

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Частотне регулювання електроприводу мостового крану

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи ЕТ-41

спеціальності 141 – Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Бруц С. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Наконечний М. С..
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Мовчан Л. Т.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Тарасенко М. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Трембач Р. Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)
« » 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)
студенту Бруцу Степану Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Частотне регулювання електроприводу мостового крану

Керівник роботи Наконечний Мирослав Степанович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «20» січня 2023_ року № 4/7-29

2. Термін подання студентом завершеної роботи червень 2023 року

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Аналітичний розділ

2 Розрахунково-дослідницький розділ

3 Проектно-конструкторський розділ

4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТ–41. - Т. : ТНТУ, 2023.

Стор. 55; рис. 16; табл. 5;; джерел 12; додатків 0.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Частотне регулювання електроприводу мостового крана».

Метою роботи є підвищення ефективності частотно-регульованого асинхронного електроприводу механізму підйому мостового крана.

У даній роботі було проаналізовано та розраховано частотно-регульований електропривід змінного струму. Для регульованого асинхронного електроприводу підйому мостового крана використовуємо перетворювач серії Mitsubishi FR-F740-00250.

Розроблено комп'ютерну модель мостового крана, яка включає перехресні зв'язки між механізмами підйому, пересування візка, крана і системи електроприводів. Це дозволяє досліджувати перехідні процеси формування додаткового статичного навантаження в електромеханічній системі електроприводу механізмів..

Ключові слова:

МОСТОВИЙ КРАН, АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВІД.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	7
1.1 Загальна інформація про вантажопідйомні пристрої.....	7
1.2. Сучасний стан електроприводу мостових кранів	10
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	16
2.1 Вихідні дані та постановка задачі	16
2.2 Вибір електродвигуна та визначення параметрів схеми заміщення.....	16
2.3 Розрахунок редуктора і гальмівного пристрою	22
2.4 Розрахунок статичних характеристик електродвигуна.....	24
2.5 Вибір типу перетворювача та розрахунок параметрів структурної схеми двигуна	28
2.6 Розрахунок характеристик двигуна при векторному керуванні та перевірка вибору двигуна та перетворювача	29
2.7 Вибір напруги мережі живлення асинхронного електроприводу з векторним керуванням.....	32
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	34
3.1 Імітаційна модель електричної частини силового каналу	34
3.2 Налаштування контурів регулювання САУ асинхронного електропривода	36
3.3 Розрахунок контуру струму з ПІ-регулятором та датчиком струму	37
3.4 Розрахунок контуру швидкості з ПІ-регулятором та датчиком швидкості	40
3.5 Розрахунок контуру потокозчеплення ротора з ПІ-регулятором і датчиком струму	42
3.6 Дослідження імітаційної моделі електроприводу підйому мостового крана з урахуванням кранового навантаження.....	43
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	47

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, пов'язаних з експлуатацією крана	47
4.2 План локалізації та ліквідації аварійних ситуацій в цеху.....	49
4.3 Засоби захисту від ураження електричним струмом.....	50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	52
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	53

ВСТУП

З усієї різноманітності механізмів загальнопромислових, що беруть участь у роботі на підприємствах металургії, можна визначити групу, для якої дуже гостро існує проблема надмірно високого рівня динамічних навантажень. До такої групи обладнання промислових підприємств відносяться в першу чергу механізми підйомно-транспортних машин: козлові та мостові крани, кранові перевантажувачі, живильники транспортери, конвеєри, і т.д. В особливо важких умовах серед цих механізмів та інтенсивних режимах працюють крани мостові.

Численними дослідженнями встановлено, що механічні пружні коливання в більшості випадків негативно діють на роботу електроприводу, викликаючи підвищення динамічних навантажень, що призводить до зменшення точності роботи механізму, виникнення вібрацій механічних і резонансних явищ, які створюють небезпечну ситуацію. Високий рівень надмірних динамічних навантажень, що з'являється при цьому, особливо в режимах при пусках, реверсах і гальмуваннях призводить до передчасного виходу з ладу підкранових конструкцій і елементів механізмів кранів.

Провівши дослідження у напрямі проблеми зменшення динамічних навантажень було встановлено, для досягнення максимальної ефективності зменшення динамічних навантажень, що призведе до збільшення довговічності механічної частини механізму пересування кранів та підкранових конструкцій є глибока модернізація наявних схем електроприводів та впровадження сучасних нових, які безумовно забезпечать зменшення різниці у швидкостях пересування опор крана.

Метою роботи є підвищення ефективності частотно-регульованого асинхронного електроприводу механізму підйому мостового крана

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальна інформація про вантажопідйомні пристрої

Мостовий кран – пристрій для переміщення вантажів за допомогою шляхом їх підйому, горизонтального пересування та опускання.

Мостовий кран складається з типових окремих механізмів [1, 2]:

- механізм підйому для вертикального переміщення вантажу;
- механізм пересування візка для переміщення вантажу в горизонтальній площині по одній осі;
- механізм пересування крана для переміщення вантажу у горизонтальній площині по іншій осі.

Вантажний візок 1 (рисунок 1.1) переміщається по рейкових коліях уздовж бруківки несучої конструкції крана 2.

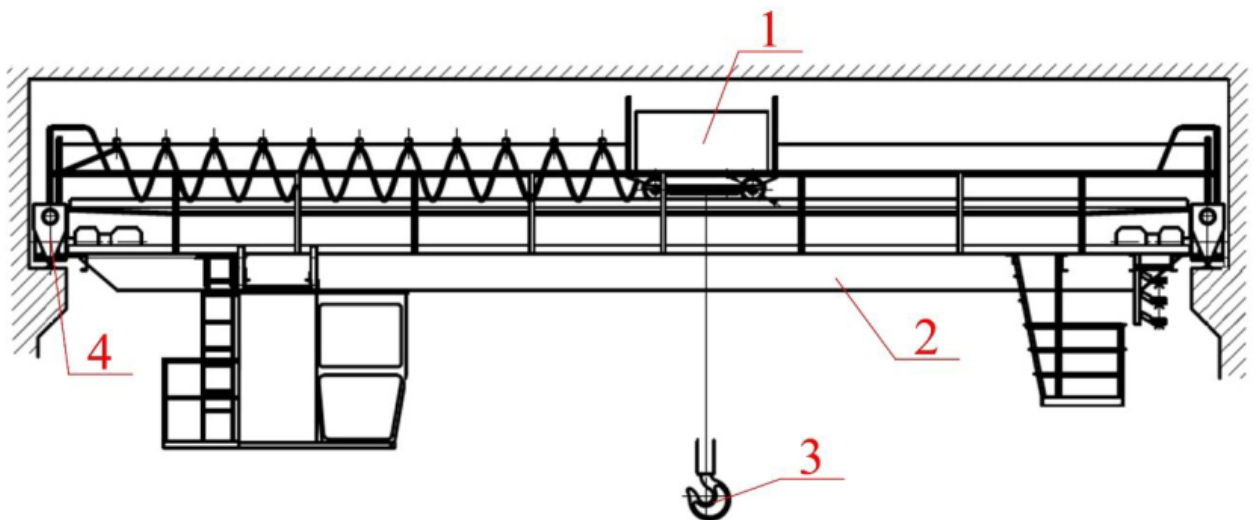


Рисунок 1.1 – Схема мостового крана з основними елементами та механізмами

Ця конструкція, в загальному випадку, являє собою дві балки прямокутного перерізу. На вантажному візку встановлюється електричний привід підйому, який приводить в рух механізм підйому з

вантажозахоплювальним пристроєм 3. Весь механізм крана пересувається по кранових коліях 4. На підрейкових рейках і кранових коліях встановлюють обмежувачі крайніх положень візка і крана [3].

Як вантажозахоплювальний пристрій можуть виступати гак, грейфер, магніт та інші форми захватів [4]. Мостові крани виготовляються для різних режимів роботи, які різняться часом включення в роботу, різною інтенсивністю роботи, різними кліматичними умовами і т.п. Всі ці умови характеризуються основними параметрами мостового крана: вантажопідйомність, клас використання, клас навантаження, режим роботи, група режиму роботи, відносна тривалість включення, номінальна швидкість механізму пересування та підйому та розрахункове прискорення (уповільнення).

Вантажопідйомність – маса номінального вантажу на вантажозахоплювальному пристрої, що піднімається вантажопідйомною машиною [3]. Для характеристики ступеня завантаження крана введено коефіцієнт використання крана по вантажопідйомності

$$K_{en} = \frac{Q_{cp}}{Q_{ном}}$$

де Q_{cp} - Середнє значення маси вантажу за зміну; $Q_{ном}$ - номінальна вантажопідйомність.

Номінальна вантажопідйомність кранів може приймати значення наступного ряду [5]: 0,2; 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600 т. Для мостових кранів із зазначеного ряду використовуються лише значення вантажопідйомності від 1 до 1000 т.

Клас використання залежить від кількості циклів роботи крана протягом терміну служби. Клас використання крана визначається за таблицею 1.1.

Таблиця 1.1 - Клас використання крана

Клас використання	Загальна кількість циклів роботи крана за термін його служби	Клас використання	Загальна кількість циклів роботи крана за термін його служби
C0	$< 1,6 \cdot 10^4$	C5	$2,5 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^5$
C1	$1,6 \cdot 10^4 - 3,2 \cdot 10^4$	C6	$5 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^6$
C2	$3,2 \cdot 10^4 - 6,3 \cdot 10^4$	C7	$1 \cdot 10^6 - 2 \cdot 10^6$
C3	$6,3 \cdot 10^4 - 1,25 \cdot 10^5$	C8	$2 \cdot 10^6 - 4 \cdot 10^6$
C4	$1,25 \cdot 10^5 - 2,5 \cdot 10^5$	C9	$> 4 \cdot 10^6$

Клас навантаження крана визначається коефіцієнтом навантаження

$$K_p = \sum \left(\frac{Q_i}{Q_n} \right)^3 \frac{C_i}{C_t}$$

де Q_i – маса вантажу під час роботи з числом циклів C_i ;

Q_n – номінальна вантажопідйомність;

C_i – число циклів роботи з вантажем масою Q_i ;

C_t – кількість циклів роботи крана за весь термін служби.

Режими роботи мостового крана можуть бути циклічними (переміщення штучних вантажів, грейферні крани навалочних вантажів, металургійні крани) та умовно циклічними [6]. Відмінності полягає в наявності постійних за тривалістю та складом операцій крана. Циклом

називається послідовність пересування механізму та повернення його в початкове положення.

1.2. Сучасний стан електроприводу мостових кранів

Основним режимом роботи кранового електроустаткування є повторно-короткочасний режим із частими включеннями, з частими пусками та гальмуваннями та перевантаженнями [7].

Електроприводи змінного та постійного струму для управління механізмами крана варіюється за потужністю від кількох кіловат до кількох мегават. В даний час найбільше поширення в крановому електроприводі має асинхронний двигун (> 90% всіх двигунів серії кранів) [8].

У електроприводі кранових механізмів застосовуються такі двигуни змінного струму:

- асинхронний двигун із фазним ротором;
- асинхронний двигун із короткозамкненим ротором;
- багатошвидкісні електродвигуни.

З-поміж двигунів постійного струму застосовують двигуни серії Д з послідовним і незалежним збудженням [7, 9].

Основні вимоги, які пред'являються до кранових електроприводів

- обмеження моменту у широкому діапазоні зміни статичного моменту;
- регулювання швидкості;
- обмеження прискорень та динамічних навантажень;
- формування необхідної жорсткості механічних характеристик;
- точна зупинка механізмів;
- наявність електромагнітного гальма для кожного механізму підйому та пересування;
- максимальна простота схем електроприводу при проектуванні та реалізації систем керування;
- використання комплектних пристроїв нульової, кінцевої та

- максимального захисту, а також нульового блокування.

В основному кожен механізм мостового крана має індивідуальний привід і схему управління.

Схеми управління на змінному струмі відрізняються механізмів підйому і пересування. Для керування підйомом кранів зазвичай використовуються контролери типів ДКС, ДТСА, ТСА та КС. Для механізмів пересування мостового крана використовуються контролери ДК, К, ТА та ДТА.

На рисунку 1.2 подано механічні характеристики системи управління магнітного контролера ТСА.

