

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Бахмутський навчально-науковий професійно-педагогічний інститут
Кафедра електромеханічних та комп'ютерних систем

До захисту допущено

Завідувач кафедри

Місесю
(підпис)

Інна НЕФЬОДОВА
(ім'я, прізвище)

«05» травня 2024 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (ПРОЄКТ)

рівень вищої освіти другий (магістерський)

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

освітньо-професійна Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

тема «Синтез електромеханічної системи регулювання швидкості із асинхронним двигуном і частотним перетворювачем»

Виконав(ла)

здобувач(ка) групи БД-П23МГ
(шифр групи)

Олег БАРИШЕНКО

(ім'я, прізвище)

Баришенко
(підпис)

Керівник роботи

д.т.н., проф. Тетяна НІКІТІНА

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

Нікітіна
(підпис)

Рецензент роботи

д.т.н., проф. Олексій ЧОРНИЙ

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

Чорний
(підпис)

Засвідчую, що у цій роботі немає цитат та вилучень з праць інших авторів без відповідних посилань
здобувач (ка) Баришенко
(підпис)

Харків – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Факультет/ІНІ Бахмутський навчально-науковий професійно-педагогічний інститутКафедра Електромеханічних та комп'ютерних системРівень вищої освіти другий (магістерський)Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханікаОсвітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Інна НЕФЬОДОВА

(підпис)

(ім'я, прізвище)

«08» жовтня 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ)Барищенко Олег Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Синтез електромеханічної системи регулювання швидкості із асинхронним двигуном і частотним перетворювачемкерівник роботи Нікітіна Тетяна Борисівна, д. т. н., професор

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

затверджені наказом по університету від «08» жовтня 2024 року № 5101-5/3236

2. Строк подання здобувачем роботи «02» грудня 2024 р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити: В пояснювальній записці необхідно відобразити аналітичний огляд та опис технологічного процесу, формулювання вимог до електроприводу, енергосиловий розрахунок параметрів технологічного об'єкта, обґрунтування вибору потужності двигуна, вибір електродвигуна та силового електрообладнання, математична модель електромеханічного об'єкта, розрахунок статичних та динамічних параметрів електроприводу, синтез системи керування та дослідження динамічних характеристик електромеханічної системи шляхом моделювання.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Огляд літературних джерел, нових розробок, опублікованих даних та іншої інформації, пов'язаної з темою роботи
2	Обґрунтування теоретичної бази обраної проблеми.
3	Характеристика об'єктів галузі: стан і стратегії розвитку
4	Дослідження синтезу електромеханічної системи регулювання швидкості із асинхронним двигуном і частотним перетворювачем
5	Розробка електромеханічної системи регулювання швидкості із асинхронним двигуном і частотним перетворювачем
6	Оформлення першого варіанту тексту, подання його на ознайомлення науковому керівнику
7	Усунення недоліків, написання остаточного варіанту тексту, оформлення дипломної роботи
8	Подання роботи на кафедру, перевірка на плагіат та зовнішнє рецензування роботи
9	Захист дипломної роботи у ЕК

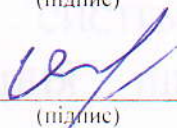
5. Дата видачі завдання «08» жовтня 2024 р.

Здобувач(ка)


 (підпис)
Олег БАРИШЕНКО

(ім'я, прізвище)

Керівник роботи


 (підпис)
Тетяна НІКІТИНА

(ім'я, прізвище)

АНОТАЦІЯ

У роботі розглянуті асинхронні електроприводи регулювання швидкості із частотним перетворювачем, які набувають все більшої популярності та актуальності у зв'язку з продуктивністю та умовами робото здатності. Із розглянутих вже готових рішень електроприводу п.к.д було визначено що переважна їх більшість використовує асинхронний двигун і систему керування перетворювач частоти.

Це дало нам змогу обрати систему електропривода ПЧ-АД. Розглянутий матеріал для розрахунку потужності двигуна , та методом обхода по контуру був розрахований та обраний двигун. Після були розраховані елементи солового контуру перетворювача частоти і обраний перетворювач. Здійснено математичний огляд електромеханічної системи та на основі розрахованих раніше параметрів складена модель в MATLAB Simulink.

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА, АСИНХРОННИЙ
ЕЛЕКТРОПРИВОД, РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ, ЧАСТОТНИЙ
ПЕРЕТВОРЮВАЧ, СИНТЕЗ

ABSTRACT

The paper considers asynchronous speed control electric drives with a frequency converter, which are becoming increasingly popular and relevant due to their performance and operating conditions. From the considered ready-made solutions of the electric drive, it was determined that the vast majority of them use an asynchronous motor and a frequency converter control system.

This allowed us to choose the AC-AC electric drive system. The material for calculating the engine power was considered, and the engine was calculated and selected using the circuit bypass method. After that, the elements of the frequency converter's single circuit were calculated and the converter was selected. A mathematical review of the electromechanical system was carried out and a model was compiled in MATLAB Simulink based on the previously calculated parameters.

ELECTROMECHANICAL SYSTEM, ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE, SPEED CONTROL, FREQUENCY CONVERTER, SYNTHESIS

ВСТУП

Вантажні підвісні канатні дороги (ВПКД) набувають все більшої популярності в умовах гірських, пересічених та важкодоступних місцевостей. Вони дозволяють здійснювати перевезення вантажів на найкоротшій відстані з мінімальними витратами. Як показує практика, використання ВПКД у складних рельєфах значно здешевлює транспортування у порівнянні з іншими видами транспорту, зокрема в 10 і більше разів. Ці дороги використовуються для транспортування сипучих корисних копалин та є важливим елементом промислового транспорту. [1]

Підвісні канатні дороги забезпечують транспортування вантажів при мінімальній кількості опорних систем, що дає можливість ефективно долати водні перешкоди, лінії електропередач, сільськогосподарські угіддя, міські забудови та інші перешкоди. Траси ВПКД можуть бути розташовані на висоті до 6 тис. м над рівнем моря. Основними перевагами ВПКД порівняно з іншими видами транспорту, такими як автомобільний, залізничний, пневмоконтейнерний та інші, є:

- Значне скорочення відстані перевезення, оскільки траси прокладаються по найкоротшому шляху між кінцевими пунктами з можливим ухилом до 45°.
- Неперервна робота незалежно від погодних умов (окрім сильного вітру).
- Низькі капітальні та експлуатаційні витрати на будівництво та експлуатацію ВПКД.
- Мінімальний вплив на навколишнє середовище: зниження потреби в земельних відводах і вирубці лісів.
- Сприяння розвитку високогірних регіонів.
- Відсутність забруднення навколишнього середовища та зниження рівня шуму від роботи транспорту. [2]

Наразі ВПКД активно використовуються по всьому світу, як у південних регіонах (наприклад, на острові Нова Каледонія при розробці нікелю), так і в північних широтах, зокрема в районах за Полярним колом (наприклад, на острові Шпіцберген). У Норвегії, за Полярним колом, побудована канатна дорога «Скороват» довжиною 44,5 км для транспортування піриту. Канатна дорога «Крістенберг болід» в Швеції, довжиною 96 км, використовувалась для транспортування рудного концентрату. У Чилі на висоті 5900 м над рівнем моря ВПКД транспортує сиру сірку. В Індії, в штаті Біхар, побудована восьмисекційна канатна дорога довжиною 53,5 км з продуктивністю 400 т/год. Продуктивність ВПКД за кордоном може досягати 600-650 т/год, в Росії та СНД продуктивність двоканатних доріг становить 400-430 т/год, а одноканатних — до 300 т/год. [1]

Тривалість експлуатації ВПКД складає 30 років і більше. Варто зазначити, що останнім часом ці дороги стали серйозними конкурентами автомобільному транспорту. Так, фахівці німецької компанії PNB Weserhuttle провели техніко-економічне порівняння перевезення сипучих матеріалів самоскидами вантажопідйомністю 30 т і підвісними канатними дорогами для типових умов. За результатами порівняння встановлено, що канатні дороги мають перевагу у вигляді коротших відстаней транспортування, оскільки автомобільний шлях, як правило, значно довший, ніж «повітряна» лінія канатної дороги. [1]

Перспективи розвитку ВПКД є великими. Наприклад, освоєння виробництва модернізованого обладнання для всіх видів канатних доріг може забезпечити продуктивність 750-1000 т/год, а річні перевезення можуть досягти 1,2-1,7 млрд тонн. Вартість будівництва таких доріг за кордоном є порівняно невисокою: 1 км одноканатних доріг коштує від 400 до 600 тис. дол. США, а двоканатних — від 600 тис. до 1 млн дол. США. Вартість транспортування 1 т вантажу на одноканатних дорогах становить від 0,5 до 1 дол. США, а на двоканатних — від 0,7 до 1,5 дол. США. [3]

Німецькі фірми PNB і PNB Weserhuttle продовжують працювати над створенням канатних доріг з продуктивністю 1500-2500 т/год. Теоретичні розробки показали, що досягти такої продуктивності можна, створивши абсолютно нові конструкції автоматизованих доріг з використанням легших вагонеток великої місткості, з підвищеними швидкостями руху і, відповідно, з більшою продуктивністю. [2]

Метою цієї роботи є розробка електроприводу та автоматизації підвісної канатної дороги з урахуванням заданого профілю і вхідних даних.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТЕХНІЧНОЇ І ПАТЕНТНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Підвісні дороги на відміну від наземних доріг характеризуються наявністю підвісного канатного або рейкового шляху, по якому відбувається рух вагонеток.

Найхарактернішою ознакою для класифікації підвісних доріг є рід тяги; він в основному впливає на конструкцію підвісної дороги і визначає тип рухомого складу, тягові органи, приводи, а також в більшості випадків і тип підвісної шляхи. Відповідно роду тяги все підвісні дороги можна розбити на дві основні групи. [3]

Підвісні дороги з централізованою (канатною) тягою - так звані підвісні канатні дороги, в яких все вагонетки на лінії з'єднуються з нескінченним тяговим канатом, що має стаціонарний привід. На проміжних і кінцевих станціях вагонетки можуть відключатися від тягового каната і переміщатися вручну, самокатом або за допомогою механічних пристроїв по підвісним рейковим шляхах; шляхи за допомогою стрілок, хрестовин і інших перекладних пристроїв можуть мати будь-які відгалуження.

Канатна тяга не вимагає зчеплення ходових коліс з дорогою і тому дозволяє мати канатний шлях з крутими нахилами і вельми великими прольотами між опорами. [3]

Довжина канатних доріг не обмежена, причому дороги великої довжини складаються з ряду послідовно розташованих приводних ділянок з проміжними станціями. Траса дороги може мати форму ламаної лінії з кутовими проміжними станціями.

Підвісні дороги з децентралізованою тягою, в яких є самохідні вагонетки або ж групи вагонеток переміщуються за допомогою локомотивів. Відмітною властивістю цієї групи доріг є також горизонтальний або з невеликим нахилом підвісний шлях, в основному рейковий (за умовами зчеплення приводних коліс), а також можливість постачати самохідні вагонетки підйомними

механізмами. Ці дороги виконуються з електричної, рідше тягою тепловоза; зустрічаються окремі випадки застосування самохідних вагонеток на канатному шляху з тягою тепловоза і пропелером (без приводних коліс) або з гусеничним ходом (клинчасті гусениці, затискаються несучий канат). [3]

Підвісні канатні дороги поділяються на два типи: двоканатні і одноканатні.

У двоканатних дорогах є два роду канатів: несучі канати, по яких котяться ходові колеса вагонеток, і тяговий канат, за допомогою якого проводиться рух вагонеток. [4]

При заміні несучого каната на всьому протязі (або частини) дороги підвісною рейкою двоканатна дорога перетворюється в підвісну рейкову дорогу з канатною тягою.

Канатні дороги служать для вантажного руху і для пасажирських перевезень; існують також вантажопасажирські дороги. Пасажирські канатні дороги виконуються дво і одноканатними, з маятниковий і кільцевим рухом вагонів. [4]

Пасажирські підвісні канатні дороги

Принцип дії пасажирських підвісних канатних доріг аналогічний принципу дії вантажних підвісних канатних доріг. Пасажирські підвісні канатні дороги виконують одно і двоканатними; вони мають кільцевий і маятниковий рух. Принципова відмінність пасажирських канатних доріг від вантажних полягає в конструкції рухомого складу і підвищених вимогах до безпеки. По конструкції рухомого складу пасажирські підвісні канатні дороги:

Крісельні (зазвичай одноканатні кільцеві) - з відкритими кріслами або легкими напіввідкритими кабінами, підвішеними до безперервно рухаючого несуче-тягового каната; посадка і висадка пасажирів відбувається на ходу. Перша одномісна крісельна канатна дорога була побудована в США в 1935 році; в наш час крісельні канатні дороги існують майже в усіх країнах світу і продовжують будуватися неослабний темпами. Крісельні канатні дороги є універсальним транспортним засобом, обслуговуючим гірськолижників і

любителів літніх гірських атракціонів, відвідувачів високогірних курортів і туристів. Для лижників і сноубордистів перевага крісельної дороги перед буксировочною очевидна - це підйом в комфортабельному кріслі з підніжкою, що сприяє найбільш повному відновленню лижників перед спуском, а також можливістю її цілорічної експлуатації.

