

ДВНЗ “Донецький національний технічний університет”
Факультет Комп’ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, -
електроінженерії та радіоелектроніки
Кафедра Електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ к.т.н. Колларов О.Ю.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ”

_____ 2021 р

**Кваліфікаційна робота
бакалавра**

на тему Розробка автоматизованої системи керування ліфтової установки

Виконав: студент 3 курсу, групи ЕЛКзп-18
(шифр групи)

напряму підготовки (спеціальності) 141 «Електроенергетика, електротехніка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

та електромеханіка»

Вікторук Ярослав Володимирович

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник зав. каф. ЕМ, к.т.н. Калиниченко В. В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент к. т. н, доц., зав. каф. АТ Лактіонов І. С.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль:

Любименко О. М.

(підпис)

02.06.2021

(дата)

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

Студент

(підпис)

02.06.2021

(дата)

Покровськ – 2021 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет комп'ютерно- інтегрованих технологій, автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: (141) електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (Колларов О. Ю.)

« » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Вікторуку Ярославу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: _____
«Розробка автоматизованої системи керування ліфтової
установки»

керівник роботи _____
к. т. н., зав. каф. ЕМ Калиниченко В. В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи _____
2 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: _____

Поверховість будівлі _____

Вантажопідйомність ліфта _____

Маса порожньої кабіни _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз існуючих систем керування електроприводом ліфта

Розрахунок системи електроприводу ліфта

Розробка та дослідження структурної схеми електроприводу

Охорона праці

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

Вісім слайдів презентаційного матеріалу

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1 – 3	Калиниченко В. В.		
Охорона праці	Біла Н. С.		
Нормоконтроль	Любименко О. М.		

7. Дата видачі завдання 05 травня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	03.05.21 – 12.05.21	
2.	Розділ 2	13.05.21 – 23.05.21	
3.	Розділ 3	24.05.21 – 27.05.21	
4.	Охорона праці	28.05.21 – 31.05.21	
5.			
6.			

Студент _____ Вікторук Я. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Калиниченко В. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Вікторук Ярослав Володимирович. Розробка автоматизованої системи керування ліфтової установки / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Дипломна робота складається зі вступу, основної частини, яка включає три розділи, висновків, переліку джерел посилання та додатку.

У першому розділі проведений аналіз систем керування електроприводом ліфта, розглянуті вимоги до конструкції ліфтів, будова основних вузлів ліфтового обладнання.

У другому розділі розраховані моменти статичних опорів, попередньо обрано приводний двигун, розрахований та вибраний редуктор, розраховані статичні характеристики.

У третьому розділі складено структурні схеми перетворювача частоти, двигуна та механічної частини електроприводу, проведений розрахунок перехідних процесів при пуску без та з урахуванням пружності ланок розраховані навантажувальні діаграми.

Ключові слова: пасажирський ліфт, система керування, моделювання, редуктор, швидкість обертання, перетворювач частоти, гальмівний шків.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЛІФТА.....	7
1.1 Технічні параметри ліфтових підйомних установок.....	7
1.2 Будова вузлів ліфтового транспорту.....	8
1.3 Вимоги до конструкцій ліфтів.....	11
1.4 Загальні вимоги до параметрів ліфтових підйомних установок.....	13
1.5 Перетворювач частоти – асинхронний двигун.....	14
2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЛІФТА.....	17
2.1 Вимоги до електроприводу.....	17
2.2 Моменти статичних опорів та попередній вибір потужності електродвигуна.....	17
2.3 Вибір електродвигуна.....	24
2.4 Визначення передавального числа і вибір редуктора.....	25
2.5 Розрахунок приведених статичних моментів.....	26
2.6 Розрахунок приведених моментів інерції і коефіцієнтів жорсткості.....	29
2.7 Попередня перевірка двигуна по нагріву і продуктивності.....	33
2.8 Вибір перетворювача.....	37
2.9 Розрахунок статичних характеристик електроприводу.....	37
2.9.1 Розрахунок природних характеристик двигуна.....	37
2.9.2 Розрахунок параметрів схем включення двигуна.....	40
2.10 Розрахунок параметрів схем включення.....	44
2.10.1 Пуск і гальмування в системі перетворювач – двигун.....	44
3 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ.....	47
3.1 Структурна схема механічної частини електроприводу.....	47
3.2 Структурна схема асинхронного двигуна.....	49

3.3 Структурна схема перетворювача частоти	50
3.4 Перехідні процеси та діаграма навантажень електроприводу	51
3.4.1 Перехідні процеси при пуску в механічній частині електроприводу із жорсткими зв'язками	52
3.4.2 Перехідний процес в механічній частині електроприводу при пуску з урахуванням пружності зв'язків.....	52
3.4.3 Електромеханічні перехідні процеси в системі з абсолютно жорсткими зв'язками	53
3.4.4 Електромеханічний перехідний процес в системі електроприводу з урахуванням пружності зв'язків.....	54
3.4.5 Розрахунок діаграм навантажень для всього циклу роботи.....	54
ВИСНОВКИ	56
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	57
ДОДАТОК А ОХОРОНА ПРАЦІ.....	58

ВСТУП

Однією з головних тенденцій сучасного містобудування є збільшення поверховості будівель. Це визначається зростанням населення, обмеженням простором та загальним рівнем урбанізації. Принцип "вище - краще" підходить як для офісних, так і для житлових будинків, оскільки важливо зосередити максимальну кількість ефективних житлових та робочих площ, мінімізуючи при цьому земельну площу, яку займає будівля. У цьому випадку проблема пересування людей у будівлі є дуже серйозною.

Ця проблема вирішується встановленням пасажирських ліфтів для досягнення комфортного та ефективного пересування.

Система управління ліфтом вирішує проблему пасажирів, які рухаються зручно та безпечно. Рух слід здійснювати без істотних ривків, з необхідною швидкістю і допустимим прискоренням. Здатність системи управління зупиняти кабінку на заданій висоті і зупинятися з достатньою точністю відіграє важливу роль. Вся необхідна інформація про швидкість та положення кабінки повинна бути прочитана датчиками.

Технічні рішення, що застосовуються при реалізації системи ліфта, диктуються, крім того, ефективністю електромеханічного перетворення енергії і вібро-акустичними параметрами системи.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи керування ліфтової установки.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЛІФТА

1.1 Технічні параметри ліфтових підйомних установок

Основними параметрами технічних характеристик ліфта є: вантажопідйомність, швидкість транспортного засобу та прискорення. На них поширюються норми, що регулюють конкретні типи обладнання.

Вантажопідйомність ліфта визначається масовим значенням максимального проектного навантаження і не має нічого спільного з вагою кабіни та обладнанням, постійно закріпленим у ньому.

Площа приміщення кабіни ліфта залежить від його вантажопідйомності.

Якщо в кабіні встановлена додаткова перегородка, а перегородка має двері, заблоковані спеціальним ключем, допускається більша площа кабіни. Замикання дверей перегородки повинно контролюватися кінцевим вимикачем.

Оскільки ліфти можуть працювати в різних робочих умовах, вони можуть нести вантажі різної ваги та розмірів. Технічні стандарти визначають кілька розмірів транспортних засобів для однакової потужності, яка використовується в конструкції.

Ліфти зі збільшеною площею кабіни повинні бути обладнані контрольно-індикаторними пристроями при перевантаженні більше 10%.

Номінальна швидкість кабіни - це стабільна швидкість кабіни в нормальних робочих умовах. Його значення визначається низкою стандартних значень. [1]

Максимальна швидкість кабіни має не тільки технічне та економічне значення, але також має суто фізіологічні обмеження. Коли швидкість салону перевищує 4 м / с, швидкі зміни тиску повітря під час руху в салоні негативно вплинуть на серцево-судинну систему та слух людини.

Стоп-швидкість - швидкість, з якою спрацьовує механізм, щоб забезпечити необхідну точність зупинки.

Перевірка швидкості - обслуговуючий персонал перевіряє швидкість підйомного обладнання ліфта у верхній частині рухомого автомобіля.

Для ліфтів, номінальна швидкість яких не перевищує 0,71 м / с, допускається корекція при спуску з номінальною швидкістю.

Максимальна швидкість - це швидкість кабіни, коли активовано обмежувач швидкості блокувального пристрою.

Розрахункова висота підйому визначається архітектурними та планувальними рішеннями будівельної конструкції, але її не можна збільшувати безкінечно, оскільки зі збільшенням висоти підйому наявна площа будинку, пов'язана з розміщенням ліфтового обладнання, буде значно зменшена. Втрати від використання багатоповерхівок можуть досягати 30%.

Продуктивність ліфта - це дуже важливий параметр ліфта, який залежить від характеристик навантаження ліфта, швидкості, висоти, пасажиромісткості та організації міжповерхового руху. Зазвичай це залежить від кількості пасажирів на годину або ваги вантажу, що перевозиться.

1.2 Будова вузлів ліфтового транспорту

В основі конструкції ліфта лежать підйомні механізми, що використовують лебідки або гідроциліндри та системи приводу канатів.

Пасажири та вантажі пересуваються у спеціально обладнаних кабінах, а двері кабіни оснащені запірними пристроями для запобігання руху при відкритті цілі.

Для центрування кабіни (противаги) на горизонтальній площині та усунення бічних вібрацій під час руху використовуються напрямні рейки, які встановлюються на всю висоту шахти ліфта.

Направляюча рейка може гальмувати кабіну (противагу) через гальмівний пристрій в екстрених швидкісних ситуаціях і підтримувати свій стан, поки вона не буде знята з гальмівного пристрою.

Салон і простір для руху противаги закриті на повну висоту і називаються наземними мінами.

На завантажувальній платформі на підлозі міна автоматично замикалася запобіжним замком. Кімната, обладнана лебідками та іншим необхідним обладнанням, називається машинною.

У нижній частині гондоли, а в деяких випадках і над шахтою, вихід встановлений у спеціальній гондолі.

Щоб запобігти збиванню автомобіля (противага), ліфт обладнаний автоматичною системою, обмежувач швидкості відкриває замок і запускається з аварійною швидкістю. Обмежувач встановлений збоку від рами кабінки (противага) і приводиться в рух мотузкою, яка закриває шків обмежувача швидкості.

Обмежувач швидкості можна встановлювати в машинному, блочному відділенні; на кабінці та противазі. Робота обмежувача швидкості призводить до гальмування тросу обмежувача швидкості та задіяння уловлювачів.[2]

Станція керування роботою ліфтом, обладнання та пристрої розташовані в машинному відділенні. У шахті встановлюються давачі уповільнення, шунти давача точної зупинки та апарати контролю шахтних дверей.

Обмежувач швидкості можна встановити на машині та шестерні; на кабінці та противазі. Робота регулятора швидкості призводить до гальмування троса регулятора швидкості та використання пасток. [2]

Станція управління ліфтом, обладнання та пристрої знаходяться в машинному відділенні. У шахті встановлені датчик уповільнення, шунт датчика точності зупинки та пристрій управління мінними воротами.

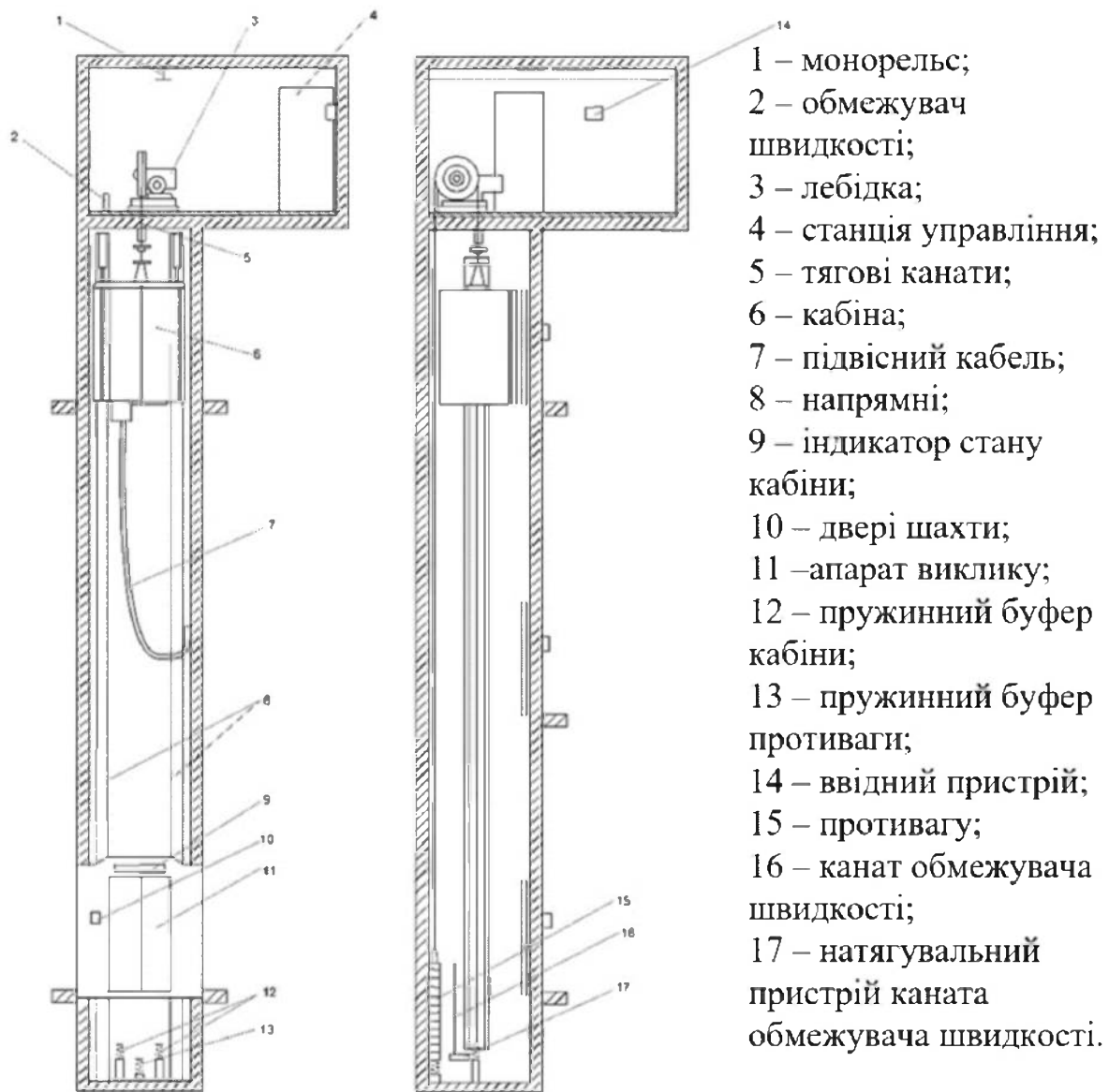


Рисунок 1 – Технологічна схема ліфта

Така типова конструкція пасажирських ліфтів – це не єдине можливе рішення. У залежності від того яке призначення, швидкість руху кабіни ліфта і тип приводу конструктивні рішення можуть істотно відрізнятися. Таким чином для швидкісних ліфтів характерним є існування безредукторного приводу КВШ у парі з низькошвидкісним двигуном постійного струму та використання гідравлічного буферу замість пружини. Під час руху на високих швидкостях в приміщенні кабіни використовується система примусової вентиляції, яка створює невеликий надлишковий тиск.