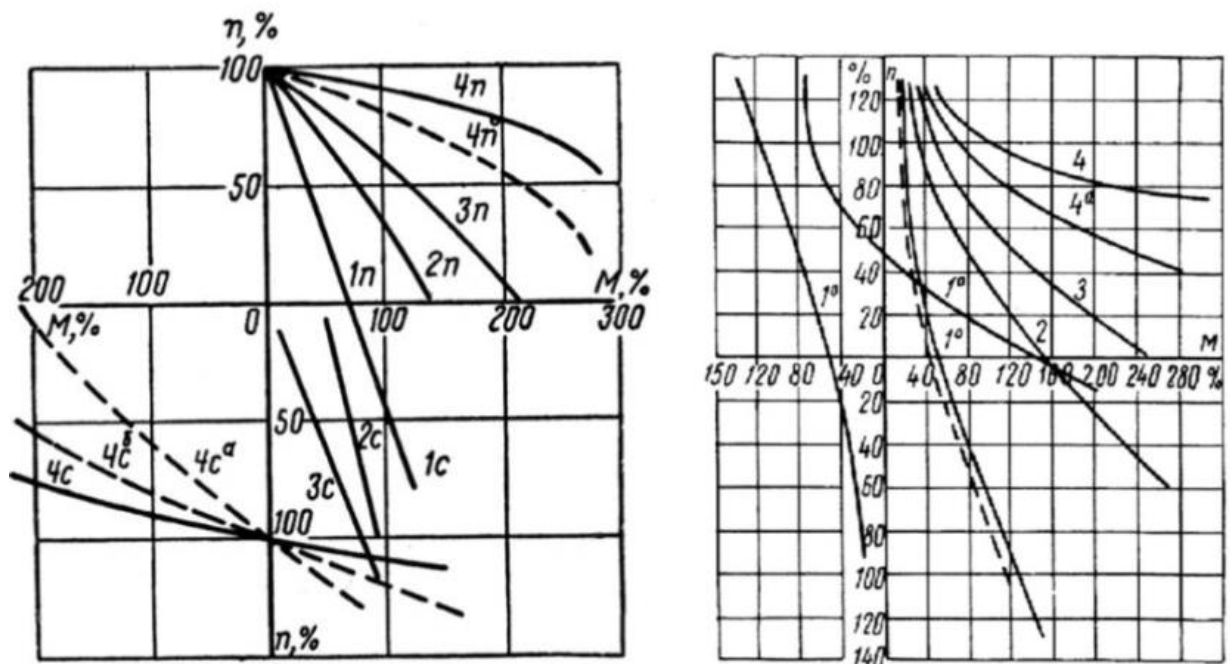


Рисунок 1.2 – Механічні характеристики системи керування: а) механізмом підйому мостового крана за допомогою магнітного контролера ТСА; б) механізмом пересування мостового крана за допомогою контролера П

Система дозволяє отримати по 4 швидкості на спуск і підйом, режим силового спуску, однофазне гальмування і гальмування протівключенням

для навантажень менше 70% від номінальної. Робота інших зазначених контролерів механізму підйому аналогічна роботі контролера ТСА. Для двох рухового приводу застосовують контролери ДТСА та ДКС.

На першій позиції контролера вибирається слабкість канатів і підйом легких вантажів. На другій, третій і четвертій позиціях швидкість підйому поступово збільшується. На четвертій позиції спуску ситемою реалізуються режим силового спуску. Для більш плавної посадки вантажу використовуються режим однофазного гальмування зниження швидкості перед зупинкою. Діапазон регулювання швидкості становить 3:1 – 4:1.

На прикладі контролера постійного струму П можна розглянути систему управління механізмом пересування, при живленні його від незалежного джерела постійного струму (рисунок 1.2). Положення командоапарата виводять електропривод на певну характеристику, а при переведенні командоапарата в крайнє положення відразу, перемикання ступенів виконується у функції часу. Для даної системи керування діапазон регулювання швидкості досягає 8:1 (при спуску вантажів).

Застосування частотно регульованих систем керування змінного струму механізмів мостового крана дозволяє знизити втрати у перехідних режимах роботи крана [9]. За рахунок кращої керованості системи в динамічних режимах можливе використання високошвидкісних двигунів, а також використання асинхронних двигунів у другій зоні регулювання.

Принципова схема системи кранового електроприводу "перетворювач частоти - асинхронний двигун" представлена рисунок 1.3. Діапазон регулювання у системі ПЧ-АТ може досягати 100:1, проте для більшості мостових кранів максимальною необхідною величиною діапазону регулювання є 20:1.

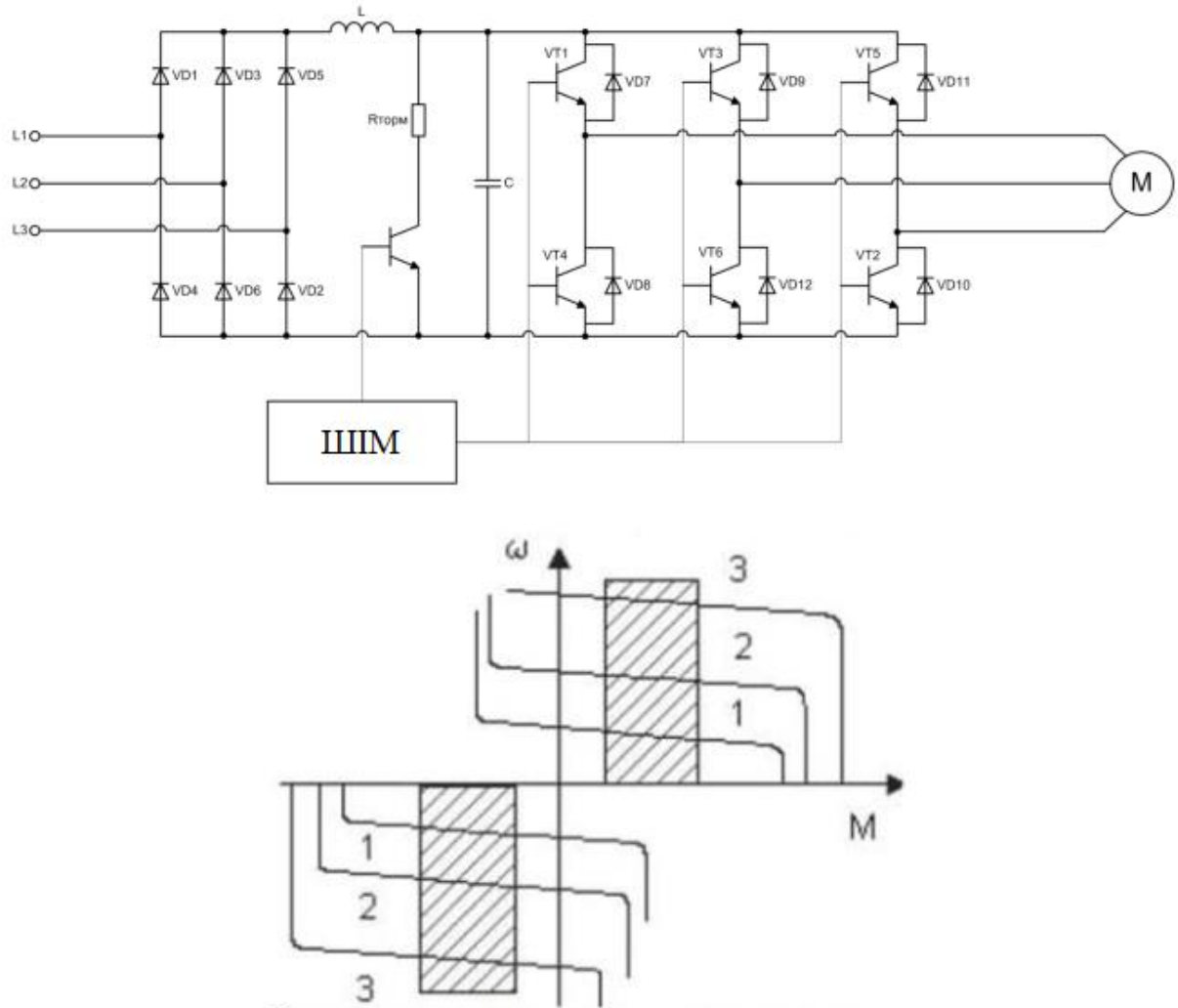


Рисунок 1.3 – Принципова схема системи ПЧ-АТ та механічні характеристики електроприводу механізму пересування

Система ПЧ-АТ при однаковому навантаженні дозволяє знизити в 1,5 – 1,8 разів потужність двигуна порівняно із системами регулювання без застосування перетворювача частоти за рахунок оптимального розмежування зон регулювання.

Серія асинхронних кранових електродвигунів має підвищені пускові та максимальні електромагнітні моменти, великі значення ковзання порівняно з асинхронними двигунами загального призначення. Крім того, кранові двигуни мають більший запас міцності механічних деталей.

Сучасні системи управління у складі перетворювача частоти формують механічні характеристики приводу з незмінною перевантажувальною здатністю, що свідчить про можливість застосування двигунів загального призначення у крановому електроприводі [11]. При цьому асинхронні двигуни загальнопромислової серії мають вищий ККД, менший номінальний струм, менше номінальне ковзання та вищий коефіцієнт потужності. Таким чином, у складі частотного електроприводу двигуни загального призначення більш енергетично доцільні для використання, ніж асинхронні кранові двигуни. Однак необхідно враховувати більший запас механічної міцності кранових двигунів та вищий клас їхньої ізоляції.

Сучасні системи кранового електроприводу на основі перетворювача частоти мають ряд функцій для підйомно-транспортного обладнання:

- векторне керування без датчика швидкості;
- векторне керування з датчиком швидкості;
- векторне управління (2 точки);
- намагнічування двигуна за допомогою дискретного входу;
- автопідстроювання;
- S-подібна крива розгону-гальмування;
- задані швидкості;
- управління швидше-повільніше;
- керування закінченням ходу;
- керування гальмом;
- вимірювання навантаження;
- підйом із підвищеною швидкістю;
- вибір слабину канатів;
- вирівнювання навантаження;
- керування мережним контактором;
- перемикання комплекту параметрів;
- перемикання двигунів та конфігурацій;

- тепловий захист гальмівних опорів;
- тепловий захист двигуна за допомогою термоопорів.

Крім функцій самого перетворювача частоти, існують додаткові функції, які можна отримати із застосуванням додаткових модулів ПЧ. Прикладом такого модуля може бути кранова карта компанії Schneider Electric [10]. Основним завданням даного модуля є запобігання коливанням вантажу без застосування додаткових датчиків. Представлена система має можливість визначення довжини гнучкого підвісу крана декількома способами з додатковими можливостями налаштування приводу.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вихідні дані та постановка задачі

Вихідними даними проектування є фізичні та геометричні параметри механізму підйому мостового крана. Вихідні дані представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2 - Вихідні дані проектування

Найменування параметра	Значення параметра
Тип крана	Тип крана кран мостовий опорний
Конструкція кранового мосту	Двоблоковий міст, балки коробчаті.
Вантажопідйомність крана, т	10
Кратність поліспасти, α	3
Номінальна швидкість підйому, м/с	0,1
Номінальна швидкість руху візка, м/с	0,63
Діаметр барабана лебідки, м	$90 \cdot 10^{-3}$
Напруга в канаті, тс/см ²	2
Модуль пружності каната, тс/см ²	1500
Тривалість вмикання крана, %	25
Висота прогонової балки, м	2,5

2.2 Вибір електродвигуна та визначення параметрів схеми заміщення

Розрахунок попередньої потужності двигуна провадиться за формулою:

$$P \geq \frac{P_c}{k_T}, \quad (2.1)$$

де P - потужність двигуна, Вт;

P_c - статична потужність електродвигуна, Вт;

$k_T = 1$ - коефіцієнт, що враховує режим роботи механізму, вид керуючого пристрою та електроприводу [8].

Статична потужність електродвигуна розраховується за формулою:

$$P_c = \frac{F_T V}{\eta_M} \quad (2.2)$$

де F_T - вантажопідйомна сила. Н;

$\eta_M = 0.9$ значення ККД механізму підйому.

Вантажопідйомна сила розраховується за формулою:

$$F_B = m_B \cdot g, \quad (2.3)$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння,

m_B - номінальна маса вантажу, кг.

$$F_B = 10000 \cdot 9.81 = 9.81 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Статична потужність електродвигуна

$$P_c = \frac{9.81 \cdot 10^4 \cdot 0.1}{0.9} = 10.9 \text{ кВт,}$$

$$P \geq \frac{10.9 \cdot 10^3}{1} = 10.9 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

З довідника [9] вибираємо з урахуванням ПВ = 25% і потужності 10,9 кВт електродвигун серії 5Д. Загальний вигляд та технічні дані електродвигуна показано на рисунку 2.1 та в таблиці 2.2.