Крісельні канатні дороги складаються з приводних і обвідних станцій, натягача, рухомого складу (в даному випадку - крісел) і лінійних опор з роликівими балансирами, що підтримують канат. Канат виконує несучу і тягову функції, натяжка каната здійснюється противагою або гідравлічною системою. Як рухомого складу використовуються крісла від 2-місних до 12-місних з відчіплювати або фіксованими зажимами. Канатні дороги з невідчепними кріслами (постійно закріпленими на канаті) набули великого поширення і будуються досі, хоча в сучасних гірськолижних центрах перевагу мають дороги з відчіплювати кріслами. [5]

З урахуванням вимог діючих правил безпеки, швидкість руху канатних доріг з невідчепними кріслами при перевезенні звичайних пасажирів не перевищує 2,25 м / с, а при перевезенні лижників - 2,5 м / с. Максимальна пропускна здатність дороги становить: 1200 осіб / год для дороги з 2-місцевими кріслами і 1800 чол / год для дороги з 4-місцевими кріслами. На майданчиках посадки встановлюється спеціальний турнікет, автоматично «дозуючий» чергу пасажирів за окремими крісел (турнікети незамінні при експлуатації доріг з 4-8-місцевими кріслами), як додатковий засіб, що допомагає організувати одночасну посадку в крісло шести і більше лижників, застосовуються спеціальні посадочні конвеєри, попередньо розставляють лижників в ряд. На виході зі станції крісла розганяються до швидкості 5 м / с, затискачі автоматично закриваються і фіксуються на канаті - така схема дозволяє пасажирам комфортніше здійснювати посадку і висадку і вдвічі скорочувати час проїзду. [5]

Пропускна здатність канатних доріг, оснащених кріслами з відчіплювати зажимами, може досягати 2600 осіб / год (для дороги з 4-місцевими відчіплювати кріслами) і до 4000 чол / год (для дороги з 8-місцевими відчіплювати кріслами). Гондольні (одно- або двоканатні кільцеві) з кабінами (гондолами) або кріслами, відчіплювати від каната на кінцевих станціях і забезпечують більш комфортабельний вхід і вихід пасажирів. Кабіна канатні дороги є універсальним транспортним засобом, обслуговуючим гірськолижників і любителів літніх гірських атракціонів, відвідувачів високогірних курортів і туристів; використовуються в якості транспортних магістралей для подолання водних перешкод і гірських ущелин.

За типом руху кабіни канатні дороги поділяють на два класи: з маятниковий (зворотно-поступальним) і кільцевих режимом руху. До переваг маятникових гондольних доріг можна віднести простоту конструкції станцій, недоліком є різке зниження продуктивності зі збільшенням довжини дороги. Як рухомого складу гондольних канатних доріг застосовуються групи з декількох кабін місткістю від 6 до 24 осіб або окремі вагони місткістю від 28 до 150 чоловік в залежності від необхідної продуктивності. Маятникова схема набула найбільшого поширення в зв'язку з тим, що вона забезпечує сталість пасажиропотоку і максимальну продуктивність. Розрізняють дороги з рівномірним розміщенням кабін по лінії і з декількома групами кабін. [5]

Дороги з кільцевих режимом руху можна розділити на дороги з постійно закріпленими і відчіплювати кабінами. Кабіна канатні дороги складаються з приводний і обвідний станцій, натягача, рухомого складу (кабін) і лінійних опор з роликівими балансирами, що підтримують канат. Натяжка каната здійснюється противагою або гідравлічною системою. З урахуванням вимог діючих Правил безпеки швидкість руху канатних доріг з невідчепними кабінами з кільцевим пульсуючим рухом груп 2-6-місних кабін не повинна перевищувати 4 м / с; посадка і висадка пасажирів на станціях здійснюється при зупиненому рухомому складі або на швидкості 0,2-0,5 м / с.

Продуктивність доріг такого типу залежить від кількості груп кабін, кількості кабін у всіх групах і типи кабін і не перевищує 500 чол / год. Дороги даного класу зазвичай застосовуються для вирішення проблем транспортного та екскурсійного обслуговування. Для швидкої доставки пасажирів на відстані понад 1000 м широко застосовуються кабінні канатні дороги з відчіплювачами на станціях рухомим складом: несуче-тяговий канат на таких дорогах рухається з постійною швидкістю 6 м / с, під час посадки і висадки пасажирів на станціях кабінні з розкритими зажимами рухаються за спеціальним конвеєром зі швидкістю 0,3 м / с, на виході зі станції кабінні розганяються до швидкості 6 м / с, затискачі автоматично закриваються і фіксуються на канаті. [6]

Кабіни кріпляться до канату за допомогою спеціальних відчіплювачів затискачів, які не потребують ніякого технічного обслуговування. При вході гондоли на станцію її затиск відчіплюється від тягово-несучого каната, і вона переходить на станційний підвісний конвеєр, при цьому швидкість кабінні зменшується до 0,3 м / с, її двері автоматично відкриваються і пасажири виходять; потім гондола продовжує свій рух на станційному конвеєрі на іншу сторону станції, пасажири заходять в кабінну, двері автоматично закриваються, гондола розганяється конвеєром до швидкості каната, затиск захоплює канат і гондола виходить зі станції; зовні кабінні передбачені спеціальні ніші для лиж. Поруч з приводний станцією споруджується гараж для паркування гондол на час зупинки або технічного обслуговування дороги, всередині гаража гондоли переміщуються по направляючої рейки вручну або за допомогою ланцюгового конвеєра. Гондольні дороги виконують як транспортну функцію доставки пасажирів від житлових зон або паркінгів в зону гірськолижного катання, так і для доставки лижників до початку гірськолижної траси. Крім того, гондольні дороги успішно використовуються в теплу пору року для екскурсійних та туристичних цілей. Різновидом гондольних доріг є система, в якій використовуються два тягово-несучих каната і кабінні місткістю до 36 пасажирів, продуктивність цих доріг становить до 4500 чол / год. На відміну

від традиційних систем, що дозволяють експлуатацію при швидкості вітру не більше 15 м / с дорога такого типу може експлуатуватися при швидкості до 25 м / с.

Буксирівані (одноканатні кільцеві) з невідчепними підвісками (бугелями), забезпеченими буксиріваними приладами для одного або двох лижників (пасажери захоплюють прилади на ходу). До складу буксированої (бугеля) канатної дороги входять:

- Верхня і нижня станції (приводний і натяжна або поєднаний привід-натяжка і обвідна станція);
- Лінійні опори з балансирами, що підтримують несуче-тяговий канат;
- Буксирівальні пристрої.

Буксирівані канатні дороги (БКД) призначені для експлуатації в зимовий час року і служать для транспортування лижників і сноубордистів вгору по схилу шляхом буксирівання. Приводна станція може розміщуватися як вгорі схилу, так і внизу - в залежності від зручності підведення електроенергії. Натяг каната може регулюватися як за допомогою контрвантажу, так і циліндрами гідронатяжки. Залежно від кількості посадочних місць на буксирівальному пристрої, БКД діляться на двомісні та одномісні. Буксирне пристрій повинен забезпечувати плавність на початку руху лижника за рахунок витяжки троса; рекомендована швидкість руху БКД від 2 до 3,5 м / с. Існують дороги з накопичувачем буксиріваних пристроїв, проте ВКД з накопичувачами знаходять все менше застосування, в зв'язку з ривками, що виникають при посадці. [3] Буксирівальні канатні дороги можуть бути не тільки прямолінійними, але мати і повороти траси. Використовуються два типи буксирівальних канатних доріг:

тип 1. Дорога з Т-подібними опорами і буксиріваними пристроями з витяжкою буксиріваного троса 6,5 м - такі буксирівані пристрої забезпечують плавність руху і зручність посадки;

тип 2. Дорога до П-образними опорами і буксируваними пристроями штангового типу з витяжкою троса 1 м.

Швидкість руху таких доріг від 2,4 до 2,8 м / с; максимальна продуктивність доріг з одномісними буксируваними пристроями становить 720 чол / год при довжині схилу до 600 м. Максимальна продуктивність буксируваних канатних доріг з двомісними буксируваними пристроями становить 1200 чол / год, що обумовлено умовами безпечної посадки і руху; швидкість становить 3-3,5 м / с. Застосування доріг даного типу рекомендується на схилах від 400 до 1700 м. Перевагою доріг даного типу є можливість швидкого монтажу-демонтажу. Максимальна пропускна здатність для доріг з одномісними бугелями - 900 чол / год і двомісними - 1200 осіб / год. [5]

Бугелі безпечні для лижників, надійні при експлуатації і найбільш прості в обслуговуванні, а також економічні по споживанню електроенергії. Привід буксированої канатної дороги знаходиться на нижньої станції. Тяговий канат розташований у вертикальній площині, тому його зворотна гілка спуску підтримується Г-подібними опорами з роликами. Положення нижньої підйомної гілки каната може регулюватися по висоті в залежності від висоти снігового покриву. Для вільного проходження снігової машини нижня гілка каната може бути піднята на висоту верхньої. Нижня станція буксированої дороги оснащена приводом з вантажною натяжкою.[5]

Елементи ПКД і рухомий склад

Несучі канати. Як несучі застосовують закриті канати ГОСТ 7675-73 і ГОСТ 7676-73 з зовнішнім рядом фасонних S-образних дротів. Відрізки несучих канатів з'єднують за допомогою лінійних муфт з гвинтовою стяжкою (Рисунок 4). Кінці з'єднуються канатів заводять в половинки муфти, розплітає, заклинивають сталевими клинами, затягують у внутрішні конусні частини напівмуфти і з'єднують гвинтовими стяжкою. [3]

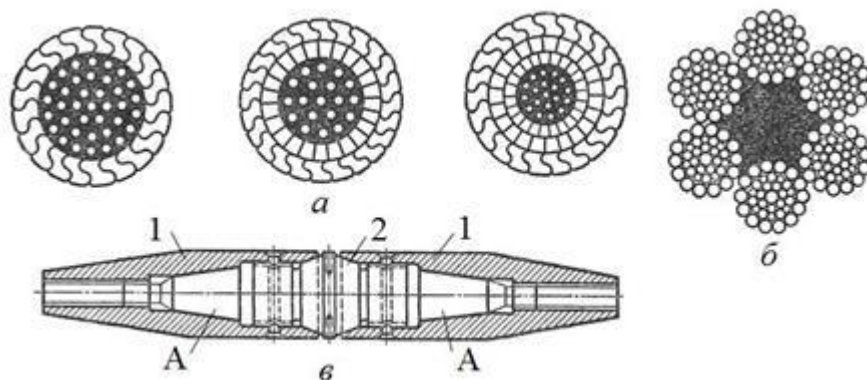


Рисунок 1.1 - Несучі і тягові елементи канатної дороги:

a – перетин несучих канатів; *б* – перетин тягового каната; *в* – лінійна муфта

1 - напівмуфта; 2 - гвинтова стяжка; А - конусні частини напівмуфти

Тягові і несуче-тягові канати при експлуатації піддаються частим перегинів на шківках, блоках і роликах, а також стиснення в затискачах зчіпних приладів і стирання. [6]

Тягові і несуче-тягові канати повинні мати підвищену гнучкість, гладку зовнішню поверхню, податливість при поперечному стисненні для надійного кріплення в затисках, високу міцність і довговічність. Як тягових і несуче-тягових канатів використовують канати типу ЛКО.

З'єднання окремих ділянок канатів виконують счалкой, довжину счалкі приймають не менше 1000 діаметрів каната для вантажних і не менше 3000 діаметрів каната для пасажирських доріг. Рухомий склад вантажних канатних

доріг. Вагонетки двоканатних вантажних канатних доріг з кільцевим рухом (основний тип) виготовляють з перекидним кузовом (Рисунок 5) або днищем.

Завдяки шарніру кузов зберігає вертикальне положення на похилих ділянках дороги. Цапфи розташовані нижче центра ваги завантаженого кузова і вище його центру ваги в завантаженому стані, крім того цапфи зміщені від осі симетрії кузова, тому завантажений кузов легко перекидається і повертається у вихідне положення після розвантаження. [6]

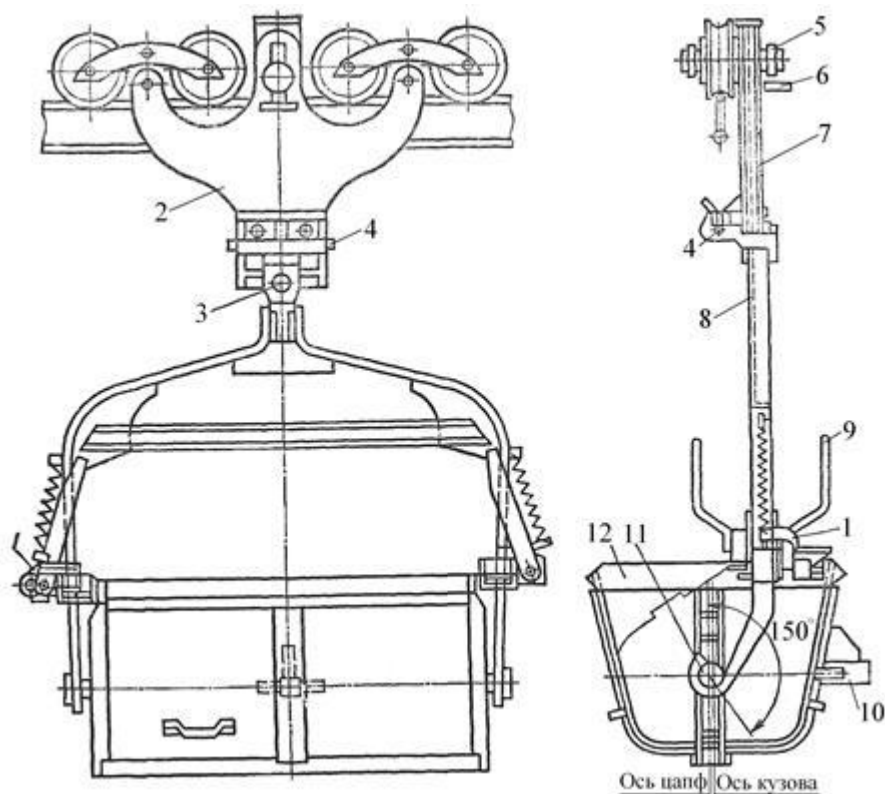


Рисунок 1.2 - Вагонетка з перекидним кузовом:

- 1 - засувка; 2 - візок; 3 - шарнір; 4 - затискний апарат; 5 - бічний ролик;
 6 - шина; 7 - тяга; 8 - підвіска; 9 - запірний важіль; 10 - палець; 11 -
 цапфа; 12 – кузов

При наїзді бокового ролика на шину рухома щока повертається, і затиск звільняє тяговий канат, під час сходження ролика з шини тяговий канат

затискається щоками і вагонетка прикріплюється (операції причеплення і відчеплення відбуваються автоматично).