Конструкції обмежувача швидкості та уловлювача швидкісного ліфта властиві відмінні риси. Розташування машинного приміщення також має вплив на загальну конструкцію ліфтового механізму.

У нижньому машинному відділенні у верхній частині шахти передбачено додатковий блок-зал

Ліфти для лікарень обладнані глибшими кабінами та приводами, що дає змогу забезпечити більш високу точність гальмування та кращу плавність переміщення кабіною.

1.3 Вимоги до конструкцій ліфтів

Основою сучасного підйомного механізму ліфта є канатна система, що використовується для передачі руху машини (противаги), і пристрій для направлення канату у вигляді лебідки або гідравлічного циліндра, а зупинний пристрій передбачений в кінці стрижень.

Найпоширенішими є незбалансовані підйомники з мотузковими лебідками різної конструкції. Для того, щоб забезпечити безпечне переміщення людей та вантажів до ліфтової лебідки, існують деякі конкретні вимоги:

Конструкція лебідки повинна бути розроблена для навантаження, що працює в робочому, випробувальному та аварійному режимах.

Електричну таль не можна використовувати як підйомну лебідку.

Між основним корпусом троса направляючої лебідки та гальмом має бути кінематичний зв'язок.

Лебідка повинна бути оснащена гальмівними колодками з автоматичним управлінням.

Використання стрічкових гальм заборонено.

У безредукторній лебідці через крутний момент двигуна, за відсутності нерухомої системи в електроприводі, слід встановити два гальма.

Допускається два гальма. Це дві незалежні гальмівні системи.

Кожна гальмівна система складається з гальмівних накладок, пружин (вантажів) та гальмівних електромагнітів.

Гальмівний момент, який створює кожна гальмівна колодка, повинен підтримувати кабіну під номінальним навантаженням.

Вільний кінець валу, що обертається, повинен бути захищений, щоб уникнути випадкового контакту.

Лебідку потрібно збирати за допомогою ручної системи управління, постійно встановленої на крані або знімному рулі.

Конструкція лебідки повинна бути обладнана пристроєм для ручного зняття гальма. Після зупинки ручного удару він автоматично зупиниться в гальмівному стані.

У безредукторній лебідці підключення системи ручного приводу повинно контролюватися спеціальним вимикачем.

На лебідці повинен бути позначений напрямок обертання керма, що використовується для підйому кабіни ліфта.

Допускається два гальма. Це дві незалежні гальмівні системи.

Кожна гальмівна система складається з гальмівних накладок, пружин (вантажів) та гальмівних електромагнітів.

Гальмівний момент, який створює кожна гальмівна колодка, повинен підтримувати кабіну під номінальним навантаженням.

Вільний кінець валу, що обертається, повинен бути захищений, щоб уникнути випадкового контакту.

Лебідку потрібно збирати за допомогою ручної системи управління, постійно встановленої на крані або знімному рулі.

Конструкція лебідки повинна бути обладнана пристроєм для ручного зняття гальма. Після зупинки ручного удару він автоматично зупиниться в гальмівному стані.

У безредукторній лебідці підключення системи ручного приводу повинно контролюватися спеціальним вимикачем.

На левій повинен бути позначений напрямок обертання керма, що використовується для підйому кабіни ліфта.

1.4 Загальні вимоги до параметрів ліфтових підйомних установок

Безпека та надійність застосування - основні вимоги до проектування, виготовлення та експлуатації ліфтового обладнання. Ці вимоги відображені в правилах лікарні.

На додаток до вимог, зазначених у вищезазначених документах, ліфт також повинен відповідати наступним додатковим вимогам: точність зупинки щодо землі; плавний рух кабіни під час прискорення та гальмування; комфортні умови пасажирського транспорту; громадські входи в ліфт; тихий робота; радіо І рівень електромагнітних перешкод, дозволений телевізійною системою.

Точність зупинки кабіни залежить від різниці між позначкою на підлозі кабіни та площею підлоги. Через використання монорейкових систем для наземних перевезень або завантаження пасажирських кабін поріг, утворений неточним паркуванням, становить загрозу для пасажирів та ускладнює вантажні операції.

Коли гальмована кабіна рухається вгору, положення стоянки буде трохи нижче порога розвантажувальної платформи, а порожня кабіна проїде велику відстань і зупиниться вище цієї висоти. При русі вниз буде спостерігатися протилежне зображення.

Шунтувальний датчик, що використовується для точної зупинки кабіни, встановлюється на такій відстані, що коли зупинка руху кабіни навантажувача та порожньої кабіни в одному напрямку різниця висот між підлогою кабіни та підлоговою платформою однакова.

1.5 Перетворювач частоти – асинхронний двигун

Сьогодні асинхронні двигуни з короткозамкненими роторами є найбільш розповсюдженим і вважаються найнадійнішим обладнанням в якості приводу для різних машин та механізмів.

Вивчаючи характеристики системи перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ-АД) прийнято нехтувати фактичними фізичними процесами, що відбуваються в двигуні. Таким процесом є нелінійність кривої намагнічування, яка призводить до насичення сталі асинхронного двигуна, що, в свою чергу, призводить до обмеження ступеня використання його магнітної системи.

Складність у визначенні явища насичення пов'язана з тим, що немає приладу чи методу для вимірювання та чіткого розуміння, яка частина кривої намагнічення двигуна знаходиться в цьому режимі. Наразі при вирішенні електромеханічних проблем насичення розглядається за допомогою непрямих методів, заснованих на конструкції двигунів. Однак після ремонту властивості електротехнічної сталі змінюються, кут кривої в початковій області намагнічування зменшується, а отже, зменшується значення індукції насичення, що ускладнює процес аналізу та опису кривої намагніченості.

У зв'язку з цим розробка математичних моделей та вивченням характеристик системи ПЧ-АД є актуальним завданням.

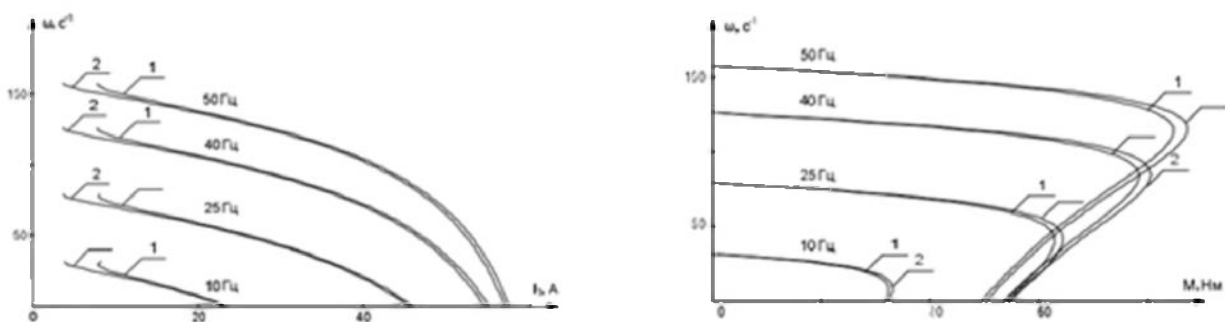


Рисунок 2 – Статичні характеристики ПЧ-АД

На рис. 1 зображені статичні характеристики системи ПЧ-АД для закону керування $U/f=\text{const}$ з урахуванням (1) і без урахування (2) нелінійності кривої намагнічування. На рис. 2, 3 зображені енергетичні характеристики системи ПЧ-АД з урахуванням (1) і без урахування (2) нелінійності кривої намагнічування для того ж закону керування.[3]

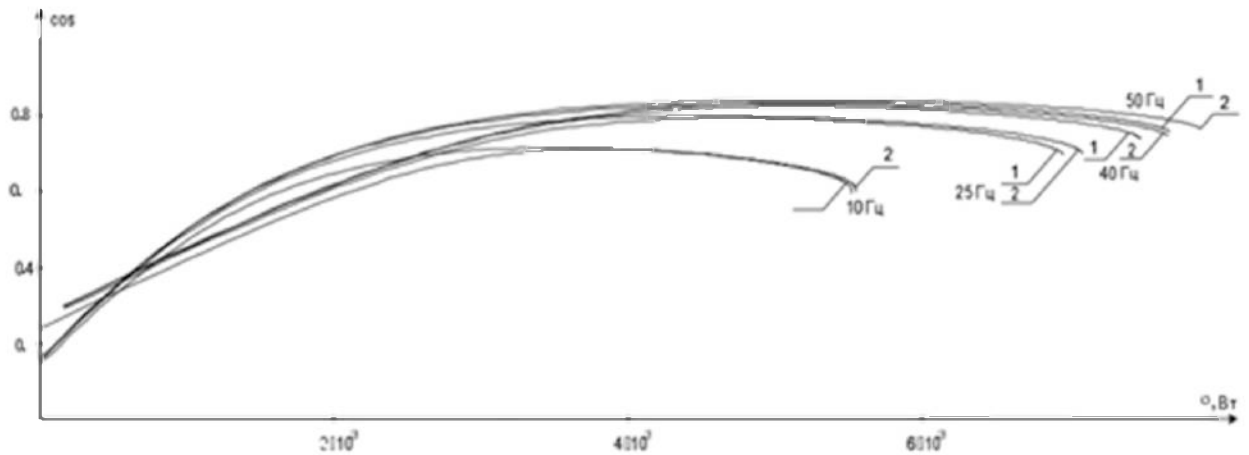


Рисунок 3 – Графік залежності $\cos \varphi$ від потужності

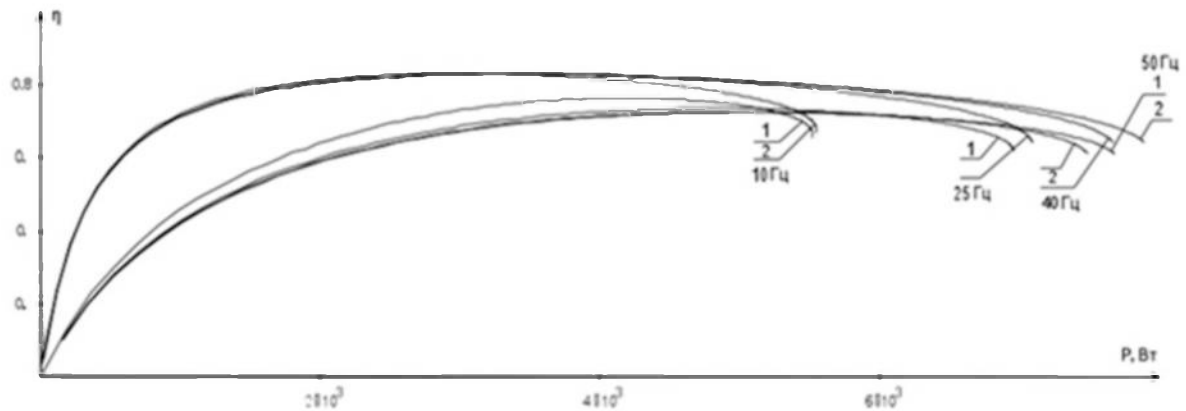


Рисунок 4 –Графік залежності η від потужності

На рис. 4 зображені динамічні характеристики системи ПЧ-АД з урахуванням (1) і без урахування (2) нелінійності кривої намагнічування.