Рисунок. 2.1 – Електродвигун 5A160S6

Таблиця 2.2 – Параметри електродвигуна

Типорозмір	$P_{ном}$, кВт	$n_{ном}$, об/хв	η , %	$\cos \varphi_n$	$M_H / M_{ном}$	$I_H / I_{ном}$	s_n , %	$J_{дв}$, кг·м ²
5A160S6	11	970	87	0,82	1,9	6,5	3	0,11

Синхронна кутова частота обертання двигуна:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_{1m}}{z_p} = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.14 \cdot 1000}{30} = 104.7 \text{ рад/с} \quad (2.4)$$

Кутова швидкість обертання двигуна:

$$\omega_{дв.н} = (1 - s_n) \cdot \omega_0 = (1 - 0.03) \cdot 104.7 = 101.5 \text{ рад/с} \quad (2.5)$$

Номінальний момент двигуна

$$M_{дв.н} = \frac{P_{дв.н} \cdot 10^3}{\omega_{дв.н}} = \frac{11 \cdot 10^3}{101.5} = 108.3 \text{ Н·м} \quad (2.6)$$

Номінальна фазна напруга та номінальний фазний та лінійний струм (діюче значення) статора при схемі з'єднання обмоток зірка:

$$U_{1фн} = \frac{U_{1лн}}{\sqrt{3}} \quad (2.7)$$

$$I_{1фн} = I_{1лн} = I_{дв.н} = \frac{P_{дв.н}}{3 \cdot U_{1фн} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{11 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.82 \cdot 0.87} = 23.36 \text{ А} \quad (2.8)$$

Максимальний струм двигуна при прямому пуску:

$$I_{imax} = k_{идв} \cdot I_{лн} = 6.5 \cdot 23.36 = 151.84 \text{ А} \quad (2.9)$$

Критичний момент двигуна на природній характеристиці:

$$M_k = m_k \cdot M_{дв.н} = 2.5 \cdot 108.3 = 270.7 \text{ Н·м} \quad (2.10)$$

Пусковий момент двигуна при прямому пуску:

$$M_{дв.пск} = m_n \cdot M_{дв.н} = 1.9 \cdot 108.3 = 205.7 \text{ Н·м} \quad (2.11)$$

Струм холостого ходу двигуна

$$I_0 = I_{1H} \sqrt{\frac{\left(\frac{I_{1p^*}}{I_{1H}}\right)^2 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{(1 - p^* \cdot s_H)}\right]^2}{1 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{(1 - p^* \cdot s_H)}\right]^2}} \quad (2.12)$$

де $I_{1p^*} = \frac{p^* \cdot P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{\text{фн}} \cdot (\cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*})} = \frac{0.75 \cdot 11 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot (0.77 \cdot 0.87)} = 18.66 \text{ А}$ – струм

фази статора при частковому навантаженні.

$p^* = 0,75$ - ступінь завантаження;

$\eta_{p^*} = 0,87$ - ККД при частковому навантаженні;

$\cos \varphi_{p^*} = 0,77$ - коефіцієнт потужності в режимі часткового завантаження.

$$I_0 = 23.362 \sqrt{\frac{\left(\frac{18.66}{23.362}\right)^2 - \left[\frac{0.75 \cdot (1 - 0.03)}{(1 - 0.75 \cdot 0.03)}\right]^2}{1 - \left[\frac{0.75 \cdot (1 - 0.03)}{(1 - 0.75 \cdot 0.03)}\right]^2}} = 10.139 \text{ А.}$$

Приведений до обмотки статора активний опір обмотки ротора в номінальному режимі становитиме:

$$R'_2 = \frac{3 \cdot U_{\text{фн}}^2 \cdot (1 - s_H)}{2m_k P_{\text{дв.н}} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k}\right)}, \text{ Ом} \quad (2.13)$$

де, $C_1 = 1 + \frac{I_0}{2k_i I_{\text{фн}}} = 1 + \frac{10.139}{2 \cdot 6.5 \cdot 23.3} = 1.033$ - коефіцієнт, який характеризує

співвідношення $\frac{X_\mu + X_{1\sigma}}{X_\mu}$;

$$R'_2 = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0.03)}{2 \cdot 2.5 \cdot 11 \cdot 10^3 \cdot 1.033^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{0.03}\right)} = 0.328 \text{ Ом.}$$

Критичне ковзання:

$$s_k = s_H \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} =$$

$$= 0.03 \frac{2.5 + \sqrt{2.5^2 - [1 - 2 \cdot 0.03 \cdot 1 \cdot (2.5 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0.03 \cdot 1 \cdot (2.5 - 1)} = 0.159 \quad (2.14)$$

де $\beta = 1$ - коефіцієнт, що характеризує співвідношення активних опорів статора та ротора.

Активний опір статора обмотки в номінальному режимі:

$$R_1 = R'_2 \cdot \beta \cdot C_1 = 0.328 \cdot 1 \cdot 1.033 = 0.339 \text{ Ом.} \quad (2.15)$$

Індуктивний опір короткого замикання в номінальному режимі

$$X_{kn} = R'_2 \cdot \gamma \cdot C_1 = 0.328 \cdot 6.225 \cdot 1.033 = 2.112 \text{ Ом,} \quad (2.16)$$

де $\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k}\right)^2 - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0.03}\right)^2 - 1^2} = 6.225$ коефіцієнт що характеризує

співвідношення індуктивного опору короткого замикання та наведеного активного опору ротора.

Індуктивний опір розсіювання статора обмотки в номінальному режимі:

$$X_{1\sigma} = 0.42 \cdot X_{kn} = 0.42 \cdot 2.112 = 0.887 \text{ Ом.} \quad (2.17)$$

Індуктивність обмотки статора, обумовлена потоком розсіювання, в номінальному режимі:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1n}} = \frac{0.887}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 2.823 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.} \quad (2.18)$$

Наведений до обмотки статора індуктивний опір обмотки ротора в номінальному режимі:

$$X'_{2\sigma} = 0.58 \frac{X_{kn}}{C_1} = 0.58 \frac{2.112}{1.033} = 1.185 \text{ Ом.} \quad (2.19)$$

Наведена індуктивність обмотки ротора, обумовлена потоком розсіювання, в номінальному режимі:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1n}} = \frac{1.185}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 3.773 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.} \quad (2.20)$$

ЕРС гілки намагнічування E_m , наведена потоком повітряного зазору в обмотці статора в номінальному режимі, дорівнює:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\phi_n} \cdot \cos \phi_n - I_{1\phi_n} \cdot R_1)^2 + (U_{1\phi_n} \cdot \sin \phi_n - I_{1\phi_n} \cdot X_{1\sigma})^2} = \quad \text{В (2.21)}$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0.82 - 23.36 \cdot 0.33)^2 + (220 \cdot 0.57 - 23.36 \cdot 0.88)^2} = 202.02$$

Тоді індуктивний опір контуру намагнічування

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = \frac{202.026}{10.139} = 19.92 \text{ Ом.} \quad (2.22)$$

Результуюча індуктивність, обумовлена магнітним потоком у повітряному зазорі:

$$L_m = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_{1n}} = \frac{19.925}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.063 \text{ Гн.} \quad (2.23)$$

Параметри схеми заміщення електродвигуна зведено таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Параметри схеми заміщення електродвигуна

R_1 ,	$X_{1\sigma}$,	$L_{1\sigma}$,	X_μ ,	L_μ ,	R'_2 ,	$X'_{2\sigma}$,	$L'_{2\sigma}$,	X_{KH} ,
Ом	Ом	мГн	Ом	мГн	Ом	Ом	мГн	Ом
0,33	0,88	2,82	19,92	0,063	0,328	1,185	3,773	2,112

При знайдених параметрах розраховуються значення номінального електромагнітного моменту двигуна [11]:

$$M'_{ем.н} = \frac{3 \cdot U_{1\phi_n}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_n \cdot \left[X_{kn}^2 + \left(R_1 + \frac{R'}{s_n} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_n \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = 115.146 \text{ Н·м;} \quad (2.24)$$

$$M''_{ем.н} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2n} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1m}^2 - I_0^2} = 114.975 \text{ Н·м.} \quad (2.25)$$

тут

$$\Psi_{2n} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_{1m} = \sqrt{2} \cdot 10.139 \cdot 0.063 = 0.909 \text{ Вб.} \quad (2.26)$$

Перевіряємо умову

$$M_{дв.н} < M'_{ем.н} \leq 1.1 \cdot M_{дв.н}$$

$$108.3 < 115.146 \leq 114.975$$

$$M'_{em.n} \approx M''_{em.n}$$

Попередньо прийняті значення $(\cos \varphi_{p^*}, \eta_{p^*}, \beta)$ обрані правильно.

2.3 Розрахунок редуктора і гальмівного пристрою

Кутова швидкість барабана обчислюється за формулою

$$\omega_b = \frac{2 \cdot V \cdot \alpha}{D_b}, \text{ рад/с} \quad (2.27)$$

де $\alpha = 3$ – кратність поліспасту;

$D_b = 90 \cdot 10^{-3}$ м - діаметр барабана.

$$\omega_b = \frac{2 \cdot 0.1 \cdot 3}{90 \cdot 10^{-3}} = 6.6 \text{ рад/с.}$$

Передатне число обчислюється за формулою:

$$i = \frac{\omega_d}{\omega_b} = \frac{101.526}{6.6} = 15.3 \quad (2.28)$$

Вибираємо редуктор з передатним ставленням $i = 16$. Статичний момент на вхідному валу редуктора при гальмуванні визначається за такою формулою:

$$M_{st} = \frac{M_G \cdot \eta_m \cdot \eta_a}{i} \quad (2.29)$$

де M_{st} - статичний момент на вхідному валу редуктора при гальмуванні Н·м,

M_G - вантажний момент на барабані, Н·м;

η_m - ККД механізму, що приймається рівним ККД редуктора;

η_a - ККД поліспасту;

i – номінальне передатне число редуктора.

Визначаємо ККД поліспасту за такою формулою:

$$\eta_a = \left(\frac{1 + \eta_1 + \eta_1^2 + \dots + \eta_1^{a-1}}{a} \right) \cdot \eta_1^k \quad (2.30)$$

де $\eta_1 = 0.98$ - ККД блоку на підшипниках кочення;

k - число обвідних блоків (для мостового крана $= 0$).

ККД поліспасту:

$$\eta_a = \left(\frac{1 + 0.98 + 0.98^2}{3} \right) = 0.98$$

Найбільший натяг гілки каната, що набігає на барабан при: підйомі вантажу, обчислюється за формулою:

$$F_a = \frac{F_T}{\alpha \cdot \mu \cdot \eta_a} \quad (2.31)$$

де F_a - натяг гілки каната, Н м

μ – число поліспастів.

Для мостового крана $\mu = 2$ тобто. обидва кінці тросу закріплені на барабані для вертикального підйому вантажу і вирівнювання зусиль на опори барабана (рисунок 2.2).

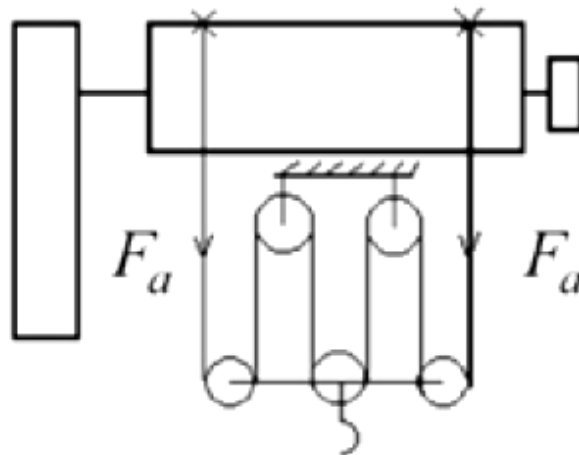


Рисунок 2.2 – Схема поліспасту механізму підйому вантажу

$$F_a = \frac{9.81 \cdot 10^4}{3 \cdot 2 \cdot 0.98} = 15.68 \cdot 10^3, \text{ Н.}$$

Вантажний момент на барабані обчислюється за формулою:

$$M_G = \frac{\mu \cdot F_a \cdot D_b}{2}, \quad (2.32)$$

Отримаємо

$$M_G = \frac{2 \cdot 1.98 \cdot 10^4 \cdot 90 \cdot 10^{-3}}{2} = 1782, \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Статичний момент на вхідному валу редуктора:

$$M_{st} = \frac{1782 \cdot 0.9 \cdot 0.98}{16} = 98, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Гальмівний момент, на який регулюють гальмо, розраховується за формулою:

$$M_{mp} \geq k \cdot M_{cp} \quad (2.33)$$

де M_{cp} - гальмівний момент, Н м;

k - коефіцієнт запасу гальмування. Приймаємо $k = 2$.

$$M_{mp} = 2 \cdot 98 = 196 \text{ Н м}.$$

2.4 Розрахунок статичних характеристик електродвигуна

Механічна характеристика електродвигуна для частоти = 50 Гц розраховується за виразом

$$M_{em}(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s \left[X_{kn}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_\mu} \right)^2 \right]}, \quad (2.34)$$

