

Силовий ланцюг, вибраного нами перетворювача частоти має наступний склад:

випрямляч - як елементи випрямляча використовуються діоди;

інвертор - як ключі інвертора використовується комплект IGBT транзисторів зі зворотними діодами, регулювання частоти на виході інвертора здійснюється шляхом зміни частоти перемикавання ключів інвертора, а регулювання величини напруги на виході інвертора здійснюється за рахунок широтно-імпульсної модуляції;

блок гальмування - використовується для резистивного частотного гальмування;

LC - фільтр - для фільтрації напруги;

анодні реактори - використовуються для фільтрації комутаційних перешкод та обмеження швидкості наростання струму короткого замикання.

ланцюги захисту від перенапруг;

струмообмежуючий опір;

З вище сказаного, силова схема електроприводу має вигляд, показаний на рисунку 4.1.

Схема силової частини електроприводу представлена на рисунку 4.1 і включає наступні силові елементи:

L1...L3 - струмообмежувальні реактори, призначені для обмеження швидкості наростання струму;

R_Г - гальмівний опір;

C - ємність випрямляча;

VT1...VT6 - транзистори силового блоку інвертора ;

R_{CO} - струмообмежуючий опір;

VD1...VD6 - діоди випрямляча.

VD7...VD12 - зворотні діоди інвертора;

ДС - датчик струму;

ЦЗП - ланцюги захисту від перенапруг;

L_{др} - згладжуючий дросель.

Як силові ключі рекомендується використовувати модулі IGBT, до складу якого входять біполярні транзистори з ізольованими затворами та зворотні діоди.

Попередній вибір:

Номінальний фазний струм статора:

$$I_{ном} = 114 \text{ A}$$

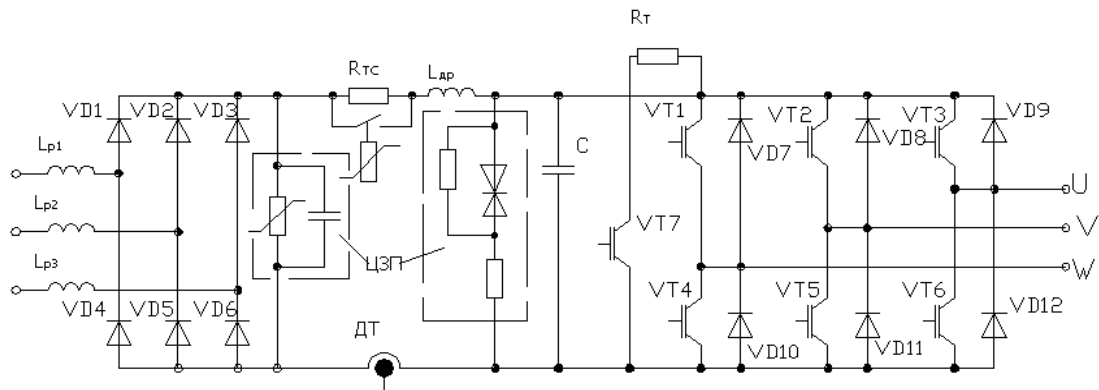


Рисунок 4.1. Принципова схема силового ланцюга електроприводу

Середній струм через силовий ключ:

$$I_{н.ср.} \geq k_3 \cdot I_{max},$$

де k_3 - коефіцієнт запасу, що враховує перевантаження струму при комутації ключа, $k_3 = 2$; - амплітудне значення струму в плечі силового ланцюга інвертора:

$$I_{\max} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot 114 = 164,2 \text{ A}$$

де $I_{\text{ном}}$ - номінальний струм двигуна, А.

Вираз для $I_{\text{н.ср}}$ набуде вигляду:

$$I_{\text{н.ср}} \geq 2 \cdot 164,2 = 328,4 \text{ A.}$$

Робоча напруга на силовому ключі:

$$U_{\text{роб.}} \geq U_{\max} + \Delta U_{\text{п.н.}},$$

де U_{\max} - амплітудне значення напруги в силовому ланцюзі інвертора, В;

$\Delta U_{\text{п.н}}$ - комутаційна перенапруга на ключі, В.

$$U_{\max} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{л}} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537,4 \text{ В,}$$

де $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$ - лінійна напруга мережі.

З урахуванням рекомендацій приймається значення перенапруги

$$\Delta U_{\text{п.н}} = 600 \text{ В.}$$

Вираз набуває вигляду:

$$U_{\text{роб.}} \geq 537,4 + 600 = 1137,4 \text{ В.}$$

Виходячи з отриманих результатів за каталогом [2] вибираються силові модулі IRGPH50KD2 у вигляді напівмосту зі зворотними діодами.

Максимально допустима напруга, що прикладається до вентиля, не повинна перевищувати допустимого значення імпульсної напруги, що повторюється.:

$$k_{\text{зн}} \cdot k_c \cdot U_{\text{обр.м}} \leq U_{\text{DRM}}$$

де:

$k_{\text{зн}}$ - коефіцієнт запасу за напругою, $k_{\text{зн}} = (1,3 \div 1,5)$;

k_c - коефіцієнт, що враховує можливе підвищення напруги в мережі;

$$k_c = 1,1.$$

$U_{\text{обр.м}}$ - максимальна зворотна напруга на вентилі;

$$U_{\text{обр.м}} = \sqrt{6} \cdot U_{\text{ф}},$$

де U_{ϕ} - значення напруги мережі живлення, $U_{\phi} = 220$ В;

$$U_{\text{обр.м.}} = \sqrt{6} \cdot 220 = 538,88 \text{ В.}$$

$$1,4 \cdot 1,1 \cdot 538,88 = 829,87 \leq (1200)$$

Зробимо вибір конденсаторів силового фільтра:

Сумарна ємність конденсаторів силового фільтра:

$$C = \frac{U_d T_H}{3 R_H \Delta U_c},$$

де U_d - середнє значення випрямленої напруги, В:

$T_H = 0,001$ - постійне часу навантаження (частота комутації транзисторів),

c ; $R_H = 0,069$ Ом - активний опір навантаження, Ом;

ΔU_c - допустиме підвищення напруги на конденсаторі.

Середнє значення випрямленої напруги: $U_d = k_{\text{сх}} \cdot U_{\phi} = 2,34 \cdot 220 = 514,8$ В,

де $U_{\phi} = 220$ В - фазна напруга мережі; $k_{\text{сх}} = 2,34$ - коефіцієнт схеми для трифазного випрямляча.

Допустиме підвищення напруги на конденсаторі:

$$\Delta U_c = 0,1 \cdot U_d = 0,1 \cdot 514,8 = 51,5 \text{ В.}$$

Активний опір навантаження: $R = 3 R_H \cdot 1/2 = 3 \cdot 0,069 / 2 = 0,1$ Ом.

Вираз набуде вигляду:

$$C = \frac{514,8 \cdot 0,001}{3 \cdot 0,1 \cdot 51,5} = 33 \cdot 10^{-3} \text{ Ф.}$$

Визначається максимальна допустима напруга на конденсаторі:

$$U \geq \sqrt{2} \cdot U_d$$

$$U \geq \sqrt{2} \cdot 514,8 = 762,8 \text{ В.}$$

На основі результатів отриманих виразів вибираються конденсатори силового фільтра.

4.3 Вибір датчиків регульованих координат електроприводу

Датчик струму для частотного керування асинхронним двигуном з IR-компенсацією треба вибрати на основі вимірювання миттєвих значень струмів у фазах АД, потім сформувати сигнал діючого значення фази струму.

$$i_{\alpha} = i_a$$

$$i_{\beta} = \frac{i_b - i_c}{\sqrt{3}}$$

$$I_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{i_{\alpha}^2 + i_{\beta}^2}$$

Вибираємо 3 датчики струму виробництва фірми LEM на основі елементів Холла серії HAS по номінальному струму статора ($I_H = 114 \text{ A}$).

Основні технічні дані датчика струму типу HAS 120 S/SP1:

- Номінальний первинний струм, $I_{PN} = 120 \text{ A}$;
- Діапазон перетворення, $\pm 360 \text{ A}$;
- Напруга живлення, $+5 \text{ В}$.

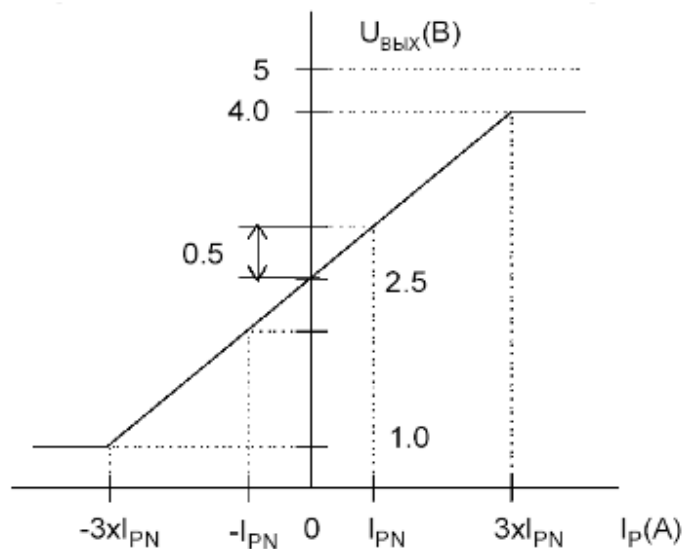


Рисунок 4.2. Характеристика датчиків струму серії HAS

5. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

5.1 Розробка математичної моделі автоматизованого електроприводу

В даний час сформувався новий підхід до побудови систем асинхронного електроприводу з перетворювачем частоти, заснований на повних диференціальних рівняннях асинхронного двигуна записаних на базі теорії узагальненої електричної машини. Такий підхід дозволяє побудувати структуру системи керування частотним електроприводом, звану системою частотного керування, та здійснити аналіз та синтез асинхронного електродвигуна найпростішими методами. Для цієї мети керовані координати електроприводу, змінні в нерухомій системі координат, перетворюються до системи координат, що обертається, в якій координати електроприводу розглядаються як векторні величини. З цих величин, розташованих у вигляді проекцій на осі координат, що обертаються, шляхом координатних перетворень виділяються пропорційні або постійні величини координат електроприводу, які використовуються як сигнали управління в системі електроприводу. Диференціальні рівняння для узагальненої машини записуються у різних системах координат. Прийняті осі координат α , β нерухомі щодо статора та осі d , q - нерухомі щодо ротора. Запис рівнянь у цих осях є окремим випадком математичного опису процесів машини. У загальному випадку рівняння записуються щодо довільних координатних осей, наприклад u , v які обертаються зі швидкістю w_k , з яких можна отримати будь-які окремі випадки роботи електричної машини. Якщо прийняти вісь u за дійсну, а вісь v за уявну, то диференціальні рівняння можуть бути записані у векторній формі.

Характеристики повинні відповідати заданим умовам навантаження та розвантаження. Оскільки операції чергуються, характеристики повинні змінюватися штучним шляхом ручного або автоматичного управління

параметрами, або завдяки властивості самоврядування. Всі агрегати в необхідній мірі властивостями самоврядування не володіють, тому характеристики необхідно змінювати штучно за допомогою систем автоматичного управління, так як при ручному управлінні його необхідна якість не забезпечується. Системи управління повинні безперервно забезпечувати такі характеристики агрегатів, у яких продуктивність крана максимальна.

$$\left. \begin{aligned}
 U_{1u} &= i_{1u}R_1 + \frac{d\psi_u}{dt} - \omega_k\psi_{1g}; \\
 U_{1v} &= i_{1g}R_1 + \frac{d\psi_g}{dt} - \omega_k\psi_{1u}; \\
 0 &= i_{2u}R_2 + \frac{d\psi_{2u}}{dt} - (\omega_k - \omega_{эл})\psi_{2g}; \\
 0 &= i_{2g}R_2 + \frac{d\psi_{2g}}{dt} - (\omega_k - \omega_{эл})\psi_{2u}; \\
 M &= p_{\Pi}L_{12}(i_{1g}i_{2u} - i_{1u}i_{2g}); \\
 \psi_{1u} &= L_1i_{1u} + L_{12}i_{2u}; \\
 \psi_{1g} &= L_1i_{1g} + L_{12}i_{2g}; \\
 \psi_{2u} &= L_2i_{2u} + L_{12}i_{1u}; \psi_{2g} = L_2i_{2g} + L_{12}i_{1g}
 \end{aligned} \right\}$$

Математична модель двофазного асинхронного двигуна в осях u - v вигляд:

$$\left. \begin{aligned}
 \omega_k &= 0; \\
 \bar{U}_1 &= \bar{i}_1R_1 + \frac{d\bar{\psi}_1}{dt}; \\
 0 &= \bar{i}_2R_2 + \frac{d\bar{\psi}_2}{dt} - j\omega_{эл}\bar{\psi}_2; \\
 \bar{M} &= p_{\Pi}L_{12} \text{Im}(\bar{i}_1 \cdot \bar{i}_2^*) = p_{\Pi}L_{12}(i_{1\beta}i_{2\alpha} - i_{1\alpha}i_{2\beta});
 \end{aligned} \right\}$$

ω_k - швидкість системи координат ;

i_v, i_u - складові струму ;

ψ_v, ψ_u - потокозчеплення;

R_1 - опір статора;

M - електромагнітний момент двигуна;

L_1, L_2 - індуктивності фаз статора та ротора ;

L_{12} - індуктивність взаємоіндукції;

U_1 - напруга на статорі.

Усі змінні цієї моделі змінюються із частотою струму статора.