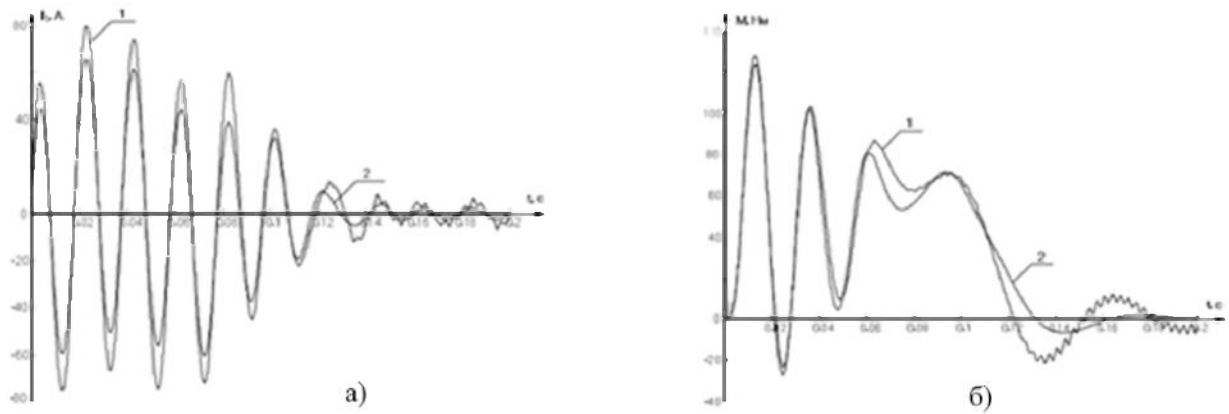


Рисунок 5 – Залежність струму статора (а), моменту (б) АД

Розрахунок та аналіз статичних та енергетичних характеристик показують, що нелінійність кривої намагніченості вплине на параметри інверторної системи та змінить її характеристики.

Розрахункові дані показують, що врахування нелінійності кривої намагнічування буде сильно впливати на зміни механічних характеристик, струму статора, струму намагнічування та загальних втрат.

Результати досліджень показують, що при розрахунку характеристик системи ПЧ-АД необхідно враховувати нелінійність кривої намагніченості. Враховуючи криву намагніченості в динамічній моделі асинхронного двигуна, це значно збільшить повне відображення реальних фізичних процесів, що відбуваються в двигуні.

2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЛІФТА

2.1 Вимоги до електроприводу

Для електроприводів ліфтових установок загалом властиво дотримання наступних вимог:

- 1) Повторно-короткочасний режим роботи;
- 2) Плавність ходу;
- 3) Точність зупинки в межах 3 см;
- 4) Можливість реверсу приводу;
- 5) Економічність;
- 6) Надійність;
- 7) Широкий діапазон регулювання 5:1.

Враховуючи вищевикладені вимоги, вибираємо АД із каталогу загальнопромислової серії для заміни двошвидкісного АД ліфтової серії. Пристроєм управління обираємо ПЧ з векторним управлінням.

2.2 Моменти статичних опорів та попередній вибір потужності електродвигуна

Момент створюваний силою тяжіння:

$$M_6 = \frac{m \cdot g \cdot D}{2} \quad (1)$$

де m – маса вантажу на підйомі або опусканні, кг;

$g = 9.81 \text{ м / с}^2$ – прискорення сили тяжіння;

D – діаметр канатоведучого шківа(КВШ), м.

Згідно з виразом (1) для руху ліфта:

– з вантажем:

$$M_{\text{вп}} = \frac{(m_k + m_r - m_n) \cdot D \cdot g}{2} = \frac{(1500 + 750 - 1800) \cdot 0,4 \cdot 9,81}{2} = 882,9 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– без вантажу:

$$M_{\text{вс}} = \frac{(m_n - m_k) \cdot d \cdot g}{2} = \frac{(1800 - 1500) \cdot 0,4 \cdot 9,81}{2} = 588,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Не враховуючи сил тертя сумарний статичний момент робочого органу:

$$M_{\text{рост}} = M_6 \quad (2)$$

Час пуску і гальмування:

$$t_n = t_m = \frac{v_y}{a} \quad (3)$$

де v_y – швидкість руху кабіни $\text{м} / \text{с}$; a – допустиме прискорення $\text{м} / \text{с}^2$.

За виразом (3) для підйому:

$$t_{np} = t_{mp} = \frac{0,3}{0,5} = 0,6 \text{ с}.$$

Для опускання:

$$t_{не} = t_{ме} = \frac{0,4}{0,5} = 0,8 \text{ с}.$$

Шлях, який пройде робоча машина за час пуску:

$$\alpha_n = \alpha_m = \frac{v_y^2}{2 \cdot |a|} \quad (4)$$

Згідно з виразом (4) при підніманні:

$$\alpha_{np} = \alpha_{mp} = \frac{0,3^2}{2 \cdot |0,5|} = 0,09 \text{ м.}$$

При опусканні:

$$\alpha_{нс} = \alpha_{мс} = \frac{0,4^2}{2 \cdot |0,5|} = 0,16 \text{ м.}$$

Час руху зі сталою швидкістю v_y :

$$t_y = \frac{\alpha - (\alpha_n + \alpha_m)}{v_y} \quad (5)$$

де α – шлях, що пройде робочий орган, м.

Згідно з виразом (5) для піднімання:

$$t_{yp} = \frac{h - (\alpha_{np} + \alpha_{mp})}{v_y} = \frac{5 - (0,09 + 0,09)}{0,3} = 16,1 \text{ с.}$$

для опускання:

$$t_{\text{ye}} = \frac{h - (\alpha_{\text{me}} + \alpha_{\text{me}})}{v_y} = \frac{5 - (0,16 + 0,16)}{0,4} = 12,44 \text{ с.}$$

Динамічні моменти робочої машини розраховуються після визначення моменту інерції робочої машини:

$$J_{po} = m_1 \cdot \frac{D^2}{4} \quad (6)$$

де m_1 – маси поступально переміщуваних частин, кг;

D – діаметр колеса, м.

Згідно з виразом (6) для руху вгору:

$$J_{po}^p = (m_k + m_r + m_n) \cdot \frac{D^2}{2} = (1500 + 750 + 1800) \cdot \frac{0,4^2}{2} = 324 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

При русі назад:

$$J_{po}^a = (m_k + m_n) \cdot \frac{D^2}{2} = (1500 + 1800) \cdot \frac{0,4^2}{2} = 264 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

Знаючи моменти інерції, можна розрахувати динамічні моменти:

$$M_{\text{родин}} = J_{\text{poi}} \cdot \frac{2 \cdot a}{D} \quad (7)$$

Розгін і гальмування завантаженого ліфта:

$$M_{\text{родин}}^p = J_{po}^p \cdot \frac{2 \cdot a}{D} = 324 \cdot \frac{2 \cdot 0,5}{0,4} = 810 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Розгін і гальмування порожнього ліфта:

$$M_{\text{родин}}^e = J_{\text{ро}}^e \cdot \frac{2 \cdot a}{D} = 264 \cdot \frac{2 \cdot 0,5}{0,4} = 660 \text{ Нм}$$

Момент робочої машини:

$$M_{\text{ро}} = M_{\text{рост}} + M_{\text{родин}} \quad (8)$$

Ділянка I – розгін завантаженої кабіни ліфта:

$$M_{\text{ро1}} = M_{\text{рост}}^P + M_{\text{родин}}^P = 882 + 810 = 1692 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ділянка II – рівномірний рух завантаженого кабіни ліфта:

$$M_{\text{ро2}} = M_{\text{рост}}^P = 882 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ділянка III – гальмування порожньої кабіни ліфта:

$$M_{\text{ро3}} = M_{\text{рост}}^P - M_{\text{родин}}^P = 882 - 810 = 72 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ділянка IV – час паузи:

$$M_{\text{ро4}} = 0.$$

Ділянка V – розгін порожньої кабіни ліфта:

$$M_{\text{ро5}} = M_{\text{рост}}^e + M_{\text{родин}}^e = 588 + 660 = 1248 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ділянка VI – рівномірний рух порожньої кабіни ліфта:

$$M_{\text{роб}} = M_{\text{рост}}^e = 588 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ділянка VII – гальмування порожньої кабіни ліфта:

$$M_{\text{рог}} = M_{\text{рост}}^e - M_{\text{родин}}^e = 588 - 660 = -72 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

За розрахованими значеннями моментів на кожній з ділянок знаходиться середньоквадратичне значення моменту:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^m t_i}} \quad (9)$$

де M_i – момент на i -й ділянці, Н·м;

t_K – тривалість i -ої ділянки, с.

Підставляємо відомі величини:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{1692^2 \cdot 0,6 + 882^2 \cdot 16,1 + 72^2 \cdot 0,6 + 1248^2 \cdot 0,8 + 588^2 \cdot 12,4 - 72^2 \cdot 0,8}{0,6 + 16,1 + 0,6 + 0,8 + 12,4 + 0,8}} = 794,882 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тоді потужність двигуна обчислюється за виразом:

$$P_{\text{дв}} = k_1 \cdot M_{\text{сркв}} \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot \sqrt{\frac{TB_{\phi}}{TB_{\text{кат}}}} \quad (10)$$

де $k_1=1.3-1.5$ – коефіцієнт, для врахування динамічних навантажень, обумовлені обертовими елементами електроприводу, тобто двигуном, редуктором;

D – діаметр КВШ, м;

v_0 – номінальна швидкість руху, м/с;

TB_ϕ – фактична відносна тривалість включення проєктованого приводу;

$TB_{кат}$ – найближча до TB_ϕ каталожна відносна тривалість включення для вибраного двигуна.

Фактична ТВ визначається, якщо відома тривалість часу роботи t_i на всіх ділянках руху до часу циклу:

$$t_{ц} = \frac{3600}{z} = 60 \text{ с} \quad (11)$$

де $z=60$ – число циклів роботи приводу на годину

$$TB_\phi = \frac{1}{t_{ц}} \cdot \sum_{K=1}^m t_K \quad (12)$$

Згідно з виразом (12):

$$TB_\phi = \frac{1}{60} \cdot (0.6 + 16.1 + 0.6 + 0.8 + 12.4 + 0.8) = 52\%$$

Для двигунів металургійного типу вибираємо найближче ТВ, тобто $TB_{кат}=60$.

В такому випадку потужність двигуна (Згідно з виразом (10)):

$$P_{дв} = k_1 \cdot M_{сркс} \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\phi}}{ПВ_{кат}}} = 1,5 \cdot 794,882 \cdot \frac{2 \cdot 0,4}{0,4} \cdot \sqrt{\frac{0,52}{0,6}} = 2,7 \text{ кВт}$$

2.3 Вибір електродвигуна

Із каталогу кранових двигунів обираємо асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором МТКФ 111 - 6 У1.

Таблиця 1 – Паспортні та каталожні двигуна МТКФ 111 - 6 У1

Позначення	Найменування показника	Розмірність	Величина
P_n	Номінальна потужність	кВт	3,5
n_n	Номінальна частота обертання	об/хв	890
I_{1n}	Номінальний статорний струм	А	9,5
$I_{п}$	Пусковий струм статора	А	36
$M_{п}$	Пусковий момент двигуна	Н·м	103
M_k	Максимальний момент	Н·м	106
$\cos \varphi_n$	Номінальний коефіцієнт потужності	—	0,7
R_1	Активний опір обмотки статора	Ом	2,2
X_1	Індуктивний опір обмотки статора	Ом	2,43
R'_2	Приведений активний опір обмотки ротора	А	2,35
X'_2	Приведений індуктивний опір обмотки ротора	Ом	2,77
K_r	Коефіцієнт приведення опорів	-----	4,6
$J_{дв}$	Момент інерції двигуна	Кг·м ²	0,044

2.4 Визначення передавального числа і вибір редуктора

Передатне число редуктора обчислимо так:

$$j_p = \frac{\omega_n \cdot D}{2 \cdot v_0} \quad (13)$$

де $\omega_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 885}{60} = 92,56 \frac{rad}{c}$ – номінальна обертова швидкість двигуна;

D – діаметр колеса, м;

v_0 – номінальна швидкість робочого органу m/c .

Згідно з виразом (13) маємо

$$j_p = \frac{92,6 \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} = 46,3$$

Обираємо редуктор, за умови, що передатне число має дорівнювати або бути дещо меншим за розраховане, при цьому враховуються умови роботи механізму, потужність і швидкість двигуна. [4]

Розрахункова потужність редуктора розраховується за виразом (13):

$$N_p = k \cdot N_M \quad (14)$$

де N_M – найбільша потужність, що передається двигуном, Вт;

$k = 1,5$ – коефіцієнт для важкого режиму роботи редуктора.

$$N_M = M_{p_{\max}} \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D} \quad (15)$$

Таким чином

$$N_M = 1692 \cdot \frac{2 \cdot 0,4}{0,4} = 3384 \text{ Вт}.$$

Згідно з виразом (13):

$$N_p = 1,5 \cdot 3384 = 5076 \text{ Вт}.$$

За отриманою потужністю вибираємо редуктор РЦД-260.

Дані редуктора внесемо в таблицю 2.

Таблиця 2 – Параметри редуктора РЦД-260

N, кВт	n, об / хв	j	η	M, Н·м
16	3000	45	0,95	800

2.5 Розрахунок приведених статичних моментів

Обравши електродвигун і редуктор, потрібно привести статичні моменти системи до валу двигуна, за формулою (15)

$$M_{PC} = \frac{M_{пост}}{j_P} \quad (16)$$

де $M_{пост}$ – статичний момент, Н·м;

j_P – передатне число редуктора.

Для руху з вантажем

$$M_{pc}^p = \frac{M_{пост}^p}{j_p} = \frac{883}{45} = 19,6 \text{ Н·м}.$$

Для руху без вантажу

$$M_{pc}^e = \frac{M_{pocm}^e}{j_p} = \frac{589}{45} = 13,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

У такому випадку статичний момент на валу двигуна:

$$M_{BC} = \frac{M_{PC}}{\eta_p} \quad (17)$$

де η_p – ККД редуктора.