де M_{em} – електромагнітний момент двигуна, Н·м. Механічна характеристика $\omega(M_{em})$ показано малюнку 2.3. Значення електромагнітного номінального моменту при номінальному ковзанні s_n :

$$M_{em}(s) = M_{em.H} = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \left[X_{kn}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = 115.146 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

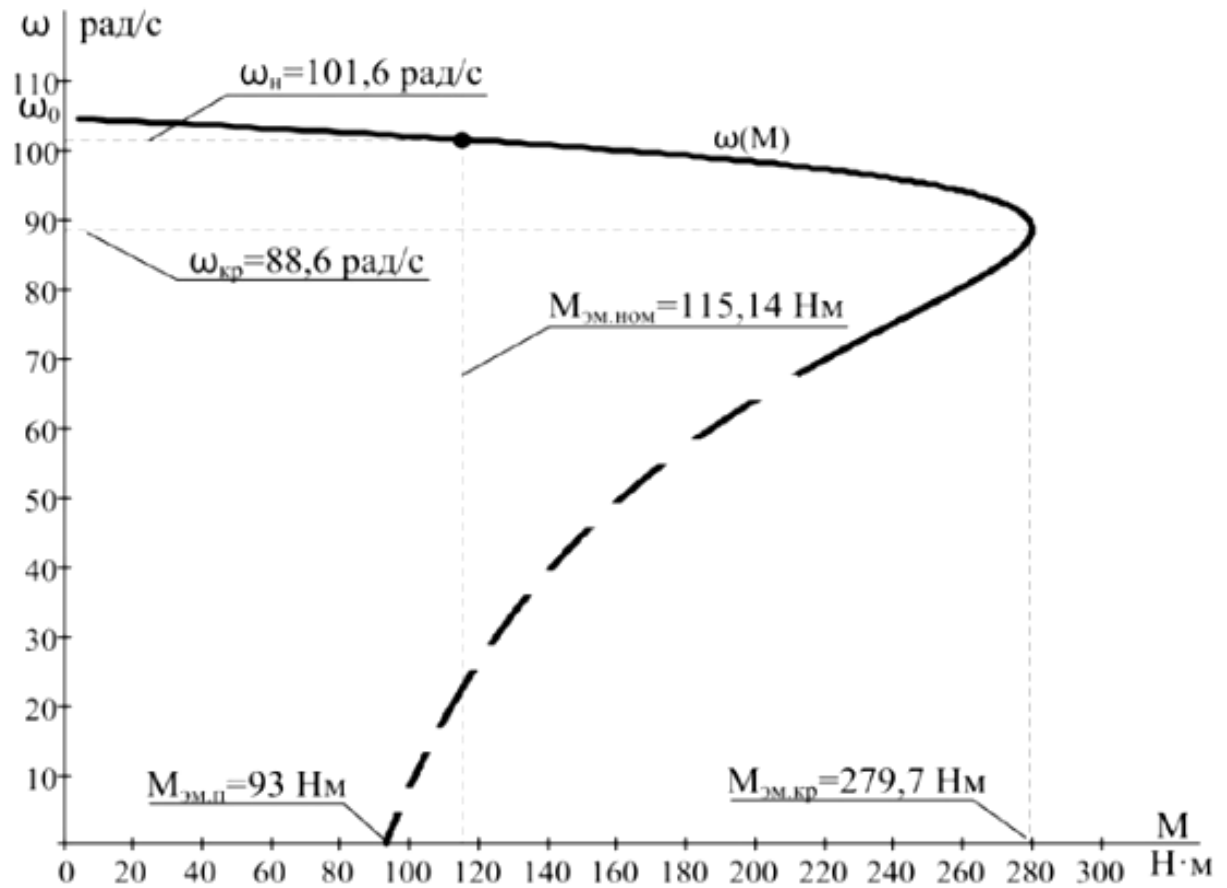


Рисунок 2.3 – Механічна характеристика асинхронного двигуна $\omega(M_{em})$

Момент тертя на валу двигуна:

$$M_{т.дв} = M_{em.H} - M_{дв.H} = 115.146 - 108.23 = 6.8 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.35)$$

Критичне ковзання:

$$s_k = R'_2 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu} \right)^2}{R_1^2 + X_{kn}^2}} = 0.328 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0.339}{19.925} \right)^2}{0.339^2 + 2.112^2}} = 0.153; \quad (2.36)$$

Електромагнітний критичний момент при критичному ковзанні:

$$M_{em.k} = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^3}{2 \cdot \omega_0 \left(R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{kn}^2) \cdot \left(1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu} \right)^2 \right)} \right)} = 279.7 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Природні електромеханічні характеристики $I_1(s)$ та $I_2'(s)$ електродвигуна розраховуються для частоти $f_{1n} = 50$ Гц за виразом

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_0'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_0'(s) \cdot \sin \phi_2(s)}, \quad (2.37)$$

де $I_1 = I_{1\phi}$ - діюче значення фазного струму двигуна, А;

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi n}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_{kn}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu} \right)^2}} =$$

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{\left(0.339 + \frac{0.328}{s} \right)^2 + 2.112^2 + \left(\frac{0.339_1 \cdot 0.328}{s \cdot 19.925_\mu} \right)^2}};$$

- приведений до обмотки статора струм ротора, А;

$$I_0 = \frac{U_{1\phi n}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2}} = \frac{220}{\sqrt{0.339^2 + (0.887 + 19.925)^2}} = 10.56, \text{ А},$$

- діюче значення струму холостого ходу, А;

$$\sin \phi_2(s) = \frac{X_{kn}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_{kn})^2}} = \frac{2.112}{\sqrt{\left(0.339 + \frac{0.328}{s} \right)^2 + (2.112)^2}}.$$

За результатами розрахунку побудовано електромеханічні характеристики двигуна $\omega(I_1)$ та $\omega(I_2')$ (рисунок 2.4), де значення кутової швидкості обертання двигуна знаходяться за виразом

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s), \text{ рад/с} \quad (2.38)$$

Для ковзання $s = s_n$ розраховується значення номінального струму статора

$$I_{1n}(s_n)$$

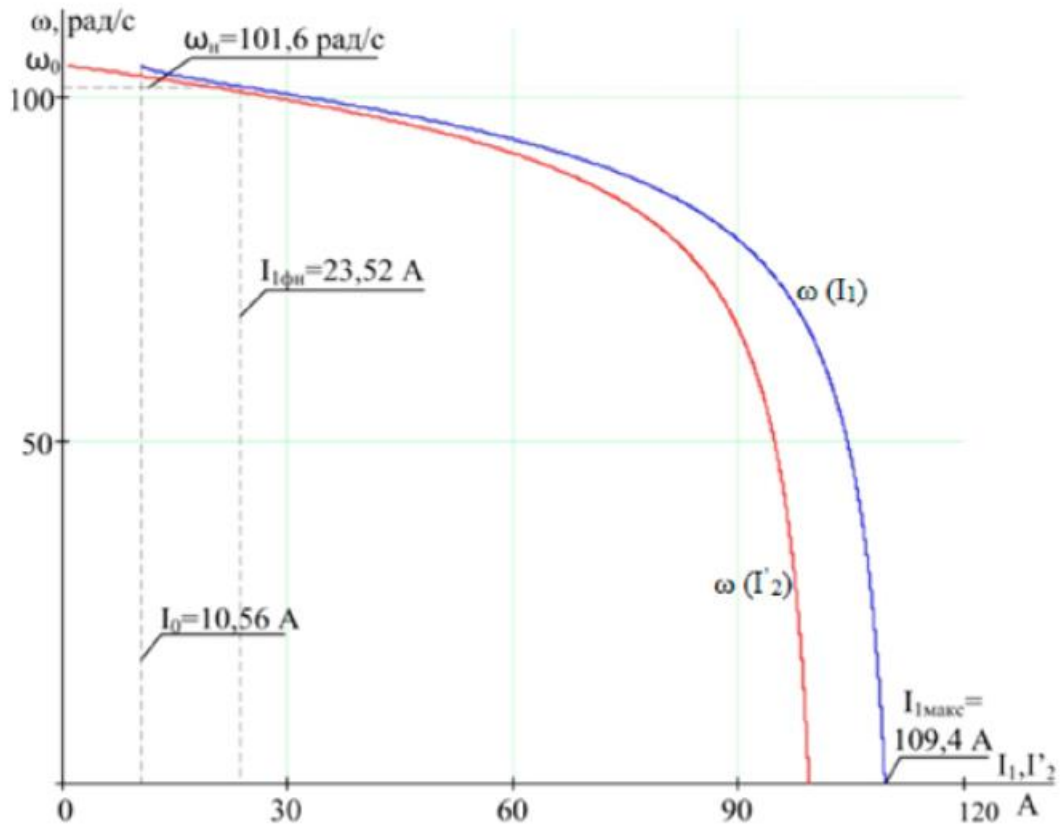


Рисунок 2.4 – Природні електромеханічні характеристики двигуна

В результаті розрахунку характеристик двигуна отримані параметри для їх характерних точок:

$$s_n = 3\%; \quad s_k = 15.3\%; \quad I_{1n} = 23.52, \text{ А}; \quad I_{1\max} = 109.4, \text{ А};$$

$$I_{1\max} / I_{1n} = 4.68, \text{ А}; \quad M_{ем.н} = 115.14, \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad M_{ем.к} = 109.4, \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{ем.к} / M_{ем.н} = 2.42; \quad M_{ем.пуск} = 93, \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad M_{ем.пуск} / M_{ем.н} = 0,8;$$

Параметри двигуна згідно довідника;

$$s_n = 3\%; \quad s_k = 15.9\%; \quad I_{дв.н} = 23.36, \text{ А}; \quad I_{дв.макс} = 151.84, \text{ А};$$

$$I_{дв.макс} / I_{дв.н} = 6,5, \text{ А}; \quad M_{дв.н} = 108.3, \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad M_{к} = 270,7, \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{к} / M_{дв.н} = 2.5; \quad M_{дв.пуск} = 205,7, \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad M_{дв.пуск} / M_{дв.н} = 1,899;$$

Порівняння параметрів розрахункових характеристик з довідковими параметрами двигуна показують відповідність умовам їх характерних точок $M_{ем.н} > M_{дв.н} > M_{ем.к} > M_{к}$. Умова $M_{ем.пуск} > M_{дв.пуск}$ не виконується, тому частина характеристики $\omega(M)$ показана пунктиром.

2.5 Вибір типу перетворювача та розрахунок параметрів структурної схеми двигуна

Для регульованого асинхронного електроприводу підйому мостового крана використовуємо перетворювач серії Mitsubishi FR-F740-00250, параметри якого наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Параметри перетворювача частоти Mitsubishi FR-F740-00250

Модель	Число фаз на вході	U_n , В	$I_{i.n}$, А	$I_{i.max}$, А	Рекомендована потужність двигуна, кВт
Mitsubishi FR-F740-00250	3	380	25	30	11

Загальні технічні дані перетворювача частоти Mitsubishi:

- коефіцієнт потужності 0,8;
- ККД не менше 0,96;
- вихідна частота 0,5÷400 Гц;
- частота ШІМ 0,7÷14,5 кГц (приймається 10 кГц).
- спосіб керування – векторний.

До електроприводів механізмів підйому мостових кранів ставляться найбільш жорсткі вимоги, тому було обрано векторний спосіб керування. Використання перетворювача частоти з векторним керуванням дозволить підвищити швидкість переміщення та точність зупинки вантажу, за рахунок обмеження ривка та прискорення забезпечити відсутність відчутних поштовхів при старті та зупинці, збільшити термін служби основних

механічних вузлів – тягових тросів, гальмівних колодок, редукторів, підвіски противаги.

Проведемо розрахунок еквівалентних індуктивностей обмоток статора:

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0.002823 + 0.063 = 0.066, \text{ Гн} \quad (2.39)$$

ротора, приведенного до статора:

$$L'_2 = L'_{2\sigma} + L_m = 0.03773 + 0.063 = 0.067, \text{ Гн} \quad (2.40)$$

коефіцієнт розсіювання:

$$\sigma = 1 + \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L'_2} = 1 + \frac{0.063^2}{0.066 \cdot 0.067} = 0.096 \quad (2.41)$$

еквівалентний опір вітки статора:

$$R_{1e} = R_1 + R'_2 \frac{L_m^2}{L_2'^2} = 0.0339 + 0.328 \frac{0.063^2}{0.067^2} = 0.632, \text{ Ом} \quad (2.42)$$

електромагнітні сталі часу вітки статора та ротора:

$$T_{1e} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{1e}} = \frac{0.096 \cdot 0.066}{0.632} = 0.01, \text{ с}, \quad (2.43)$$

$$T_2 = \frac{L'_2}{R'_2} = \frac{0.067}{0.328} = 0.205, \text{ с}. \quad (2.44)$$

2.6 Розрахунок характеристик двигуна при векторному керуванні та перевірка вибору двигуна та перетворювача

У площині механічної характеристики $\omega(M)$ рисунок 2.5 розраховані та побудовані такі характеристики:

1. Характеристика електромагнітного номінального моменту

$$M_{em.n} = 115.14 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

2. Характеристика статичного моменту максимального навантаження

$$M_{c.em.max} = 104.8 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

3. Характеристика статичного моменту мінімального навантаження

$$M_{c.трив.мін} = 9,7 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

4. Залежність тривало допустимого моменту електродвигуна $M_{ем.трив.доп}(\omega)$;
5. Значення $M_{ем.макс}$ відповідає максимальному струму електроприводу $I_{ем.макс}$.