Імітаційна модель двофазного асинхронного двигуна в осях α, β має

ВИГЛЯД:

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_{1\alpha}}{dt} &= K_1(U_{1\alpha} - i_{1\alpha}R_1) + K_3i'_{2\alpha} + K_2e_{1\beta} \\ \frac{di_{1\beta}}{dt} &= K_1(U_{1\beta} - i_{1\beta}R_1) + K_3i'_{2\beta} - K_2e_{1\alpha} \\ \frac{di'_{2\alpha}}{dt} &= -K_2(U_{1\alpha} - i_{1\alpha}R_1) - K_5i'_{2\alpha} - K_4e_{1\beta} \\ \frac{di'_{2\beta}}{dt} &= -K_2(U_{1\beta} - i_{1\beta}R_1) - K_5i'_{2\beta} - K_4e_{1\alpha} \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{J}(M - |M_c| \text{sign}\omega) \end{aligned} \right\}$$

$$M = K_6(i_{\beta}i'_{2\alpha} - i_{1\alpha}i'_{2\beta});$$

$$e_{1\alpha} = \omega_{\text{эл}}(L_2i'_{2\alpha} + L_{12}i'_{1\alpha});$$

$$e_{1\beta} = \omega_{\text{эл}}(L_2i'_{2\beta} + L_{12}i'_{1\beta});$$

$$\omega_{\text{эл}} = p_{\text{п}}\omega; K_1 = \frac{L_2}{L_1L_2 - L_{12}^2}; K_2 = \frac{L_{12}}{L_1L_2 - L_{12}^2}; K_3 = K_2R_2';$$

$$K_4 = \frac{L_1}{L_1L_2 - L_{12}^2}; K_5 = K_4R_2'; K_6 = \frac{3}{2}p_{\text{п}}L_{12};$$

$$U_{1\alpha} = U_{1m} \cos[\varphi_{\text{эл}}(t)];$$

$$U_{1\beta} = U_{1m} \sin[\varphi_{\text{эл}}(t)];$$

$$\varphi_{\text{эл}} = 2\pi f_{1\text{ном}} \int \alpha(t) dt;$$

$$\alpha(t) = \frac{f_1(t)}{f_{1\text{ном}}}$$

Динамічні властивості системи ПЧ-АД як об'єкта управління менш сприятливі, ніж динамічні властивості регульованих електроприводів постійного струму, через відсутність незалежного каналу регулювання потоку, аналогічного обмотці збудження двигуна з незалежним збудженням. Так, при живленні від джерела напруги потокозчеплення ψ_1, ψ_2, ψ_m складно залежать від напруги U_1 , частоти f_1 та абсолютного ковзання s_a .

5.2 Розрахунок параметрів об'єкта управління.

Визначимо коефіцієнти $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$, для двофазної моделі АД, для цього розрахуємо необхідні параметри :

індуктивність статора

$$L_1 = \frac{x_1 + x_\mu}{2\pi f} = \frac{0,26 + 4,42}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0149 \text{ Гн}$$

індуктивність ротора

$$L_2 = \frac{x_2' + x_\mu}{2\pi f} = \frac{0,29 + 4,42}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,015 \text{ Гн} \quad L_{12} = \frac{x_\mu}{2\pi f} = \frac{4,42}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,014 \text{ Гн}$$

еквівалентна індуктивність ланцюга статора:

$$L_\sigma = L_1 - \frac{L_{12}^2}{L_2} = 0,0149 - \frac{0,014^2}{0,015} = 0,0019 \text{ Гн}$$

$$K_1 = \frac{L_2}{L_1 L_2 - L_{12}^2} = \frac{0,015}{0,0149 \cdot 0,015 - 0,014^2} = 545,45 \frac{1}{\text{Гн}}$$

$$K_2 = \frac{L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} = \frac{0,014}{0,0149 \cdot 0,015 - 0,014^2} = 509,09 \frac{1}{\text{Гн}}$$

$$K_3 = K_2 R_2' = 509,09 \cdot 0,067 = 34,1 \frac{1}{\text{с}}$$

$$K_4 = \frac{L_1}{L_1 L_2 - L_{12}^2} = \frac{0,0149}{0,0149 \cdot 0,015 - 0,014^2} = 541,81,6 \frac{1}{\text{Гн}}$$

$$K_5 = K_4 R_2' = 541,81 \cdot 0,067 = 36,3 \frac{1}{\text{с}}$$

$$K_6 = \frac{3}{2} p_{\pi} L_{12} = \frac{3 \cdot 3 \cdot 0,014}{2} = 0,063 \text{ Ом}$$

$$R_3 = R_1 + R_2'(L_{12}^2 / L_2^2) = 0,069 + 0,067 \cdot \frac{0,014^2}{0,015^2} = 0,127 \text{ Ом}$$

$$T_3 = \frac{L_3}{R_3} = \frac{0,0019}{0,127} = 0,0149 \text{ с}$$

$$\psi_1 = \frac{E_{\text{шном}}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{шном}}} = \frac{217}{314} = 0,69 \text{ Вб.}$$

5.3 Визначення структури та параметрів керуючого пристрою

При регулюванні напруги АД за законом $\psi_1 = \text{const}$ забезпечується сталість модуля жорсткості механічних характеристик β .

Структурна схема автоматизованого електроприводу представлена рисунку 5.2.

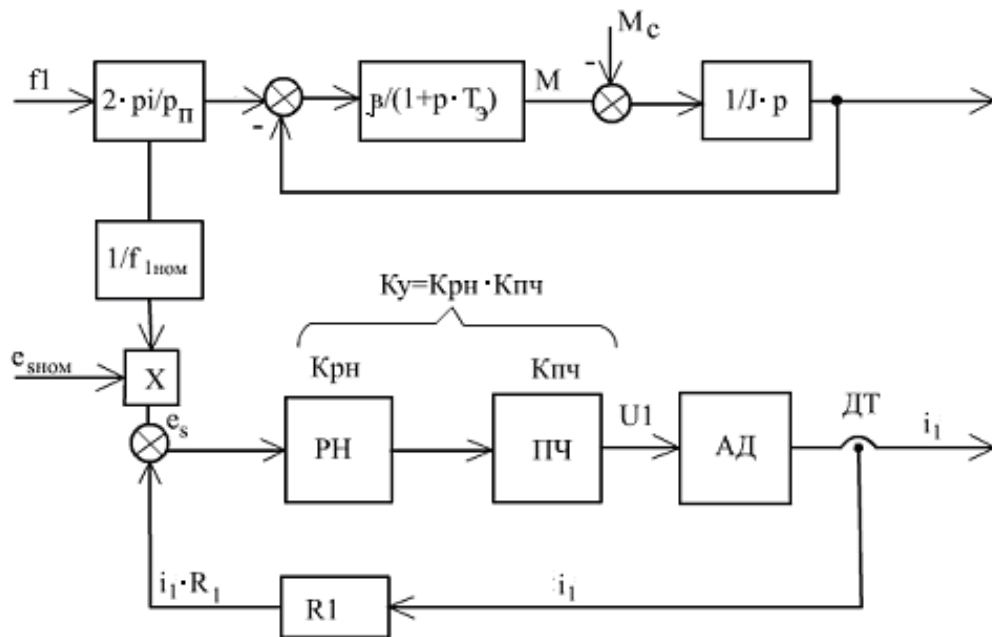


Рисунок 5.2. Структурна схема автоматизованого електроприводу
У такій системі САУ має забезпечити амплітуду вихідної напруги ПЧ:

$$U_{1m} = \sqrt{2} \cdot K_0 \cdot (\alpha \cdot e_{\text{сін}} + i \cdot R_1)$$

де K_y - коефіцієнт посилення системи управління ;

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{iном}} - \text{відносна частота;}$$

$e_{шном}$ - сигнал номінальної ЕРС статора:

$$e_{шном} = \frac{E_{шном}}{K_y},$$

$E_{шном}$ - чинне номінальне значення ЕРС статора;

i_1 - сигнал струму статора:

$$i_1 \cdot R_1 = \frac{I_1 \cdot R_1}{K_y}$$

I_1 - действующее значение тока статора.

6. АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ І СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

6.1 Розробка програмного забезпечення для комп'ютерного моделювання автоматизованого електроприводу

Комп'ютерне моделювання проектованої установки виробляємо серед математичного моделювання MATLAB 6.0, з використанням бібліотеки Simulink. Модель побудована з урахуванням отриманих рівнянь.

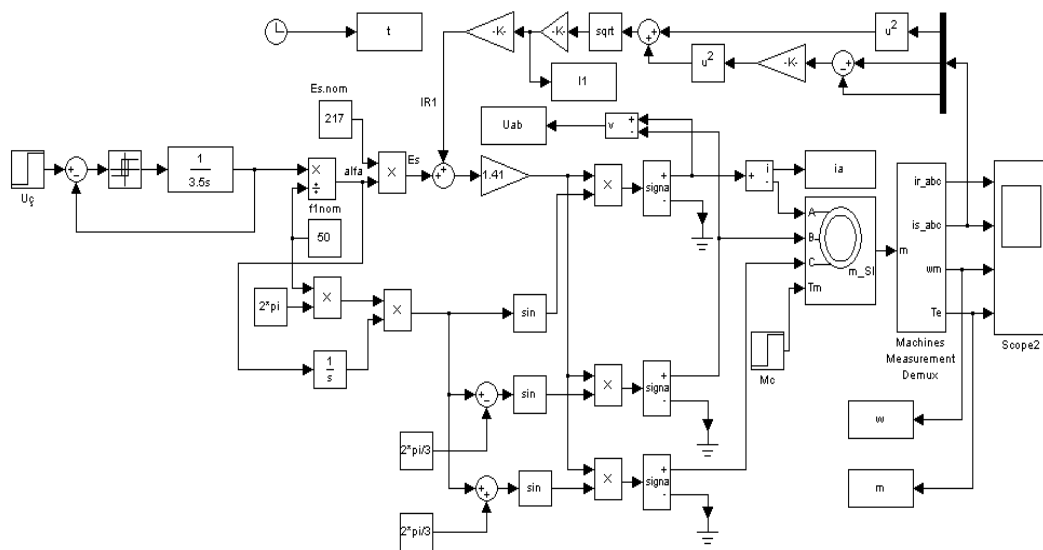


Рисунок 6.1. Імітаційна модель електроприводу

На рисунку 6.1 показана схема моделювання електроприводу, що складається з асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та перетворювача частоти.

Реалізація задатчика інтенсивності.

Блок Saturation забезпечує лінійне наростання сигналу, релейний блок

виконує функцію обмеження сигналу, коефіцієнт $-K$ - служить регулювання інтенсивності наростання, тобто досягнення необхідної швидкості двигуна з певним прискоренням. На вхід задатчика інтенсивності подається ступінчастий сигнал управління U , який підсумовується з вихідним сигналом інтегратора. На виході задатчика отримуємо сигнал керування, який надходить на регулятор частоти та функціональний перетворювач.

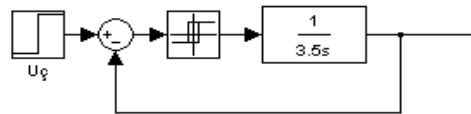


Рисунок 6.2. Схема реалізації задатчика інтенсивності

6.2 Розрахунок та визначення показників якості перехідних процесів

Швидкість при пуску відпрацьовується з перерегулюванням, що дорівнює:

$$h_{\omega} = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} \cdot 100\% = 1,7\%.$$

Час регулювання $t_D = 1,77\tilde{n}$.

Зробимо моделювання перехідних процесів для механізму підйому крана.

В результаті моделювання були отримані такі графіки перехідних процесів:

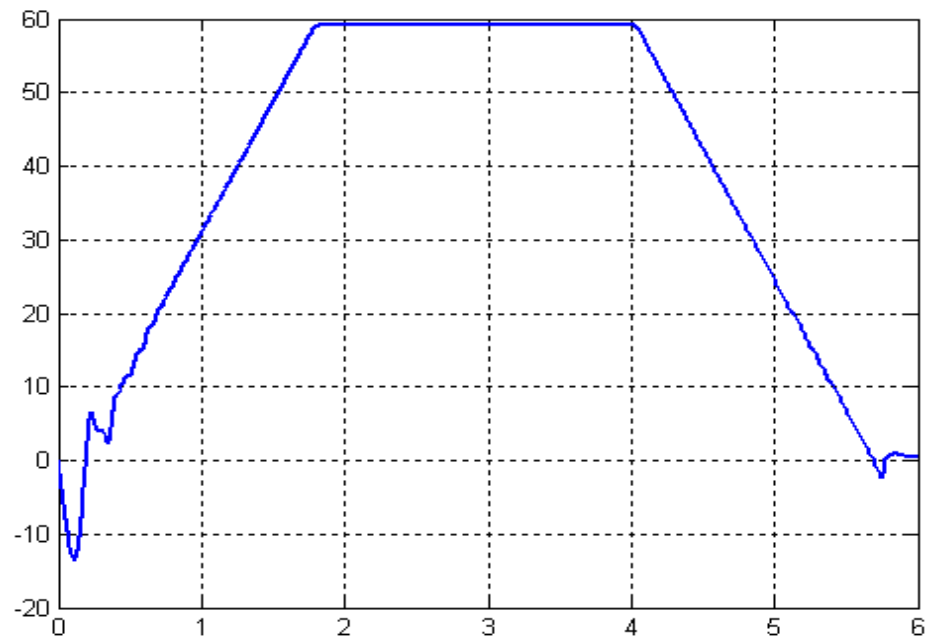
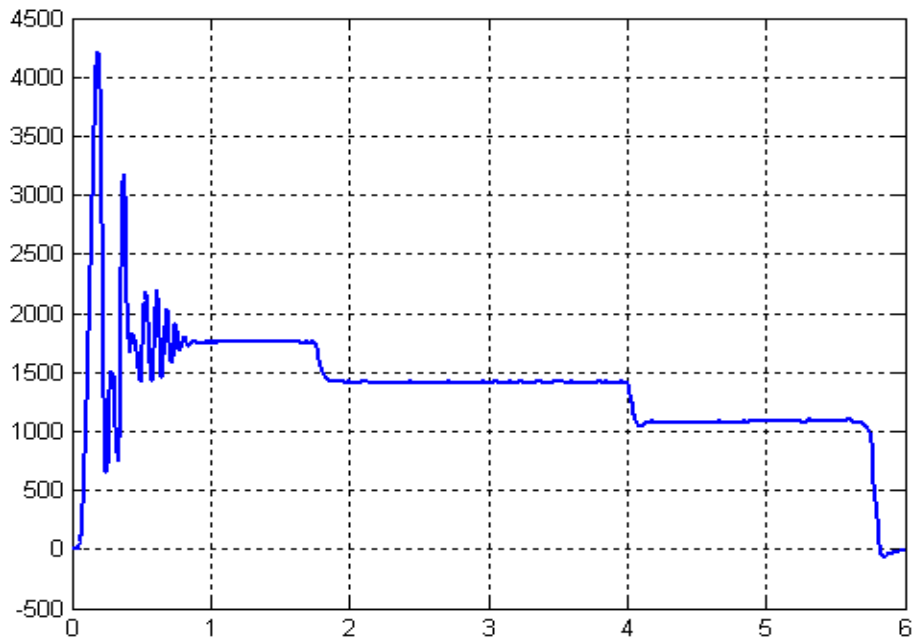