Для руху з вантажем при руховому режимі

$$M_{\partial BC}^p = \frac{M_{pc}^p}{\eta_p} = \frac{19,6}{0,96} = 20,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для руху без вантажу при руховому режимі

$$M_{\partial BC}^e = \frac{M_{pc}^e}{\eta_p} = \frac{13,1}{0,96} = 13,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

У гальмівних режимах момент визначається за виразом:

$$M_{BC} = M_{PC} \cdot \eta_p \quad (18)$$

Для руху з вантажем у режимі гальмування

$$M_{m BC}^p = M_{PC}^p \cdot \eta_p = 19,6 \cdot 0,96 = 18,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для руху без вантажу в режимі гальмування

$$M_{m\ BC}^e = M_{PC}^e \cdot \eta_P = 13,1 \cdot 0,96 = 12,6 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Приведені статичні моменти с розраховуються для кожної з ділянок, враховуючи режим роботи приводу:

$$M_C = M_{BC} + M_{XX} \quad (19)$$

де M_{XX} – момент втрат холостого ходу двигуна, Н·м.

Задаємося моментом втрат холостого M_{XX} рівним 5% від номінального:

$$M_{XX} = \frac{P_n}{n_n} \cdot 9,55 \cdot 0,05 = \frac{3000}{895} \cdot 9,55 \cdot 0,05 = 1,6 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Руховий режим

із вантажем

$$M_{\partial\ C}^P = M_{\partial\ BC}^P + M_{XX} = 20,4 + 1,6 = 22 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

без вантажу

$$M_{\partial\ C}^e = M_{\partial\ BC}^e + M_{XX} = 13,6 + 1,6 = 15,2 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Гальмівний режим

із вантажем

$$M_{m\ C}^P = M_{m\ BC}^P - M_{XX} = 20,4 - 1,6 = 18,8 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

без вантажу

$$M_{m\ c}^e = M_{m\ BC}^e - M_{XX} = 13,6 - 1,6 = 12 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

2.6 Розрахунок приведених моментів інерції і коефіцієнтів жорсткості

Приведемо моменти інерції системи до валу двигуна для заміни всієї системи на еквівалентну.[5]

Приведений сумарний момент інерції:

$$J = \delta \cdot J_{\text{д}} + J_{\text{пр}} \quad (20)$$

де $J_{\text{д}}$ – момент інерції ротора двигуна, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

$J_{\text{пр}}$ – сумарний приведений до валу двигуна момент інерції, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

δ – коефіцієнт для врахування моменту інерції решти моментів електроприводу: гальмівного шків, редуктора, муфт, і т.д. ($\delta = 1.3 \dots 1.5$).

Приведений до валу двигуна момент інерції робочої машини:

$$J_{\text{пр}} = \frac{J_{\text{рО}}}{j_{\text{р}}^2} \quad (21)$$

Обчислимо приведений сумарний момент інерції:

$$J \cdot \frac{\omega_c^2}{2} = J_{\text{дв}} \cdot \frac{\omega_c^2}{2} + J_{\text{гш}} \cdot \frac{\omega_c^2}{2} + J_1 \cdot \frac{\omega_c^2}{2} + J_2 \cdot \frac{\omega_2^2}{2} + J_3 \cdot \frac{\omega_3^2}{2} + J_M \cdot \frac{\omega_3^2}{2} + m_1 \cdot \frac{V^2}{2}$$

де J_1, J_2, J_3 – моменти інерції відповідних коліс редуктора, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

$J_{\text{гш}}$ – момент інерції гальмівного шків, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

J_M – момент інерції муфти, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$.

Отримуємо:

$$J = J_{дв} + J_{тш} + J_1 + J_2 \cdot \frac{\omega_2^2}{\omega_c^2} + J_3 \cdot \frac{\omega_3^2}{\omega_c^2} + J_M \cdot \frac{\omega_3^2}{\omega_c^2} + m_1 \cdot \frac{V^2}{\omega_c^2}$$

Для даної формули прийнемо:

$$\delta \cdot J_{дв} = J_{дв} + J_{тш} + J_1 + J_2 \cdot \frac{\omega_2^2}{\omega_c^2} + J_3 \cdot \frac{\omega_3^2}{\omega_c^2} + J_M \cdot \frac{\omega_3^2}{\omega_c^2} = 1,5 \cdot J_{дв} \quad (22)$$

Звідки:

$$J = 1,5 \cdot J_{дв} + m_1 \cdot \frac{V^2}{\omega_c^2} \quad (23)$$

де ω_c – стала швидкість двигуна $рад / с$.

Сталу швидкість двигуна визначаємо за виразом:

$$\omega_c = \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot j_p \quad (24)$$

Приведений момент інерції :

для руху з вантажем

$$\begin{aligned} J_p &= 1,5 \cdot J_{дв} + m_1 \cdot \frac{V^2}{\omega_c^2} = 1,5 \cdot J_{дв} + m_1 \cdot \frac{D^2}{4 \cdot j_p^2} = 1,5 \cdot 0,049 + 4050 \cdot \frac{0,4^2}{4 \cdot 45^2} = \\ &= 0,154 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \end{aligned}$$

Для руху без вантажу

$$J_{\varepsilon} = 1,5 \cdot J_{\text{дв}} + m_1 \cdot \frac{V^2}{\omega_c^2} = 1,5 \cdot J_{\text{дв}} + m_1 \cdot \frac{D^2}{4 \cdot j_p^2} = 1,5 \cdot 0,049 + 3300 \cdot \frac{0,4^2}{4 \cdot 45^2} =$$

$$= 0,139 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Визначимо пускові і гальмівні моменти двигуна, необхідні для розгону і гальмування електроприводу.

Пусковий момент:

$$M_{\Pi} = M_c + M_{\text{дин}} \quad (25)$$

де M_c – статичний момент, Н·м;

$M_{\text{дин}}$ – динамічний момент, Н·м.

Динамічний момент визначається за формулою (24):

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} \quad (26)$$

де a – допустима величина прискорення в режимі пуску і гальмуванні $\text{м} / \text{с}^2$;

D – діаметр шестерні, м;

J – приведений момент інерції механізму, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Визначаємо динамічний момент:

для руху з вантажем:

$$M_{\text{дин}}^p = J_p \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 0,154 \cdot \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 45}{0,4} = 17,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

для руху без вантажу:

$$M_{дин}^e = J_{\epsilon} \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 0,139 \cdot \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 45}{0,4} = 15,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо пусковий момент:

для руху з вантажем:

$$M_{п}^p = M_{\partial c}^p + M_{дин}^p = 22 + 17,3 = 39,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

для руху без вантажу:

$$M_{п}^e = M_{\partial c}^e + M_{дин}^e = 15,2 + 15,6 = 30,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо гальмівний момент:

$$|M_T| = |M_{дин}| - M_c \quad (27)$$

для руху з вантажем:

$$|M_T^p| = |M_{дин}^p| - M_{mc}^p = 17,3 - 18,8 = -1,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

для руху без вантажу:

$$|M_T^e| = |M_{дин}^e| - M_{mc}^e = 15,6 - 12 = 3,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Жодна ділянка не має моменту такого, щоб був вищий за максимальний момент двигуна.[6]

Середній момент двигуна приймемо рівним моменту, допустимому по прискоренню, через те що живлення отримуємо від перетворювача із задатчиком інтенсивності:

Пуск: $M_{CP} = M_P$;

Гальмування: $M_{CP} = M_G$.

Обчислимо жорсткість пружного механічного зв'язку $C_{пр}$ приведену до валу двигуна через значення лінійної жорсткості:

$$C_{пр} = \frac{C_a \cdot D^2}{4 \cdot j_p^2} = \frac{25 \cdot 10^6 \cdot 0,4^2}{2 \cdot 45^2} = 988 \frac{H \cdot m}{рад} \quad (28)$$

2.7 Попередня перевірка двигуна по нагріву і продуктивності

Мета попередньої перевірки двигуна – уточнення діаграм навантажень моменту, а також діаграм швидкості з урахуванням моменту інерції двигуна.

Визначимо часи перехідних процесів для кожної ділянки за виразом (27):

$$t_i = J \cdot \frac{\omega_C}{M_{CP} - M_C} \quad (29)$$

де J – приведений момент інерції системи до валу ротора двигуна, $кг \cdot м^2$;

ω_C – стала швидкість двигуна $рад / с$;

M_{CP} – середній момент двигуна, $Н \cdot м$;

M_C – статичний момент, приведений до валу, $Н \cdot м$.

Ділянка I – розгін з вантажем

$$t_1 = J_p \cdot \frac{\omega_C^p}{M_{CP}^p - M_{\partial C}^p} = J_p \cdot \frac{\frac{2 \cdot v_p}{D} \cdot j_p}{M_{CP}^p - M_{\partial C}^p} = 0,154 \cdot \frac{\frac{2 \cdot 0,3}{0,4} \cdot 45}{39,3 - 22} = 0,6 \text{ с.}$$

Ділянка III – гальмування з вантажем

$$t_3 = J_p \cdot \frac{\omega^p_c}{M^p_{mCP} + M^p_{mC}} = J_p \cdot \frac{\frac{2 \cdot v_p}{D} \cdot j_p}{M^p_{mCP} + M^p_{mC}} = 0,154 \cdot \frac{\frac{2 \cdot 0,3}{0,4} \cdot 45}{-1,5 + 18,8} = 0,6 \text{ с.}$$

Ділянка V – розгін без вантажу

$$t_5 = J_\varepsilon \cdot \frac{\omega^\varepsilon_c}{M^\varepsilon_{\partial CP} - M^\varepsilon_{\partial C}} = J_\varepsilon \cdot \frac{\frac{2 \cdot v_\varepsilon}{D} \cdot j_p}{M^\varepsilon_{\partial CP} - M^\varepsilon_{\partial C}} = 0,139 \cdot \frac{\frac{2 \cdot 0,4}{0,4} \cdot 45}{30,8 - 15,2} = 0,8 \text{ с.}$$

Ділянка VII – гальмування без вантажу

$$t_7 = J_\varepsilon \cdot \frac{\omega^\varepsilon_c}{M^\varepsilon_{mCP} + M^\varepsilon_{mC}} = J_\varepsilon \cdot \frac{\frac{2 \cdot v_\varepsilon}{D} \cdot j_p}{M^\varepsilon_{mCP} + M^\varepsilon_{mC}} = 0,139 \cdot \frac{\frac{2 \cdot 0,4}{0,4} \cdot 45}{3,6 + 12} = 0,8 \text{ с.}$$

Кут повороту валу двигуна за час перехідного процесу:

$$\alpha_i = \frac{\omega_c \cdot t_i}{2} \quad (30)$$

Кут повороту валу:

за перша та третя ділянки:

$$\alpha_{1,3} = \frac{\omega^p_c \cdot (t_1 + t_3)}{2} = \frac{67,5 \cdot (0,6 + 0,6)}{2} = 40,5 \text{ рад.}$$

за 5-й і 7-й ділянки:

$$\alpha_{5,7} = \frac{\omega_c^e \cdot (t_5 + t_7)}{2} = \frac{90 \cdot (0.8 + 0.8)}{2} = 72 \text{ рад.}$$

Кут повороту валу двигуна у відповідному режимі:

$$\alpha_{\Sigma} = 2 \cdot h \cdot \frac{j_p}{D} \quad (31)$$

Згідно з виразом (30):

$$\alpha_{\Sigma} = 2 \cdot h \cdot \frac{j_p}{D} = 2 \cdot 5 \cdot \frac{45}{0,4} = 1125 \text{ рад}$$

Час роботи із усталеною швидкістю:

$$t_y = \frac{\alpha_{\Sigma} - (\alpha_{\Pi} + \alpha_T)}{\omega_c} \quad (32)$$

де α_{Π}, α_T – кут повороту валу при пуску та гальмуванні, рад.

Згідно з виразом (29)

$$t_y^p = \frac{\alpha_{\Sigma} - \alpha_{1,3}}{\omega_c^p} = \frac{1125 - 40,5}{67,5} = 16,1 \text{ с.}$$

$$t_y^e = \frac{\alpha_{\Sigma} - \alpha_{5,7}}{\omega_c^e} = \frac{1125 - 72}{90} = 11,7 \text{ с.}$$

Загальний фактичний час роботи приводу:

$$t_{\phi} = 0,6 + 16,1 + 0,6 + 0,8 + 11,7 + 0,8 = 30,6 \text{ с.}$$

Визначений час менше заданого часу роботи приводу, іншими словами вимога за критерієм продуктивності виконується.

Попередньо перевірка двигуна за умовами нагріву проводиться за величиною середньоквадратичного моменту:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \leq M_{\text{дон}} \quad (33)$$

де $M_{\text{дон}} = M_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{TB_{\text{кат}}}{TB_{\phi}}}$ – допустимий момент.

Фактична тривалість вмикання: $TB_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\%$.

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{39,3^2 \cdot 0,6 + 22^2 \cdot 16,1 + 1,5^2 \cdot 0,6 + 30,8^2 \cdot 0,8 + 15,2^2 \cdot 11,7 + 3,6^2 \cdot 0,8}{0,6 + 16,1 + 0,6 + 0,8 + 11,7 + 0,8}} =$$

$$= 19,9 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Фактична тривалість вмикання:

$$PB_{\phi} = \frac{0,6 + 16,1 + 0,6 + 0,8 + 11,7 + 0,8}{60} \cdot 100\% = 51\%.$$

Момент двигуна при каталожній тривалості вмикання:

$$M_{\text{кат}} = \frac{P_{\text{н}}}{0,105 \cdot n_{\text{н}}} = \frac{3500}{0,105 \cdot 885} = 37,6 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Допустимий момент при фактичній тривалості вмикання:

$$M_{\text{доп}} = M_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{кат}}}{ПВ_{\phi}}} = 37,6 \cdot \sqrt{\frac{60}{51}} = 40,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Еквівалентний момент менше за допустимий ($19,9 \text{ Н} \cdot \text{м} < 40,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$), відповідно двигун проходить по нагріву.