Нормальний ряд вантажопідйомності ходових візків вагонеток (включаючи маси вантажу, кузова і підвіски): 800; 1250; 2000; 3200 кг. Місткість кузова 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2 м³.

Рухомий склад пасажирських канатних доріг. Рухомий склад вітчизняних крісельних одноканатних пасажирських доріг складається з невідчепних одномісних або двомісних крісел правого і лівого виконання з підніжкою або без підніжки і двомісних кабін. [3]

Крісла (Рисунок 1.3) і кабіни (Рисунок 1.4) прикріплюються до несучого каната пружинно-гвинтовим затискачем, пов'язаним з підвіскою з сидінням крісла або каркасом кабіни.

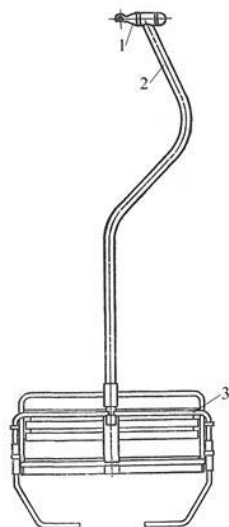


Рисунок 1.3 - Крісло крісельної пасажирської підвісної канатної дороги:

1 - пружинно-гвинтовий затиск; 2 - підвіска; 3 – сидіння

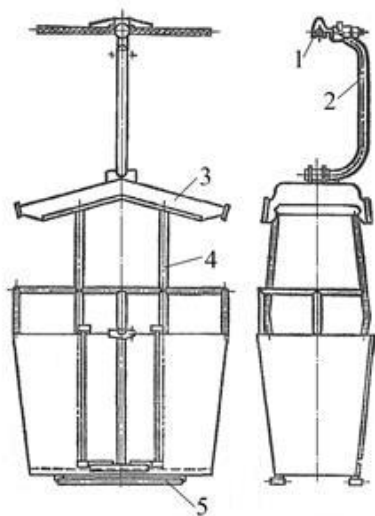


Рисунок 1.4 - Кабіна крісельної

пасажирської підвісної канатної дороги:

1 - пружинно-гвинтовий затиск; 2 - підвіска;
3 - козирок; 4 - каркас кабіни; 5 - двері

Кабіни виконуються з козирками або без козирків і забезпечуються дверима. Конструкція і розміри крісел підвісних канатних доріг стандартизовані.

Вагони вітчизняних маятникових пасажирських підвісних доріг виконують 10-, 20-, 40-, 60-, 80-, 100-, 125-місцевими. Конструкція таких вагонів включає візок, підвіску і кабіну. [7]

Привід. Переважне застосування в вантажних і пасажирських канатних дорогах з кільцевих і маятникових рухом має фрикційний привід з канатоведучих шківів.

Сили зчеплення залежать від коефіцієнта тертя між канатом і канатоведущим шківом, кута обхвату канатоведущого шківа канатом (Рисунок 8) і зусилля натягу гілок каната на канатотяговому шківі. Для збільшення коефіцієнта зчеплення μ каната з шківом ($\mu = 0,1-0,12$) використовують затискачі канатів різних типів і футерування струмка шківа. Затискачі мають менше поширення через великі місцевих опорів, які сприяють швидкому зносу самих затискачів і каната. [7]

Найбільш раціональним і надійним способом підвищення коефіцієнта зчеплення μ є Футерування струмка шківа в'язкопружним матеріалом (зносостійка гума, що забезпечує $\mu = 0,22$ і працездатність при температурі від $+40$ до -25 ° C). Конструкція і розміри шківів пасажирських канатних доріг регламентовані стандартами.

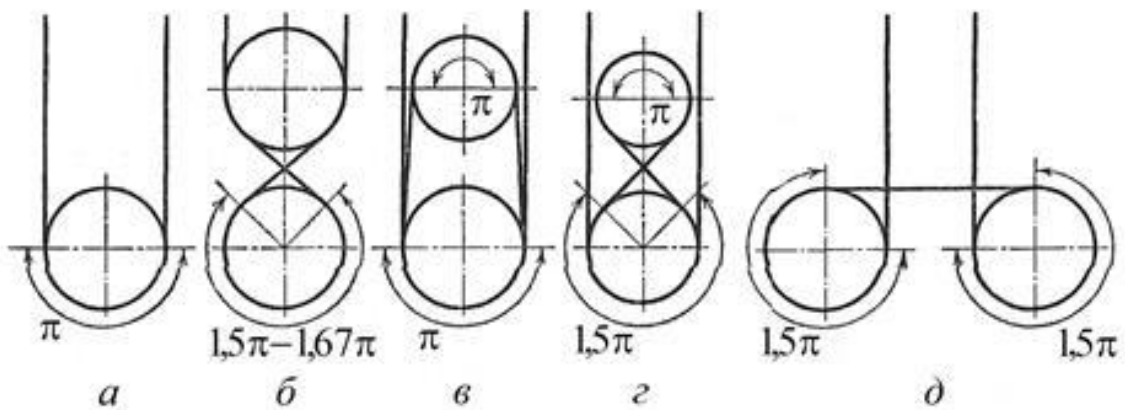


Рисунок 1.5- Схем обхвату канатоведучого шківа канатом

Існує кілька схем обхвату канатоведущого шківа канатом (Рисунок 1.5). Найпростіша з схем обхвату шківа (Рисунок 1.5, а) забезпечує найменшу тягову здатність. Для її підвищення, наприклад, канатоведучий шків виконують двохжолоба і огинають канатом двічі (Рисунок 1.5, в, г), проте при цьому відбувається нерівномірний знос парних жолобів шківа і каната. [7]

У конструкції приводу з двома послідовно розташованими шківками (Рисунок 1.5, д) канатоведучих шківки приводяться в обертання електродвигунами, що мають різну потужність з урахуванням того, що при однакових кутах обхвату вони передають різні тягові зусилля, що відрізняються приблизно вдвічі.

Найбільш раціональною є схема обхвату канатоведущого шківа канатом (Рисунок 1.5, б), в якій вал одноручьового футерованого канатоведущого шківа, опертий на підшипники, приводиться в обертання електродвигуном приводного механізму. Всі елементи приводу встановлені на загальній зварній рамі.

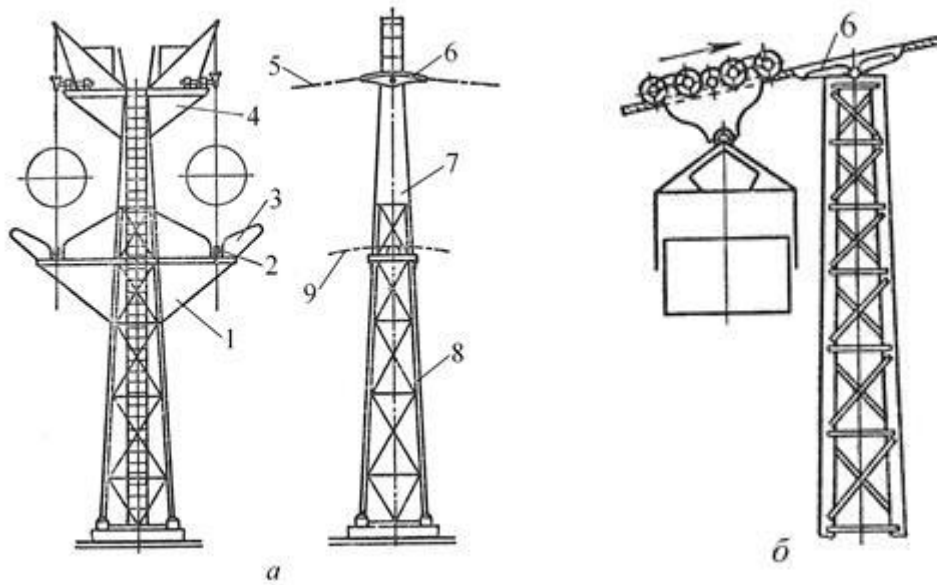
У підвісних канатних дорогах зазвичай встановлюється електричний привід. Дороги, розташовані у важкодоступних гірських місцевостях, віддалених від ліній електропередач, забезпечують дизельними електричними приводами. [7]

Лінійні споруди. До лінійних споруд відносяться опори і лінійні станції.

Опори (Рисунок 1.6) підтримують несучі і тягові канати на лінії і виготовляються металевими або железобетонними висотою 5-30 м; відстань між осями несучих канатів на опорі (колія) становить 3; 4; 6.

На Рисунок 1.6. зображена металева опора двоканатного кільцевої вантажний підвісної дороги: а - конструкція; б - башмак опори; 1 - нижні консолі; 2 - ролики; 3 - дуга; 4 - верхні консолі; 5 - несучі канати;

6 - черевики; 7 - головна частина; 8 - пірамідальні секції; 9 - тяговий канат;



Малюнок. 1.6 – Опори підвісних канатних доріг

Лінійні станції (Рисунок 1.7) встановлюють в місцях стику ділянок несучого каната і виконують подвійними натяжними, подвійними якірними і якірно-натяжними.

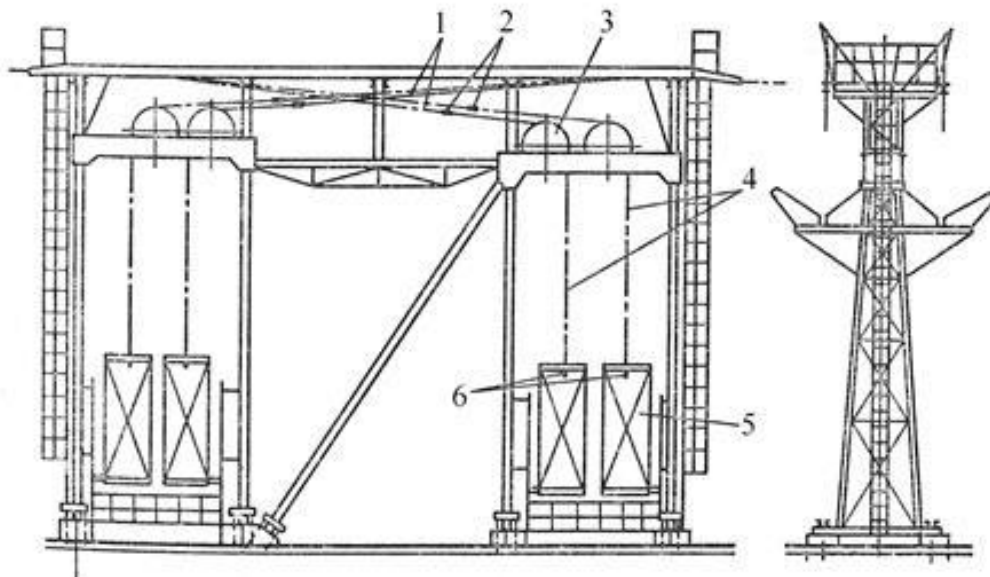


Рисунок 1.7 - Подвійна натяжна лінійна станція:

- 1 - несучий канат; 2 - перехідна муфта; 3 - блок;
- 4 - натяжна канат; 5 - контрвантаж; 6 - кінцева муфта.

На подвійній натяжній станції обидва несучих каната кожного з стикуються ділянок за допомогою відхиляють черевиків відводяться всередину станції, стикуються перехідними муфтами з натяжними канатами, перекинутими через блоки, і натягуються контрвантажами. З рамами контрвантажів натяжні канати з'єднані кінцевими муфтами. [7]

На подвійній якірної станції (Рисунок 1.7) кінці несучих канатів, відведені всередину станції за допомогою відхиляють черевиків, заякорюють в металоконструкції станції за допомогою анкерної плити зі сферичною подушкою і кінцевий муфти. [7]

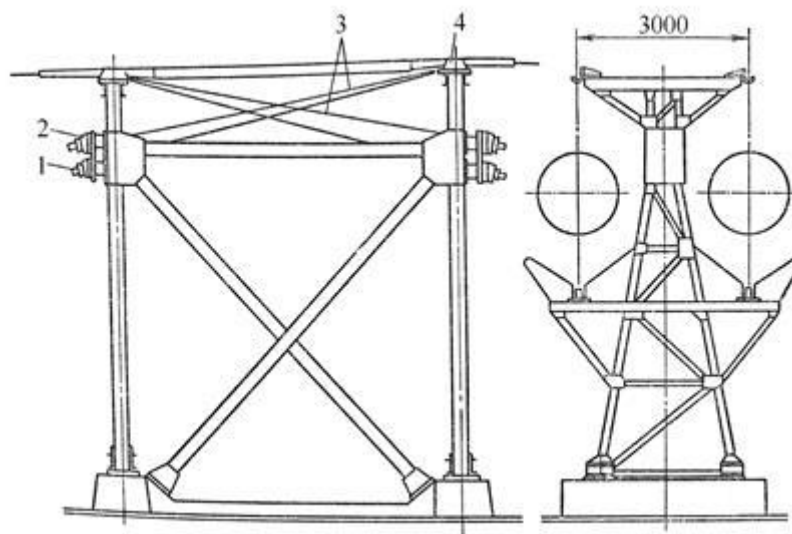


Рисунок 1.8 - Подвійна якірна лінійна станція:

1 - кінцева муфта; 2 - анкерна плита; 3 - несучий канат; 4 - відхиляє черевик

Станції та їх обладнання. Станції вантажних канатних доріг за призначенням класифікують на вантажні; розвантажувальні; кутові; прохідні; вузлові.