Рисунок 6.3. Підйом вантажу

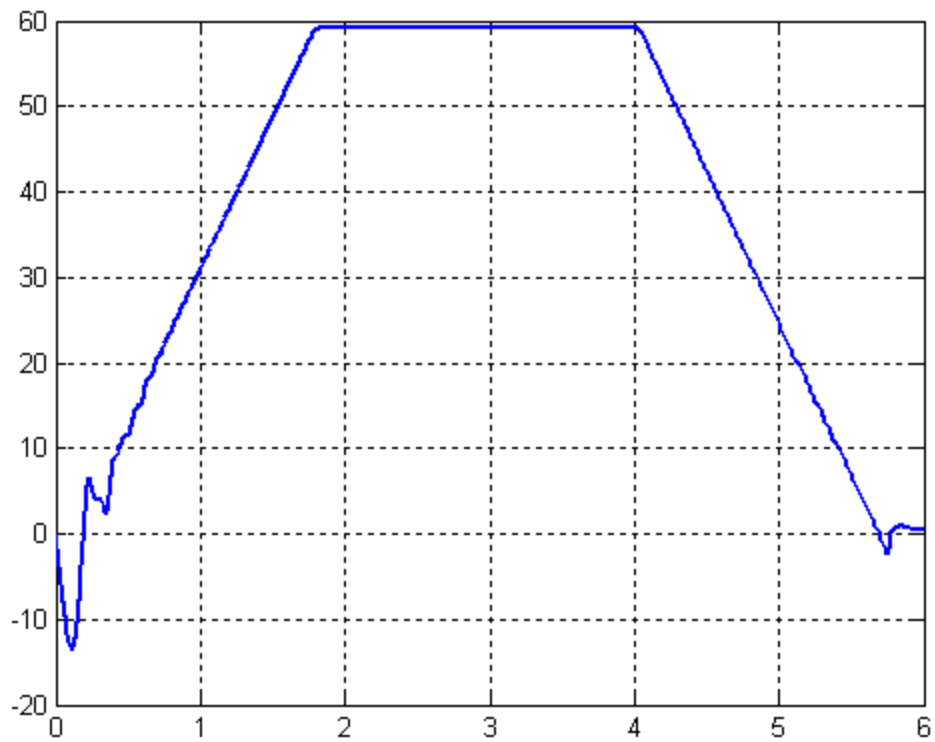
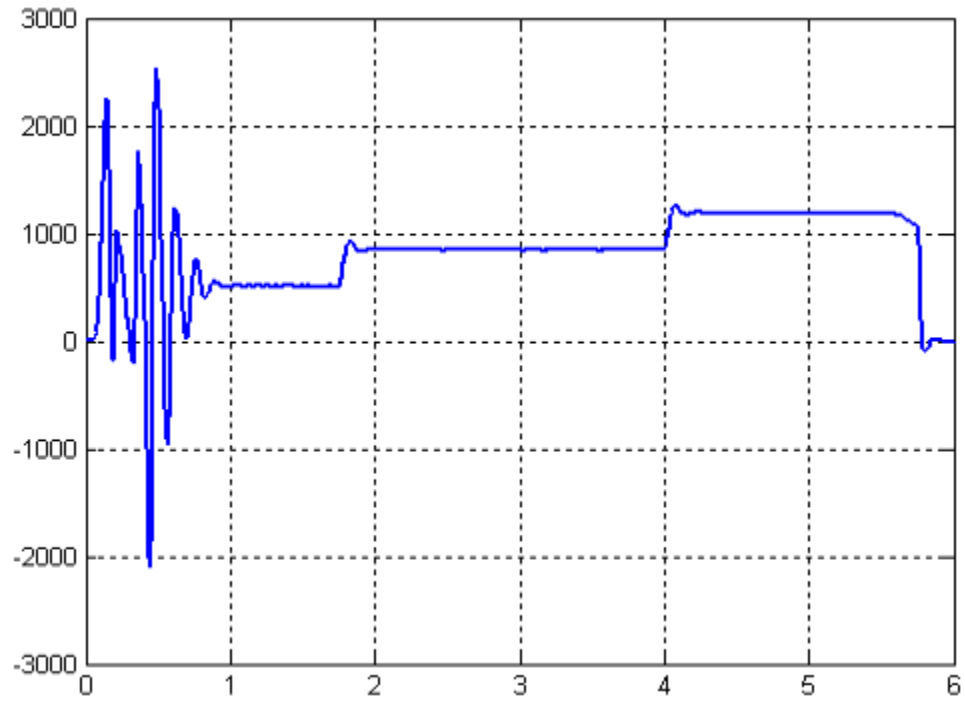


Рисунок 6.4. Опускання вантажу

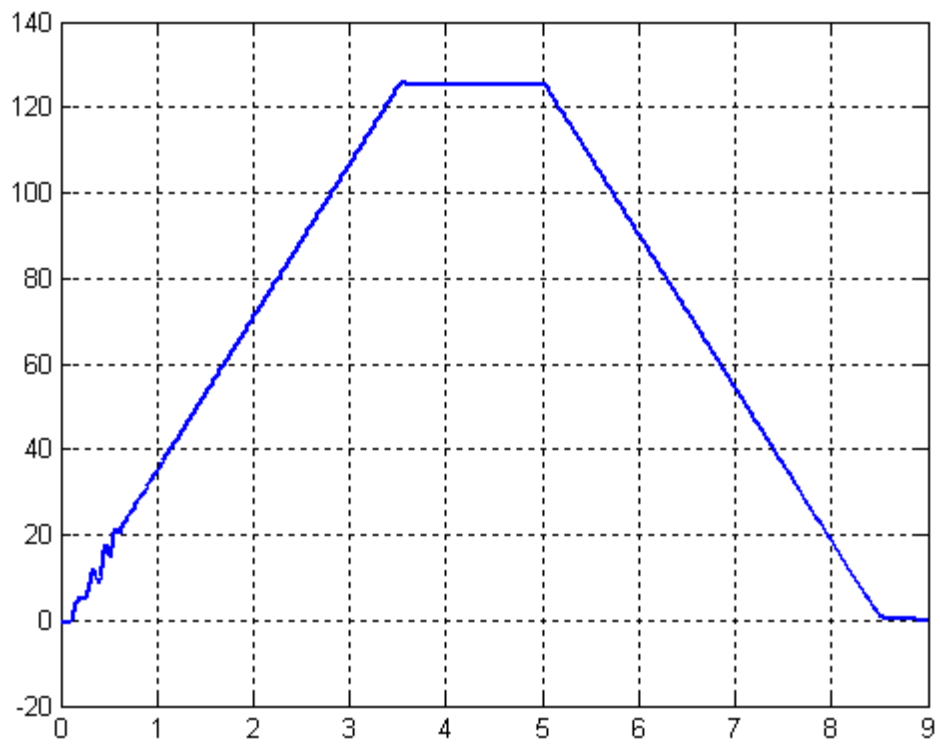
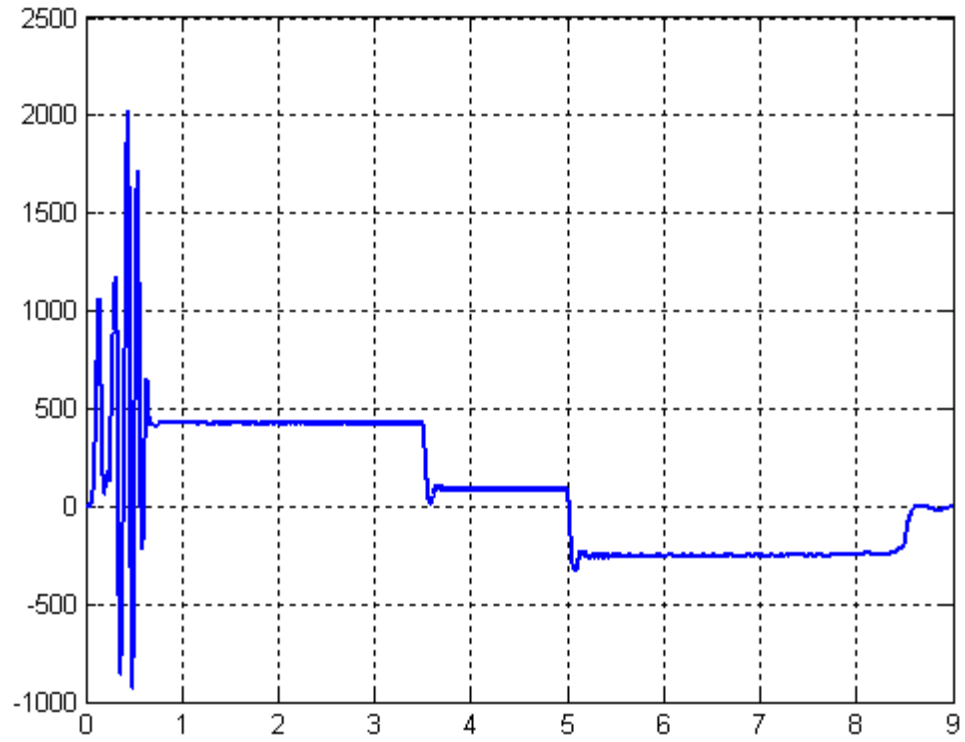


Рисунок 6.5. Підйом гака

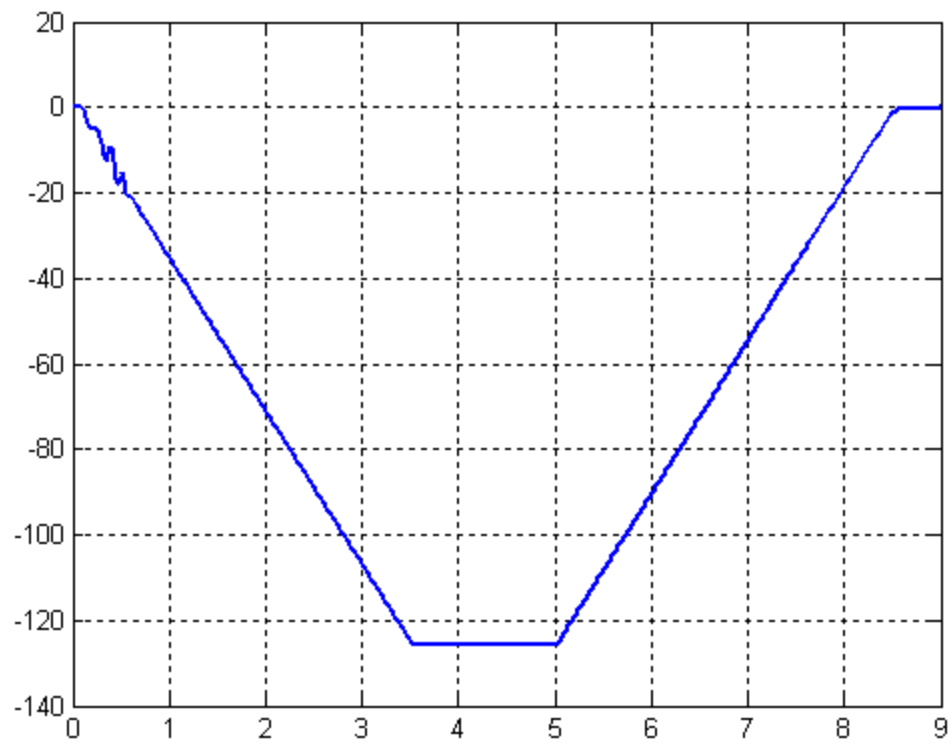
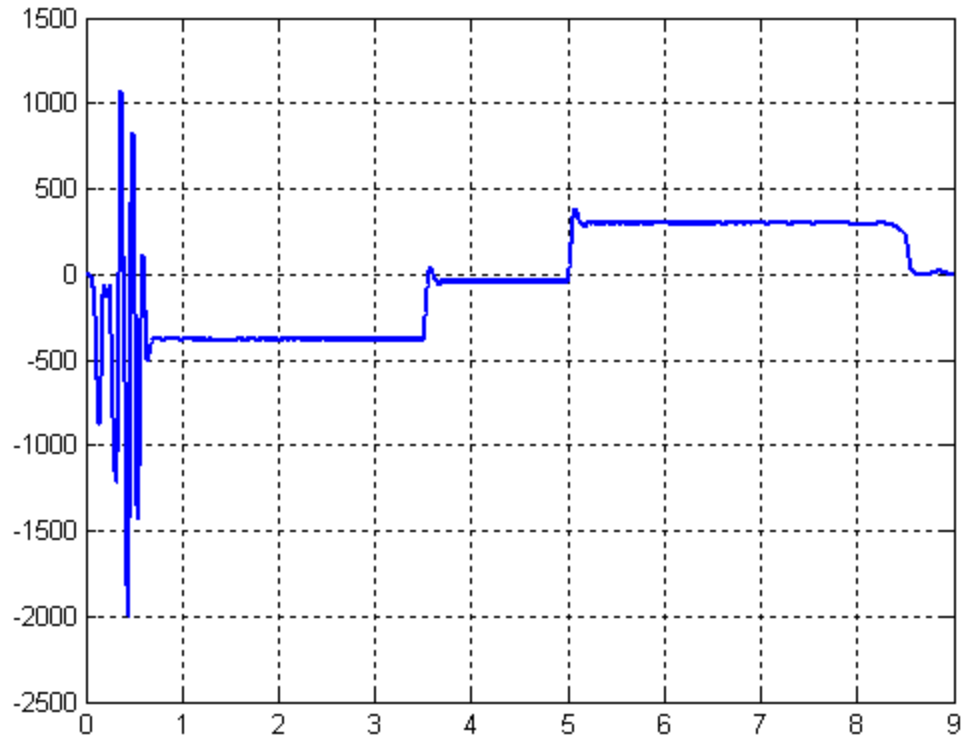


Рисунок 6.6. Опускання гака

6.3 Побудова статичних характеристик електроприводу

Побудуємо природну механічну характеристику асинхронного двигуна у чотирьох квадрантах.

Для побудови механічної характеристики скористаємося формулою Клосса:

$$M = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot S_k)}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S} + 2 \cdot a \cdot S_k},$$

Формулою Чекунова:

$$M = \frac{M_k \cdot [2 + (S^2 - S_k^2) \cdot K_s]}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}},$$

де $M_k = \lambda_M \cdot M_{НОМ} = 2 \cdot 880 = 1760 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $S_k = 0,095$:

$$M = \frac{R_1}{R_2} = \frac{0,069}{0,067} = 1,03;$$

$$K_s = \frac{\frac{\lambda_n}{\lambda_m} \left(\frac{1}{S_k} + S_k \right) - 2}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}} = \frac{1 \left(\frac{1}{0,1} + 0,1 \right) - 2}{1 - 0,1^2} = 3,08.$$

Останньою формулою доцільно користуватися лише для ковзань $S < S_k$. В області ковзань $1 \geq S > S_k$ задовільні результати дає попередня формула.