2.8 Вибір перетворювача

По каталогу вибираємо перетворювач E500-4Т-5.5В

Таблиця 3 – Технічні параметри перетворювача частоти E500-4Т-5.5В

Параметр, од. вим.	Значення
Номінальна потужність, кВт	5.5 кВт
Номінальний струм, А	13 А
Номінальна напруга мережі живлення, Гц	50
Діапазон регулювання частоти на виході перетворювача, Гц	0 – 400
Коефіцієнт потужності	0,95
Перевантажувальний момент, %	150
Тип охолодження	Повітряне, природне

2.9 Розрахунок статичних характеристик електроприводу

2.9.1 Розрахунок природних характеристик двигуна

Кутова швидкість холостого ходу

$$\omega_{0n} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f1}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{3} = 104,7 \text{ рад/с}.$$

Номінальне ковзання ротора

$$s_n = \frac{\omega_{0n} - \omega_n}{\omega_{0n}} = \frac{104,7 - 92,6}{104,7} = 0,12.$$

Номінальний момент двигуна

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{3500}{92,6} = 37,8 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Перевантажувальна здатність двигуна:

$$\mu_k = \frac{M_{\max}}{M_n} = \frac{103}{37,8} = 2,7.$$

Критичне ковзання

$$\begin{aligned} s_k &= s_n \cdot \frac{\mu_k + \sqrt{\mu_k^2 - 1 + 2 \cdot a \cdot s_n \cdot (\mu_k - 1)}}{1 - 2 \cdot a \cdot s_n \cdot (\mu_k - 1)} = \\ &= 0,12 \cdot \frac{2,7 + \sqrt{2,7^2 - 1 + 2 \cdot 0,89 \cdot 0,12 \cdot (2,7 - 1)}}{1 - 2 \cdot 0,89 \cdot 0,12 \cdot (2,7 - 1)} = 0,995 \end{aligned}$$

Приведений активний опір ротора:

$$\begin{aligned} r_2' &= 2,34; \\ a &= \frac{r_1}{r_2'} = \frac{2,1}{2,34} = 0,89. \end{aligned}$$

Побудуємо механічну характеристику скориставшись формулою Клосса:

при $s=0,03$

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_{\max} \cdot (1 + a \cdot s_k)}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k} + 2 \cdot a \cdot s_k} = 10,24 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (34)$$

Швидкість обертання при $s=0.03$

$$\omega(s) = \omega_{0n} \cdot (1 - s) = 101.578 \text{ рад/с}. \quad (35)$$

Скориставшись програмним пакетом Mathcad побудуємо природні характеристики двигуна, отримані графіки представлені на рисунках 6 і 7.

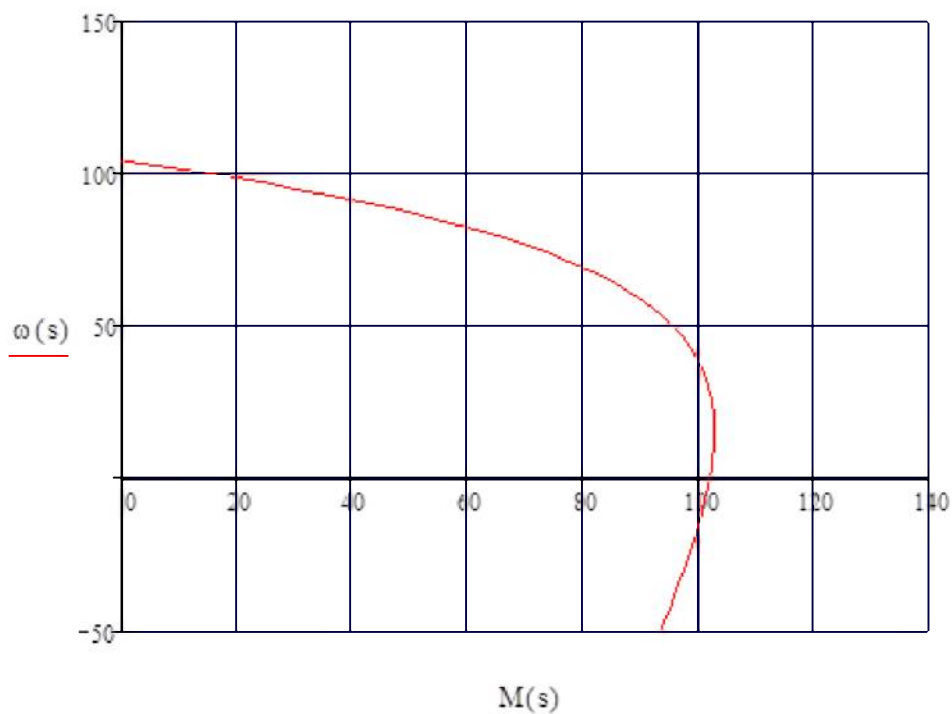


Рисунок 6 – Природна механічна характеристика асинхронного двигуна

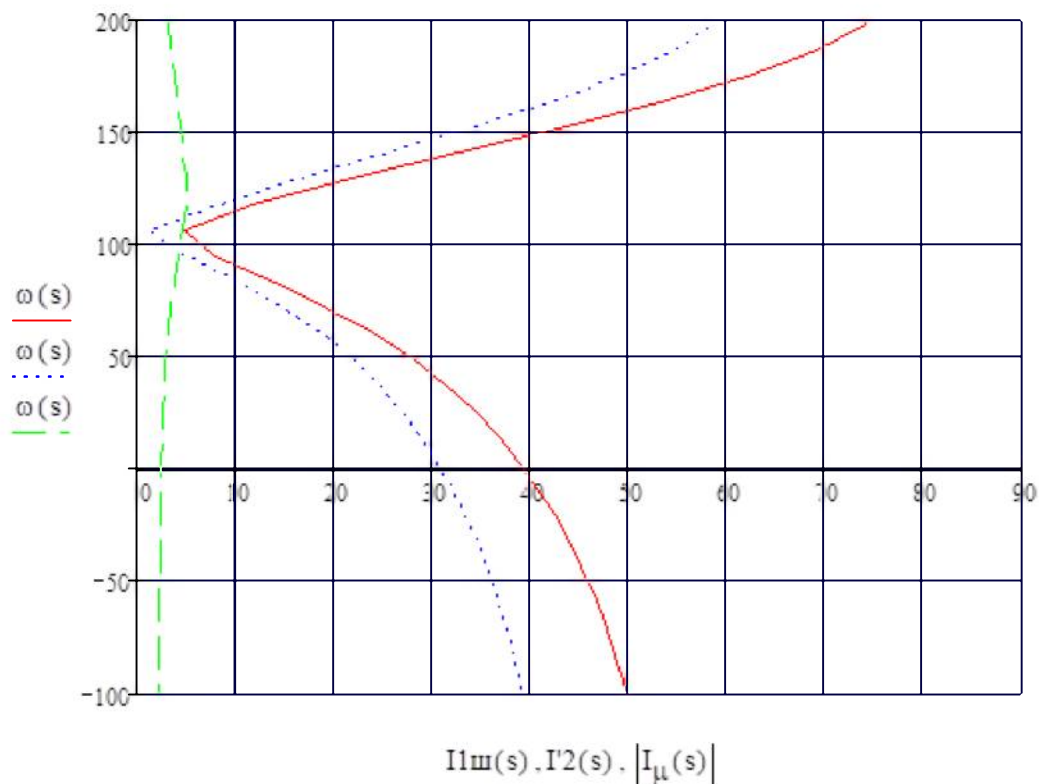


Рисунок 7 – Природні електромеханічні характеристики асинхронного двигуна

2.9.2 Розрахунок параметрів схем включення двигуна

Визначимо жорсткість механічної характеристики

$$\beta = \frac{P_n / \omega_n + M_{xx}}{\omega_{0n} - \omega_n} = \frac{3500 / 92,7 + 1,6}{104,7 - 92,7} = 3,28$$

Обчислимо відхилення швидкості від синхронної при відомому моменті при русі:

— з вантажем:

$$\Delta \omega_e^p = \frac{M_{\delta}^p}{\beta} = \frac{22}{3,3} = 6,7 \text{ рад/с.}$$

– без вантажу:

$$\Delta\omega_e^s = \frac{M_{\partial}^s c}{\beta} = \frac{15,2}{3,3} = 4,6 \text{ 1/с.}$$

Синхронна швидкість, у заданій точці при русі:

– з вантажем

$$\omega_{0\text{зад}}^p = \omega_{\text{зад}}^p + \Delta\omega_e^p = \frac{2 \cdot v_p}{D} \cdot j_p + \Delta\omega_e^p = \frac{2 \cdot 0,3}{0,4} \cdot 45 + 6,7 = 74,2 \text{ 1/с.}$$

– без вантажу

$$\omega_{0\text{зад}}^s = \omega_{\text{зад}}^s + \Delta\omega_e^s = \frac{2 \cdot v_s}{D} \cdot j_p + \Delta\omega_e^s = \frac{2 \cdot 0,4}{0,4} \cdot 45 + 4,6 = 94,6 \text{ 1/с.}$$

Відносна частота напруги статора при русі

– з вантажем:

$$\alpha^p = \frac{\omega_{0\text{зад}}^p}{\omega_{0н}} = \frac{74,2}{104,7} = 0,7 \quad (36)$$

– без вантажу:

$$\alpha^s = \frac{\omega_{0\text{зад}}^s}{\omega_{0н}} = \frac{94,6}{104,7} = 0,9 \quad (37)$$

Відносна напруга статора при русі:

– з вантажем

$$\gamma^p = \alpha^p = 0,7 \quad (38)$$

– без вантажу:

$$\gamma^s = \alpha^s = 0,9 \quad (39)$$

Користуючись Mathcad будуємо характеристики, що проходять через визначені точки, графіки приведені на рисунках 8 – 11.

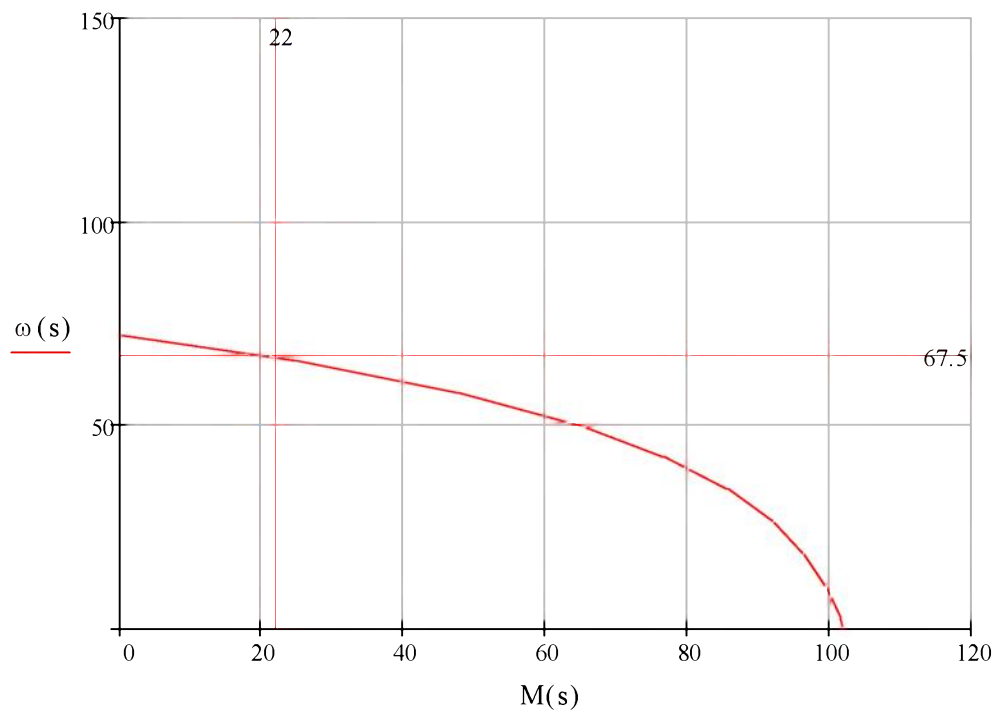


Рисунок 8 – Механічна характеристика, що проходить через визначену точку, при переміщенні з вантажем

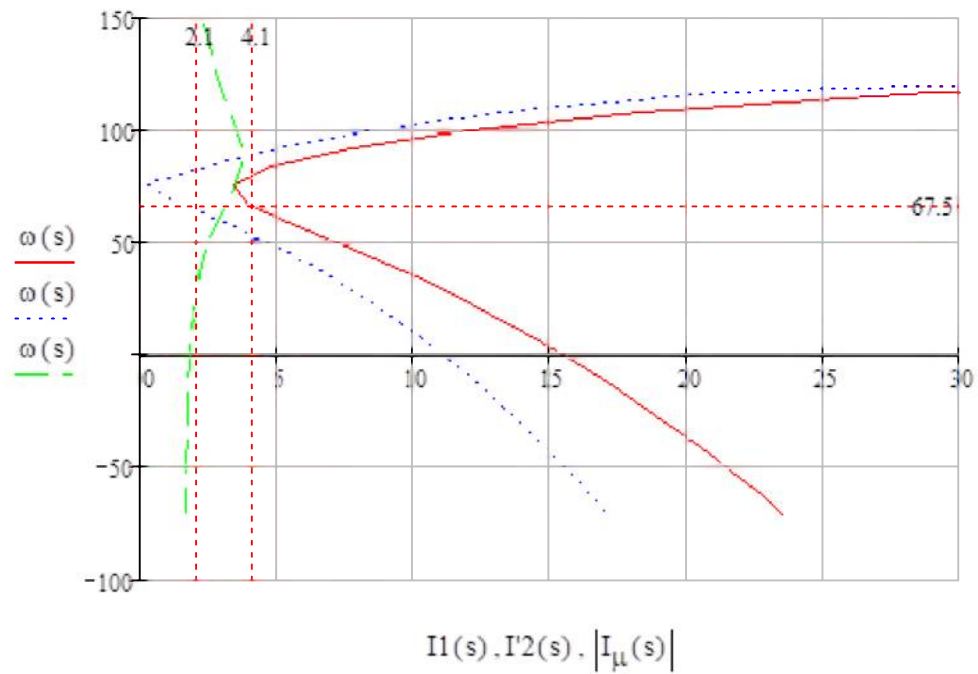


Рисунок 9 – Електромеханічні характеристики, що проходять через визначену точку, при переміщенні з вантажем