Вантажно-розвантажувальні роботи станція - це відповідний пункт, який представляє собою наземне спорудження, в якому розміщуються:

- Жорсткий рейковий шлях (на нього переходять вагонетки на станції);

- Вимикач, який забезпечує від'єднання розвантажених вагонеток від тягового каната;
- Пристрій для уповільнення руху вагонеток перед вантаженням (рейковий шлях з підйомом або гальмівні шини);
- Пристрій для примусового просування відключених вагонеток по рейковому шляху;
- Бункери, дозатори, живильники - пристрої для накопичення вантажу на станції і дозованої завантаження вагонеток;
- Пристрій для розгону завантажених вагонеток до швидкості тягового каната (похила гірка або батарея футерованих роликів);
- Вмикач, що забезпечує автоматичне під'єднання вагонеток до тягового каната. [7]

Розвантажувальна станція - це кінцевий пункт вантажних канатних доріг, де відбувається розвантаження. Тут розвантажені вагонетки обходять навколо обвідного шківів і повертаються до вихідної частини станції, потім відключаються від конвеєра (або допоміжного каната), підключаються до тягового каната і йдуть на лінію.

Кутові станції встановлюють в пунктах повороту траси: якщо на станції не встановлені привід або натягач, то вона працює автоматично, тобто вагонетки проходять її, не відключаючи від тягового каната.

Прохідні станції встановлюють в місцях сполучення приводних ділянок вантажних канатних доріг великої довжини, що мають кілька приводів: вагонетки відключаються від тягового каната і рухаються по рейковому шляху за інерцією в сторону вимикача, який підключає їх до тягового каната іншого приводного ділянки дороги. [7]

Вузлові станції встановлюють в місцях розгалуження лінії вантажний канатної дороги, примикання до неї іншої дороги або перетину декількох доріг: стрілки рейкових шляхів переводяться автоматично з пульта управління за сигналом кінцевих вимикачів, встановлених на візках вагонеток.

Захисні споруди. До захисних споруд відносяться запобіжні мережі (Рисунок 12) і мости (Рисунок 13), огорожувальні простір від можливого падіння вантажу з вагонетки або самої вагонетки в разі аварії

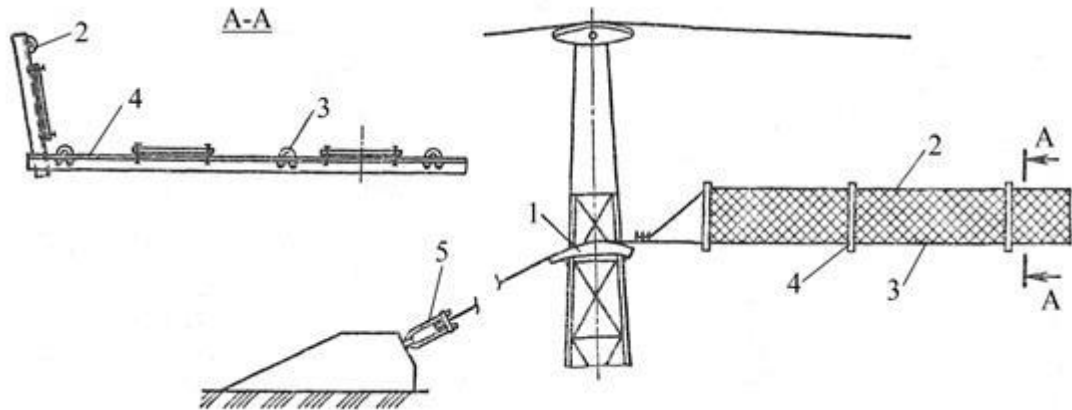


Рисунок 1.9 - Захисна мережу:

- 1 - башмак; 2 - каркас з бортових канатів; 3 - мережеві канати;
4 - поперечки; 5 - якірне пристрій.

Основними параметрами підвісних канатних доріг є:

- Довжина канатних доріг не обмежена, тому що дорогу можна утворювати з багатьох послідовно з'єднуються самостійних секцій;
- Ухил траси не більше 30° ;
- Продуктивність вантажних канатних доріг досягає $600\text{т} / \text{ч}$;
- Вантажопідйомність вагонеток 2-3 т;
- Швидкість руху вагонеток на лінії до $3,2\text{ м} / \text{с}$;
- Пропускна здатність пасажирських підвісних канатних доріг 2000-3000 чол. / Год.

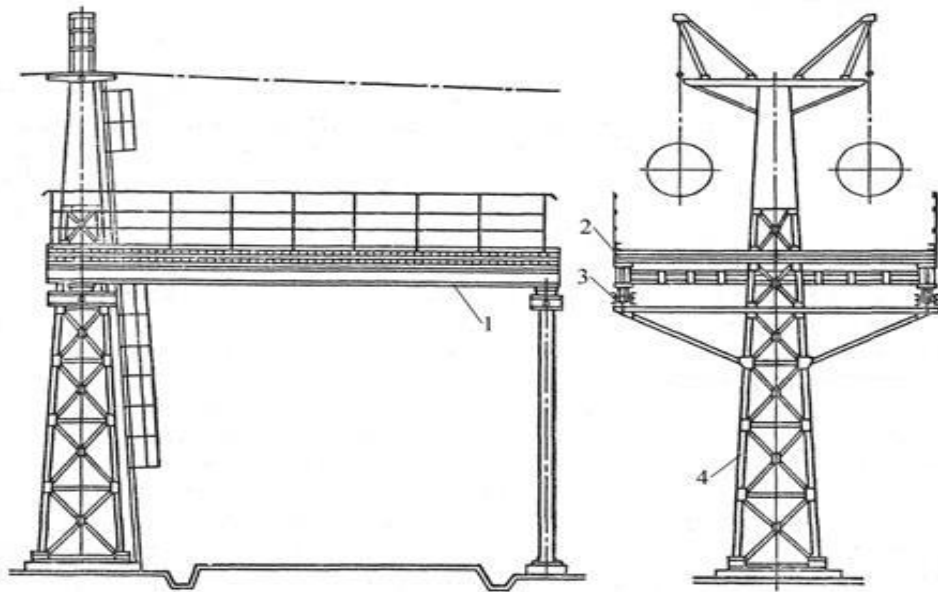


Рисунок 1.10 - Запобіжний міст:

1 - пролетное будова; 2 - настил; 3 - пружинні опори; 4 - лінійна опора

Основними розрахунковими навантаженнями підвісних канатних доріг є:

- Натяг в збігає гілки тягового каната;
- Натяг в набігає гілки тягового каната;
- Сили опору руху на характерних ділянках траси завантаженої і холостої віток: прямолінійних, похилих; ділянках повороту на канатотяговому і обвідних шківках, на роликового батареї і т.д.

Зі збільшенням місткості вагонеток зменшується їх кількість, збільшується інтервал випуску вагонеток на лінію і полегшується механізація завантаження, але при цьому зростає діаметр несучого каната і вартість дороги. [7]

З підвищенням швидкості при тій же продуктивності збільшується відстань між вагонетками на лінії, знижується загальне навантаження на несучий і тяговий канати дороги.

Найоптимальнішим варіантом при виборі траси дороги за відсутності перешкод для установки опор є прямолінійна траса.

При наявності залізних і автомобільних доріг, населених пунктів, річок і каналів, ліній електропередач, промислових будівель і споруд на шляху споруджуваної підвісної канатної дороги розглядають техніко-економічні показники альтернативних варіантів (з прямою і ламаною в плані трасами) і вибирають з них оптимальний.

При великій довжині дороги і необхідності декількох приводних ділянок доцільно для скорочення кількості приводів збільшувати потужність приводів, міцність тягового каната, а також швидкість руху (для зниження розподіленого навантаження). [8]

Приводи суміжних приводних ділянок доцільно розміщувати на одній станції і в одному машинному приміщенні. Так як потужності приводів і натягу тягових канатів виконуються (по можливості) однаковими, приводні ділянки встановлюють з однаковими речами висот h кінцевих точок і однаковими довжинами прольотів L . Поздовжній профіль дороги може бути прямим, увігнутим і опуклим (Рисунок 1).

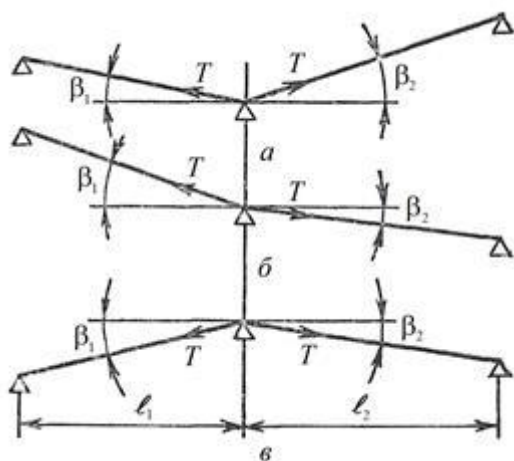


Рисунок 1.11- Профили подвесной канатной дороги:

a, b – вогнутые; v – выпуклый

При побудові профілю підвісної канатної дороги повинні виконуватися вимоги, регламентовані Правилами будови і безпечної експлуатації вантажних і пасажирських підвісних канатних доріг, які передбачають:

- Забезпечення вільного габариту під дорогою (відстань по вертикалі від нижчої точки рухомого складу, а також від будь-якого каната або запобіжного пристрою дороги до землі має бути не менше 2,5 м над незабудованими територіями і не менше 4,5 м - над територіями промислових підприємств, будівельних майданчиків і автомобільними дорогами; над будівлями і спорудами воно повинно бути не менше 1 м);

- Забезпечення габаритів наближення вагонеток на лінії з урахуванням 20% -го бокового гойдання (не менше 1 м до споруд і природних перешкод, не менше 2 м - в місцях проходу людей і не менше 0,5 м - між габаритами зустрічних вагонеток);

- Надійність прилягання несучих канатів до опорних башмаків на увігнутих ділянках профілю з коефіцієнтом запасу;

- Плавність профілю дороги, що забезпечується таким розміщенням опор на опуклих ділянках траси, при якому кути δ перегину несучого каната (Рисунок 15), зростаючі на опуклих ділянках при підході вагонетки до опори, приблизно однакові, а $\text{tg}\delta \leq 0,08$;

- Рівномірність навантаження приводу, що досягається розміщенням опор, при якій на підході до них (місця траси, де кути підйому максимальні) одночасно перебуває не більше 25% загальної кількості вагонеток всієї лінії.

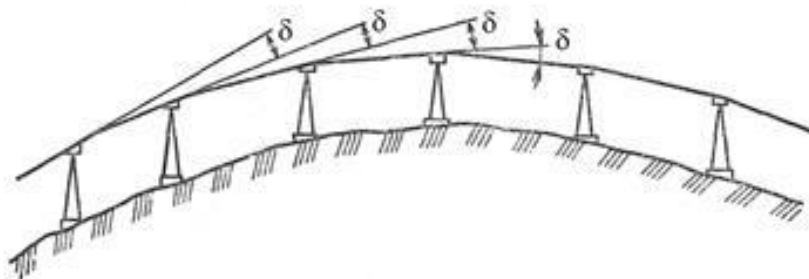


Рисунок 1.12. Опукла ділянку профілю підвісної канатної дороги

На рівнинній місцевості опори розташовують на рівній відстані один від одного з прольотом $\ell = 80-150$ м, а при дорогих підставах під опори прольоти збільшують до 200-300 м. Опори біля станцій розташовують на відстані 40-60 м від них. Висота опор становить 8-12 м з обов'язковим дотриманням вимог вільного габариту над дорогою.

Колію дороги приймають 3 і 4 м, для доріг малої довжини - 6 м (по діаметру обвідного шківа). Після вибору колії виконують перевірку прохідності вагонеток в найдовшому прольоті дороги з урахуванням розгойдування при дії вітру.

В розглянутих патентах здебільшого пропонуються рішення питань, вдосконалення конструкцій елементів підвісних канатних доріг, а саме:

В заявці № РСТ/RU2011/000043 від дати : 27 янв 2011.