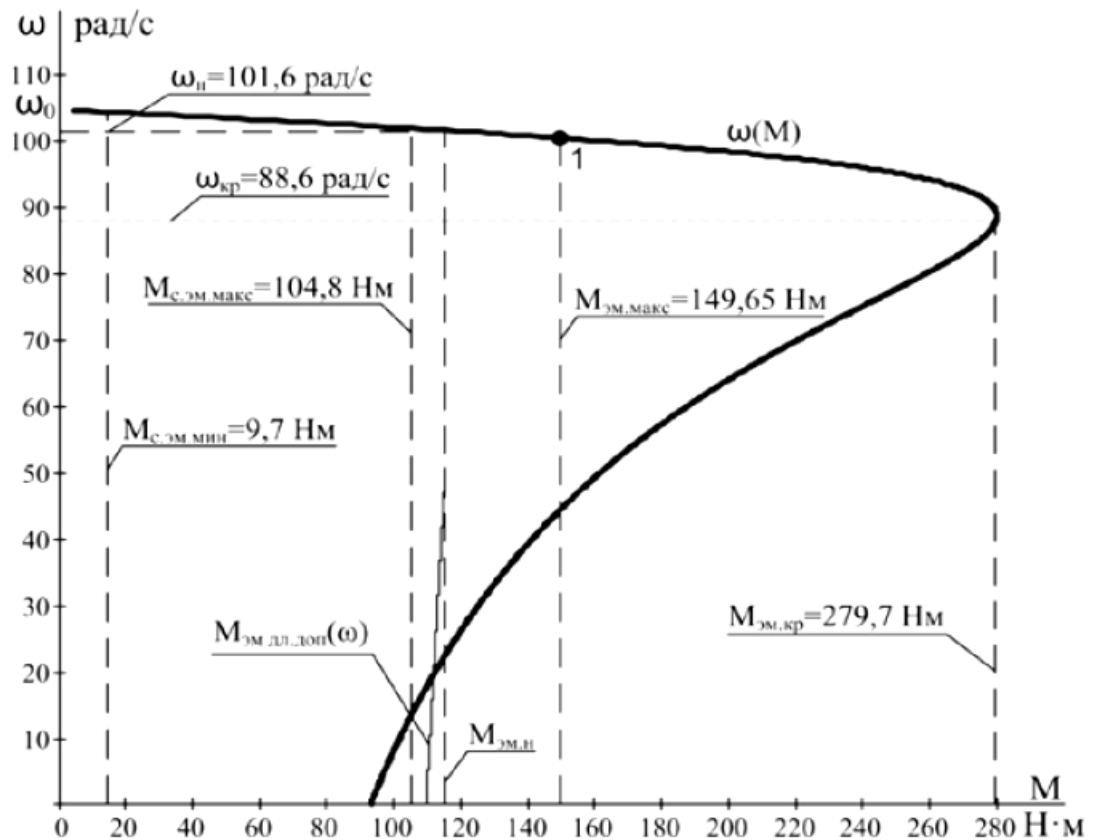


Рисунок 2.5 – Механічні характеристики електроприводу $\omega(M)$ та навантаження при векторному керуванні

У площині електромеханічної характеристики $\omega(I_1)$ рисунок 2.6 розраховані та побудовані наступні характеристики:

1. Залежність максимального навантаження;
2. Залежність тривалого допустимого струму електродвигуна від швидкості;
3. Номінальний струм інвертора $I_{i.n} = 25$ А;
4. Максимальний струм інвертора $I_{i.макс} = 30$ А;

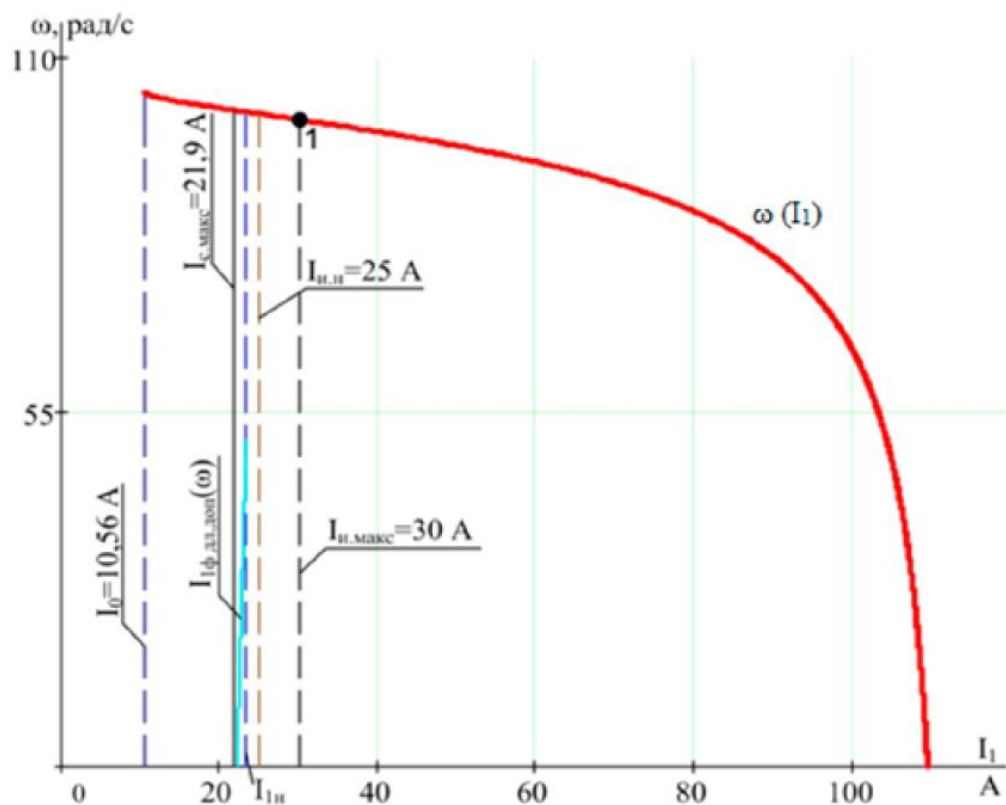


Рисунок 2.6 – Електромеханічна характеристика електроприводу $\omega(I_1)$ та навантаження при векторному керуванні

Аналіз характеристик (рисунок 2.5) електроприводу $\omega(M)$ та навантаження $M(\omega)$ показує, що у всьому діапазоні регулювання швидкості виконуються умови:

$$\begin{cases} M_{\text{дв.трив.ход}}(\omega) \geq M_{\text{с.макс}} \\ M_{\text{дв.макс}}(\omega) \geq M_{\text{еп.макс}} \end{cases}$$

Отже, робимо висновок що двигун по моменту обраний правильно.

За результатами побудови електромеханічних характеристик електроприводу $\omega(I_1)$ (рисунок 2.6) у всьому діапазоні регулювання швидкості маємо:

$$I_{\text{дв.трив.ход}}(\omega) \geq I_{\text{с.макс}}$$

що підтверджує правильність вибору двигуна по струму.

На рисунку 2.6 в площині електромеханічних характеристик побудовані характеристики, що відповідають номінальному і максимально допустимому струму перетворювача: $I_{i.n} = 25$ А, $I_{i.max} = 30$ А. З рисунка видно, що умова $I_{i.n} \geq I_{c.max}$ виконується, відповідно перетворювач по струму вибрано правильно.

2.7 Вибір напруги мережі живлення асинхронного електроприводу з векторним керуванням

Оскільки статичних характеристик розімкнутої системи перетворювач - двигун виявляються менш строгі ніж природні характеристик двигуна, то, очевидно, необхідно мати деякий запас по напрузі мережі живлення для забезпечення необхідної максимальної робочої швидкості електроприводу і його швидкодії.

Напругу мережі живлення вибираємо з наступної умови:

– при швидкості двигуна $\omega^* = \omega_{en.max}$ перетворювач повинен забезпечувати струм $I_{1\phi}^* \geq I_{1\phi.max}$ (максимальна швидкодія електроприводу досягається при виконанні умови $I_{1\phi}^* \geq I_{1\phi.max}$).

При вибраних значеннях максимальної швидкості ω^* та струму $I_{1\phi}^*$ були розраховані наступні значення:

– складова струму I_{1q} двофазної моделі двигуна в системі координат, що обертається d, q :

$$I_{1q}^* = \sqrt{2} \cdot \sqrt{(I_{1\phi}^*)^2 - I_0^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{21.9^2 - 10.56^2} = 27.13 \text{ А}; \quad (2.45)$$

– частоти напруги живлення:

$$\begin{aligned} f_1^* &= \frac{1}{2\pi} \left(\omega^* \cdot z_p \cdot R_2' \cdot \frac{L_m}{L_2'} \cdot \frac{I_{1q}^*}{\Psi_{2H}} \right) = && \text{Гц} && (2.46) \\ &= \frac{1}{2\pi} \left(101.6 \cdot 3 \cdot 0.328 \cdot \frac{0.063}{0.067} \cdot \frac{27.13}{0.909} \right) = 49.97 \end{aligned}$$

– складової напруги U_{1d} двофазної моделі двигуна в системі координат d,q :

$$U_{1d}^* = \left(\frac{R_{1e}}{L_m} - R_2' \cdot \frac{L_m}{(L_2')^2} \right) \cdot \Psi_{2H} - 2\pi \cdot f_1 \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}^*, \text{ В} \quad (2.47)$$

$$U_{1d}^* = \left(\frac{0.632}{0.063} - 0.328 \cdot \frac{0.063}{0.067^2} \right) \cdot 0.909 - 2\pi \cdot 49.97 \cdot 0.096 \cdot 0.066 \cdot 27.13 = -49.52$$

– складової напруги U_{1q} двофазної моделі двигуна в системі координат d,q :

$$U_{1q}^* = 2\pi \cdot f_1^* \cdot \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \cdot \Psi_{2H} + \frac{L_m}{L_2'} \cdot \Psi_{2H} \cdot z_p \cdot \omega^* + R_{1e} \cdot I_{1q}^*, \text{ В} \quad (2.48)$$

$$U_{1q}^* = 2\pi \cdot 49.97 \cdot \frac{0.096 \cdot 0.066}{0.063} \cdot 0.909 + \frac{0.063}{0.067} \cdot 0.909 \cdot 3 \cdot 101.6 + 0.632 \cdot 27.13 =$$

$$= 307.456$$

– фазної напруги трифазного двигуна:

$$U_{1\phi}^* = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(U_{1d}^*)^2 + (U_{1q}^*)^2} \quad (2.49)$$

$$U_{1\phi}^* = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(-49.52)^2 + (307.456)^2} = 220.2 \text{ В}$$

- напруги ланки постійного струму перетворювача:

$$U_d^* = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{1\phi}^* \quad (2.50)$$

$$U_d^* = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot 220.2 = 539.39 \text{ В}$$

– напруги мережі живлення:

$$U_m^* = \frac{U_d^*}{1.35} \quad (2.51)$$

$$U_m^* = \frac{539.39}{1.35} = 399.5 \text{ В}$$

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Імітаційна модель електричної частини силового каналу

Приклад реалізації імітаційної моделі асинхронного електроприводу з векторним керуванням, що враховує квантування сигналів зворотного зв'язку за рівнем і часом і сигналів керування за часом, наведено на малюнку 3.1.