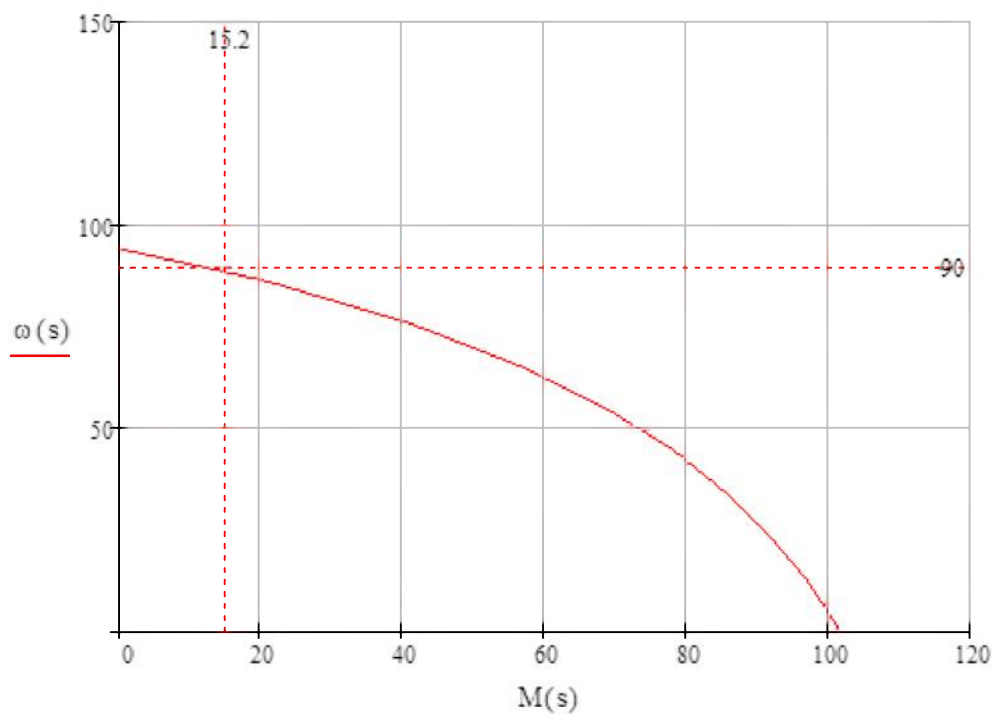


Рисунок 10 – Механічна характеристика, що проходить через визначену точку, при переміщенні без вантажу

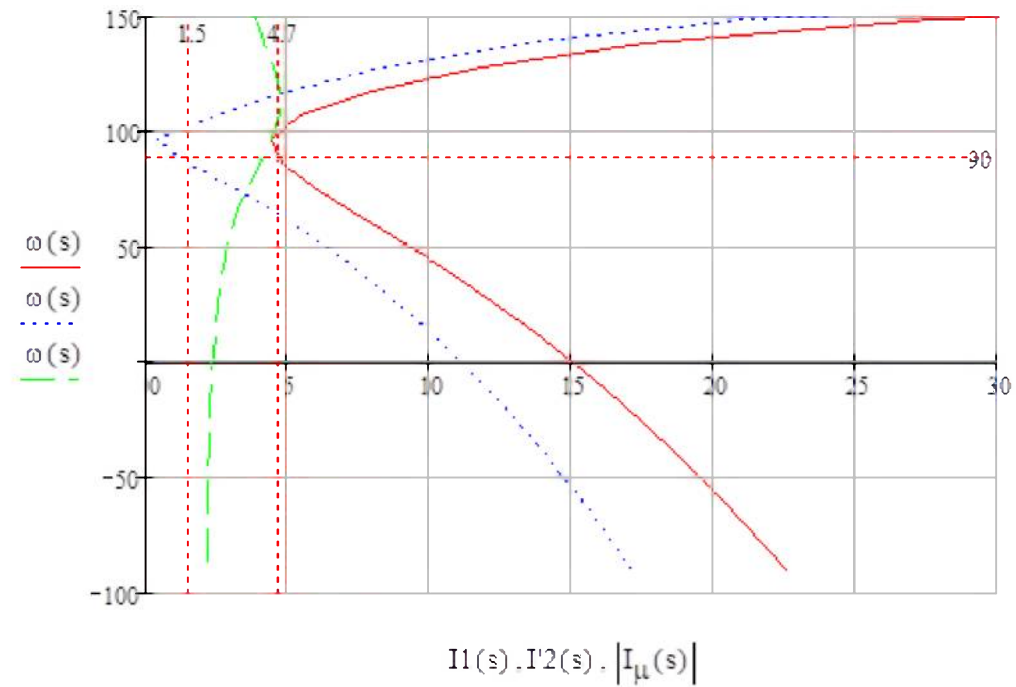


Рисунок 11 – Електромеханічні характеристики, що проходять через визначену точку, при переміщенні без вантажу

2.10 Розрахунок параметрів схем включення

2.10.1 Пуск і гальмування в системі перетворювач – двигун

Наростання швидкості двигуна у сталому режимі, після завершення перехідного процесу:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega_0}{dt} = \xi_0 = \text{const} \quad (40)$$

Динамічний момент двигуна:

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \xi_0 \quad (41)$$

Лінійний закон зміни напруги керування задається шляхом підключення на вхід перетворювача інтегрального задатчика інтенсивності, напруга на виході якого при подачі стрибкоподібного сигналу напруги завдання $U_{зад}$ на його вхід змінюється за лінійним законом. Досягнувши величини $U_{зад}$ збільшення напруги на виході ЗІ зупиняється. Напруга виходу ЗІ є керуючою напругою перетворювача, а величина $U_{зад}$ визначає величину кутової швидкості ω_0 двигуна.[7]

Темп зростання швидкості задається величиною базової сталої часу $T_{зи}$.

$$T_{зи} = \frac{\omega_{0н}}{\xi_0} = \frac{J \cdot \omega_{0н}}{M_n} \cdot \frac{M_n}{M_{дин}} \quad (42)$$

$$T_\delta = \frac{J \cdot \omega_{0н}}{M_n} \quad (43)$$

де T_δ – механічна стала часу, с;

$M_{дин}$ – динамічний момент двигуна

Механічна стала часу за (41) при русі:

– з вантажем:

$$T_\delta^p = \frac{J \cdot \omega_{0н}}{M_n} = \frac{0,154 \cdot 104,72}{37,8} = 0,43 \text{ с.}$$

– без вантажу:

$$T_\delta^e = \frac{J \cdot \omega_{0н}}{M_n} = \frac{0,138 \cdot 104,72}{37,8} = 0,38 \text{ с.}$$

Стала часу ЗІ за (41) при русі:

– з вантажем

$$T_{\text{зп}}^{\text{р}} = \frac{T_{\text{д}}^{\text{р}} \cdot M_{\text{н}}}{M_{\text{дин}}} = \frac{0,43 \cdot 37,8}{17,3} = 0,94 \text{ с.}$$

– без вантажу:

$$T_{\text{зп}}^{\text{е}} = \frac{T_{\text{д}}^{\text{е}} \cdot M_{\text{н}}}{M_{\text{дин}}} = \frac{0,38 \cdot 37,8}{15,6} = 0,921 \text{ с.}$$

У системі ПЧ-АД початкова пускова характеристика обумовлюється мінімальною частотою перетворювача, а величина пускового моменту значно знижена через значний вплив активного опору кола статора двигуна.

3 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

3.1 Структурна схема механічної частини електроприводу

До складу механічної частини електроприводу входять рухомі маси двигуна, передатної ланки і робочої машини. На структурних схемах механічної частини мають бути враховані пружні зв'язки та розподілення моментів інерції між двигуном і робочою машиною.

Поведінка двохмасової пружної системи, без врахування дисипативних сил і зазорів в передачі описується наступними диференціальними рівняннями:

$$\begin{aligned} M - M_{12} - M_{cl} &= J_1 \cdot \frac{d\omega_1}{dt}; \\ M_{12} - M_{c2} &= J_2 \cdot \frac{d\omega_2}{dt}; \\ M_{12} &= c_{np} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2). \end{aligned}$$

Провівши диференціювання та зробив деякі перетворення отримаємо:

$$\begin{aligned} M_{c1} &= \Delta M = \Delta M_{nep} + M_x; \\ M_{c2} &= M_{pc}; \\ J_1 &= \delta J_{\partial\theta}; J_2 = J_{np}; \\ \delta J_{\partial\theta} \cdot \frac{d\omega_1}{dt} &= M - M_{12} - \Delta M; \\ \frac{l}{c_{np}} \cdot \frac{dM_{12}}{dt} &= \omega_1 - \omega_2; \\ J_{np} \cdot \frac{d\omega_2}{dt} &= M_{12} - M_{pc}. \end{aligned} \tag{44}$$

Базисними величинами приймемо номінальні дані двигуна:

$$\omega_{\bar{o}} = \omega_{0u};$$

$$M_{\bar{o}} = M_n.$$

Після нормування отримаємо систему диференціальних рівнянь у відносних одиницях:

$$\delta J_{\partial a} \cdot \frac{\omega_{0u}}{M_n} \cdot \frac{d\bar{\omega}_1}{dt} = \bar{M} - \bar{M}_{12} - \Delta\bar{M};$$

$$\frac{1}{C_{np}} \cdot \frac{M_n}{\omega_{0n}} \cdot \frac{d\bar{M}_{12}}{dt} = \bar{\omega}_1 - \bar{\omega}_2;$$

$$J_{np} \cdot \frac{\omega_{0n}}{M_n} \cdot \frac{d\bar{\omega}_2}{dt} = \bar{M}_{12} - \bar{M}_{pc}.$$

Складемо структурну схему механічної частини на рисунку 12.

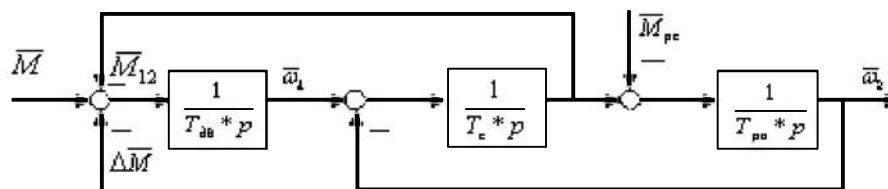


Рисунок 12 – Структурна схема механічної частини ЕП

Коефіцієнти при похідних є сталими часу.

Стала часу двигуна:

$$T_{\partial a} = \delta \cdot J_{\partial a} \cdot \frac{\omega_{0n}}{M_n} = 1,5 \cdot 0,045 \cdot \frac{104,7}{37,8} = 0,19 \text{ с.}$$

Стала часу пружної ланки:

$$T_c = \frac{M_n}{C_{np} \cdot \omega_{0n}} = \frac{37,8}{988 \cdot 104,7} = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Стала часу робочого органу при русі:

– з вантажем:

$$T_{po}^p = J_{np}^p \cdot \frac{\omega_{0n}}{M_n} = 0,16 \cdot \frac{104,7}{37,8} = 0,44 \text{ с.}$$

– без вантажу:

$$T_{po}^e = J_{np}^e \cdot \frac{\omega_{0n}}{M_n} = 0,13 \cdot \frac{104,7}{37,8} = 0,36 \text{ с.}$$

3.2 Структурна схема асинхронного двигуна

Провести математичний опис асинхронного двигуна при наявності в загальній кількості шести обмоток, враховуючи їх взаємне розташування, безліч зв'язків між ними достатньо складно. На практиці в такому випадку застосовують методи, математичний опис в яких спрощується через введення різних допущень. Представивши двигун у вигляді еквівалентної двофазної машини можемо отримати дещо спрощений математичний опис і структурну схему асинхронного двигуна.[8]

Розглядати перехідні процеси на робочій ділянці механічної характеристики можливо застосувавши більш просте співвідношення між моментом і швидкістю двигуна:

$$(T_s \cdot p + 1) \cdot M = \beta \cdot (\omega_0 - \omega) \quad (45)$$

де $\beta = \frac{M_n}{\omega_{0n} - \omega_n} = \frac{37,78}{104,71 - 92,7} = 3,11$ – модуль жорсткості механічної

характеристики в ліній частині, що проходить через номінальну точку;

$T_s = \frac{1}{\omega_{0\text{эл}} \cdot S_k}$ – електромагнітна стала часу;

S_k – критичне ковзання.

Перепишемо (43) у відносних одиницях:

$$(T_s \cdot p + 1) \cdot \bar{M} = \bar{\beta} \cdot (\bar{\omega}_0 - \bar{\omega}),$$

де $\bar{\beta} = \frac{1}{S_n} = \frac{104,71}{104,71 - 92,67} = 8,71$ – жорсткість механічної характеристики у в.о.