Міська канатна дорога, яка містить кінцеві і проміжні пасажирські станції, з'єднані між собою шляхами, що складається з одного і більше тягових і несучих сталевих канатів, на яких за допомогою каретки, коліс і відчіплювати затиску підвішені пасажирські вагони, які рухаються тяговим канатом за допомогою приводу, при цьому кінцеві та проміжні пасажирські станції обладнані конвеєрами для зупинки пасажирських вагонів, а між станціями встановлені проміжні опори з системою роликів балансірів, обладнаної уловлювачами і блокувальними пристроями, висота закріплення якої варіюється в залежності від рельєфу місцевості і висоти будівель, розташованих під шляхами руху, що відрізняється тим, що привід виконаний дискретним, що містить мехатронні рушії у яких всі двигуни мають один блок управління і з'єднані між собою за принципом електричного вала; при цьому міська канатна дорога забезпечена пересадковими станціями, встановленими на арочні опори над проїжджими частинами вулиць зі збереженням під ними габаритів для руху міського автотранспорту, обладнаними конвеєрами з системою механічної переадресації пасажирських вагонів на інші шляхи руху і з'єднаними з усіма станціями, в кожному напрямку, не менше ніж двома

незалежними шляхами, що складаються з одного і більше тягових і несучих канатів; підвісними опорами, встановленими на коліях між проміжними опорами, що містять раму, один або більше затискачів, що охоплюють з двох сторін несучі канати, і один або більше підтримують канатних блоків для тягових канатів, що спираються на еластичні замкнуті тягові органи мехатронних рушіїв дискретного приводу, встановлених на проміжних опорах, при цьому кінематична ланцюг мехатронного рушія містить один або більше двигун, робоче гальмо, шарніри рівних кутових швидкостей, систему роликів балансирів, в якій хоча б один з роликів одного з балансира забезпечений аварійним гальмом, а еластичний замкнутий тяговий орган огинає все ролики системи балансирів, підвішеною до проміжних опор за допомогою шарнірно-зчленованою конструкції, оснащеної демпферною системою. [9]

В заявці № В61В7/06 від дати : 22.05.80. Самохідна система підвісної канатної дороги містить підвішений до візка тяговий шків з запасним на ньому канатом, з'єднаний з встановленим на вагоні приводом, при цьому кінці каната закріплені на кінцевих станціях підвісної канатної дороги, яка відрізняється тим, що, з метою підвищення ефективності системи шляхом збільшення терміну служби каната, вона забезпечена встановленими на кінцевих станціях обвідними шківками, охопленими канатом, а тяговий шків виконаний з двома канавками, з протилежних сторін яких охоплені

Для приведення в рух вагона в обраному напрямку за допомогою реверсивного приводу 4 шківів 1 приймає обертальний рух. При обертанні шківів 1 проти годинникової стрілки натяг в вітки каната 7, набігає на верхню канавку шківів 1, збільшується. При цьому збігає з тієї ж канавки гілка каната 7 через шківів 6 переходить в набігає на нижню канавку шківів 1 гілка. Натяг в вітки каната 7, що збігає з нижньої канавки шківів 1, зменшується. Внаслідок того, що натяг в вітки каната 7, набігає на верхню канавку шківів 1, збільшується, а натяг в гілку, що збігає з нижньої канавки шківів 1, зменшується, різниця між

цими натягу викликає переміщення шківів 1 і, отже, кабіни 5 (в даному випадку зліва направо). Пропонована система забезпечує виведення застрягле вагона при випадковій зупинці приводу за допомогою одного з обвідних шківів шляхом обертання останнього. [9]

В заявці № u 2014 10069 від дати : 15.09.2014

Підвісна канатна крісельна дорога містить нижню і верхню станції з площадками для посадки і висадки пасажирів, які з'єднані між собою тягово-несним канатом, з приводом з направляючими шківів і блоками, проміжними опорами для підтримки тягово-несного канату, до якого прикріплені крісельні підвіски за допомогою кронштейна та затискача. При цьому вона додатково містить допоміжні канати з приводами, блоками і шківів, траверсні колії та упори, розміщені на станціях, а кожна крісельна підвіска додатково оснащена кареткою, важелем з роликком, встановленим з можливістю взаємодії ролика з упором, шарнірно з'єднаним з кронштейном та затискачами і двома зворотно-витяжними механізмами для її переходу з тягово-несного канату на допоміжний і навпаки.[5]

В заявці № u200607931 від дати : 15.12.2006

Підвісна канатна дорога, яка має дві, або більше опор (стовпів, мачт), між якими натягнуті несучі троси (канати), по яких можуть рухатись візки з вантажем, яка відрізняється тим, що деякі, або всі, опори мають механізм, який виконаний з можливістю пересування місця кріплення тросу доверху і донизу відносно опори, а вантажні візки мають механізм гальмування руху, наприклад центробіжний. [9]

В заявці № a200904421 від дати : 26.04.2011.

Тяговий орган шахтної канатної дороги, що містить сталеві троси, які поміщені у гумову оболонку, що розміщена на шківі тертя, який відрізняється тим, що робоча поверхня шківів тертя та поперечний переріз гумової оболонки мають клиноподібну форму, крім того, на поверхні гумової оболонки виконані поперечні пази.

В заявці № а200906802 від дати : 10.03.2011.

Тяговий орган шахтної канатної дороги, що містить сталеві троси, які поміщені у гумову оболонку, що розміщена на шківі тертя, який відрізняється тим, що робоча поверхня шківів тертя та поперечний переріз гумової оболонки мають клиноподібну форму, крім того, на поверхні гумової оболонки виконані поперечні пази. [10]

Висновок по розділу 1.

У даному розділі було розглянуто класифікацію підвісних канатних доріг. Також розглянули основні елементи підвісних канатних доріг та основні напрямки застосування п.к.д. Було проведено аналітичний огляд технологічного процесу та деякої патентної літератури. Що дало змогу визначити вимоги до електроприводу.

2 ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ. ОБГРУНТУВАННЯ І ВИБІР СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

На маятникових канатних дорогах, як правило, дві кабіни рухаються назустріч одна одній з одночасним зупиненням на кінцевих станціях розвантаженням і навантаженням, після чого здійснюються реверс електроприводу і рух кабін в зворотному напрямку. Маятникові канатні дороги розраховані на досить високу продуктивність, яка характеризується наступними показниками: кількість пасажирів в кабіні-вагоні до 70; швидкість руху до 8-10 м / с; загальна маса переміщуваного вагона до 8-10 т.

Дороги такого виконання вимагають від електроприводу високої точності зупинки вагонів у посадочних майданчиків, а також плавного пуску і гальмування.

Кільцеві канатні дороги мають один безперервно рухаючий канат і автоматичне або ручне приєднання підвісних пасажирських сидінь, ручних утримувачів для лижників, вантажних візків і т. д.

Швидкість руху каната становить найчастіше 1,5-2,5 м / с. З огляду на безперервний рух тягового каната до системи електроприводу кільцевих канатних доріг не пред'являються високі вимоги щодо точності зупинки.

Відзначимо, що найбільш доцільно використання канатних доріг на гірських розробках у випадках, коли траса має значний ухил і вантажі спускаються. При такому профілі приводні двигуни працюють головним чином в режимі рекуперативного гальмування, не споживаючи енергії, а навпаки, віддаючи її в мережу. [11]

Як і для багатьох інших механізмів безперервного транспорту, для електроприводу канатних доріг найбільше застосування знаходять асинхронні двигуни з фазним ротором. Основні вимоги, які пред'являються до електроприводу канатних доріг, є плавний пуск і гальмування системи. Ці

вимоги визначаються головним чином великими масами, які має механічне обладнання дороги, і перевантаженнями канатів, що виникають при різких змінах швидкості. Час пуску і гальмування електроприводу визначається для кожної канатної дороги технічним завданням, проте в середньому воно лежить в межах 10-30 с.. Потужність приводного двигуна визначається по максимальному тяговому зусиллю на канаті і швидкості руху. При розрахунку потужності двигунів канатних доріг, особливо маятникового типу, необхідно враховувати збільшення моменту на валу за рахунок моменту інерції приводу в перехідних процесах.

Основні вимоги, що пред'являються до електроприводу:

- забезпечення плавного пуску двигуна з обмеженим значенням моменту і прискорення ($M_{п} \leq M_{н}$)
- забезпечення реверсу приводу;
- час перехідного процесу менше 1с;
- статична похибка швидкості $\leq 5\%$;
- утримання номінальної швидкості при постійному моменті M_c ;
- забезпечення діапазону регулювання швидкості механізма 10:1
- високі вимоги до перехідних процесів і динамічними показниками системи електроприводу, при регулюванні не повинно відбуватися різких кидків струму і стрибків швидкості, тобто регулювання має здійснюватися плавно, щоб величини перерегулювання швидкості не перевищували п'ятивідсотковий бар'єр. [10]

Вимоги до системи пред'являються виходячи з технологічного процесу і повинні бути реалізовані в ході аналізу і синтезу електроприводу.

Основні вимоги, що пред'являються до системи автоматизації наступні:

- наявність блокувань і захистів;
- мінімальні габарити і маса;
- зручність монтажу, налагодження та діагностики, а також ремонту;
- відповідність вимогам техніки безпеки;

Основні види захисту:

- від струмових перевантажень;
- від зникнення напруги в ланцюзі управління і силовий ланцюга;
- від неправильного чергування фаз;
- від перевищення швидкості.

При виборі електроприводу канатної дороги дуже важливим є попереднє визначення його режиму роботи відповідно до ухилів траси і завантаженням протягом робочого періоду. Електропривод може працювати тільки в руховому режимі, здійснюючи підйом вантажів, тільки в генераторному режимі, виробляючи спуск вантажів, і зі знакозмінної навантаженням, коли, наприклад, за робочу зміну характер навантаження кілька разів змінюється і двигун працює то в генераторному, то в руховому режимі.

У тих випадках, коли електропривод працює тільки в руховому режимі, застосовуються асинхронний двигун з фазним ротором і відносно проста схема управління з багатоступеневим пусковим реостатом. Управління пуском двигуна здійснюється за допомогою командоконтролера, контакти якого введені в ланцюзі котушок реверсивних контакторів і контакторів прискорення. Контроль за пуском двигуна здійснюється електромагнітними реле часу. [10]

На Рис. 2.1 наведені пускові характеристики асинхронного електроприводу канатної дороги. Пуск двигуна проводиться в вісім ступенів, що дозволяє знизити коливання моменту двигуна при перемиканні, а значить, і зменшити коливання прискорень при пуску.

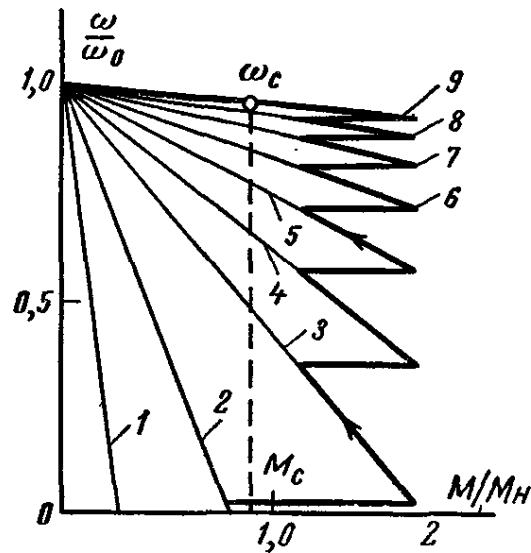


Рисунок. 2.1 - Сімейство механічних характеристик

Застосування асинхронного електроприводу на канатних дорогах доцільно і в тому випадку, коли проводиться спуск вантажів і можлива рекуперація енергії в мережу. Пуск двигуна канатної дороги з активним навантаженням можна зробити простим підняттям гальмівних колодок і, коли швидкість досягне синхронної або близькою до неї, підключити двигун до мережі. Відзначимо, що при такому пуску безпеку установки ставиться в залежність тільки від роботи відцентрового реле, яке здійснює контроль за моментом включення. [10]

Високим вимогам щодо надійності роботи дороги при знакозмінному навантаженні і точності зупинки в належній мірі задовольняє система Г-Д.

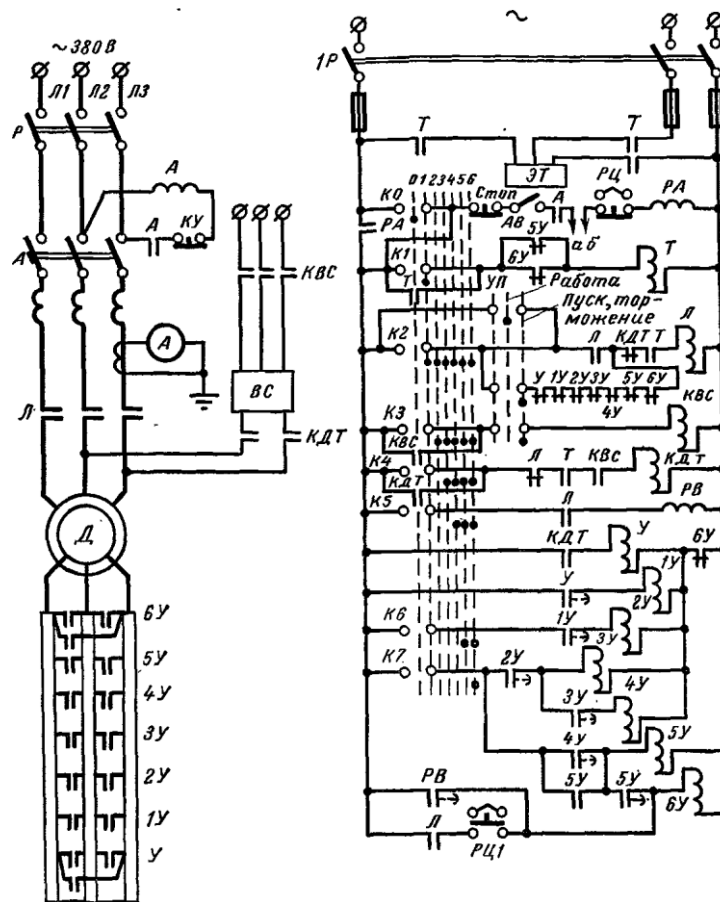


Рисунок 2.2 - Схема керування асинхронним електроприводом канатної дороги з рекуперацією енергії і динамічним гальмуванням.