Для більш точної побудови скористаємось наступною програмою в середовищі Matlab 6.0:

```
for s=-1:0.0003:1 s<0.1=s/0.1+0.1/s+0.21;=62.8*(1-
s);=3882.56/m;(M,w);on;on=62.8*(1-s);=1760*(2+(s^2-
0.1^2)*3.08)/(s/0.1+0.1/s);(M,w, 'm');on;on=s=w
```

M=M

end

Статична характеристика представлена рисунку 6.7.

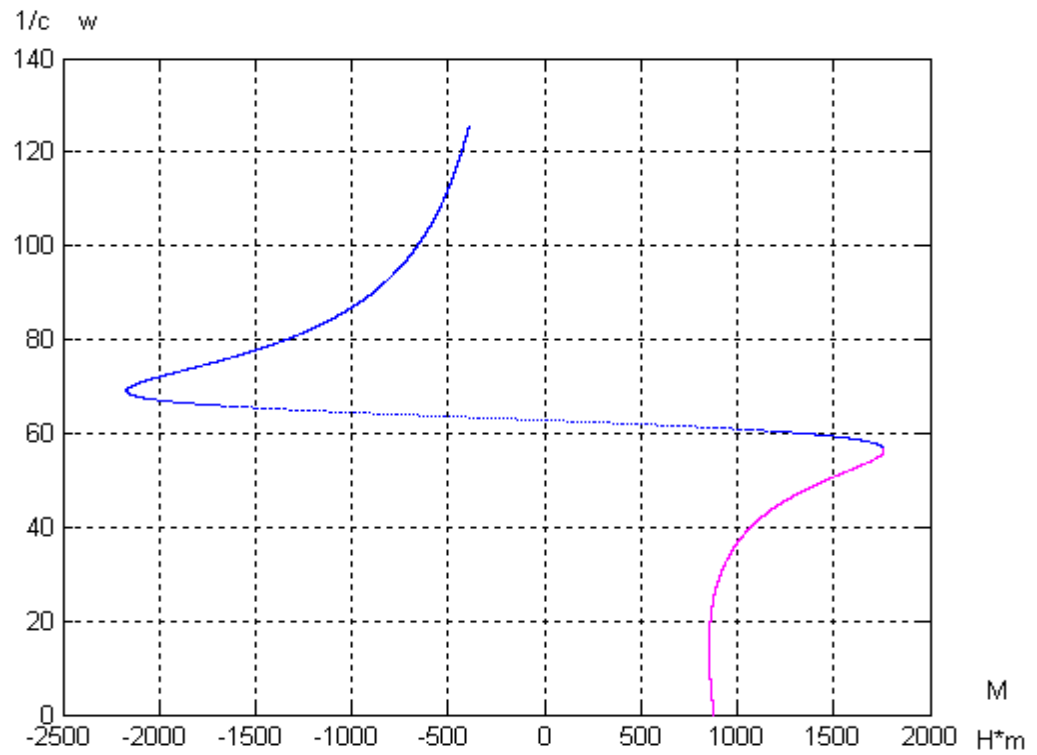


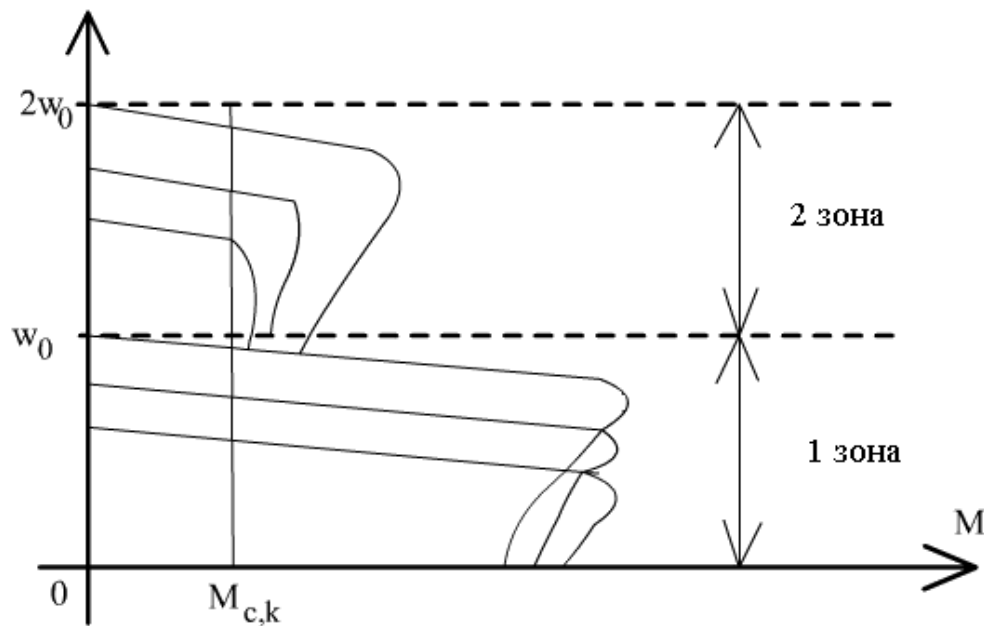
Рисунок 6.7. Природна механічна характеристика

7. КІНЦЕВА ПЕРЕВІРКА ДВИГУНА ПО НАГРІВУ З ОБЛІКОМ ТОЧНОЇ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ДІАГРАМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Так як обрано закон частотного регулювання зі стабілізацією потоку статора, остаточну перевірку двигуна можна провести за еквівалентним моментом.

За завданням для підйому гака треба мати швидкість $w_k = 2w_{ном}$. За завданням для підйому гака треба мати швидкість ($w > w_{ном}$) АД працює при $f_1 = var$ и $U_1 = const$, отже, двигун працює зі змінним магнітним потоком і для перевірки АТ по нагріванню не можна скористатися методом еквівалентного моменту. Можна застосувати або метод середніх втрат, або метод еквівалентного струму.

У першій зоні можна використовувати методику розрахунку перехідних процесів при $\psi_1 = const$. У другій зоні, де $\psi_1 = var$, розроблено оригінальну методику професора Фіраго розрахунку перехідних процесів, яка й застосована в проекті.



1 зона: $f > f_{ном}$; $U_1 = const$; $\psi_1 = var$;

2 зона: $\psi_1 = const$.

Електропривод працює у циклічному режимі зі змінним навантаженням. Для перевірки двигуна нагріву використовуємо методику професора Фіраго за методом середніх втрат.

$$U_1 = const;$$

$$f_1 > f_{1.НОМ}$$

$$1 \leq \alpha = \frac{f_1}{f_{1.НОМ}} \leq \alpha_{MAX}$$

Прийmemo $R_1 = 0$.

Механічні характеристики:

$$\begin{cases} M = \frac{2 \cdot M_{К.НОМ}}{\alpha^2 \cdot \left(\frac{s_a}{s_{К.НОМ}} + \frac{s_{К.НОМ}}{s_a} \right)} \\ w = w_{0.НОМ} \cdot (\alpha - s_a) \end{cases}$$

$$M_{К.НОМ} = \frac{3 \cdot U_{1.НОМ}}{2 \cdot w_{0.НОМ} \cdot x_{К.НОМ}};$$

$$s_{К.НОМ} = \frac{R_2'}{x_{К.НОМ}}$$

$$x_{К.НОМ} = x_{1.НОМ} + x_{2.НОМ}'$$

Рівняння лінеаризованих механічних характеристик АД:

$$w = \alpha \cdot w_{0.НОМ} - \alpha^2 \cdot \frac{M}{\beta_e}$$

$$\beta_e = \frac{2 \cdot M_{К.НОМ}}{w_{0.НОМ} \cdot s_{К.НОМ}}$$

$$w_{0.НОМ} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1.НОМ}}{p_n}$$

p_n - число пар полюсов АД

Механічні перехідні процеси на лінеаризованих механічних характеристиках:

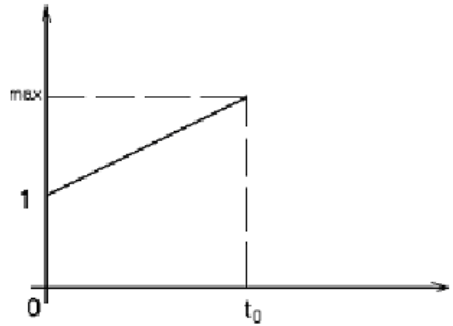


Рисунок 7.1. Лінеаризована механічна характеристика.

$$\varepsilon_0 = \frac{\alpha_{КОН} - 1}{t_0} \cdot \frac{1}{c}$$

Рівняння швидкості:

$$w = w_{0.КОН} \cdot e^{-\frac{\tau_1 \cdot t}{1 + \varepsilon_0 \cdot t}} \cdot \left[B_1 \cdot \ln(1 + \varepsilon_0 \cdot t) + \frac{B_2}{1 + \varepsilon_0 \cdot t} - \frac{B_3}{(1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2} - B_4 \cdot t + B_5 \right]$$

$$\tau_1 = \frac{1}{T_{me}}, \quad T_{me} = \frac{J}{\beta_e}$$

T_{me} - електромеханічна постійна електроприводу часу на природній механічній характеристиці.

$$B_1 = \frac{1}{2 \cdot \theta^3 \cdot (1 + \theta)} \cdot \left[\frac{\theta^2 + (1 + \theta)^2}{1 + \theta} - 2 \cdot \Delta v_c \right]$$

$$\theta = \varepsilon_0 \cdot T_{me};$$

$$\Delta v_c = \frac{\Delta w_{ce}}{w_{0НОМ}}$$

Δw_{ce} - статичне падіння швидкості на природній характеристиці.

$$\Delta w_{ce} = \frac{M_c}{\beta_e}$$

$$B_2 = \frac{1}{\theta^3} \cdot \left(1 + \theta - \frac{\Delta v_c}{2}\right)$$

$$B_3 = \frac{1}{4 \cdot \theta^3}$$

$$B_4 = \frac{\Delta v_c}{2 \cdot T_{me}} \cdot \frac{\theta^2 + (1 + \theta)^2}{\theta^2};$$

$$B_5 = \Delta v_{HAЧ} + \frac{2 \cdot \Delta v_c - 4 \cdot \theta - 3}{4 \cdot \theta^2}$$

$$\Delta v_{HAЧ} = \frac{w_{HAЧ}}{w_{0.HOM}}$$

Рівняння електромагнітного моменту:

$$M = \beta_e \cdot w_{0.HOM} \left\{ \frac{1}{1 + \varepsilon_0 \cdot t} - \frac{1}{(1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2} \cdot e^{-\frac{\tau_1}{1 + \varepsilon_0 \cdot t}} \cdot \left[B_1 \cdot \ln(1 + \varepsilon_0 \cdot t) + \frac{B_3}{(1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2} - B_4 \cdot t + B_5 \right] \right\}$$

Втрати потужності в режимі, що встановився при даних M_c и α :

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР}$$

$$\Delta P_{ПОСТ} = \Delta P_{СТ.1.HOM} \cdot \alpha^{1.5} + \Delta P_{MX.HOM} \cdot \alpha^2 + \frac{\Delta P_{\mu.HOM}}{\alpha^2}$$

$$\Delta P_{ПЕР} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M_c}{\beta_e} \cdot \alpha^2$$

Втрати потужності у перехідному процесі при лінійному завданні α :

$$\Delta P_{ПОСТ}(t) = \Delta P_{СТ.1.HOM} \cdot (1 + \varepsilon_0 \cdot t)^{1.5} + \Delta P_{MX.HOM} \cdot (1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2 + \frac{\Delta P_{\mu.HOM}}{(1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2}$$

$$\Delta P_{ПЕР}(t) = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M^2(t)}{\beta(t)} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M^2(t)}{\beta_e} \cdot (1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2$$

Середні втрати потужності за час перехідного процесу, де

$$1 \leq \alpha \leq \alpha_{MAX};$$

$$\Delta P_{CP.П.П} = \frac{1}{t_{П.П}} \cdot \left[\int_0^{t_{П.П}} \Delta P_{ПОСТ}(t) dt + \int_0^{t_{П.П}} \Delta P_{ПЕР}(t) dt \right]$$

$$\Delta P_{СТ.1.НОМ} = (0,015 - 0,02) \cdot \frac{P_{НОМ}}{\eta_{НОМ}} = \frac{0,02 \cdot 55000}{0,905} = 0,51 \text{кВТ}$$

$$\Delta P_{МХ.НОМ} \approx 0,06 \cdot \Delta P_{НОМ} = 0,06 \cdot 5,8 = 0,3 \text{кВТ}$$

$$\Delta P_{НОМ} = \frac{P_{НОМ} \cdot (1 - \eta_{НОМ})}{\eta_{НОМ}} = \frac{55000 \cdot (1 - 0,905)}{0,905} = 5,8 \text{кВт}$$

$$\Delta P_{\mu НОМ} = 3 \cdot I_{\mu НОМ}^2 \cdot R_1 = 0,51 \text{кВТ}$$

$$I_{\mu.НОМ}^2 \approx I_{1.НОМ} \cdot \sqrt{1 - \cos \varphi_{НОМ}}$$

Втрати потужності на інтервалі зміни частоти

$$0 \leq \alpha \leq 1:$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР}$$

$$\Delta P_{ПОСТ} = \Delta P_{СТ} + \Delta P_{МХ.} + \Delta P_{\mu.}$$

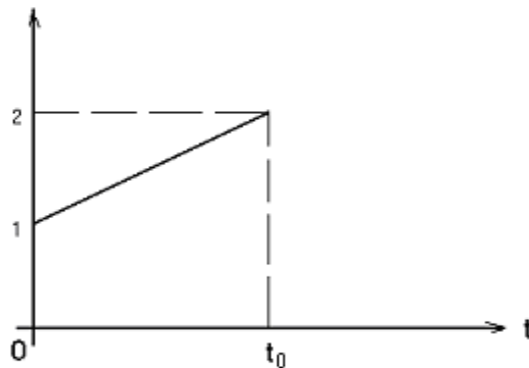


Рисунок 7.1. Лінеаризована механічна характеристика на інтервалі зміни частоти $0 \leq \alpha \leq 1$.