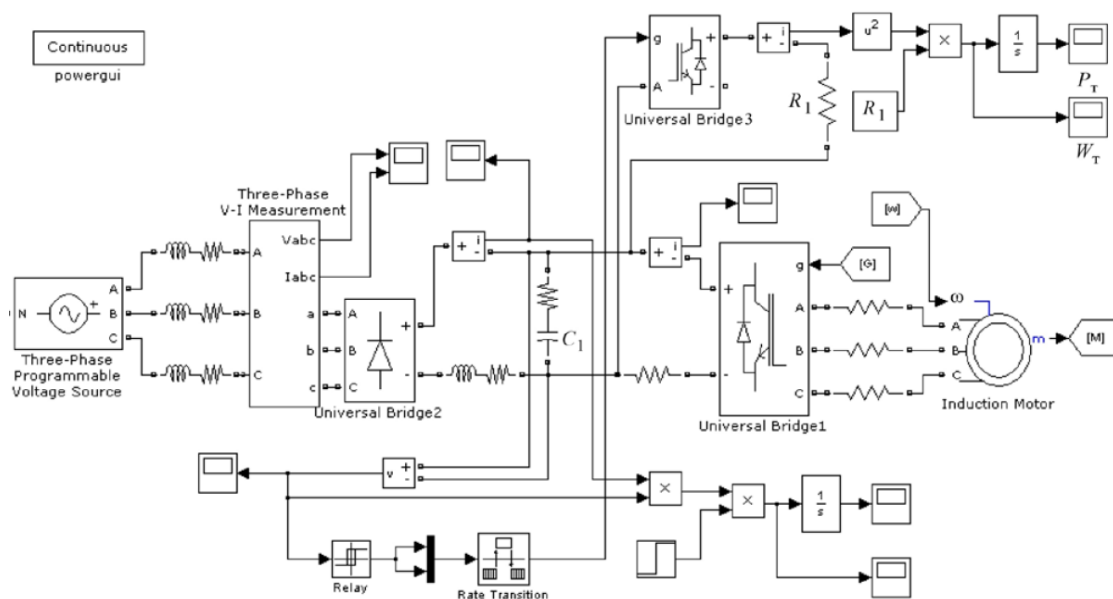


Рисунок 3.1 – Імітаційна модель асинхронного електроприводу з векторним керуванням

Імітаційна модель асинхронного електроприводу з векторним керуванням складається з наступних функціональних елементів:

- джерело трифазного змінного;
- реактор на стороні мережі живлення;
- некерований діодний випрямляч;
- конденсатор у ланці постійного струму;
- інвертор напруги на транзисторах IGBT;
- модель асинхронного двигуна;

- перетворювачів координат керуючих напруг;
- формувача регульованих координат приводу в загальному випадку з датчиками струмів, потоків та швидкості двигуна.

У даному випадку прийнята модель двофазного асинхронного двигуна що обертається в системі координат, d , q . Передбачається, що струми I_{1d} , I_{1q} та потокощеплення ротора Ψ_{2d} вимірюються аналоговими датчиками, а потім аналоговий сигнал оцифровується за допомогою АЦП. Швидкість обертання двигуна може вимірюватися за допомогою аналогового датчика швидкості, встановленого на валу двигуна, а положення виконавчого органу механізму імпульсним датчиком, встановленим на вихідному валу механізму.

3.2 Налаштування контурів регулювання САУ асинхронного електропривода

У багатоконтурній системі управління підпорядкованого регулювання електроприводу регулятори послідовно включені. Розрахунок управлінь починається із зовнішнього контуру. Регулятор контуру розраховує управління після того, як буде визначено сигнал завдання на вході контуру N_{zi} та сигнал зворотного зв'язку N_{oi} . Сигнал зворотного зв'язку розраховується і залишається постійним на інтервалі квантування сигналу $T_{oc,i}$ ланки зворотного зв'язку. Вихідний сигнал регулятора розраховується та залишається постійним на інтервалі квантування сигналу $T_{пк,i}$ у прямому каналі контуру. Розраховане регулятором струму управління подається на ключі інвертора лише на наступному інтервалі ШІМ, тобто. з тимчасовою затримкою $T_{зy,i} = T_{шім}$. Найбільша швидкодія електроприводу досягається при максимальній швидкодії внутрішнього контуру струму I_{1q} .

У найпростішому випадку без урахування ШІМ інвертор є лінійним підсилювачем з чистим запізненням на величину періоду широтно-імпульсної модуляції $T_{шім}$

$$T_i = T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = \frac{1}{10000} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ с.} \quad (3.1)$$

де $f_{\text{ШИМ}} = 10000$ Гц - несуча частота інвертора (частота ШІМ).

Максимальні значення діючої та амплітудної фазної напруги двигуна приймаємо, рівними:

$$U_{1\phi n} = 220 \text{ В}; \quad U_{1\phi m} = \sqrt{2}U_{1\phi n} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311.1 \text{ В}$$

З урахуванням ШІМ напруги інвертора та з'єднання обмоток статора двигуна зіркою умова узгодження напруги перетворювача та двигуна матеমে вигляд

$$U_{d0} \geq \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1H}}{\gamma_{\max}} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 220}{0.95} = 567.25 \text{ В}, \quad (3.2)$$

де γ_{\max} - максимальне значення коефіцієнта відносної тривалості включення ключів: інвертора.

Необхідне значення лінійної напруги джерела живлення перетворювача становитиме;

$$U_c = \frac{U_{d0}}{1.35} = \frac{567.25}{1.35} = 401 \text{ В.} \quad (3.3)$$

Приймаємо коефіцієнт посилення інвертора

$$k_i = \frac{U_d^*}{\sqrt{3}} = \frac{539.39}{\sqrt{3}} = 311.42 \quad (3.4)$$

3.3 Розрахунок контуру струму з ПІ-регулятором та датчиком струму

Контури струмів I_{1d} та I_{1q} реалізовані за однією схемою та мають однакові параметри. Аналогові сигнали з первинних перетворювачів струму двох фаз обмотки статора перетворюються за допомогою АЦП в цифрові сигнали, У вітці вимірювання струмів можуть бути встановлені аналогові фільтри, для згладжування.

Проведем розрахунок параметрів елементів контуру струму:

$$k_{dt} = \frac{0.5 \cdot 2^{n_{adc}}}{\sigma_t \cdot (\sqrt{2} \cdot I_{ep.max})} = \frac{0.5 \cdot 4096}{1.2 \cdot (\sqrt{2} \cdot 29.36)} = 41 \text{ 1/A} \quad (3.5)$$

де, σ_t - коефіцієнт, що враховує можливе перерегулювання струму, приймаємо $\sigma_t = 1,2$;

n_{adc} - розрядність АЦП датчика струму перетворювача.

Інтервал квантування сигналів та неп зворотного зв'язку контуру струму

$$T_{33.c} = n_{33.c} \cdot T_{ШИМ} = 1 \cdot 10^{-4} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ с;} \quad (3.6)$$

де $n_{33.c}$ - кількість періодів модуляції для вимірювання струму, при частоті приймаємо $n_{33.c} = 1$;

$T_{33.c}$ - інтервал квантування управління у прямому каналі контуру струму, с;

$T_{ШИМ} = 1 \cdot 10^{-4}$ с - інтервал часу затримки подачі керування від регулятора струму до ключів інвертора.

Максимальне значення завдання на вході контуру струму $N_{зс.макс}$, що відповідає максимальному значенню струму електроприводу у відносних одиницях становитиме;

$$N_{зс.макс} = \frac{1}{\sigma_T} = \frac{1}{1.2} = 0.833 \quad (3.7)$$

Розрахункові параметри налаштування контуру струму:

Передавальна функція ПІ-регулятора струму:

$$W(p)_{pc} = k_{pc} \cdot \frac{T_{pc} \cdot p + 1}{T_{pc} \cdot p}.$$

Параметри регулювання регулятора: постійна часу регулятора струму:

$$T_{pc} = T_{1e} = 0.01 \text{ с,}$$

коефіцієнт посилення регулятора струму:

$$k_{pc} = \frac{T_{1e} \cdot R_{1e}}{k_i \cdot k_T \cdot a_T \cdot T_{\mu FE}} = \frac{0.01 \cdot 0.632}{311.419 \cdot 0.02 \cdot 2 \cdot 1.5 \cdot 10^{-4}} = 3.4 \quad (3.8)$$

де

$$k_T = \frac{N_{зи.макс}}{\sqrt{2} \cdot I_{ен.макс}} = \frac{1}{\sigma_T \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ен.макс}} = \frac{1}{1.2 \cdot \sqrt{2} \cdot 29.36} = 0.02 \text{ 1/А.} \quad (3.9)$$

- коефіцієнт зворотного зв'язку по струму;

$$T_{\mu TE} = \frac{T_{зз.с}}{n_T} + T_{зн.с} + T_{\phi.с} = \frac{1 \cdot 10^{-4}}{2} + 1 \cdot 10^{-4} + 0 = 1.5 \cdot 10^{-4} \text{ с.} \quad (3.10)$$

-мала стала часу оптимізованого контуру струму;

$n_T = 1 \text{--} 3$ - коефіцієнт апроксимації ланки чистого запізнення аперіодичної ланки, приймаємо $n_T = 2$;

$a_T = 2$ - коефіцієнт типового налаштування контуру струму на модульний оптимум (МО).

Для обмеження управління інвертором на заданому рівні γ_{\max} значення вихідних сигналів регуляторів струмів I_{1d} та I_{1q} повинно задовольняти умову

$$\gamma_{\max}^2 = N_{ptd}^2 + N_{ptq}^2.$$

Як пріоритетний сигнал вибрано поточне значення вихідного сигналу регулятора тоді допустиме значення його вихідного сигналу буде обмежується на постійному рівні та буде становити

$$N_{ptd.\text{доп}} = \gamma_{\max} = 0.95$$

а допустиме значення вихідного сигналу регулятора струму I_{1q} роботи обмежено відповідно до умови:

$$N_{ptq.\text{доп}} = \sqrt{\gamma_{\max}^2 - N_{ptd}^2}.$$

Коефіцієнт узгодження сигналів зворотного зв'язку на вході контуру струму становить

$$k_{зз.T} = \frac{k_T}{k_{ДТ}} = \frac{8.503 \cdot 10^{-3}}{17.414} = 4.883 \cdot 10^{-4}. \quad (3.11)$$

3.4 Розрахунок контуру швидкості з ПІ-регулятором та датчиком швидкості

Імітаційна модель контуру швидкості з аналоговим датчиком наведена на рисунку 3.2. Аналоговий сигнал з аналогового датчика швидкості (наприклад, тахогенератора постійного струму) перетворюється за допомогою АЦП в цифровий сигнал. До складу аналогового датчика швидкості може входити аналоговий фільтр.

Внутрішній оптимізований замкнений контур струму представлений усіченою передавальною функцією 1-го порядку

$$W(p)_{т.зам} = \frac{1/k_T}{a_T \cdot T_{\mu c} \cdot p + 1},$$

Параметри елементів контуру швидкості з аналоговим датчиком:

n_{adc} = 14 розрядність АЦП датчика швидкості;

$$k_{\partial u} = \frac{0.5 \cdot 2^{n_{adc}}}{\sigma_c \cdot \omega_{en.макс}} = \frac{8192}{1,5521 \cdot 101.5} = 52,$$

$k_{\partial u}$ - коефіцієнт передачі датчика швидкості, с/рад;

σ_c - коефіцієнт, що враховує можливе перерегулювання швидкості.

Максимальне значення на вході контуру швидкості N_{\max} , відповідає значенню максимальної швидкості приводу

$$N_{\max} = \frac{1}{\sigma_c} = \frac{1}{1.5521} = 0.644.$$

Передавальна функція ПІ-регулятора швидкості має вигляд

$$W(p)_{pc} = k_{pc} \cdot \frac{T_{pc} \cdot p + 1}{T_{pc} \cdot p}.$$

Параметри налаштування регулятора швидкості:

- постійна часу регулятора

$$T_{pc} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c} = 2 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^{-4} = 3.2 \cdot 10^{-3} \text{ с}, \quad (3.12)$$

- коефіцієнт підсилення регулятора

$$k_{pc} = \frac{J_e \cdot k_T}{c_M \cdot k_c \cdot a_z \cdot T_{\mu ce}} = \frac{1.51 \cdot 0.02}{4 \cdot 6.348 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^{-4}} = 250.27, \quad (3.13)$$

$$\text{де } c_M = \Psi_{2H} \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L'_2} \cdot z_p = 0.948 \frac{3}{2} \cdot \frac{0.063}{0.067_2} \cdot 3 = 4;$$

- коефіцієнт електромагнітного моменту двофазного двигуна в системі координат, при номінальному потоці;

$$k_c = \frac{N_{зс.макс}}{\omega_{еп.макс}} = \frac{0.644}{101.5} = 6.348 \cdot 10^{-3} \text{ с/рад}; \quad (3.14)$$

- коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю;

$$T_{\mu ce} = T_t + \frac{T_{с.с}}{n_c} + T_{ф.зл} = 3 \cdot 10^{-4} + \frac{10^{-3}}{2} + 0 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ с}; \quad (3.15)$$

$n_c = 2$ - коефіцієнт апроксимації ланки чистого запізнення аперіодичної ланки;

$b_c = a_c = 1$ - коефіцієнти типового налаштування контуру швидкості на симетричний оптимум ПІ-регулятором.