Управління системою здійснюється за допомогою магнітних підсилювачів МУ-У і МУ-Н, від яких живиться розділена на дві рівні частини і включена в симетричну бруківку схему обмотка збудження генератора. Всі сигнали на пуск і гальмування дороги подаються до керуючих обмоток МУ.[10]

З їх допомогою здійснюється також формування статичних та динамічних характеристик електроприводу. У схемі застосовані негативні зворотні зв'язки за швидкістю і по току з відсіченням. Сигнал, пропорційний швидкості, подається від тахогенератора, на вузол струмообмеження - з компенсаційною обмотки. [10]

Контроль за пуском двигуна проводиться за допомогою реле контролю швидкості і реле часу. Зупиніть двигун, впливом на збудження генератора в кілька ступенів. Сигнали на гальмування подаються колійними датчиками, перший з них встановлюється на відстані приблизно 40 м від станції, другий - 10, третій – 3 м від станції.

Відповідно при першому сигналі напруга на генераторі знижується до такого рівня, при якому швидкість руху складе 1,4 м / с, при другому сигналі вона знижується до 0,28 м / с, а при третьому - двигун загальмовується.

Високий рівень безпеки і надійність роботи канатної дороги з системою Г-Д забезпечуються наявністю ряду захисних і блокувальних ланцюгів, які притаманні всім дорогам. [11]

Асинхронний електропривод з перетворювачем частоти

Електропривод містить: асинхронний двигун; тиристорний перетворювач частоти (ТПЧ), в силову схему якого входять: трифазний мостовий регульований випрямляч (перетворювач напруги) з ланкою постійного струму; автономний інвертор напруги, фільтр; блок підзарядки конденсаторів: вузол силового струмообмеження; датчик струму.

Замкнута система ЕП побудована за принципом порівняння сигналу завдання струму з сигналом зворотного зв'язку по внутрішньої току двигуна.

У ТПЧ використовується автономний інвертор напруги з пофазної комутацією, комутуючі пристрій якого служить для почергового замикання тиристорів двох вентильних плечей, що відносяться до однієї фази інвертора. Схема автономного інвертора містить: міст комутуючих тиристорів; розділові діоди. [12]

Незалежність напруги на комутуючих конденсаторі від напруги живлення можна забезпечити, застосовуючи підзаряд конденсатора від сторонніх джерел через тиристири підзарядки після закінчення комутації струму в основних тиристорах.

Тому для забезпечення постійної комутаційної здатності інвертора при регулюванні амплітуди і частоти вихідної напруги в перетворювачі застосовується джерело підзарядки комутуючих конденсаторів, що складається з некерованого (або напівкерованих) випрямляча, виконаного за трифазною мостовою схемою. Напруга на його виході фільтрується Т-образним фільтром. У схемі ЕП здійснюється максимально-струмовий захист. Захист тиристорів робочих, комутуючих, подзаряда і розділових діодів від перенапруг здійснюється ланцюгами RC.

Характер технологічного процесу робить основний вплив на режими роботи електроприводу і визначає головні вимоги, що пред'являються до нього. [12]

Регульований електропривод з плавним зміною частоти обертання в широкому діапазоні найкращим чином задовольняє умовам автоматичного регулювання.

Найбільш поширеним видом приводу внаслідок своєї простоти і найменших капітальних вкладень є короткозамкнений асинхронний електродвигун. Цей вид приводу застосовується від найменших потужностей до декількох тисяч кіловат, крім того, він відрізняється простою конструкцією, високою надійністю і зручністю в обслуговуванні. Управління механічними координатами, основними з яких є швидкість обертання і момент на валу, в електроприводі з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором може бути здійснено трьома основними методами:

- Зміною напруги прикладеного до двигуна, при цьому частота напруги живлення постійна;
- Зміною амплітуди і частоти прикладеної напруги - скалярний управління;
- Векторним керуванням. [13]

Перший метод використовується для регулювання швидкістю в невеликих межах і є енергетично ефективним тільки для технологічних

установок з навантажувальні характеристиками, які не виходять за область допустимих моментів на валу двигуна. Даний метод широко застосовується для полегшення пуску асинхронного двигуна, крім того в даний час подібні системи оснащені цілим рядом додаткових функцій: захист від короткого замикання і перевантажень по струму, реверс двигуна, можливість інтеграції в комплексні системи автоматичного управління і т.д.

Описаний метод управління не може в повній мірі забезпечити енергетично і функціонально ефективного управління асинхронним електроприводом. Для цих цілей історично першими застосовувалися перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком. Проста і природна компоновка такого перетворювача частоти дозволяє отримувати з високої частоти низьку. Верхня частота регулювання обмежена частотою мережі живлення, що знижує область застосування даних перетворювачів. В даний час такого роду перетворювачі також використовують для здійснення плавного пуску асинхронних двигунів великої потужності і регулювання частоти обертання двигуна прі не великому діапазоні регулювання.

Теоретично бездоганний спосіб управління координатами електроприводу з короткозамкненим асинхронним двигуном полягає в зміні частоти напруги живлення з одночасним впливом на його амплітуду - це, так зване, скалярний управління. Для його здійснення в даний час використовуються перетворювач частоти на основі автономного інвертора. Скалярний управління дозволяє плавно регулювати швидкість обертання ротора асинхронного двигуна. При цьому в залежності від навантажувальних характеристик виконавчого механізму, застосовують різні закони формування частоти і амплітуди підводиться до двигуна напруги. Найпоширенішим з них є закон U до f константа. [13]

Для роботи в тривалому режимі на знижених частотах і з номінальним моментом, необхідно використовувати спеціальний двигун або загальнопромисловий двигун, що обдувається зовнішнім вентилятором.

Висновки до другого розділу.

На основі проведеного аналізу технологічного процесу були сформовані вимоги до електроприводу підвісної канатної дороги, що дало змогу визначити можливі системи електроприводу. Було визначено, що в ЕП ПКД використовуються асинхронні двигуни з к.з. та фазним ротором. Нашим визначеним вимогам електроприводу підвісної канатної дороги задовільнила система ПЧ-АД.

3 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР ДВИГУНА. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВОГО КОНТУРУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Розрахунок та вибір двигуна

Вхідні параметри підвісної канатної дороги приведено в таблиці 3.1. Розрахунок здійснюємо згідно методики яка представлена [14]

Таблиця 3.1

Вхідні данні розрахунку п.к.д.

Пропускна здатність	P_s	1000чел/час
Швидкість руху канатної догори	v	2.5 м/с
Кількість робочих годин за добу	T	10
Кількість робочих годин за 1 рік	n	365
Вага 4-місної каретки	$Q_{\text{каретки}}$	300 кг
Місткість кабіни	i	4
Канат діаметром 22 мм та погонною вагою	q_1	2.1 кг/м
Вага корисного вантажу	G	385 кг

Відстань між каретками:

$$\lambda = \tau \cdot v = 18 \cdot 2.5 = 45(\text{м}). \quad (3.1)$$

Погінна вага:

$$\begin{aligned} Q_{\text{вантажна}} &= Q_{\text{каретки}} + G = 300 + 385 = 685(\text{кг}) \\ Q_{\text{порожня}} &= Q_{\text{каретки}} = 300(\text{кг}) \\ q_{\text{ван}} &= \frac{Q_{\text{вантажна}}}{\lambda} + q_1 = \frac{685}{45} + 3.1 = 18.322(\text{кг} / \text{м}). \\ q_{\text{пор}} &= \frac{Q_{\text{порожня}}}{\lambda} + q_1 = \frac{300}{45} + 3.1 = 9.767(\text{кг} / \text{м}) \end{aligned} \quad (3.2)$$

Тяговий розрахунок підвісної канатної дороги виконується методом обходу по контуру:

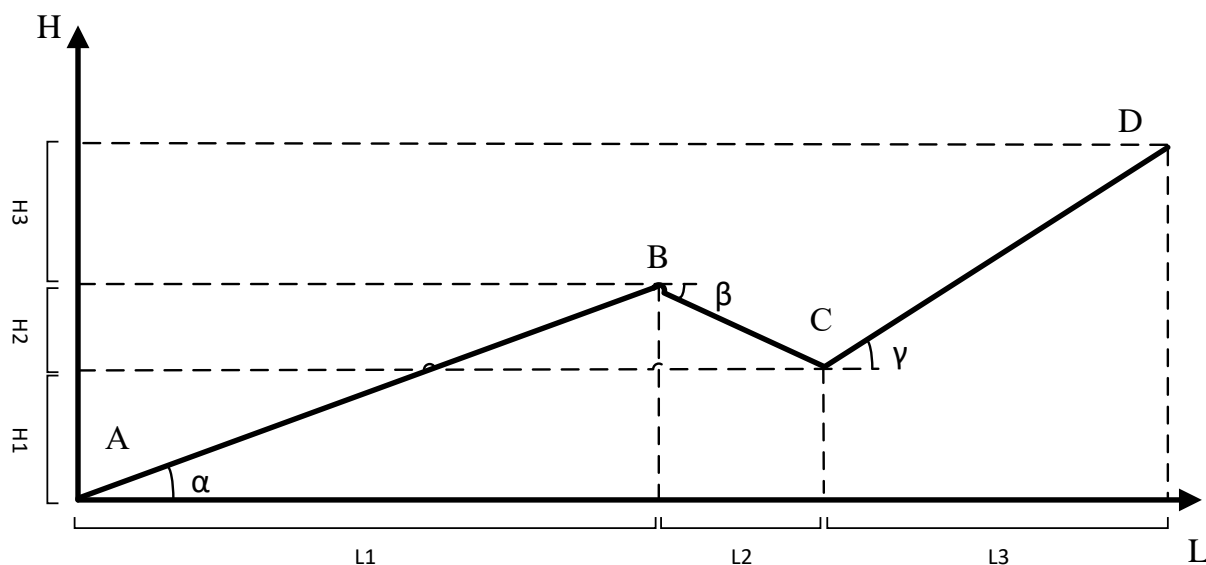


Рисунок 3.1 - Профіль руху підвісної канатної дороги.

Таблиця 3.2

Відомості про профіль руху. [14]

Довжина першої ділянки	L_1	500 м
Довжина другої ділянки	L_2	180 м
Довжина третьої ділянки	L_3	340 м
Кут	α	20°
Кут	β	25°
Кут	γ	30°
Висота першої ділянки	H1	453 м
Висота другої ділянки	H2	169 м
Висота третьої ділянки	H3	433 м
Початковий натяг натяжного блоку	Tн	5000 Н

Визначемо тягове зусилля набігання прямолінійних ділянок траси:

$$\begin{aligned}
 T_{nb1} &= T_n \cdot (1 + k_{ib} + k_i) = 5000 \cdot (1 + 0.025 + 0.006) = 5155(H) \\
 T_{nb2} &= T_1 + q_{gr} \cdot H_1 + f_0 \cdot q_{gr} \cdot L_1 = 5155 + 18.32 \cdot 453.15 + 0.06 \cdot 18.32 \cdot 500 = 14010(H) \\
 T_{nb3} &= T_2(1 + k_{ib}) = 14010 \cdot (1 + 0.006) = 14090(H) \\
 T_{nb4} &= T_3 - q_{gr} \cdot H_2 + f_0 \cdot q_{gr} \cdot L_2 = 14090 - 18.32 \cdot 169 + 0.06 \cdot 18.32 \cdot 180 = 11190(H) \\
 T_{nb5} &= T_4 \cdot (1 + k_i) = 11190 \cdot (1 + 0.006) = 11260(H) \\
 T_{nb6} &= T_5 + q_{gr} \cdot H_3 + f_0 \cdot q_{gr} \cdot L_3 = 11260 - 18.32 \cdot 433 + 0.06 \cdot 18.32 \cdot 340 = 19560(H)
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Визначмо тягове зусилля в точках збігання ділянок траси:

$$\begin{aligned}
 T_{cb1} &= T_n \cdot (1 - k_{ib} - k_i) = 5000 \cdot (1 - 0.025 - 0.006) = 4845(H) \\
 T_{cb2} &= t_1 + q_{por} \cdot H_1 + f_0 \cdot q_{por} \cdot L_1 = 4845 + 9.76 \cdot 453.15 + 0.06 \cdot 9.76 \cdot 500 = 9564(H) \\
 T_{cb3} &= t_2(1 - k_{ib}) = 14010 \cdot (1 - 0.006) = 9506(H) \\
 T_{cb4} &= t_3 - q_{por} \cdot H_2 + f_0 \cdot q_{por} \cdot L_2 = 9506 - 9.76 \cdot 169 + 0.06 \cdot 9.76 \cdot 180 = 7960(H) \\
 T_{cb5} &= t_4 \cdot (1 - k_i) = 7960 \cdot (1 - 0.006) = 7912(H) \\
 T_{cb6} &= t_5 + q_{por} \cdot H_3 + f_0 \cdot q_{por} \cdot L_3 = 7912 + 9.76 \cdot 433 + 0.06 \cdot 9.76 \cdot 340 = 12340(H)
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Величина тягового коефіцієнта:

$$\begin{aligned}
 e^{a\mu} &= 1.65 - \text{табличний} \\
 e^{a\mu} &= \frac{T_{nb6}}{t_{cb6}} = 1.58 - \text{розрахунковий}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

Сумарне тягове зусилля складає:

$$F_{\Sigma} = T_{nb6} - t_{sb6} = 19564 - 12340 = 7224(H). \tag{3.6}$$

Потужність електродвигуна розрахуються по формулі:

$$P = \frac{F_{\Sigma} \cdot v}{102 \cdot \eta_{meh}} = \frac{7224 \cdot 2.5}{102 \cdot 0.9} = 196.744(\text{кВт}). \tag{3.7}$$

По розрахунковим значенням вибираємо з каталогу[15] асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором серії 4А355М4У3 і має наступні параметри, які представлені у таблиці 3.3.