Передатна функція електромеханічного перетворення в асинхронному двигуні:

$$W(p) = \frac{\bar{M}(p)}{\bar{\omega}_0(p) - \bar{\omega}(p)} = \frac{1/S_n}{T_s \cdot p + 1}$$

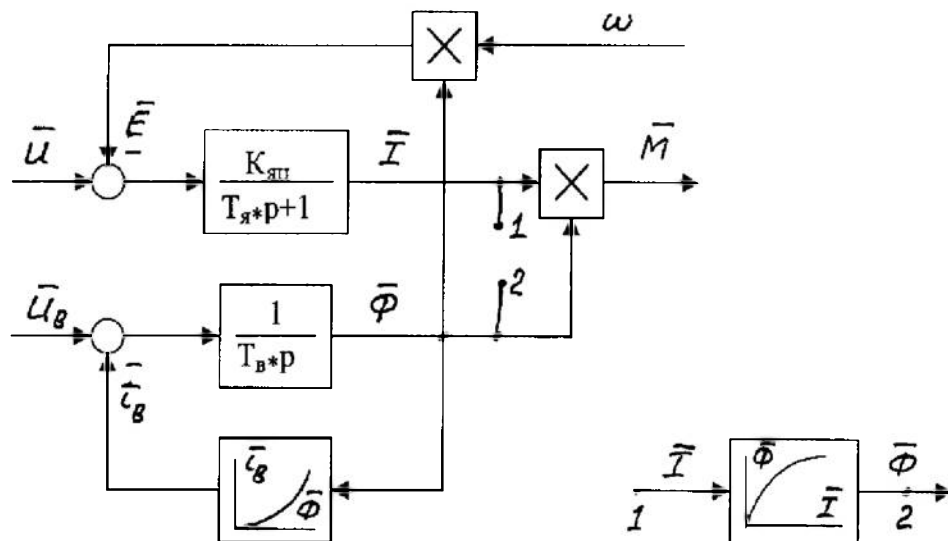


Рисунок 13 – Структурна схема асинхронного двигуна

3.3 Структурна схема перетворювача частоти

Внутрішні зворотні зв'язки перетворювача частоти забезпечують підтримку напруги завдання на виході при зміні навантаження

Виходячи з цього перетворювач частоти є безінерційною ланкою з коефіцієнтом підсилення K_{mi} . Його вихідна напруга і частота формується на вході за допомогою задатчика інтенсивності(ЗІ) (рисунок 14). Найпоширенішим типом задатчика інтенсивності є інтегральний і пропорційно-інтегральний.

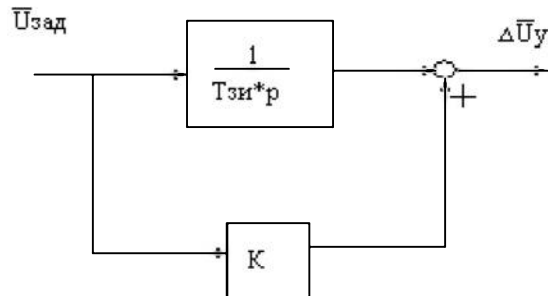


Рисунок 14 – Структурна схема ЗІ

Параметри структурної схеми:

пропорційний складова

$$K = \frac{\Delta \omega_0}{\omega_{0н}} = \Delta \bar{\omega}_0$$

$$\Delta U_y = K \cdot \bar{U}_{зад}$$

інтегральна складова

$$\Delta U_y = U_{зад} \cdot \frac{t}{T_{зи}}$$

3.4 Перехідні процеси та діаграма навантажень електроприводу

Розраховувати Навантажувальні діаграми потрібно для всього циклу роботи із врахуванням електромагнітної інерції і пружності передачі

3.4.1 Перехідні процеси при пуску в механічній частині електроприводу із жорсткими зв'язками

Навантажувальні діаграми побудовані на рисунку 15

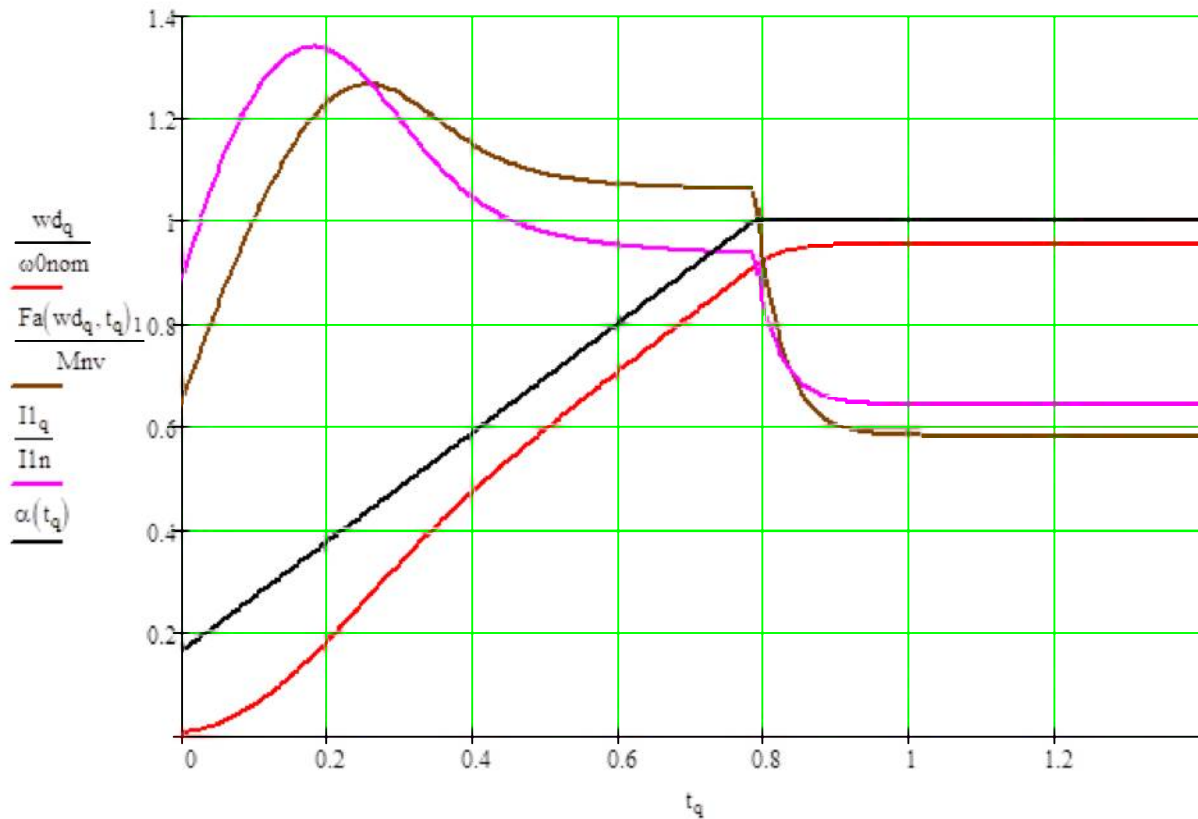


Рисунок 15 – Навантажувальні діаграми пуску при $T_c=0$ і $T_a=0$

3.4.2 Перехідний процес в механічній частині електроприводу при пуску з урахуванням пружності зв'язків

Навантажувальні діаграми отримані за допомогою програми Mathcad побудовані на рисунку 16.

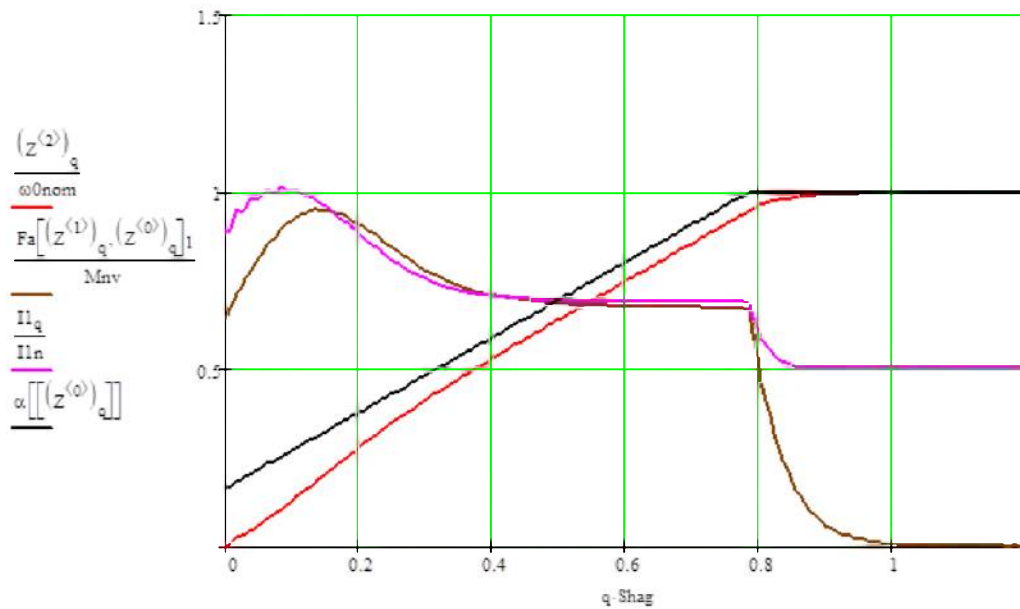


Рисунок 16 – Навантажувальні діаграми пуску при $T_c = 0$ і $T_{Я} = 0$

3.4.3 Електромеханічні перехідні процеси в системі з абсолютно жорсткими зв'язками

Навантажувальні діаграми отримані в програмі Mathcad представлені на рисунку 17.

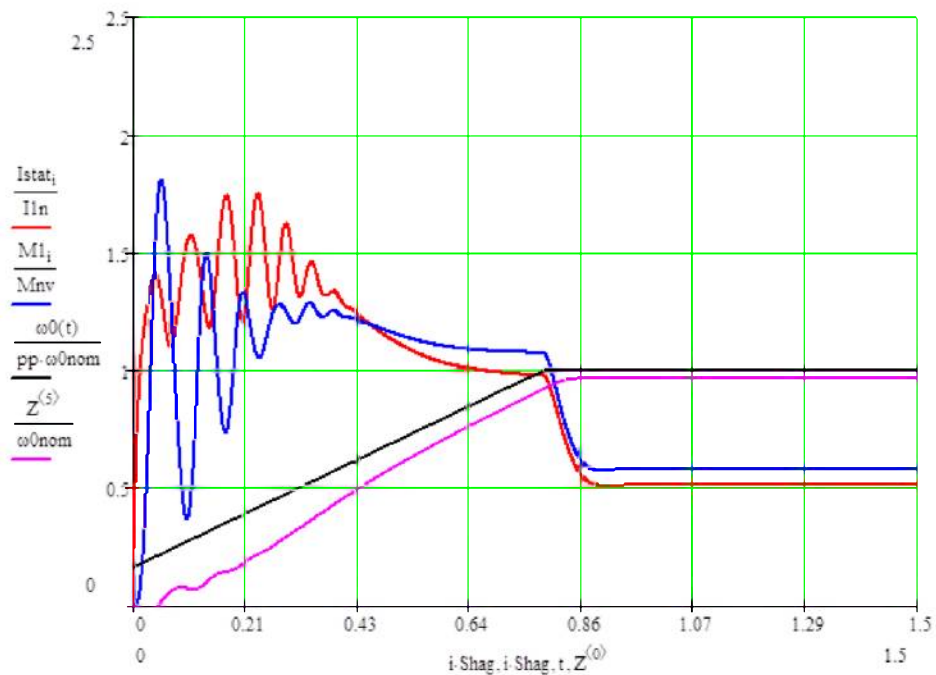


Рисунок 17 – Навантажувальні діаграми пуску при $T_c = 0$ і $T_{Я} = 0$

3.4.4 Електромеханічний перехідний процес в системі електроприводу з урахуванням пружності зв'язків

Навантажувальні діаграми побудовані в програмі Mathcad приведені на рисунку 18.