Для обмеження струму двигуна на заданому рівні $I_{1\max}$ значення вихідних сигналів регуляторів поточного зв'язку та швидкості в загальному випадку повинні задовольняти умову

$$N_{зт.макс}^2 = N_{р\psi}^2 + N_{рс}^2.$$

Як пріоритетний слід вибрати поточне значення вихідного сигналу регулятора поточного зв'язку, тоді допустиме значення вихідного сигналу регулятора швидкості в процесі роботи має підтримуватися відповідно до умови;

$$N_{рс.доп} = \sqrt{N_{зт.макс}^2 - N_{р\psi}^2} = \sqrt{0.644^2 - N_{р\psi}^2}.$$

Коефіцієнт узгодження сигналів датчика зворотного зв'язку та сигналу на вході контуру швидкості:

$$k_{ос.с} = \frac{k_c}{k_{dc}} = 1.221 \cdot 10^{-4}. \quad (3.16)$$

3.5 Розрахунок контуру поточозчеплення ротора з ПІ-регулятором і датчиком струму

Імітаційна модель контуру поточозчеплення з аналоговим датчиком наведена на рисунку 3.3. Аналоговий сигнал з аналогового датчика потоку перетворюється за допомогою АЦП на цифровий сигнал. До складу аналогового датчика потоку може бути включений аналоговий фільтр.

Внутрішній оптимізований замкнутий контур струму представлений усіченою передатною функцією 1-го порядку

$$W(p)_{m.zam} = \frac{1/k_T}{a_T \cdot T_T \cdot p + 1},$$

де $T_T = a_T \cdot T_{\mu e}$ - еквівалентна постійна часу оптимізованого контуру струму, с.

Параметри елементів контуру поточозчеплення з аналоговим датчиком:

$n_{adc.\Psi} = 14$ розрядність АЦП датчика швидкості;

$$k_{o\Psi} = \frac{0.5 \cdot 2^{n_{adc.\Psi}}}{\sigma_\Psi \cdot \Psi_{2n}} = \frac{2048}{1.1 \cdot 0.909} = 2048,$$

де, $k_{o\Psi}$ - коефіцієнт передачі датчика потоку 1/Вб.

$\sigma_\Psi = 1.1$ - коефіцієнт, що враховує можливе перерегулювання струму

Максимальне значення завдання на вході контуру поточозчеплення відповідає номінальному поточозчепленню ротора двигуна

$$N_\Psi = \frac{1}{\sigma_\Psi} = \frac{1}{1.1} = 0.909 \quad (3.17)$$

Передавальна функція ПІ-регулятора по потоці зчеплення;

$$W(p)_{p\Psi} = k_{p\Psi} \cdot \frac{T_{p\Psi} \cdot p + 1}{T_{p\Psi} \cdot p}.$$

Параметри налаштування регулятора поточозчеплення ротора матимуть значення:

- постійна часу регулятора

$$T_{p\Psi} = T_2 = 0.205 \text{ с},$$

- коефіцієнт посилення регулятора

$$k_{p\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_\Psi \cdot a_\Psi \cdot T_{\mu\Psi}} = \frac{0.205 \cdot 0.02}{0.063 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 24.912 \quad (3.18)$$

де, $k_\Psi = \frac{N_{\Psi.\max}}{\Psi_{2n}} = \frac{0.909}{0.909} = 1$ (1/Вб) - коефіцієнт зворотного зв'язку по потоку;

$a_\Psi = 2$ – коефіцієнт типового налаштування контуру потокозчеплення на модульний оптимум.

Еквівалентна постійна часу оптимізованого контуру швидкості становить

$$T_{\mu\Psi} = T_T + \frac{T_{зл.\Psi}}{n_\Psi} + T_{\phi.\Psi} = 3 \cdot 10^{-4} + \frac{10^{-3}}{1} + 0 = 1.3 \cdot 10^{-3} \text{ с}, \quad (3.19)$$

де, $n_\Psi = 1$ - коефіцієнт апроксимації ланки чистого запізнення аперіодичною ланкою;

Коефіцієнт узгодження вихідного сигналу датчика потоку та завдання на вході контуру потокозчеплення

$$k_{зл.\Psi} = \frac{k_\Psi}{k_{\partial\Psi}} 4.883 \cdot 10^{-4}. \quad (3.20)$$

Допустиме значення вихідного сигналу регулятора потокозчеплення ротора обмежується на постійному рівні

$$N_{p\Psi.\text{доп}} = N_{зт.\text{макс}} = 0,833.$$

3.6 Дослідження імітаційної моделі електроприводу підйому мостового крана з урахуванням кранового навантаження

На рисунку 3.4 представлена модель електроприводу механізму підйому в середовищі MATLAB/ SIMULINK.

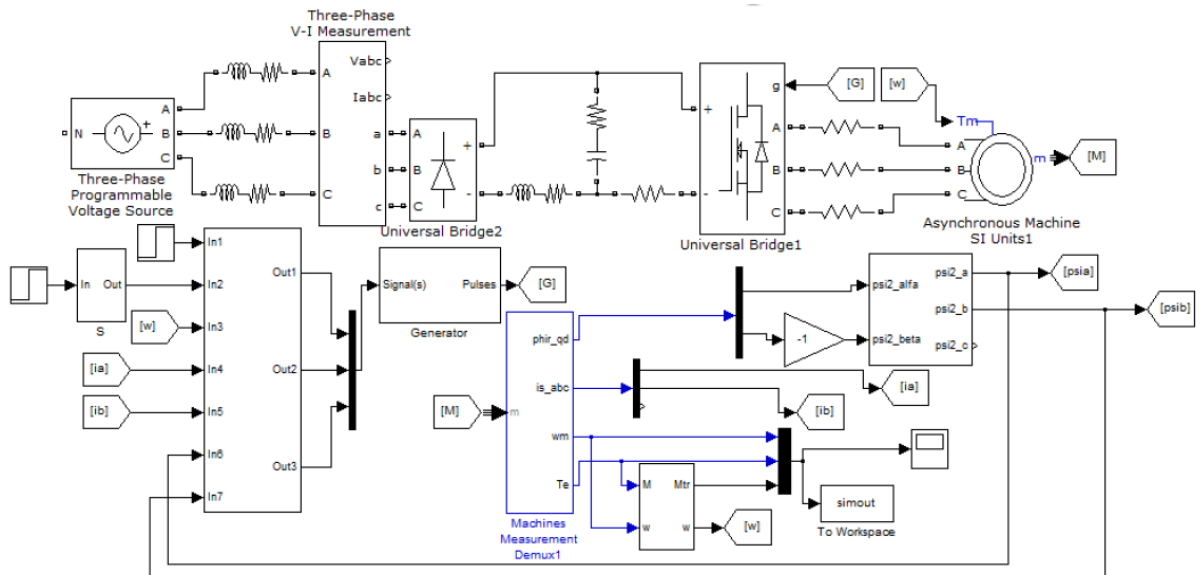


Рисунок 3.4 – Імітаційна модель механізму підйому мостового крану.

На малюнку 3.5 представлений пуск асинхронного двигуна без навантаження на номінальній швидкості $\omega_{\text{дв.ном}} = 101,5 \text{ рад/с}$, а потім додавання навантаження $M_{\text{нав}} = 108 \text{ Н}\cdot\text{м}$, в момент часу $t = 0,5$, сек. З графіку видно пускові параметри двигуна $M_{\text{ен.макс}} = 149,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $I_{\text{н.дв.макс}} = 29,3 \text{ А}$, параметри двигуна при роботі без навантаження на заданій швидкості $\omega_{\text{дв.зад}} = 101,5 \text{ рад/с}$ при $I_0 = 10 \text{ А}$ і параметри навантаженого двигуна,

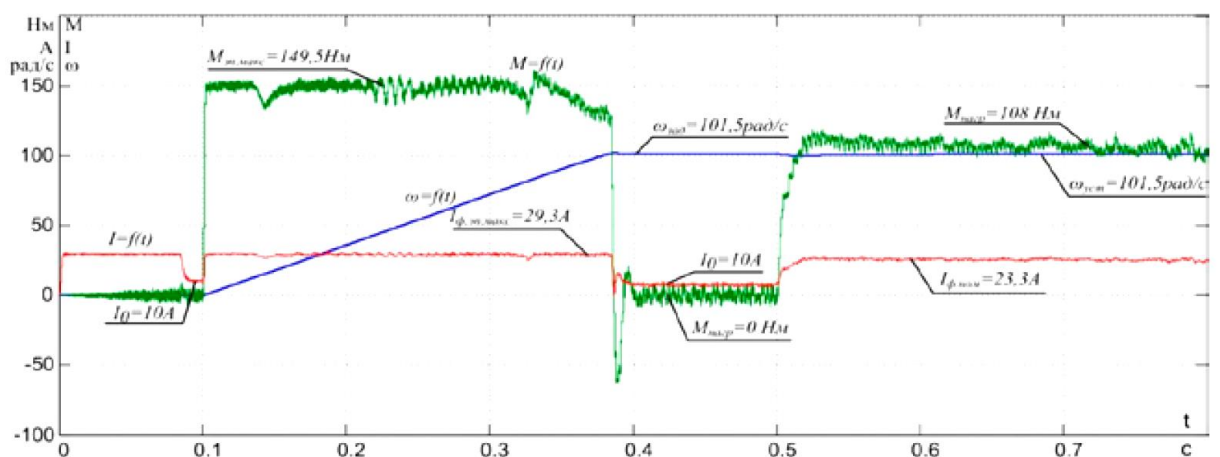


Рисунок 3.5 – Діаграми електромагнітного моменту $M(t)$, швидкості обертання $\omega(t)$, та фазного струму $I_{\phi}(t)$ двигуна

У момент навантаження з графіка видно що швидкість незначно зменшується, але потім вона досягає свого заданого значення = 101,5 рад/с. У цьому струм відповідає розрахунковому значенню номінального струму двигуна $I_{\text{дв.ном}} = 23,3$ А.

Дані перехідні характеристики $\omega(t)$, $M(t)$ і $I_{\phi}(t)$ дозволяють стверджувати, що всі три контуру регулювання розраховані і налаштовані правильно, тобто, на представлених графіках немає перерегулювань, перевищують допустимих значенні, виконується точне відпрацювання на збурення, а так всі значення швидкостей, струмів і моментів збігаються з розрахунковими.

На рисунку 3.6 представлені перехідні характеристики швидкості обертання ротора $\omega(t)$ двигуна при заданні на швидкість $\omega_{\text{зад}1} = 101,5$ рад/с та $\omega_{\text{зад}2} = 1,01$ рад/с.

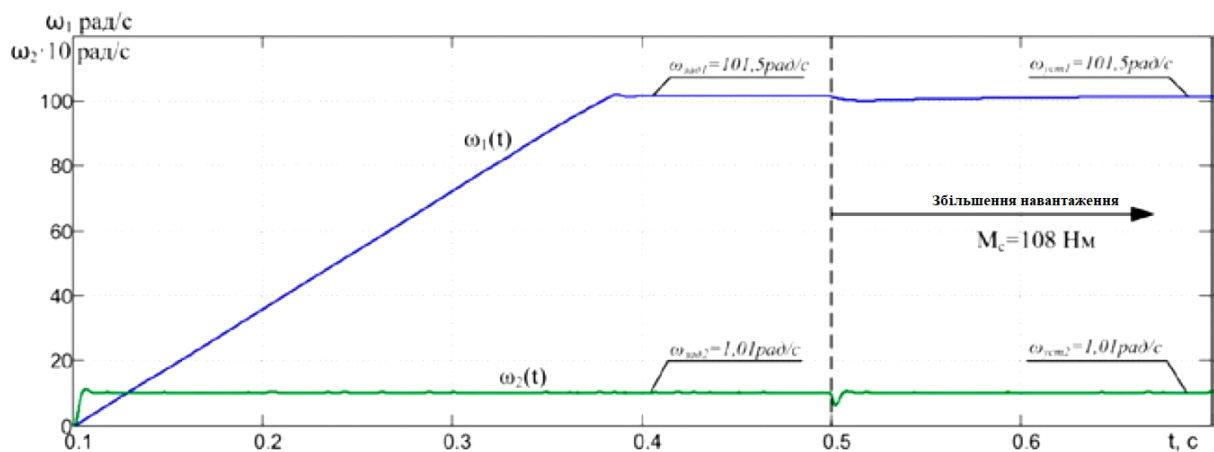


Рисунок 3.6 – Перехідні характеристики швидкості обертання ротора $\omega(t)$ двигуна при різних заданих швидкостях

З графіка, представленого рисунку 3.6, обчислимо діапазон регулювання швидкості;

$$D = \frac{\omega_{\text{зад}1}}{\omega_{\text{зад}2}} = \frac{101,5}{1,01} = 100,5.$$

Діапазон регулювання відповідає вимогам.

У модель електроприводу в механізмі підйому, крім перерахованих вище блоків, входить: модель гальмівного пристрою; модель системи керування електроприводом; модель механічної системи з моментом навантаження реактивного характеру: модель механічної частини механізму підйому.