Паспортні дані двигуна 4A355M4У3 [14]

Номінальна потужність	$P_{2n} = 200 \text{ кВт}$
Номінальна лінійна напруга статора	$U_{1n} = 380 \text{ В}$
Число пар полюсів	$p_n = 4$
Момент інерції	$J_d = 3.6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = 94\%$
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi = 0.92$
Перевантажувальна здатність	$\lambda = 2.2$
Номінальне ковзання	$S_n = 1.3\%$
Номінальна частота напруги статора	$S_k = 5\%$
Параметри Г-подібної схеми заміщення (відносні одиниці)	
Індуктивний опір розсіювання статора	$\bar{X}_1^I = 0.086$
Активний опір статора	$\bar{R}_1^I = 0.014$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$\bar{X}_2^{II} = 0.12$
Приведений індуктивний опір ротора	$\bar{R}_2^{II} = 0.014$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$\bar{X}_\mu = 4.1$

3.2 Розрахунок параметрів електродвигуна

Методика розрахунку електродвигуна представлена в [15]

Кутова швидкість напруги статора:

$$\omega_{0n} = 2\pi f = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с} \quad (3.8)$$

Швидкість ідеального х.х.

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{0n}}{p_n} = \frac{314}{4} = 78.54 \text{ рад/с} \quad (3.9)$$

Номінальна швидкість двигуна.

$$\omega_n = \omega_{xx}(1 - S_n) = 78.54 \cdot (1 - 0.013) = 77.519 \text{ рад/с} \quad (3.10)$$

Номінальний момент двигуна.

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n} = 315 \cdot 10^3 / 77.519 = 2.58 \cdot 10^3 \text{ Н·м} \quad (3.11)$$

Критичний момент двигуна(по перевантажувальній здатності λ з каталогу).

$$M_k = M_n \cdot \lambda = 2.2 \cdot 2.58 \cdot 10^3 = 5.676 \cdot 10^3 \text{ Н·м} \quad (3.12)$$

Номінальне діюче значення фазної напруги і струму статора.

$$U_n = U_{1n} / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 219.393 \text{ В}, \quad (3.13)$$

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3 \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{200 \cdot 10^3}{3 \cdot 219.393 \cdot 0.94 \cdot 0.92} = 351.374 \text{ А} \quad (3.14)$$

Амплітудні значення фазної напруги і струму статора:

$$U_{na} = \sqrt{2}U_n = \sqrt{2} \cdot 219.393 = 310.269 \text{ В} \quad (3.15)$$

$$I_{na} = \sqrt{2}I_n = \sqrt{2} \cdot 351.374 = 496.918 \text{ А} \quad (3.16)$$

Амплітудні значення потокозчеплення при $R_1 = 0$

$$\Psi_{1xx} = \frac{U_{na}}{\omega_{0n}} = \frac{310.269}{314.159} = 0.988 \text{ Вб} \quad (3.17)$$

Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення. Математична модель АД отримана для Т-подібної схеми заміщення, що показана на рис 3.1.

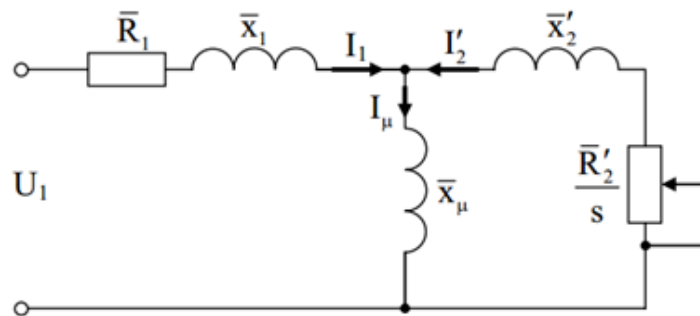


Рисунок 3.1. Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Наведені в таблиці 1 параметри відповідають Г-подібній схеми з аміщення, Рисунок 3.2.

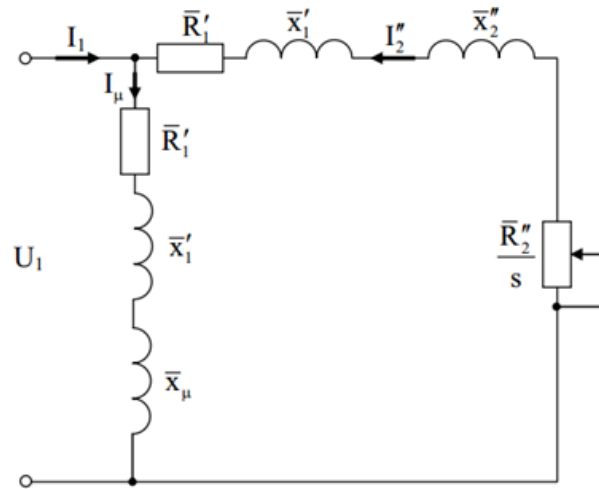


Рисунок 3.2 Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Для перерахунку параметрів з Г-подібної схеми в Т-подібну використовується наступна методика:

Коефіцієнти перерахунку між Т-подібною та Г-подібною схемами заміщення:

$$c_1 = \frac{\bar{x}_\mu + \sqrt{(\bar{x}_\mu)^2 + 4 \cdot \bar{x}'_1 \cdot \bar{x}_\mu}}{2 \cdot \bar{x}_\mu} = \frac{4.1 + \sqrt{5.7^2 + 4 \cdot 0.086 \cdot 4.1}}{2 \cdot 4.1} = 1.0206 \quad (3.18)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях:

$$\begin{aligned} \bar{X}_1 &= \frac{\bar{X}'_1}{c_1} = \frac{0.086}{1.021} = 0.084 & \bar{R}_1 &= \frac{\bar{R}'_1}{c_1} = \frac{0.014}{1.021} = 0.014 \\ \bar{X}_2 &= \frac{\bar{X}''_2}{c_1^2} = \frac{0.12}{1.021^2} = 0.115 & \bar{R}_2 &= \frac{\bar{R}''_2}{c_1^2} = \frac{0.014}{1.021^2} = 0.013 \end{aligned} \quad (3.19)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях:

$$\begin{aligned} X_1 &= \bar{X}_1 \frac{U_n}{I_n} = 0.0843 \cdot \frac{219.393}{351.3744} = 0.0526 \text{ Ом} \\ R_1 &= \bar{R}_1 \frac{U_n}{I_n} = 0.0137 \cdot \frac{219.393}{351.3744} = 0.0086 \text{ Ом} \\ X_2 &= \bar{X}_2 \frac{U_n}{I_n} = 0.1152 \cdot \frac{219.393}{351.3744} = 0.0719 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (3.20)$$

$$R_2 = \bar{R}_2 \frac{U_n}{I_n} = 0.0134 \cdot \frac{219.393}{351.3744} = 0.0084 \text{ Ом}$$

$$X_\mu = \bar{X}_1 \frac{U_n}{I_n} = 4.1 \cdot \frac{219.393}{351.3744} = 2.56 \text{ Ом}$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_1}{\omega_0} = \frac{0.052616}{314.159} = 1.67 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} \quad (3.21)$$

$$L_{2\sigma} = \frac{X_2}{\omega_0} = \frac{0.071939}{314.159} = 2.29 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$$

Індуктивність намагнічуючого контуру:

$$L_m = \frac{X_\mu}{\omega_0} = \frac{2.559981}{314.159} = 8.149 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (3.22)$$

Індуктивності статора і ротора:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 8.149 \cdot 10^{-3} + 1.67 \cdot 10^{-4} = 8.361 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (3.23)$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 8.149 \cdot 10^{-3} + 2.29 \cdot 10^{-4} = 8.378 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (3.24)$$

На основі проведених розрахунків обчислюємо значення наступних параметрів:

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2} = \frac{0.00839}{0.00838} = 1.00181 \text{ Ом/Гн} \quad (3.25)$$

$$\alpha_1 = \frac{R_1}{L_1} = \frac{0.008565}{0.008316} = 1.02997 \text{ Ом/Гн} \quad (3.26)$$

$$\sigma = L_1 \cdot \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} \right) = 0.008316 \cdot \left(1 - \frac{(0.008149)^2}{0.008316 \cdot 0.008378} \right) = 3.902 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} \quad (3.27)$$

$$\beta = \frac{L_m}{\sigma \cdot L_2} = \frac{8.149 \cdot 10^{-3}}{0.008378 \cdot 0.00039} = 2492.673592 \text{ Ом/Гн} \quad (3.28)$$

$$\gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha \cdot \beta \cdot L_m = \frac{0.00857}{0.00039} + 1.00181 \cdot 0.00815 \cdot 2492.67359 = 42.29943 \text{ Ом/Гн} \quad (3.29)$$

$$\mu = \frac{3 \cdot p \cdot L_m}{2 \cdot L_2} = \frac{3 \cdot 4 \cdot 8.15 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0.00838} = 5.836 \quad (3.30)$$

Результати розрахунків параметрів двигуна 4A355M4У3 зведені до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Розраховані параметри двигуна 4A355M4У3

P_{2n} , кВт	200	R_1 , Ом	0.0086
ω_{xx} , рад/с	78.54	R_2 , Ом	0.0084
ω_n , рад/с	77.519	L_1 , Ом	$8.316 \cdot 10^{-3}$
M_n , Нм	2580	L_2 , Ом	$8.378 \cdot 10^{-3}$
M_k , Нм	5676	L_m , Ом	$8.149 \cdot 10^{-3}$
λ	2.2	α_1 , Ом/Гн	1.02997
I_{na} , А	351.374	α , Ом/Гн	1.00181
Ψ_{1xx} , Вб	0.988	β , Ом/Гн	2492.673592
η	0.94	γ , Ом/Гн	42.29943
$\cos\varphi$	0.92	σ , Гн	$3.93 \cdot 10^{-3}$
J_d , кг·м ²	3.6	μ	5.836

3.3 Вибір елементів силового контуру перетворювача частоти

Як прийнято, перетворювач частоти розділяють на дві основні складові: силова частина, до якої входять вхідний фільтр, некерований випрямляч, зарядне коло, ємність фільтру випрямляча, клампер, датчик напруги ланки постійного струму, інвертор, датчики вихідного струму, схеми драйверів та гальванічної розв'язки сигналів керування ключами інвертора і клампера, блок живлення; керуючий контроллер, до якого входять власне цифровий контроллер, який, як правило, базується на цифровому сигнальному процесорі, та схеми узгодження сигналів. [15]

Для розрахунку основних елементів перетворювача необхідно мати значення наступних параметрів: напруга та кількість фаз мережі живлення, потужність двигуна, ККД двигуна, номінальний струм двигуна.

Методика розрахунку елементів силового контуру представлена в[22]

Номінальні діючі значення фазної напруги та струму статора

$$U_n = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}, \quad (3.31)$$

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3U_n \eta \cos \varphi} = \frac{200 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.9 \cdot 0.92} = 366 \text{ А}. \quad (3.32)$$

Амплітудні значення фазної напруги і струму статора

$$U_{na} = \sqrt{2}U_n = \sqrt{2} \cdot 219.393 \approx 311 \text{ В}, \quad (3.33)$$

$$I_{na} = \sqrt{2}I_n = \sqrt{2} \cdot 365.979 = 517.572 \text{ А}. \quad (3.34)$$

Некерований випрямляч. Для правильного вибору діода випрямляча необхідно розрахувати величину діючого струму, який протікає через діод, з урахуванням коефіцієнтів запасу.

Розрахунок номінального значення випрямленого струму :

$$I_{dc} = \frac{k_{ovl} \cdot P_n}{U_{dcn} \cdot \eta \cdot \eta_{inv}} = \frac{1.4 \cdot 200 \cdot 10^3}{540 \cdot 0.94 \cdot 0.95} = 580.648 \text{ А}, \quad (3.35)$$

де U_{dcn} – номінальне значення випрямленої напруги; P_n – номінальна потужність перетворювача; $\eta_{inv} = 0.95$ – коефіцієнт корисної дії перетворювача. Максимальне значення струму в фазі двигуна визначається перевантажувальною здатністю електроприводу k_{ovl} , яка, в загальному випадку залежить від конкретного типу механізму і дорівнює $k_{ovl} = (1.4 \div 2)$ – для екструдерів, конвеєрів, підйомно-транспортних механізмів. [16]

Так як живлення перетворювача від трифазної мережі живлення $U_{grid} = 380 \text{ В}$, напруга в ланці постійного струму при ідеальній фільтрації буде приблизно рівною $U_{dcn} = \sqrt{2}U_{grid} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537.401 \approx 540 \text{ В}$. (3.36)

Для вибору силових діодів та IGBT максимально-допустима зворотна напруга (напруга колектор-емітер) автономного інвертора має бути мінімум в 1.5 разів вищою, ніж максимальна напруга в ланці постійного струму, тобто $U_{ce} > 1.5U_{dc\max}$,

Максимальна напруга в ланці постійного струму сучасних перетворювачів визначається допустимою напругою встановлених електролітичних конденсаторів фільтру, і складає приблизно 750-800 В для перетворювачів з трифазним живленням $U_{grid} = 380$ В, тому прийmemo $U_{dc\max} = 800$ В, таким чином

$$U_{ce} = 1.5U_{dc\max} = 1.5 \cdot 800 = 1200, \text{ В.} \quad (3.37)$$

Вибір силових діодів може бути здійснений за критерієм :

$$I_{VD} > I_{\max}, U_{VD\max} > U_{ce},$$

де I_{VD} та $U_{VD\max}$ – відповідно тривалий струм діода та зворотня напруга, які вказані в паспортних даних діода.