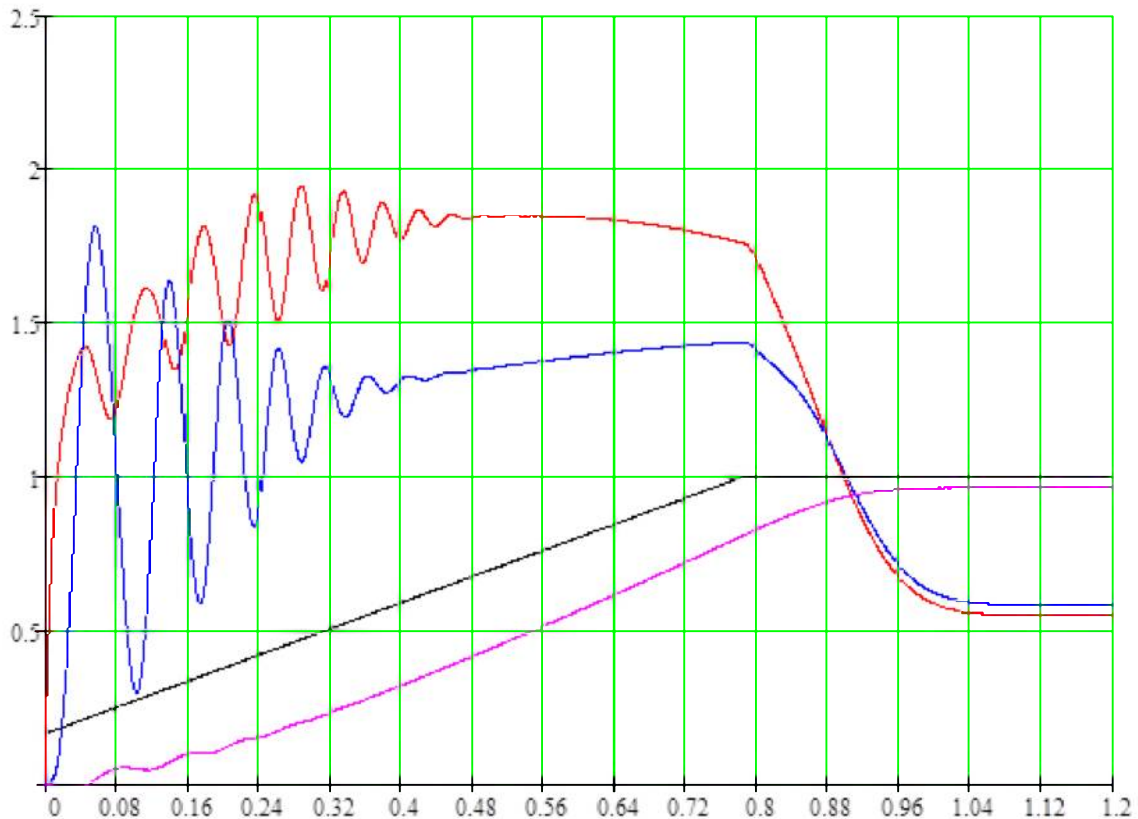


Рисунок 18 – Навантажувальні діаграми пуску при $T_c = 0$ і $T_y = 0$

3.4.5 Розрахунок діаграм навантажень для всього циклу роботи

Навантажувальні діаграми в побудовані програмі Mathcad приведені на рисунках 19 і 20 в програмі Mathcad.

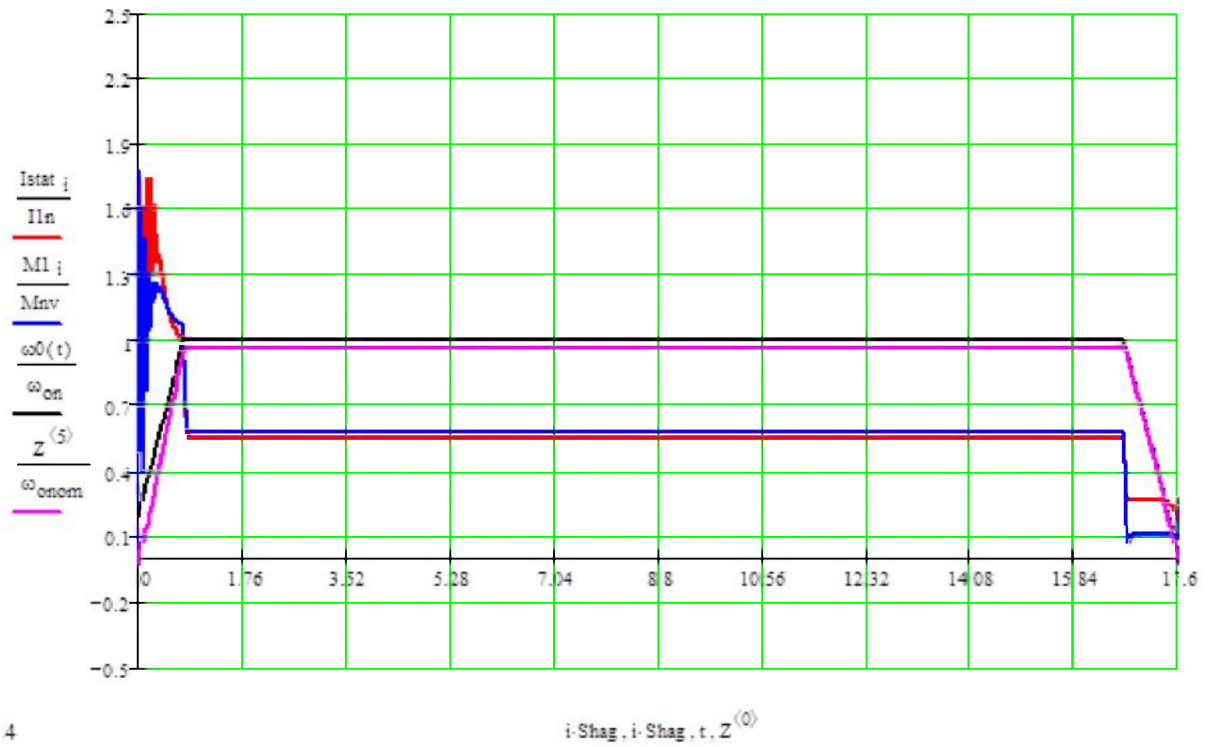


Рисунок 19 – Перехідні процеси при русі з вантажем

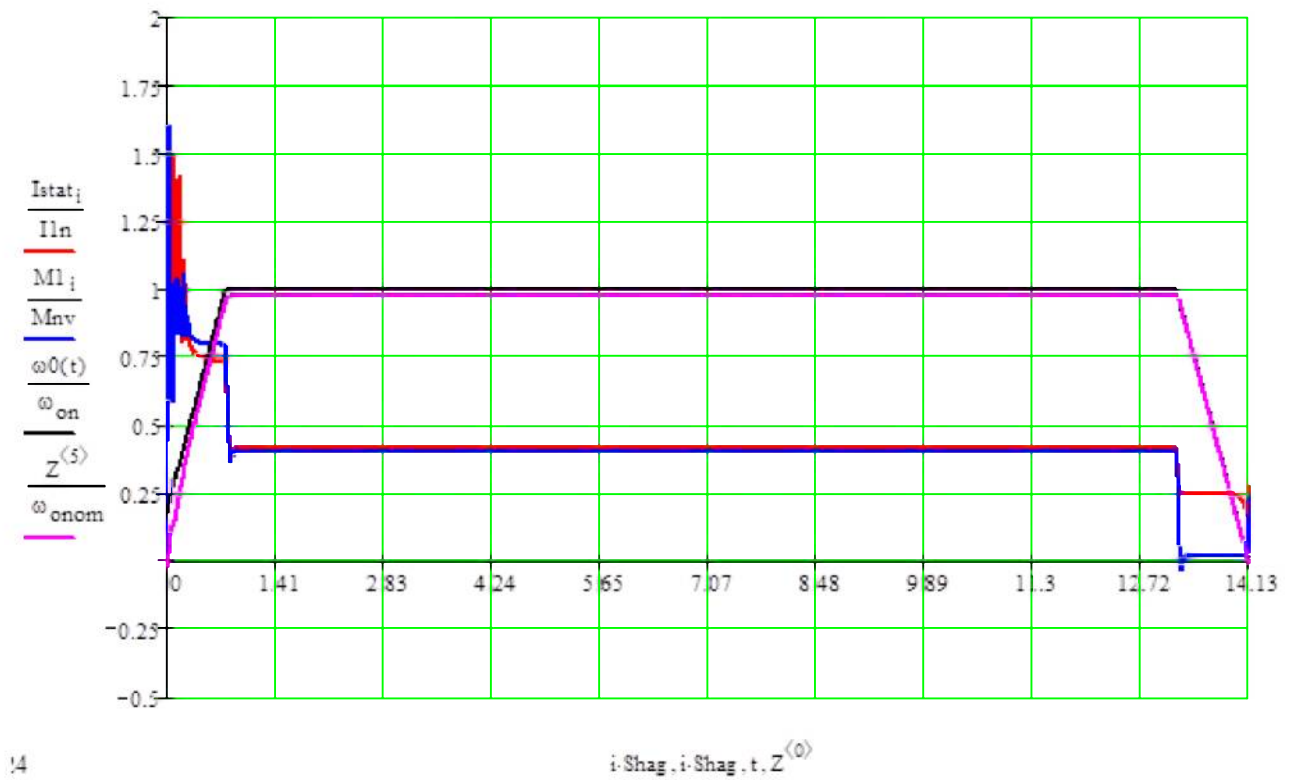


Рисунок 20 – Перехідні процеси при русі без вантажу

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи були розраховані моменти статичного опору. За попередньо розрахованою потужністю був обраний короткозамкнений асинхронний двигун серії кранової серії МТКФ 111 - 6 У1 і редуктор РЦД-260.

Виконано приведення моментів статичного і динамічного опору до валу двигуна. Проведена попередня перевірка двигуна за нагрівом і продуктивністю, в результаті чого стало зрозумілим, що двигун проходить за обидва критеріями.

Був вибраний перетворювач частоти Е500-4Т-5.5В.

Були отримані статичні характеристики на базі параметрів двигуна: природні та штучні. Залежності побудовані за допомогою програми Mathcad

Далі була визначена стала часу задатчика інтенсивності. Шляхом синтезу була отримана структурна схема електроприводу. Виконана побудова навантажувальних діаграм.

Загалом можна вважати поставлене завдання виконаним.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Чутчиков П. И. Пассажирские лифты / П. И. Чутчиков. – М. : Машиностроение, 1978. – 142 с.
2. Хайменс Ф., Хельборн А. Подъемники с канатоведущими шкивами безбарабанного типа: пер. с англ.— М.: Машгиз, 1937 — 162 с.
3. Корнеев Г. К-, Коротов М. Г., Мацохейн И. С. и др. Лифты пассажирские и грузовые. — М: Машгиз, 1958.— 568 с.
4. Павлов Н. Г. Лифты и подъемники/ Н. Г. Павлов — М.; Л: Машиностроение, 1965, — 203 с.
5. Ивашков И. И., Бовин Г. М., Меклер А. Г. и др. Подъемники. — М: Машгиз, 1957.— 311 с.
6. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат : Ленингр. отд-ние, 1982. – 392 с.
7. Рудаков В.В. Асинхронные электропривода с векторным управлением / В.В. Рудаков, П.М. Столяров, В.А. Дартау – Л: Энергоатомиздат. 1987. 131с.
8. Ключев В. П. Теория электропривода / В. П. Ключев М.: Энергоатомиздат. 1985. 560с.

ДОДАТОК А

ОХОРОНА ПРАЦІ

А.1 Вимоги виконання критеріїв безпеки кабіни

Кабіна підйомника повинна бути розрахована на ті навантаження, які виникають у робочому режимі підйомника, під час його випробовування відповідно до вимог пункту 11.7.2 ПБіБЕЛ, а також у разі обриву тягових ланцюгів (ланцюга).

Кабіна підйомника з задньої і бокових сторін повинна мати суцільну огорожу на всю висоту, а також верхнє перекриття і підлогу.

У нижній частині огорожі кабіни дозволяється влаштовувати люк, який замикається, висотою не більше ніж 500 мм для обслуговування устаткування, розміщеного в шахті. Кришка люка відчиняється всередину кабіни.

Відмикання кабіни здійснюється зсередини кабіни спеціальним ключем.

Кабіна не повинна мати дверей.

У разі прикладання до огорожі кабіни, крім огорожі з сітки, в будь-якому місці перпендикулярно до її поверхні навантаження 300 Н прогин не повинен бути більше ніж 15 мм, залишкова деформація - недопустима. Навантаження повинне бути рівномірно розподілене на площі 5 кв.см круглої або квадратної форми і прикладене зсередини кабіни.

У разі прикладення зсередини кабіни в будь-якій точці сітки огорожі перпендикулярно до площини сітки навантаження 150 Н прогин сітки не повинен бути більше ніж 25 мм.

Верхнє перекриття кабіни повинне витримувати навантаження не менше 1000 Н, прикладене на площі 300 x 250 мм у будь-якому місці.

Для виключення можливості проникнення пасажирів на дах кабіни верхнє перекриття з передньої сторони повинне мати виріз на всю ширину кабіни. Глибина вирізу повинна бути не менше ніж 250 мм.

Висота кабіни повинна бути не менше ніж 2000 мм від рівня її підлоги до даху.

Висота вхідного прорізу кабіни повинна дорівнювати висоті кабіни. Ширина вхідного прорізу кабіни повинна дорівнювати ширині підлоги кабіни.

Передня частина підлоги кабіни на всю ширину повинна бути виконана у вигляді відкидної площадки, яка має можливість від зусилля 100 Н і більше повертатись вгору на кут не менше ніж 90 град. Зусилля повинне бути прикладене до краю площадки з боку вхідного прорізу шахти перпендикулярно до площини площадки.

У разі припинення силової дії на площадку вона повинна самостійно повертатись у початкове положення.

Підіймання відкидної площадки кабіни, яка рухається вниз, в зоні посадочних площадок повинне контролюватись вимикачем.

Проміжок між суміжними кабінами повинен бути закритий рухомими щитами (фартухами), розміщеними над і під кабіною.

Щит, розміщений під кабіною, повинен бути встановлений вертикально і взаємодіяти з відкидною площадкою підлоги кабіни. Під час повертання площадки підлоги щит повинен переміщуватись паралельно собі, віддаляючись від передньої стіни шахти. Відстань від щита в піднятому положенні до площадок, передбачених пунктом 11.2.14 ПБіБЕЛ, які перебувають у горизонтальному положенні, повинна бути не менше ніж 200 мм.

Зазор між щитом, розміщеним під кабіною і огорожею на всьому шляху руху кабіни, повинен бути не більше ніж 20 мм і не менше ніж 15 мм.

Кабіна повинна бути обладнана башмаками або пристроями, які їх замінюють, які не повинні виходити з напрямних, крім тієї ділянки шахти, де кабіна змінює напрям руху.

Кабіна повинна бути підвішена на двох ланцюгах згідно з вимогами пункту 11.5.6 Правил будови і безпечної експлуатації ліфтів.