$$\Delta P_{CT.CP} = \frac{\Delta P_{CT.HOM}}{t_0} \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \alpha^{1.5}(t) dt = 0.4 \cdot \Delta P_{CT.HOM} \cdot \frac{\alpha_2^{2.5} - \alpha_1^{2.5}}{\alpha_2 - \alpha_1}$$

$$\Delta P_{MX.CP} = \frac{\Delta P_{MX.HOM}}{t_0} \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \alpha^2(t) dt = \frac{1}{3} \cdot \Delta P_{MX.HOM} \cdot (\alpha_2^2 + \alpha_1 \cdot \alpha_2 + \alpha_1^2)$$

$$\Delta P_{ПЕР.CP} = \frac{1}{t_{П.П}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{П.П}} M^2(t) dt$$

$$\beta = \frac{2 \cdot M_K}{w_{0.HOM} \cdot s_{ка}} = \frac{1825 \cdot 2}{62,8 \cdot 0,12} = 484$$

Для $\psi_1 = const$:

$$s_{ка} = \frac{R_2''}{x'_{K.HOM}} = \frac{0,067}{055} = 0,12$$

$$M_K = \frac{3 \cdot E_{s.HOM}^2}{2 \cdot w_{0.HOM} \cdot x'_{K.HOM}} = \frac{3 \cdot 205^2}{2 \cdot 62,8 \cdot 0,55} = 1825 H \cdot м$$

$$\Delta P_{\mu} = \Delta P_{\mu.HOM} = 0,51 кВт$$

На ділянці 1 ($0 \leq \alpha \leq 1$):

$$\Delta P_{CT.CP} = \frac{\Delta P_{CT.HOM}}{t_0} \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \alpha^{1.5} = 0,4 \cdot \Delta P_{CT.HOM} \cdot \frac{\alpha_2^{2.5} - \alpha_1^{2.5}}{\alpha_2 - \alpha_1} = 0,4 \cdot 1,2 = 0,48 кВт$$

$$\Delta P_{MX.CP} = \frac{\Delta P_{MX.HOM}}{t_0} \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \alpha^2(t) dt = \frac{1}{3} \cdot \Delta P_{MX.HOM} \cdot (\alpha_2^2 + \alpha_1 \cdot \alpha_2 + \alpha_1^2) = 0,1 кВт$$

$$\Delta P_{ПЕР.CP} = \frac{1}{t_{П.П}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{П.П}} M^2(t) dt = \frac{1}{1,75} \left(1 + \frac{0,069}{0,067}\right) \frac{1}{484} \cdot 1792^2 \cdot 1,75 = 13,47 кВт$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 0,48 + 0,1 + 0,51 + 13,47 = 14,56 кВт$$

На ділянці 2 ($\alpha = 1$)

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 2 + 8,4 = 10,4 кВт$$

$$\Delta P_{ПОСТ} = \Delta P_{CT.1.HOM} \cdot \alpha^{1.5} + \Delta P_{MX.HOM} \cdot \alpha^2 + \frac{\Delta P_{\mu.HOM}}{\alpha^2} = 1,2 + 0,3 + 0,51 = 2 кВт$$

$$\Delta P_{ПЕР} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M_c}{\beta_e} \cdot \alpha^2 = \left(1 + \frac{0,069}{0,067}\right) \frac{1415^2}{484} \cdot 1^2 = 8,4 \text{кВт}$$

На ділянці 3 ($0 \leq \alpha \leq 1$)

$$\Delta P_{СТ.СР} = \frac{\Delta P_{СТ.НОМ}}{t_0} \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \alpha^{1.5}(t) dt = 0,4 \cdot \Delta P_{СТ.НОМ} \cdot \frac{-\alpha_1^{\frac{5}{2}}}{-\alpha} = 0,48 \text{кВт}$$

$$\Delta P_{ПЕР.СР} = \frac{1}{t_{П.П}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{П.П}} M^2(t) dt = \frac{1}{1,75} \left(1 + \frac{0,069}{0,007}\right) \frac{1}{484} \cdot 1070^2 \cdot 1,75 = 4,8 \text{кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 0,48 + 0,1 + 0,51 + 4,8 = 5,89 \text{кВт}$$

На ділянці 4 ($0 \leq \alpha \leq 1$)

$$\Delta P_{ПЕР.СР} = \frac{1}{t_{П.П}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{П.П}} M^2(t) dt = \frac{1}{1,75} \left(1 + \frac{0,069}{0,067}\right) \frac{1}{484} \cdot 512^2 \cdot 1,75 = 1 \text{кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 0,48 + 0,1 + 0,51 + 1 = 2,09 \text{кВт}$$

На ділянці 5 ($\alpha = 1$)

$$\Delta P_{ПЕР} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M_c}{\beta_e} \cdot \alpha^2 = \left(1 + \frac{0,069}{0,067}\right) \frac{830^2}{484} \cdot 1^2 = 2,9 \text{кВт}$$

$$\Delta P_{ПОСТ} = \Delta P_{СТ.1.НОМ} \cdot \alpha^{1.5} + \Delta P_{МХ.НОМ} \cdot \alpha^2 + \frac{\Delta P_{\mu.НОМ}}{\alpha^2} = 1,2 + 0,3 + 0,51 = 2 \text{кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 2 + 2,9 = 4,9 \text{кВт}$$

На ділянці 6 ($0 \leq \alpha \leq 1$)

$$\Delta P_{СТ.СР} = \frac{\Delta P_{СТ.НОМ}}{t_0} \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \alpha^{1.5}(t) dt = 0,4 \cdot \Delta P_{СТ.НОМ} \cdot \frac{-\alpha_1^{\frac{5}{2}}}{-\alpha} = 0,48 \text{кВт}$$

$$\Delta P_{ПЕР.СР} = \frac{1}{t_{П.П}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{П.П}} M^2(t) dt = \frac{1}{1,75} \left(1 + \frac{0,069}{0,067}\right) \frac{1}{484} \cdot 1077^2 \cdot 1,75 = 4,9 \text{кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 0,48 + 0,1 + 0,51 + 4,8 = 6 \text{кВт}$$

На ділянці 7 ($0 \leq \alpha \leq 1$)

$$\Delta P_{ПЕР.СР} = \frac{1}{t_{П.П}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{П.П}} M^2(t) dt = \frac{1}{1,75} \left(1 + \frac{0,069}{0,067}\right) \frac{1}{484} \cdot 403^2 \cdot 1,75 = 0,68 \text{кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 0,48 + 0,1 + 0,51 + 0,68 = 1,77 \text{кВт}$$

Втрати потужності у перехідному процесі при лінійному завданні α

$$\Delta P_{\text{ПОСТ}}(t) = \Delta P_{\text{СТ.1.НОМ}} \cdot (1 + \varepsilon_0 \cdot t)^{1.5} + \Delta P_{\text{МХ.НОМ}} \cdot (1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2 + \frac{\Delta P_{\mu.\text{НОМ}}}{(1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2}$$

$$\Delta P_{\text{ПЕР}}(t) = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M^2(t)}{\beta(t)} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M^2(t)}{\beta_e} \cdot (1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2$$

$$\Delta P_{\text{СР.П.П}} = \frac{1}{t_{\text{П.П}}} \cdot \left[\int_0^{t_{\text{П.П}}} \Delta P_{\text{ПОСТ}}(t) dt + \int_0^{t_{\text{П.П}}} \Delta P_{\text{ПЕР}}(t) dt \right] = 4.7 \text{кВт}$$

На ділянці 8 ($\alpha = 2$)

Потери потужності в установившемся режимі при даних M_c и α :

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ПОСТ}} + \Delta P_{\text{ПЕР}} = 4.7 + 0.56 = 5.26 \text{кВт}$$

$$\Delta P_{\text{ПОСТ}} = \Delta P_{\text{СТ.1.НОМ}} \cdot \alpha^{1.5} + \Delta P_{\text{МХ.НОМ}} \cdot \alpha^2 + \frac{\Delta P_{\mu.\text{НОМ}}}{\alpha^2} = 1.2 \cdot 2^2 + 0.3 \cdot 4 + \frac{0.5}{4} = 4.7 \text{кВт}$$

$$\Delta P_{\text{ПЕР}} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M_c}{\beta_e} \cdot \alpha^2 = \left(1 + \frac{0.069}{0.067}\right) \frac{1}{484} \cdot 183^2 \cdot 2^2 = 0.56 \text{кВт}$$

На ділянці 9 ($0 \leq \alpha \leq 1$)

$$\Delta P_{\text{ПЕР.СР}} = \frac{1}{t_{\text{П.П}}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{\text{П.П}}} M^2(t) dt = \frac{1}{1.75} \left(1 + \frac{0.069}{0.067}\right) \frac{1}{484} \cdot 226^2 \cdot 1.75 = 0.2 \text{кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ПОСТ}} + \Delta P_{\text{ПЕР}} = 0.48 + 0.1 + 0.51 + 0.2 = 1.29 \text{кВт}$$

При ($1 \leq \alpha \leq 2$):

$$\Delta P_{\text{СР.П.П}} = \frac{1}{t_{\text{П.П}}} \cdot \left[\int_0^{t_{\text{П.П}}} \Delta P_{\text{ПОСТ}}(t) dt + \int_0^{t_{\text{П.П}}} \Delta P_{\text{ПЕР}}(t) dt \right] = 3.7 \text{кВт}$$

На ділянці 10 ($1 \leq \alpha \leq 2$)

$$\Delta P_{\text{ПЕР.СР}} = \frac{1}{t_{\text{П.П}}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{\text{П.П}}} M^2(t) dt = \frac{1}{1.75} \left(1 + \frac{0.069}{0.067}\right) \frac{1}{484} \cdot (-353)^2 \cdot 1.75 = 0.52 \text{кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ПОСТ}} + \Delta P_{\text{ПЕР}} = 0.48 + 0.1 + 0.51 + 0.52 = 1.61 \text{кВт}$$

при ($1 \leq \alpha \leq 2$)

$$\Delta P_{CP.П.П} = \frac{1}{t_{П.П}} \cdot \left[\int_0^{t_{n,n}} \Delta P_{ПОСТ}(t) dt + \int_0^{t_{n,n}} \Delta P_{ПЕР}(t) dt \right] = 4,4 \text{ кВт}$$

На ділянці 11 ($\alpha = 2$)

$$\Delta P_{ПОСТ} = \Delta P_{СТ.1.НОМ} \cdot \alpha^{1,5} + \Delta P_{МХ.НОМ} \cdot \alpha^2 + \frac{\Delta P_{\mu.НОМ}}{\alpha^2} = 1,2 \cdot 2^2 + 0,3 \cdot 4 + \frac{0,5}{4} = 4,7 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{ПЕР} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M_c}{\beta_e} \cdot \alpha^2 = \left(1 + \frac{0,069}{0,067}\right) \frac{1}{484} \cdot (-34)^2 \cdot 2^2 = 0,04 \text{ кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 4,7 + 0,04 = 4,74 \text{ кВт}$$

На ділянці 12 ($0 \leq \alpha \leq 1$)

$$\Delta P_{ПЕР.СР} = \frac{1}{t_{П.П}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{n,n}} M^2(t) dt = \frac{1}{1,75} \left(1 + \frac{0,069}{0,067}\right) \frac{1}{484} \cdot 276^2 \cdot 1,75 = 0,32 \text{ кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 0,48 + 0,1 + 0,51 + 0,32 = 1,41 \text{ кВт}$$

при ($1 \leq \alpha \leq 2$)

$$\Delta P_{CP.П.П} = \frac{1}{t_{П.П}} \cdot \left[\int_0^{t_{n,n}} \Delta P_{ПОСТ}(t) dt + \int_0^{t_{n,n}} \Delta P_{ПЕР}(t) dt \right] = 3,9 \text{ кВт}$$

Для перевірки АД з нагрівання застосовуємо метод середніх втрат:

$$\Delta P_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta P_{n,i} \cdot t_i + \sum_{j=1}^Q \Delta P_{T,j} \cdot t_j + \sum_{k=1}^L \Delta P_k \cdot t_k}{\sum_{i=1}^N \beta_{OX,i} \cdot t_i + \sum_{j=1}^Q \beta_{OX,j} \cdot t_j + \sum_{k=1}^L \beta_{OX,k} \cdot t_k + \beta_0 \sum_{s=1}^M t_{0,s}}$$

$$= \frac{574,42}{290,31} = 1,97 \text{ кВт}$$

Для АД с захистом IP44 $\beta_0 \approx 0,3$.

$\Delta P_{n,i}$ - середні сумарні втрати потужності на і-му інтервалі розгону,

t_i - час і-го інтервалу, де $\Delta P_{n,i} = const$,

$\Delta P_{T,j}$ - середні сумарні втрати потужності на j-му інтервалі гальмування,

t_j - час j-го інтервалу, де $\Delta P_{T,j} = const$,

ΔP_k - втрати потужності в встановленому русі на k -му інтервалі,

t_k - час k -го інтервалу, де $\Delta P_k = const$,

t_s - час паузи на s -му інтервалі,

M - число пауз у циклі.

Для повторно короткочасного режиму роботи АД $\Delta P_{НОМ}$ наводиться до розрахункового $T_{Врасч}=100\%$

$$\Delta P_{НОМ}(ПВ = 100) = \frac{P_{НОМ}(ПВ = 100) \cdot (1 - \eta_{НОМ})}{\eta_{НОМ}} = \frac{55000(1 - 0.905)}{0.905} = 5.8 \text{ кВт}$$

Двигун проходить по нагріванню, якщо

$$\Delta P_{CP} \leq \Delta P_{НОМ}(ПВ = 100\%)$$

$$1,9 \leq 5,8.$$

8. ВИБІР І ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧОЇ УСТАНОВКИ

8.1 Формалізація умов роботи установки

Так як у даному проекті розглядається установка, керована оператором, то потреби у повній автоматизації виробничої установки немає. Оператор здійснює операції з перевантаження вантажів за допомогою пульта управління, параметри якого вибираються виходячи з вимог, що пред'являються до встановлення та системи керування. Серед різноманітної підйомно-транспортної техніки можна знайти приклади, коли керування електроприводом бажано здійснювати з командного пункту, віддаленого від основного поста (кабіни) керування на значні відстані, які можуть сягати десятків і навіть сотень метрів. До їх можна віднести виробничу установку, що розглядається в даному проекті - мостовий кран, у якого огляд для оператора з кабіни може обмежуватися громіздкими деталями та висотою підйому.