На рисунку 3.7 представлений пуск моделі регульованого асинхронного електроприводу механізму підйому мостового крана з S-подібним задавачем швидкості.

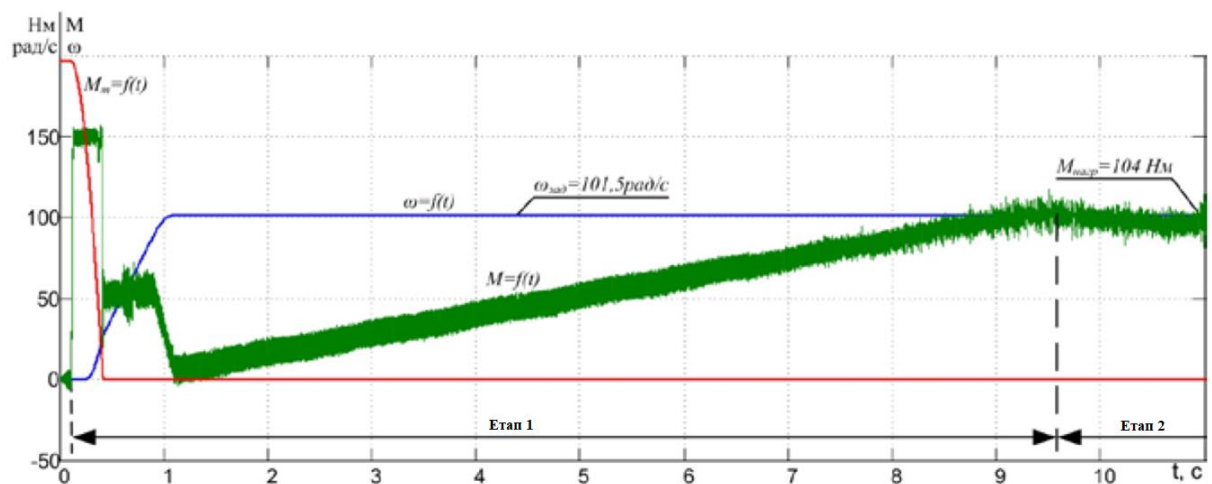


Рисунок 3.7 – Пуск АД та його робота під навантаженням

У момент запуску швидкість обертання валу двигуна залишається незмінною і дорівнює нулю. Розгону двигуна перешкоджає момент гальмівного пристрою $M_T = f(t)$, який поступово зменшується. При перевищенні моментом двигуна, моменту гальмівного пристрою двигун починає розганятися і плавно виходить на швидкість холостого ходу.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, пов'язаних з експлуатацією крана

Під час роботи на машиніста крана впливають небезпечні і шкідливі чинники.

До небезпечних факторів належать:

- 1) механічні види безпеки, пов'язані з підйомними операціями;
- 2) механічні види безпеки, пов'язані зі складовими частинами, вантажозахоплювальними пристроями, з вантажами;
- 3) електричні види безпеки;
- 4) безпека, викликана несподіваним запуском, несподіваним перевищенням швидкості;
- 5) безпека, спричинена помилками (дефектами) під час складання чи монтажу крана;
- 7) безпека, спричинена падінням предметів (інструменту, деталей крана, речей обслуговуючого та ремонтного персоналу);
- 8) безпека, спричинена поступальним рухом крана;
- 9) безпека, пов'язана із системою управління;
- 10) безпека, пов'язана із третіми особами;

До шкідливих відносяться:

- 1) Мікрокліматичні умови;
- 2) Шум;
- 3) Вібрація;
- 4) Освітлення;

Оптимальні мікрокліматичні умови встановлені за критеріями оптимального теплового та функціонального стану людини. Вони забезпечують загальне та локальне відчуття теплового комфорту протягом 8-годинної робочої зміни при мінімальній нарузі механізмів терморегуляції,

не викликають відхилень у стані здоров'я, створюють передумови для високого рівня працездатності та є переважаючими на робочих місцях.

Під шумом у виробничій санітарії розуміють пружні коливання в частотному діапазоні чутності людини, що поширюються як хвилі в газоподібних середовищах. Характеристикою постійного шуму на робочих місцях є рівні звукового тиску L в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц,

Гранично допустимий рівень вібрації – це рівень фактору, який при щоденній (крім вихідних днів) роботі, але не більше 40 годин на тиждень протягом усього робочого стажу не повинен викликати захворювань або відхилень у стані здоров'я. Гігієнічна оцінка постійної та непостійної вібрації, що впливає на людину, повинна проводитися такими методами:

- Частотним (спектральним) аналізом нормованого параметра;
- Інтегральною оцінкою за частотою нормованого параметра;
- Інтегральною оцінкою з урахуванням часу вібраційного впливу за еквівалентним (за енергією) рівнем нормованого параметра.

Вібрації під час роботи мостового крана виникають як і у вертикальній, і у горизонтальній площинах. Вертикальні коливання кранового мосту мають діапазон частот -1,5-8,0 Гц. Горизонтальні коливання, що передаються кабіні керування внаслідок розгойдування вантажу, – діапазон частот 0,2–1,0 Гц. Зважаючи на те, що резонансна частота коливань органів людського тіла знаходиться в діапазоні частот 1 – 15 Гц, машиніст піддається вертикальним коливанням найбільш несприятливого спектру.

Однією з важливих факторів що до умов праці, є раціональне освітлення робочої зони. Недостатнє освітлення одна із причин зниження продуктивності праці та появи професійних захворювань зорового апарату.

Системи штучного освітлення може бути трьох видів:

- 1) загальна

2) місцева

3) комбінована

Устаткування електричного освітлення виробничих та побутових приміщень, складально-зварювальних цехів та ділянок має відповідати нормам. У виробничих цехах необхідно застосовувати загальне чи комбіноване освітлення. В обох випадках освітленість у робочій площині, на ділянках зварювання повинна становити не менше 150 лк – при люмінесцентних лампах, а на ділянках розмітки – не менше 400 лк відповідно. Залежно від характеристики зорових робіт у цеху визначаються нормовані величини природного та штучного освітлення.

4.2 План локалізації та ліквідації аварійних ситуацій в цеху.

Пожежонебезпечними називають установки, в яких застосовуються або зберігаються горючі речовини. Відповідно до класифікації кран відноситься до класу П-111 (розташована по за приміщенням, в зоні в якій не звертаються горючі рідини з температурою запалювання 61°C і вище або в зоні, де зберігаються тверді горючі речовини).

Для забезпечення безпеки під час пожежі на крані - перевантажувачі передбачені:

- Система оповіщення про пожежу;
- Система автоматичної пожежної сигналізації;
- Первинні засоби пожежогасіння.

Загоряння, пожежі та займання часто супроводжуються вибухами та можуть бути дуже небезпечними для людей. Тому пожежна безпека одна із найважливіших розділів охорони праці з виробництва. Істотну роль у профілактиці та запобіганні пожежам відіграє правильний вибір режиму роботи електрообладнання з урахуванням класу розміщення з пожежонебезпеки.

Пожежна безпека повинна забезпечуватись:

- Системою запобігання пожежі;
- Системою протипожежного захисту;
- Організаційно - технічними заходами.

Автоматичні установки пожежогасіння та установки пожежної сигналізації повинні відповідати вимогам проектної документації та галузевим стандартам. Переносні вуглекислотні вогнегасники ОУ-5, що застосовуються на крані, повинні мати бирки і маркування і повинні бути пофарбовані в червоний колір. Перезарядження вогнегасників виконується відповідно до інструкції з безпеки. Вогнегасники повинні розташовуватися в помітних і легкодоступних місцях і підлягають періодичному обслуговуванню, що включає наступне:

- Очищення від пилу та бруду;
- Відновлення забарвлення та відповідних підписів.

Для куріння повинні бути відведені спеціальні місця, обладнані засобами пожежогасіння, які передбачають можливі способи евакуації людей та обладнання. При надходженні сигналу протипожежної сигналізації машиніст повинен зробити зупинку роботи, спробувати знеструмити кран і почати гасіння пожежі. Якщо ці дії неможливі через складність пожежі, то йому необхідно залишити робоче місце (кран), піти в спеціально відведене місце і повідомити про старшого зміни (бригадира) і чекати подальших вказівок.

4.3 Засоби захисту від ураження електричним струмом

Засоби захисту від ураження електричним струмом поділяються на основні та додаткові. Основні ізолюючі електрозахисні засоби мають ізоляцію, здатну витримувати робочу напругу установки, тому ними дозволяється торкатися струмопровідних частин, що знаходяться під напругою. До основних засобів захисту від ураження електричним струмом відносяться: в електроустановках до 1000 В

- діелектричні рукавички;

- ізолюючі штанги;
- ізолюючі та електровимірювальні кліщі;
- слюсарно-монтажний інструмент із ізолюючими рукоятками;
- покажчики напруги;

До додаткових засобів захисту до 1000 В відносяться:

- діелектричні калоші;
- діелектричні килими;
- ізолюючі підставки.

Як захисний засіб від ураження електрострумом також застосовується захисне заземлення. Мета захисного заземлення – знизити до безпечної величини напругу на металевих частинах обладнання, які нормально не знаходяться під напругою, але можуть опинитися під напругою внаслідок порушення ізоляції електроустановок. Усі металеві нетоковедучі частини електроустаткування перевантажувача: корпуси електродвигунів, контролерів, кінцевих вимикачів та іншої апаратури, а також металеві труби електропроводок заземлюються на металеву конструкцію перевантажувача. Заземлення здійснюється перемичками із гнучкого мідного дроту. Для заземлення металоконструкції перевантажувача рейкові колії мають бути заземлені на власний контур заземлення не більше 4 Ом ($R_z = 4$ Ом для установок до 1000В). Для виконання цієї умови виконаємо розрахунок заземлення. Розрахунок заземлення зводиться до визначення довжини горизонтального заземлювача (обв'язування) та числа вертикальних заземлювачів (стрижнів) за заданих умов.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У процесі виконання роботи було здійснено огляд сучасного стану електроприводу мостових кранів та визначено проблеми, які присутні в крановому електроприводі.

У даній роботі було проаналізовано та розраховано частотно-регульований електропривід змінного струму. Електропривід живиться від трифазної промислової мережі змінного струму з лінійною напругою 380 В частотою 50 Гц. Для регульованого асинхронного електроприводу підйому мостового крана використовуємо перетворювач серії Mitsubishi FR-F740-00250. Побудовано електромеханічні характеристики електроприводу та навантаження при векторному керуванні.

Розроблено комп'ютерну модель мостового крана, яка включає перехресні зв'язки між механізмами підйому, пересування візка, крана і системи електроприводів. Це дозволяє досліджувати перехідні процеси формування додаткового статичного навантаження в електромеханічній системі електроприводу механізмів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підймальних і транспортувальних машин: Підручник /В.С. Бондарєв, О. І. Дубінець, М. П. Колісник та ін. – К.: Вища школа, 2009. – 734 с
2. Метельський В.П. Електричні машини та мікромашини: Навчальний посібник для електротехн. спец. ВНЗів / В.П. Метельський; наук. ред. А.М. Кравченко. – 2-е вид, доповнене й перероблене. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2005. – 616 с.
3. Півняк Г.Г. та ін. Електричні машини: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ, НГУ, 2003. – 327 с.
4. Проектування електричних машин : навч. посіб. / Д.В. Циценков, О.Б Іванов, О.В. Бобров, В.В. Кузнецов, В.В. Артемчук, М.О. Баб'як ; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2020. – 408 с.
5. Видмиш, А. А.; Ярошенко, Л. В. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. уавч. посіб.-Вінниця: ВНАУ, 2020.-387 с.
6. Удут Л. О, Мальцева О. П. Системи управління електроприводів: Навчальний посібник. – Видавництво ТПУ, 2007р. – 152 с
7. Шеховцов В. П. Довідковий посібник з електроустаткування і електропостачання. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2008р. – 136 с.
8. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., – К.: Либідь, 2007. - 656 с.
9. Åström K.J., Hägglund T. Advanced PID control. – ISA (The Instrumentation, System, and Automation Society) , 2006. — 460 p
10. Astrom K.J. Control System Design. Lecture notes for ME 155A [Текст] / Astrom K.J. - Department of Automatic Control Lund Institute of Technology, Sweden, 2002. – 168 p

11. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлєв та ін. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 449 с.
12. Толочко О.І. Векторні моделі асинхронного двигуна у середовищі пакета MATLAB / О.І. Толочко, Г.С. Чекавський, Д.М. Мірошник // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук, 2003. – Т.1. – № 2 (19). – С. 199-202.
13. SimPowerSystems User's Guide. / Hydro-Quebec and The MathWorks, Inc., 2009. – 402 p.