Найбільш просте рішення при створенні системи дистанційного керування електроприводами кранових механізмів ґрунтується на введенні додаткових малогабаритних проміжних реле, що дають імпульси на включення та відключення потужних контакторів. Малогабаритні реле у свою чергу управляються з виносного командного посту по проводах у вигляді відповідних перемикачів командоапаратів. Зазначений принцип побудови схем дистанційного керування не знайшов широкого застосування, оскільки вимагає виведення за межі крана практично тієї ж кількості проводів, щоправда, малого перерізу, що й на командоапарати за безпосереднього управління з кабіни. Наявність багатожильного кабелю, що зв'яже командний пункт з кабіною, обмежує можливості дистанційного керування по радіусу дії, зручності обслуговування та надійності.

Система дистанційного управління (основна), що розглядається в даному

проекті, є більш перспективною, в якій використовується радіоапаратура німецької фірми HBC Radiomatic. Принцип побудови системи управління у тому, що у командному пункті встановлюються командоапарати і радіопередавач, а у кабіні крана - радіоприймач та апарати управління, що дозволяють отримати задані регульовальні характеристики електроприводу.

8.2 Розробка функціональної схеми, логічної схеми

Керуючі імпульси генераторів Г задаються командоапаратом КА. Кожен генератор має кілька фіксованих частот, діапазон яких зазвичай вибирається в межах 300-5000 Гц. При перемиканні командоапарата в генераторі виникає керуючий сигнал певної частоти, який разом із сигналами інших генераторів подається на підсумовувач підсилювач У. Посилений сумарний сигнал управління, що включає складові різних частот, надходить в радіопередавальне пристрій РП.

Для зменшення впливу індустриальних і атмосферних перешкод у передавачі переважно застосування частотної модуляції, яка має більшу стійкість до перешкод, ніж амплітудна модуляція.

Промодулированые сигналом управління високочастотні коливання випромінюються передавальною антеною. Передавачі дистанційного керування працюють у діапазоні ультракоротких хвиль, що охоплюють широку смугу частот 25-75 МГц, завдяки чому при ширині смуги частот кожного передавача 200 кГц у безпосередній близькості один від одного може працювати без взаємних перешкод велика кількість передавачів дистанційного керування.

Прийняті на крані високочастотні коливання надходять радіоприймальний пристрій П (рисунк 8.1, а, б). Для кращої відбудови від перешкод схему приймача введений гетеродин ГТ. Посилені високочастотні коливання разом з коливаннями гетеродина подаються на змішувач, і одержуваний на виході сигнал постійної проміжної частоти виділяється за допомогою смугового

фільтра Φ . Далі сигнал проміжної частоти посилюється підсилювачем УПЧ і надходить в частотний детектор ЧД, де радіосигнал перетворюється в первинний сум.

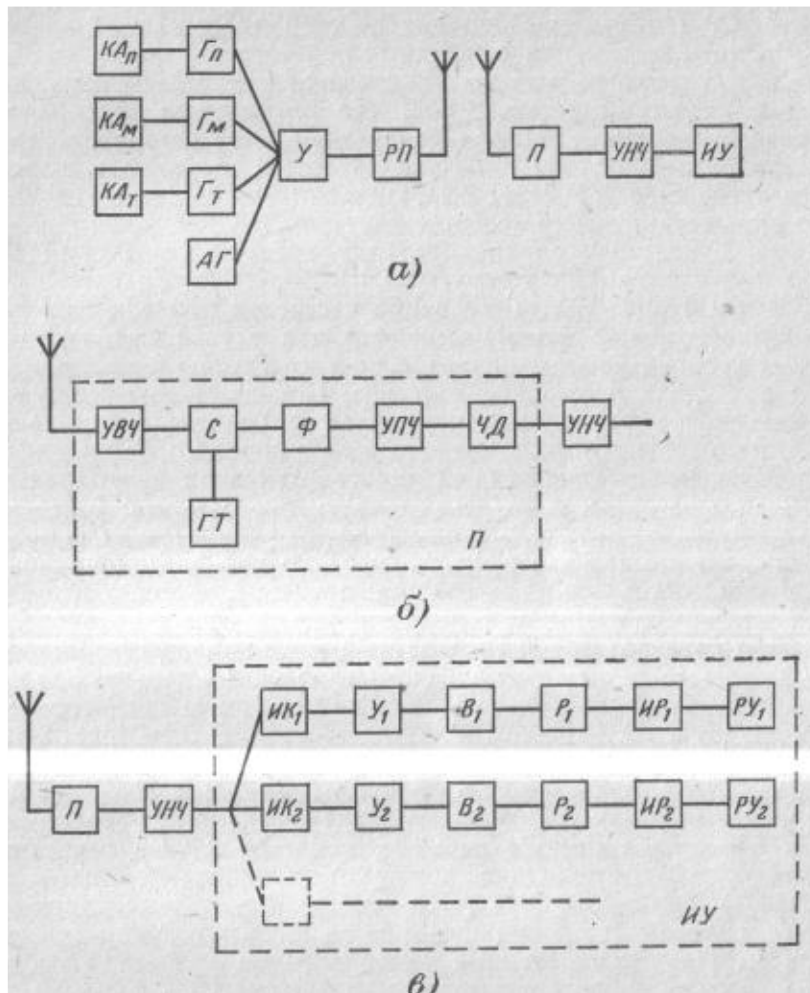


Рисунок 8.1. Дистанційне радіокерування електроприводами підйомно-транспортного механізму

Цей сигнал за допомогою підсилювача низької частоти УНЧ посилюється і подається до виконавчого пристрою ІУ (рисунок 8.1 в), в якому є ряд паралельно включених виборчих контурів ІК.

Кожен контур приймає одну складову сумарного сигналу тієї частоти, яку він налаштований. Смуга пропускання контурів та інтервал між сусідніми частотами обрані так, щоб забезпечити деякий запас надійності для випадку найнесприятливіших умов роботи, що призводять до зміни частот

командогенераторів або розладу контурів. Прийнятий відповідним контуром сигнал управління передається в підсилювач змінного струму, на виході якого включений випрямляч. Випрямлений сигнал повинен бути достатнім для спрацювання чутливого реле Р, яке своїм замикаючим контактом включає потужніше проміжне реле ИР. Проміжне реле ИР у свою чергу включає відповідні реле РУ у схемі управління крана.

Рисунки 8.2, а - л ілюструють процеси, які у різних елементах схеми під час передачі управляючих сигналів. На рисунку 8.2 а показана форма сигналу на виході командогенератора Γ_1 , який включається в момент t_0 . Для наочності надалі передбачається, що працює лише один генератор Γ_1 із частотою сигналу f_1 .

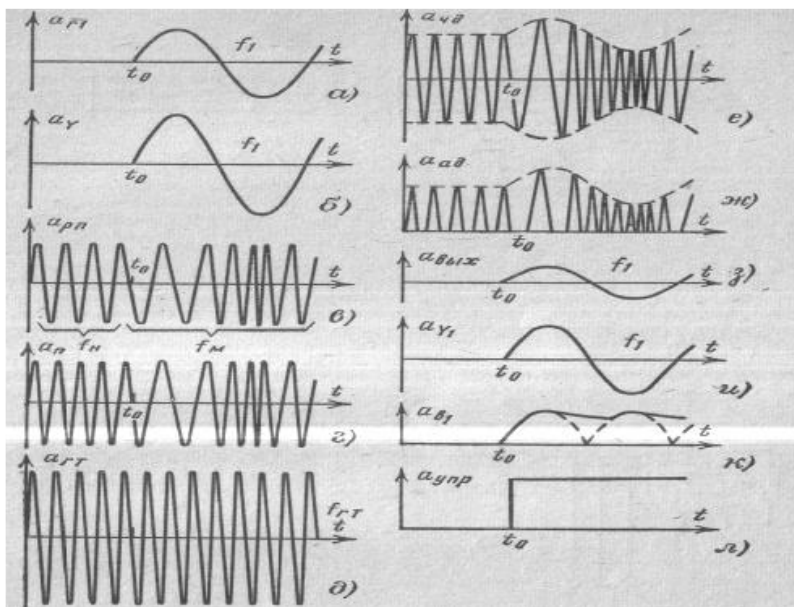


Рисунок 8.2. Характер проходження сигналу керування через елементи схеми рисунку 8.1

У цьому випадку і на виході підсилювача, що підсумовує U (рисунок 8.2, а) буде сигнал тієї ж форми (рисунок 8.2. б). До включення генератора Γ_1 передавач PP випромінює високочастотні коливання постійної несучої частоти f_n . При появі на вході передавача сигналу керуючого f_1 несуча частота починає змінюватися поблизу постійного значення f_n у відповідності з миттєвими

значеннями сигналу f_l (рисунок 8.2, в). Тим самим утворюється деякий спектр модулюючих частот f_m , межі якого визначаються амплітудою сигналу керуючого f_l . Промодульовані таким чином коливання несучої частоти через антену випромінюються у простір.

У разі розглядається варіант, коли дистанційне управління краном здійснюється з одного пульта управління. Якщо їх кілька, то у схемі відповідно є кілька передавачів, кожен з яких характеризується певною частотою, що несе f_n . Радіоприймач може бути налаштований на будь-яку з цих частот. Причому одночасно з перебудовою приймача повинен перебудовуватися і гетеродин ГТ так, щоб виконувалася умова $f_{np} = f_{em} - f_n$ де f_{np} - постійна проміжна частота приймача (рисунок 8.2, г), f_{em} - частота коливань гетеродина (рисунок 8.2, д), а f_n - несуча частота передавача.

Таким чином, приймач завжди працює на постійній частоті f_{np} , що дозволяє застосовувати в ньому досконалі фільтри, що забезпечують високу вибірковість. Якщо сигнал на несучій частоті модульований, його спектр в процесі перетворення несучої частоти в проміжну переноситься на останню (рисунок 8.2, в і г). Пройшовши смуговий фільтр Φ , смуга пропускання якого відповідає спектру сигналу на проміжній частоті, і підсилювач УПЧ сигнал надійде в частотний детектор ЧД. На рисунку 8.2, е) показано форму сигналу, отриманого в результаті частотного детектування. Огинаюча високочастотних коливань відтворює форму сигналу керуючого f_l . У частотному детекторі виконується також амплітудне детектування (рисунок 8.2 ж). Далі сигнал, що включає постійну та високочастотні складові, за допомогою фільтра перетворюється на первинний сигнал управління f_l (рисунок 8.2, з). На малюнку 8.2, і - л показано перетворення керуючого сигналу у виконавчому пристрої.

Дистанційне керування краном за схемою, наведеною на рисунку 8.1, здійснюється у такому порядку: на початку роботи з допомогою командогенератора захисту АГ (рисунок 8.1) передається команда на включення

захисної панелі крана. У схемі передбачено нульове блокування, тому генератор АГ (рисунок 8.3) може бути включений тільки при нульовому положенні командоапаратів приводів підйому КАп, мосту КАм та візка КАт (рисунок 8.1, а). Якщо ця умова виконана, то напруга на генератор може бути подана натисканням пускової кнопки Пс при включеному вимикачі АВ, яка потім блокується реле Рп, що замикає контактом. На виході генератора виникає при цьому сигнал частоти, яка визначається параметрами контуру LC, який служить командою на включення захисної панелі і подається протягом всієї роботи крана.

Схема (рисунок 8.3) забезпечує відключення панелі у разі зникнення живлення з блоків дистанційного керування або при виході з ладу.

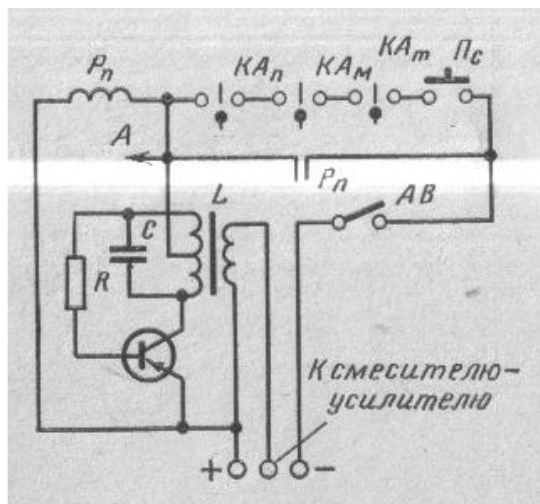


Рисунок 8.3. Схема вмикання генератора захисту

Кожен привід керується з переносного пульта окремим командоапаратом. У розділі 9 на рисунку 9.1 представлена схема командоапарата КАп і генераторів Γ_1 і Γ_2 дистанційного керування приводом підйому. Частота сигналів генераторів визначається параметрами контурів LC.

8.3 Вибір апаратів

Для реалізації способу дистанційного керування вибираємо апаратуру фірми НВС Radiomatic. Комплект економічної серії "716 micron" підходить для

мінімальних вимог керування електроприводом підйому вантажів. У цієї фірми також є складніші і дорогі комплекти, що дозволяють одночасно керувати декількома електроприводами та кількома координатами.

9. ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

У зв'язку з тим, що керування в даному дипломі обрано дистанційним способом, проектується схема командоапарату дистанційного керування приводом підйому. Вибираємо дистанційне обладнання чеської фірми RADOIMATIK серії Spectrum до складу якого входить передавач з 8-ми одиничним рівнем управління за 3 координатами та приймачем, який здійснює прийом на встановлені реле, вони задають рівні частот, необхідні для формування напруги управління.

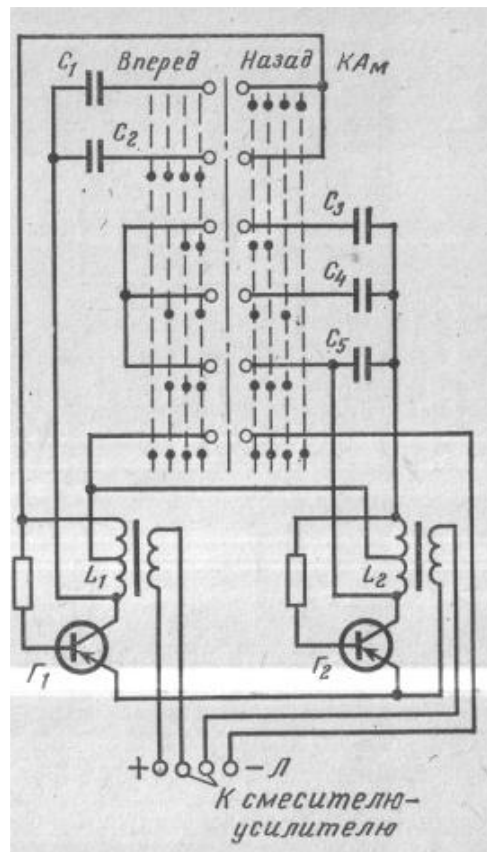


Рисунок 9.1. Схема виконавчого пристрою автоматизованого електроприводу

У цьому схемі індуктивність у процесі регулювання залишається постійної, а фіксовані значення ємностей конденсаторів встановлюються

перемиканням командоапарата. Генератор Γ_1 має дві фіксовані частоти, його сигнали визначають напрямок переміщення моста. Інші команди подаються за допомогою генератора Γ_1 . При перекладі командоапарата з нульового в положення, що відповідає, наприклад, руху моста "вперед", на генератор Γ_1 подається живлення, а в його контур LC включається конденсатор C_1 і на виході з'являється сигнал з частотою f_1 . Цей сигнал надходить потім через підсилювач У до передавального пристрою РП, як це показано на принциповій схемі.

Прийнятий на крані радіосигнал перетворюється на вихідний сигнал керування частоти f_1 , посилюється підсилювачем низької частоти УНЧ (розділ 8, рисунок 8.1) і передається у виконавчий пристрій ІУ₁, схема якого наведена на рисунку 9.1.

Прийнятий вибіркоким контуром ІК₁ (розділ 8, малюнок 8.1) від генератора Γ_1 сигнал частоти f_1 посилюється транзисторним підсилювачем ТУ₁, зібраним за схемою із загальним емітером. Для більшої надійності використаний підсилювач змінного струму. У цьому випадку при пробі транзистора або при будь-яких інших несправностях не виникає помилкової команди, що призводить до порушення нормальної роботи приводу. Посилений змінний сигнал випрямляється випрямлячем Вв і призводить до послідовного спрацьовування чутливого реле Рв і проміжних ІР і РВВ. Реле РУВ включено в ланцюг керування приводом підйому; замикання його контактів рівносильне переведенню рукоятки командоконтролера ККп у положення, що відповідає напрямку руху "вгору" (вперед).

Аналогічно працює схема і при русі "вниз" (назад), в цьому випадку сигнал управління з частотою f_1 визначається включенням до контуру LC конденсатора C_2 (рисунок 9.1), буде прийнятий виборчим контуром ІК₂, що призведе до спрацьовування реле Рн, ІРн, РУН і контактора Н.

10. ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ

10.1 Вибір апаратів, проводів та кабелів

Електрична енергія підводиться до кранів від загальної мережі змінного струму або перетворювальних установок постійного струму. З допомогою кабелю від окремого рубильника чи автомата здійснюється живлення головних контактних проводів - тролей, прокладених уздовж підкранових колій. Кількість основних контактних проводів при змінному струмі дорівнює трьом, за постійному - двом. У деяких випадках замість головних контактних проводів, наприклад у вибухонебезпечних цехах, застосовується струмопідведення за допомогою гнучкого кабелю. Від головних контактних проводів за допомогою ковзних струмознімачів напруга підводиться до захисної панелі, встановленої в кабіні крана. Контактні проводи виконуються зазвичай з профільованої сталі круглого перерізу, куточка, швелера або рейки. Мідь використовується порівняно рідко і лише як допоміжні тролейі.

Проведення на кранах виконується проводами ПРГ-500, ПРТО-500, які прокладаються в сталевих тонкостінних трубах, закритих коробах або відкритим способом. Застосовуються для монтажу на кранах також панцирні дроти ПРП, ПРШП та кабелі без джутової ізоляції СРГ-500, СРБГ-500. Кабель СРГ не рекомендується встановлювати на рухомих частинах підйомно-транспортних механізмів, оскільки при вібрації свинцева оболонка кабелю швидко руйнується. Найменшим перетином дроту за умовами механічної міцності є 25 мм^2 . На панелях керування замість дроту перетином вище $25\text{-}35 \text{ мм}^2$ застосовуються плоскі шини. Гнучкі струмопроводи, які знаходять деяке застосування на кранах, виконуються шланговим проводом з мідними жилами та гумовою ізоляцією марки ШРПС. Для важких умов експлуатації за значних

механічних зусиль застосовують кабель ГРШС, а також судновий кабель у шланговій оболонці НРШМ.

У цьому проекті ми вибираємо гнучкі струмопроводи марки ШРПС.

Вибір контактних проводів проводиться за допустимим струмом навантаження з подальшою перевіркою дроту падіння напруги. Провід вибирається рівного перерізу по всій довжині переміщення механізму. Під час експлуатації крана напруга на затискачах кранового двигуна не повинна бути нижчою за 85% номінального. При менших напругах у двигунів змінного струму неприпустимо знижується максимальний момент. Крім того, стає ненадійною робота контакторів та гальмівних електромагнітів. Втрати в мережі можуть розподілятися таким чином:

Головні контактні дроти..... 3 - 4%

Магістраль до контактних проводів 4-5%

Мережа в межах крана..... 1 - 3%

Для установок з рідкісними пусками максимально допустиме значення втрат напруги має перевищувати 15%.

Точне визначення розрахункового струму, що протікає контактними проводами, викликає труднощі внаслідок різких коливань навантаження двигунів крана. Існує кілька наближених методів визначення розрахункового струму, що ґрунтуються головним чином на тривалому досвіді експлуатації кранових установок.

Розрахунковий струм можна знайти за формулою:

$$I = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{55 \cdot 10^3}{1,7 \cdot 380 \cdot 0,75} = 113,2 \text{ А}$$

де: $P = 55 \cdot 10^3$ Вт;

$U_n = 380$ - номінальна напруга мережі, В;

$\cos \varphi$ - середній коефіцієнт потужності двигунів крана при розрахунках приймають $\cos \varphi = 0,75$.

Знайдений струм не повинен перевищувати тривалий допустимий струм провідів: $I \leq I_{\partial}$.

З довідника [3] слід, що кабелю напруги до 1кВт з чотирма алюмінієвими жилами при допустимому тривалому струмі $I_{\text{дон}} = 20,6\text{А}$, перетин має бути 4 мм, отже вибираємо кабель АВРГ-3х4+1х2.5.

10.2 Складання таблиці переліку елементів електроустаткування

Табл. 10.2 - Перелік елементів виробничої установки

Поз. обозн.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Документація		
	Пояснювальна записка	1	
	Електродвигуни		
	4АН280У3	1	
	Резистори		
R7	МЛТ 0,125 ± 5% 20 кОм	1	
R5,R8	МЛТ 0,125 ± 5% 10 кОм	2	
R9	МЛТ 0,125 ± 5% 25 кОм	1	
	Конденсатори		
C2, C3	2,2 мкФ	2	
VD1-VD6	Д212	6	
VT1-VT6	силові модулі IRGPH50KD2	6	
VD30,VD31	стабілітрон типу КС133А	2	

11. ОХОРОНА ПРАЦІ

11.1 Вимоги безпеки під час експлуатації мостового крана. Кабіни управління

Кабіна управління або пульт управління повинні бути розташовані в такому місці, щоб кранівник міг спостерігати за зачіпкою вантажу, а також за вантажозахоплювальним органом та вантажем протягом повного циклу роботи крана.

Виняток може бути допущений для баштових, стрілових з баштово-стріловим обладнанням та порталних кранів. Кабіна мостового крана та пересувного консольного крана повинна розміщуватись під галереєю мосту (консолі) та сполучатися з нею сходами. У кранів мостового типу допускається підвішувати кабінку до рами вантажного візка. У цьому випадку вихід з кабіни на галерею моста повинен здійснюватися через настил візка або по зовнішніх сходах.

Кабіна кранів мостового типу повинна бути підвішена з боку, протилежного до тієї, на якій розташовані головні тролейні дроти. Винятки допускаються в тих випадках, коли тролейні дроти недоступні для випадкового дотику до них з кабіни, з посадкового майданчика або сходів.

Кабіна керування повинна мати такі мінімальні розміри: висоту 2000 мм, ширину 900 мм, довжину 1300 мм, а також мінімальний об'єм 3 куб. м. У кабінах з невертикальною передньою частиною у перерізі, що проходить через центр сидіння кранівника, допускається зменшення висоти до 1600 мм.

Кабіна вантажопідіймальних машин, призначених для роботи на відкритому повітрі, повинна мати суцільну огорожу з усіх боків і суцільне вертикальне перекриття, що захищає кранівника від впливу несприятливих метеорологічних факторів. Світлові прорізи кабіни повинні бути виконані з скла, що не б'ється (безосколкового).

У мостових двобалочних та пересувних консольних кранів і підвісних візків, що працюють у приміщенні, допускається влаштування суцільного огороження відкритої кабіни на висоту не менше 1000 мм від підлоги.

У мостових однобалкових та підвісних кранів огорожу кабіни, призначеної для роботи сидячи, може бути виконано на висоту 700 мм.

При огорожі кабіни на висоту до 1000 мм склом, що не б'ється (безосколочним), необхідна додаткова огорожа металевими ґратами.

У кабіни відкритого типу для кранів, що працюють усередині приміщення, верхнє перекриття може не влаштовуватись.

Кабіни мостових та пересувних консольних кранів у тих випадках, коли відстань між задньою стінкою кабіни та предметами, щодо яких вона переміщається, становить менше 400 мм, повинні мати суцільну огорожу із задньої та бічних сторін на висоту не менше 1800 мм. Огородження задньої сторони кабіни повинно проводитися на всю ширину, а бічні сторони повинні мати огорожу шириною не менше 400 мм з боку, що примикає до задньої стінки.

Скління кабіни має бути виконане так, щоб була можливість проводити очищення скла як зсередини, так і зовні, або повинен бути передбачений пристрій для їхнього очищення. Нижні стекла, на які може стати кранівник, повинні бути захищені ґратами, здатними витримати його вагу.

Кабіни кранів повинні бути обладнані стаціонарним сидінням для кранівника, влаштованим та розміщеним так, щоб можна було сидячи керувати апаратами та вести спостереження за вантажем. Повинна бути передбачена можливість регулювання положення сидіння за висотою та горизонтальною площиною для зручності роботи та обслуговування апаратів керування.

У випадках, передбачених нормативною документацією, сидіння кранівника з пультом керування або кабіна в цілому повинні виконуватись поворотними.

Кабіна крана повинна бути виконана та обладнана таким чином, щоб у ній було забезпечено належний температурний режим та обмін повітря відповідно до нормативної документації. Установка в кабіні крана опалювального приладу повинна здійснюватись виробником крана.

Влаштування та обладнання кабін вантажопідіймальних машин, призначених для роботи в гарячих, хімічних та інших цехах, у яких має місце виділення пилу та шкідливих газів, повинні відповідати нормативній документації.

11.2 Вимоги безпеки до механізмів та апаратів управління

Апарати управління вантажопідійомної машини повинні бути виконані та встановлені таким чином, щоб управління було зручним і не ускладнювало спостереження за вантажозахоплювальним органом та вантажем, а напрям руху рукояток, важелів та маховиків був раціональним та відповідав напрямку руху.

Умовне позначення напрямів рухів, що викликаються, повинно бути вказано на механізмах і апаратах і зберігатися протягом терміну їх експлуатації.

Окремі положення важелів, рукояток чи маховиків управління повинні фіксуватися та мати позначення. Зусилля фіксації в нульовому положенні або в положенні "вимкнено" має перевищувати зусилля фіксації у проміжних положеннях.

Кнопки для реверсивного пуску кожного механізму повинні мати блокування, що унеможлиблює одночасне включення реверсивних контактів.

Пускові апарати ручного управління, що застосовуються на вантажопідійомних машинах, керованих з підлоги, повинні мати пристрої для самоповернення в нульове положення. При використанні в цих випадках контакторів утримання їх у включеному положенні має бути можливим тільки при безперервному натисканні на кнопку пуску.

Підвіска апаратів управління повинна проводитися на сталевому тросику

такої тривалості, яка дозволяла б особі, яка керує механізмом, перебувати на безпечному відстані від вантажу, що піднімається. Апарат управління має бути розташований на висоті від 1000 до 1500 мм від підлоги.

У вантажопідійомних машинах з електричним приводом при контролерному керуванні включення контактора захисної панелі повинно бути можливим лише в тому випадку, якщо всі контролери перебувають у нульовому положенні. Контакти нульового блокування магнітних контролерів з індивідуальним нульовим захистом у ланцюг контактора захисної панелі (вступного пристрою) можуть не включатися. В цьому випадку в кабіні управління повинна бути встановлена світлова сигналізація, яка інформує про вмикання або вимкнення магнітного контролера.

11.3 Вимоги безпеки до приладів та пристроїв безпеки

Вантажопідійомні машини з машинним приводом повинні бути обладнані пристроями (кінцевими вимикачами) для автоматичної зупинки:

а) механізму підйому вантажозахоплювального органу у його крайніх верхньому та нижньому положеннях. Кінцевий вимикач нижнього положення вантажозахоплювального органу може і не встановлюватися, якщо за умовами експлуатації крана не потрібно опускати вантаж нижче за рівень, встановлений проектом (паспортом);

б) механізму пересування вантажопідіймальних кранів на рейковому ході, їх візків (за винятком залізничних), якщо швидкість крана (візка) перед підходом до крайнього положення може перевищити 0,5 м/с (механізми пересування баштового, козлового крана прольотом понад 16 м та мостового) перевантажувачі мають бути обладнані кінцевими вимикачами незалежно від швидкості пересування);

в) механізмів пересування мостових, козлових, консольних кранів або їх візків, що працюють на одному шляху.

Зазначені пристрої повинні встановлюватися за необхідності обмеження ходу будь-якого іншого механізму вантажопідіймальної машини з електричним приводом, наприклад механізму повороту, висування телескопічної частини вантажопідіймальної машини, механізму вантажозахоплювального органу, підйому кабіни.

Кінцеві вимикачі, що встановлюються на вантажопідіймальній машині, повинні включатися в електричну схему так, щоб була забезпечена можливість руху у зворотному напрямку. Подальший рух у тому самому напрямку допускається для механізму пересування мостового крана з метою підходу до посадкового майданчика або тупикового упору з найменшою швидкістю, що допускається електричною схемою управління краном.

Кінцевий вимикач механізму підйому вантажу повинен бути встановлений так, щоб після зупинки захватного органу при підйомі без вантажу зазор між вантажозахоплювальним органом і упором був у електроталей не менше 50 мм, а у всіх інших вантажопідіймальних машин не менше 200 мм.

Кінцевий вимикач механізму пересування повинен бути встановлений таким чином, щоб відключення останнього відбувалося на відстані до упору, що становить не менше половини шляху гальмування механізму, а баштових, порталних козлових кранів і мостових перевантажувачів - не менше повного шляху гальмування. При встановленні взаємних обмежувачів ходу механізмів пересування мостових та консольних пересувних кранів, що працюють на одному шляху, вказана відстань повинна бути зменшена до 500 мм. Шлях гальмування механізмів має бути вказаний заводом-виробником у паспорті крана.

Крани мостового типу повинні бути обладнані пристроєм для автоматичного зняття напруги із крана при виході на його галерею. У кранів, що

працюють у приміщенні, тролейні дроти напругою не більше 42 В, при цьому можуть не відключатися.

У мостових кранів, вхід на які передбачений через галерею моста, таким блокуванням повинні бути обладнані двері для виходу на галерею.

Двері для входу в кабінку управління вантажопідіймальної машини з посадкового майданчика повинні бути забезпечені електричним блокуванням, що не дозволяє розпочати рух крана при відчинених дверях.

Після дії обмежувача вантажопідйомності можливе опускання вантажу або включення інших механізмів для зменшення вантажного моменту.

У кранів, що мають дві або більше вантажні характеристики, повинен бути застосований обмежувач вантажного моменту, що має пристрій для перемикання його на роботу відповідно до вибраної характеристики.

Крани мостового типу повинні бути обладнані обмежувачем вантажопідйомності (для кожної вантажної лебідки), якщо можливе їх навантаження за технологією виробництва.

Обмежувач вантажопідйомності крана мостового типу не повинен допускати навантаження більш ніж на 25 %.

У електричних кранів контакти приладів та пристроїв безпеки (кінцевих вимикачів, блокування люка, двері кабіни, аварійного вимикача тощо) повинні працювати на розрив електричної мережі.

У кранів з електроприводом повинен бути передбачений захист від падіння вантажу і стріли при обриві будь-якої з трьох фаз живильного електричного ланцюга.

При відключенні електродвигуна підйому вантажу або стріли має зніматися напруга з котушок електромагніту гальма або обмоток двигуна гідроштовхача.

Вантажопідйомні машини, що керуються з кабіни або пульта керування (при дистанційному керуванні), повинні бути забезпечені звуковим сигнальним

приладом, який добре чутний у місцях переміщення вантажу і відрізнятиметься за тональністю від автомобільного сигналу.

11.4 Вимоги безпеки до електроустаткування

Електричне обладнання вантажопідіймальних машин, струмопровід та заземлення повинні відповідати "Правилам улаштування електроустановок", за винятком випадків, особливо обумовлених у цих Правилах.

Подача напруги на вантажопідіймну машину від зовнішньої мережі повинна здійснюватися через вступний пристрій, що має ручний або дистанційний привід для зняття напруги.

Ввідний пристрій (захисна панель) мостових та консольних кранів повинен бути обладнаний індивідуальним контактним замком з ключем (ключ-марка), без якого не може бути подана напруга на кран.

Ввідний пристрій та панель керування баштових кранів повинні бути обладнані пристроєм для замикання їх на замок.

Для подачі напруги на головні тролейні дроти або гнучкий кабель повинен бути встановлений вимикач у доступному для вимкнення місці.

Вимикач, що подає напругу на головні тролейні дроти або гнучкий кабель, повинен мати пристрій для замикання його у відключеному положенні. На корпусі вимикача має бути вказано реєстраційний номер крана, на який подається напруга.

Електрична схема керування електродвигунами вантажопідіймальної машини повинна виключати:

самозапуск електродвигунів після відновлення напруги в мережі, що живить вантажопідіймну машину;

пуск електродвигунів за заданою схемою прискорення;

пуск електродвигунів контактами запобіжних пристроїв (контактами кінцевих вимикачів та блокувальних пристроїв).

Електропроводка кранів має прокладатися в коробках, трубах, металорукавах.

Короба та труби повинні прокладатися таким чином, щоб у них не могла накопичуватися волога від конденсації парів, що містяться у повітрі.

Виведення проводів із коробів та труб до електродвигунів, опорів тощо. повинен виконуватись у гнучких рукавах. Гнучкі рукави мають бути закріплені на опорних поверхнях через 500 – 700 мм.

Введення металорукавів в електрообладнання та комунікаційні апарати має здійснюватися за допомогою затискних муфт.

Ізоляція проводів у місцях виходу з труб, коробів, металорукавів та введення в електрообладнання та комунікаційні апарати має бути захищена від перетирання ізоляційними втулками.

З'єднання проводів під час прокладання електропроводок повинно проводитися лише у набірних затискачах.

Електропроводка повинна бути доступна для огляду під час експлуатації, захищена в тих місцях, де можливі її пошкодження при ремонті механічної частини крана, захищена від псування ізоляції, від попадання на неї мастила або перегріву від випромінювання. Провід та кабелі повинні приєднуватися до апаратів, приладів та установчої апаратури за допомогою наконечників або спеціальних затискачів.

Одножильні дроти перетином до 10 кв. мм та багатожильні до 2,5 кв. мм можуть приєднуватися без наконечників, при цьому кінці багатожильних дротів повинні бути пропаяні або спресовані.

Паяння та лудіння кінців проводів повинні проводитися припоєм із вмістом олова не нижче 30 %. Застосовувати кислоти як флюс при паянні проводів категорично забороняється.

Оброблені та олов'яні кінці проводів повинні бути окольцовані полівінілхлоридними або поліетиленовими трубками завдовжки не менше

30 мм.

Усі кінці проводів повинні мати чітке та міцне маркування відповідно до монтажної електричної схеми. Маркування повинно наноситися чорнилом, що не змивається, або електрографічним способом.

Перед монтажем електрообладнання має бути оглянуто з метою виявлення зовнішніх пошкоджень та перевірено на опір ізоляції.

Кабіна керування краном та машинне приміщення повинні мати електричне освітлення.

Освітлення на вантажопідіймальних машинах з електричним приводом при відключенні електрообладнання вантажопідіймальної машини повинно бути підключеним.

Ланцюги освітлення та сигнального приладу, включені до вступного пристрою, повинні мати власний вимикач. Крани повинні бути обладнані низьковольтним ремонтним освітленням напругою не більше 42 В. Живлення мережі ремонтного освітлення повинно здійснюватись від трансформатора або акумулятора, встановлених на крані.

Використання металокаркасів крана як робочого струмопроводу для живлення ланцюгів освітлення, керування або інших напругою більше 42 В не дозволяється.

Установка в кабіні керування вантажопідіймальної машини пускових опорів електродвигунів не дозволяється.

Електричні опалювальні прилади, що встановлюються в кабіні вантажопідіймальної машини, повинні бути безпечними у пожежному відношенні, а їх струмопровідні частини огорожені. Електричні опалювальні прилади повинні приєднуватись до електричної мережі після вступного пристрою. Корпус опалювального приладу має бути заземлений.

У кранів з електричним приводом при живленні від зовнішньої мережі їх металокаркас, а також усі металеві частини електрообладнання (корпусу

електродвигунів, кожухи апаратів, металеві оболонки проводів і кабелів, захисні труби тощо), що не входять в електричний ланцюг, але можуть виявитися під напругою внаслідок псування ізоляції, повинні бути заземлені відповідно до "Правил пристрою електроустановок".

Корпус кнопочного апарату управління вантажопідіймальної машини, що керується з підлоги, повинен бути виконаний або з ізоляційного матеріалу, або заземлений не менше ніж двома провідниками. Як один із заземлюючих провідників може бути використаний тросик, на якому підвішений кнопочний апарат.

Опір кожного ступеня ізоляції після монтажу виготовленого або капітально відремонтованого крана повинен бути не менше 10 МОм. Ізоляція електрообладнання та електропроводки повинна бути розрахована на випадок докладання до них напруги від вантажу при пошкодженні або перекритті щаблів захисної ізоляції.

Заземлювальні затискачі повинні встановлюватися у зварних конструкціях на бобишках або перехідних платівках. Контактні поверхні повинні бути зачищені до блиску та покриті протикорозійним мастилом.

Приєднання провідників заземлення до контактних поверхонь повинно бути болтовим з установкою шайб, що контрастують, для запобігання самовідгвинчування при вібрації.

Провідники заземлення повинні бути прокладені в місцях, доступних для огляду. У місцях приєднання провідників до металоконструкції крана (у бобишок чи перехідних пластинок) має бути нанесений знак "Земля".

Металеві корпуси виносних апаратів управління повинні заземлюватися не менше ніж двома провідниками.

Під'єднання заземлювальних провідників до металорукав має бути виконане пайкою або хомутом.

Металеві секції коробів електропроводок крана повинні утворювати

безперервний електричний ланцюг по всій довжині прокладки (мають бути прихоплені зварюванням у трьох-чотирьох точках по периметру стику секції). Заземлення коробів не потрібне у разі безпосереднього приварювання секції до металоконструкції крана.

11.5 Вимоги безпеки до огорож

Легкодоступні частини вантажопідіймної машини, що знаходяться в русі, і які можуть бути причиною нещасного випадку, повинні бути закриті міцно укріпленими металевими знімними огороженнями, що допускають зручний огляд і мастило. Обов'язковій огорожі підлягають:

- а) зубчасті, черв'якові та ланцюгові передачі;
- б) сполучні муфти, розташовані у місцях проходу;
- в) барабани, розташовані поблизу робочого місця кранівника або в проходах, при цьому огорожа барабанів не повинна ускладнювати спостереження за навивкою каната на барабан;
- г) вал механізму пересування кранів мостового типу при частоті обертання 50 об/хв і більше (при частоті обертання менше 50 об/хв цей вал має бути огорожений у місці люка для виходу на галерею).

Огорожі підлягають також вали інших механізмів вантажопідіймальних машин, якщо вони розташовані в місцях, призначених для проходу персоналу, що обслуговує.

Ходові колеса кранів, що пересуваються рейковим шляхом (за винятком залізничних), їх візки повинні бути забезпечені щитками, що запобігають можливості потрапляння під колеса сторонніх предметів. Зазор між щитком та рейкою не повинен перевищувати 10 мм.

Усі неізольовані струмопровідні частини електрообладнання вантажопідіймної машини, у тому числі вмикачів контакторних панелей та ящиків опору при розташуванні, що не виключає випадковий до них дотик осіб,

що знаходяться в кабіні, на галереях, майданчиках вантажопідіймальної машини, а також біля них повинні бути огорожені. Огорожі також підлягають неізольовані струмопровідні частини вимикачів, що подають напругу на головні тролейні дроти або кабель живлення.

Контакторні панелі та ящики опору, з яких автоматично знімається напруга при виході в місцях їх розташування, а також встановлюються у спеціальних апаратних кабінах, замкнених під час експлуатації вантажопідіймальної машини, можуть не обмежуватися.

Головні тролейні дроти, розташовані вздовж кранової колії, та їх струмоприймачі повинні бути недоступні для випадкового до них дотику з мосту крана, сходів, посадкових майданчиків та інших майданчиків, де можуть знаходитися люди, що повинно забезпечуватись відповідним розташуванням або огорожею проводів та струмоприймачів.

Тролейні дроти, розташовані на вантажопідіймальній машині, не відключаються контактом блокування люка (тролеї вантажного електромагніта, тролей напругою понад 42 В кранів з рухомою кабіною), повинні бути огорожені або розташовані між фермами моста крана на доступній відстані для обслуговуючого кран персоналу.

У місцях можливого дотику вантажних канатів з головними або допоміжними тролейними проводами крана або крана, розташованого ярусом нижче, повинні бути встановлені відповідні пристрої.

ВИСНОВОК

Відповідно до завдання в даному дипломному проекті мало бути виконане проектування автоматизованого електроприводу механізму підйому мостового крана вантажопідйомністю 20 тонн з скалярним керуванням, що було зроблено.

У процесі проектування приводу було виконано ряд розділів, зазначених у завданні.

Відповідно до завдання, у першому розділі були проведені аналіз технологічного процесу, розглянуто взаємозв'язок оператора та установки, а також побудовано розрахункову схему механічної частини електроприводу, внаслідок чого визначилися особливості як установки в цілому, так і її складових частин.

У другому розділі було здійснено інформаційний пошук, у результаті визначили найбільш економічний і якісний спосіб управління тяговим приводом. За результатами пошуку, аналізу технологічного процесу та відповідно до завдання було сформульовано вимоги до електроприводу та системи автоматизації, обрано найбільш раціональну систему електроприводу.

У третьому розділі були побудовані навантажувальні діаграми механізму та електроприводу, обраний двигун та проведена його перевірка.

У четвертому розділі здійснили проектування та розрахунок силової схеми автоматизованого електроприводу.

Далі в розділі 5 була спроектована система керування приводом підйому, синтезовані регулятори, визначені параметри об'єкта керування та пристрою, що управляє.

У розділі 6 було розроблено комп'ютерну модель автоматизованого електроприводу, що імітує режими підйомів крана.

У розділі 7 була проведена остаточна перевірка двигуна на нагрів.

Проектування системи автоматизації було виконано у розділі 8.

У розділі 9 було виконано проектування схеми дистанційного керування.

Проектування системи електропостачання та захисту було виконано у розділі 10. Також було зроблено вибір кабелю та автоматичних вимикачів.

Техніці безпеки та охорони праці присвячено розділ 11. У ньому були розглянуті основні частини мостового крана та правила безпечної експлуатації кранів такого типу.

В цілому, після виконання всіх вищезгаданих розділів було виявлено, що показники спроектованої системи відповідають завданню, а застосування розробленої установки доцільне через зручність її управління.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. Т. 2/ Под общ. ред. И.П. Копылова. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 688 с.
2. Чебовский О.Г. Справочник по силовым полупроводниковым приборам. Мн., 1988.
3. Проф. Фираго Б.И. Учебно-методическое пособие для студентов специальности Т11.02, Мн, 1993-125 с.
4. Справочник по кранам: В 2-х т. Под общей ред. проф. Гохберга М.М.- М.:Машиностроение, 1988.-559 с.
5. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 560 с.
6. Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. - М.: Энергия, 1976 – 487 с.
7. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. Т. 2/ Под общ. ред. И.П. Копылова. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 688 с.
8. Система автоматизованого електропривода виробничих установок: Навч. посібник / І. С. Шевченко. – К. : ІСДО, 1994. – 256с.
9. Пілецький В. Т. Вибір електроприводів реверсивних тиристорних перетворювачів постійного струму / В. Т. Пілецький. – К.: ІСДО, 1994. – 148с.