Оберемо 6 діодів типу SIDC105D120H8 [16], тому що

$$I_{VD} = 600 \text{ А} > I_{\max} = 580 \text{ А}, \quad U_{VD\max} = 1200, \text{ В} \geq U_{ce} = 1200.$$

Автономний інвертор напруги. Приймавши перевантажувальну здатність для конвеєру $k_{ovl} = 1.4$, розрахуємо максимальний струм на виході перетворювача.

$$I_{\max} = k_{ovl} I_{na} = 1.4 \cdot 580 = 804.35 \text{ А.} \quad (3.38)$$

Вибір IGBT може бути здійснений за критерієм

$$I_c > I_{\max}, U_{ce\max} > U_{ce},$$

де I_c та $U_{ce\max}$ – відповідно тривалий струм колектора та напруга колектор-емітер, які вказані в паспортних даних IGBT.

Для побудови силової частини перетворювача зручно використовувати так звані IGBT-модулі, які в одному корпусі містять декілька транзисторів з антипаралельними діодами та вбудований випрямляч.

Вибираємо по каталогу IGBT ключ, типу CM600DU-24F [17], з параметрами $U_{ce}=1200$ в, $I_c=600$ а.

Ємнісний фільтр. Ємність випрямляча визначається за формулою:

$$C = \frac{1}{2\pi k_p m f R_0},$$

де k_p – коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги, який для перетворювачів частоти вибирають в діапазоні $(0.02 \div 0.05)$, m – число фаз випрямляча, f – частота напруги мережі живлення, R_0 – еквівалентний опір навантаження ланки постійного струму.

Еквівалентний опір навантаження розраховується як :

$$R_0 = \frac{U_{dcn}}{I_{dc}} = \frac{540}{580} = 0.931 \text{ Ом.} \quad (3.39)$$

Розрахункове значення ємності фільтра для $k_p = 0.04$ буде дорівнювати:

$$C = \frac{1}{2\pi k_p m f R_0} = \frac{1}{2\pi \cdot 0.045 \cdot 50 \cdot 3 \cdot 0.93} = 253000 \text{ мкФ.} \quad (3.40)$$

Вибираємо з каталогу конденсатори типу CGS264U016V5L-ND [18], ємністю $C_c = 260000$ мкФ та максимальною напругою 400 В. , а робоча напруга $U=800$ В.

Зарядний резистор призначений для обмеження струму на вході випрямляча при включенні перетворювача частоти в мережу живлення з метою захисту діодів випрямляча. При досягненні напругою в ланці постійного струму наперед визначеного значення подається команда на спрацювання зарядного реле яке шунтує зарядний резистор.

$$R_s = \frac{U_{dcn}}{(0.8 \div 0.9) I_{vdm}} = \frac{540}{0.8 \cdot 530.42} = 1.27 \text{ Ом.} \quad (3.41)$$

Обираємо резистор типу RER55F1R27RC02-MIL [19] на 3.3 Ом.

Датчики струму та напруги. Вибір датчиків струму здійснюють за максимальний струмом, який необхідно вимірювати, тобто щоб вимірюваний діапазон датчика був більшим від максимально допустимого струму в системі.

Для вимірювання струмів на виході перетворювача для вибору використовують значення максимального струму.

Достатньо обмежитися датчиком струму в ланці постійного струму, по значенню I_{dc} вибираємо датчик типу LT 500-S [20], номінальний струм якого складає 500 А, діапазон вимірювання 1200 А.

Канал вимірювання напруги ланки постійного струму може бути побудований з використанням датчика типу LV 100-800 [21].

Для нашої системи оберемо перетворювач частоти компанії АВВ ACS580 універсального сімейства призначена для управління швидкістю і моментом насосів, вентиляторів, конвеєрів та інших механізмів неперервної роботи. Оскільки потужність нашого двигуна 200 кВт, з каталога перетворювачів частоти обираємо найкращий варіант ACS580-01-363A-4+B056 Pn 200 kW I2n 363 A, Protection class IP55, EMC class C2.[23]

Таблиця 3.5

Пастортні данні перетворювача

Потужність	$P_n = 200 \text{ кВт}$
Номінальна напруга	$U_n = 380 \text{ В}$
Номінальний струм:	$I_n = 363 \text{ А}$
Максимальна вхідна частота	$f_m = 500 \text{ Гц}$
Уровень защиты IP	55
Параметры (ВхШхГ)	955x 380x 418 мм

Висновки до третього розділу.

У даному розділі був здійснений розрахунок потужності та вибір двигуна на основі початкових умов. Для вибраного двигуна були розраховані

його параметри для використання їх у наступному розділі при моделюванні електромеханічної системи у середовищі MATLAB Simulink. Також був здійснений вибір силового контуру, розрахунок основних елементів перетворювача частоти та їх вибір серед світових виробників.

На основі проведеного розрахунку потужності електродвигуна був обраний двигун 4A355M4У3 200 кВт. Також був проведений розрахунок параметрів електродвигуна та основних елементів силового контуру. Було визначено всі параметри та данні для розробки математичної моделі електромеханічної системи. Були розраховані всі елементи силової частини та обраний перетворювач частоти ACS580-01-363A-4+B056 Pn 200 kW I2n 363 A, Protection class IP55, EMC class C2.

4 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Функціональна схема замкнутої системи автоматичного керування ескалатором приведена на рисунку 5.1.

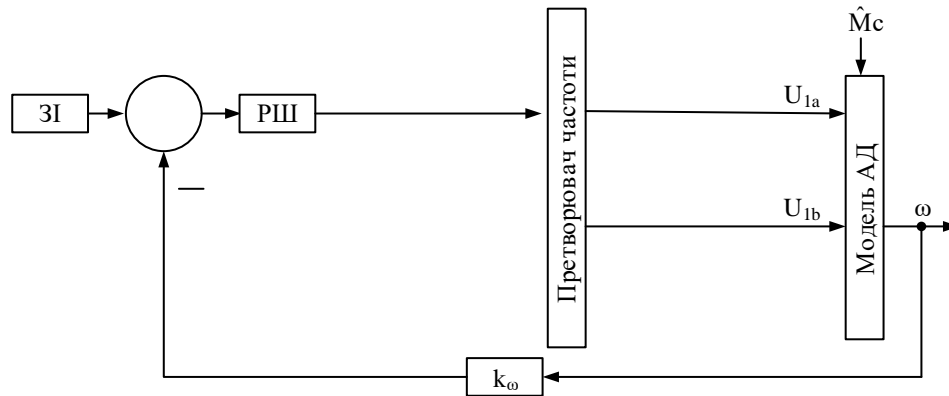


Рисунок 5.1 – Функціональна схема управління підвісною канатною дорогою.

На функціональній схемі прийнято такі позначення: ЗІ – задатчик інтенсивності; РШ – регулятор швидкості.

4.1 Математична модель асинхронного двигуна

Модель АД в системі координат (a-b) виведемо наступним чином [24]. Для опису електричної частини машини скористаємося рівняннями електричної рівноваги в формі рівнянь Кірхгофа:

$$\begin{aligned} \vec{U}_1 &= R_1 \cdot \vec{i}_1 + \frac{d\vec{\psi}_1}{dt}; \\ \vec{U}_2 &= R_2 \cdot \vec{i}_2 + \frac{d\vec{\psi}_2}{dt} - J \cdot \omega \cdot p_n \cdot \vec{\psi}_2, \end{aligned} \quad (4.1)$$

де $\vec{\psi}_1$ і $\vec{\psi}_2$ - потокоцеплення відповідно статора і ротора, які визначаються дією струмів всіх чотирьох обмоток машини:

$$\begin{aligned}\vec{\psi}_1 &= L_1 \cdot \vec{i}_1 + L_m \cdot \vec{i}_2; \\ \vec{\psi}_2 &= L_2 \cdot \vec{i}_2 + L_m \cdot \vec{i}_1.\end{aligned}\quad (4.2)$$

Виключимо з рівнянь (4.2) \vec{i}_2 і $\vec{\psi}_1$, для цього виразимо \vec{i}_2 з останнього рівняння і підставимо в формулу для $\vec{\psi}_1$ отримаємо:

$$\vec{i}_2 = \frac{\vec{\psi}_2 - L_m \cdot \vec{i}_1}{L_2}; \quad (4.3)$$

$$\vec{\psi}_1 = L_1 \cdot \vec{i}_1 + L_m \left(\frac{\vec{\psi}_2 - L_m \cdot \vec{i}_1}{L_2} \right) = \left(L_1 - \frac{L_m^2}{L_2} \right) \cdot \vec{i}_1 + \frac{L_m}{L_2} \cdot \vec{\psi}_2. \quad (4.4)$$

Підставами (4.3) в друге рівняння (4.1):

$$\vec{U}_2 = R_2 \cdot \frac{\vec{\psi}_2 - L_m \cdot \vec{i}_1}{L_2} + \frac{d\vec{\psi}_2}{dt} - J \cdot \omega \cdot p_n \cdot \vec{\psi}_2. \quad (4.5)$$

З (4.5) виражаємо:

$$\frac{d\vec{\psi}_2}{dt} = -\frac{R_2}{L_2} \cdot \vec{\psi}_2 + J \cdot \omega \cdot p_n \cdot \vec{\psi}_2 + \frac{R_2 \cdot L_m}{L_2} \cdot \vec{i}_1 + \vec{U}_2. \quad (4.6)$$

Для отримання $\frac{d\vec{i}_1}{dt}$ скористаємося першим рівнянням (4.1) підставивши в нього значення $\vec{\psi}_1$:

$$\vec{U}_1 = R_1 \cdot \vec{i}_1 + \frac{d}{dt} \left(\left(L_1 - \frac{L_m^2}{L_2} \right) \cdot \vec{i}_1 + \frac{L_m}{L_2} \cdot \vec{\psi}_2 \right); \quad (4.7)$$

$$\vec{U}_1 = R_1 \cdot \vec{i}_1 + \left(L_1 - \frac{L_m^2}{L_2} \right) \cdot \frac{d\vec{i}_1}{dt} + \frac{L_m}{L_2} \cdot \frac{d\vec{\psi}_2}{dt}, \quad (4.8)$$

введемо заміну $\sigma = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2}$ і виразимо $\frac{d\vec{i}_1}{dt}$:

$$\frac{d\vec{i}_1}{dt} = -\frac{R_1 \cdot \vec{i}_1}{\sigma} - \frac{L_m}{\sigma L_2} \cdot \left(-\frac{R_2}{L_2} \cdot \vec{\psi}_2 + J \cdot \omega \cdot p_n \cdot \vec{\psi}_2 + \frac{R_2 \cdot L_m}{L_2} \cdot \vec{i}_1 + \vec{U}_2 \right) + \frac{\vec{U}_1}{\sigma}. \quad (4.9)$$

Ввівши такі позначення для рівнянь (4.8) і (4.9) з урахуванням $\alpha = \frac{R_2}{L_2}$,

$$\beta = \frac{L_m}{\sigma L_2}, \quad \sigma = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2},$$

отримаємо:

$$\frac{d\vec{i}_1}{dt} = -\frac{R_1}{\sigma} \cdot \vec{i}_1 - \alpha \cdot \beta \cdot L_m \cdot \vec{i}_1 + \alpha \cdot \beta \cdot \vec{\psi}_2 - \beta \cdot J \cdot \omega \cdot p_n \cdot \vec{\psi}_2 - \beta \cdot \vec{U}_2 + \frac{\vec{U}_1}{\sigma}; \quad (4.10)$$

$$\frac{d\vec{\psi}_2}{dt} = -\alpha \cdot \vec{\psi}_2 + J \cdot \omega \cdot p_n \cdot \vec{\psi}_2 + \alpha \cdot L_m \cdot \vec{i}_1 + \vec{U}_2. \quad (4.11)$$

Запишемо похідні за часом для компонент струмів статора і потокозчеплення ротора, враховуючи отримані вище вираження:

$$\begin{aligned} \frac{di_{1a}}{dt} &= -\frac{R_1}{\sigma} \cdot i_{1a} - \alpha \cdot \beta \cdot L_m \cdot i_{1a} + \alpha \cdot \beta \cdot \psi_{2a} + \beta \cdot \omega \cdot p_n \cdot \psi_{2b} - \beta \cdot U_{2a} + \frac{U_{1a}}{\sigma}; \\ \frac{di_{1b}}{dt} &= -\frac{R_1}{\sigma} \cdot i_{1b} - \alpha \cdot \beta \cdot L_m \cdot i_{1b} + \alpha \cdot \beta \cdot \psi_{2b} - \beta \cdot \omega \cdot p_n \cdot \psi_{2a} - \beta \cdot U_{2b} + \frac{U_{1b}}{\sigma}; \end{aligned} \quad (4.12)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{2a}}{dt} &= -\alpha \cdot \psi_{2a} - \omega \cdot p_n \cdot \psi_{2b} + \alpha \cdot L_m \cdot i_{1a} + U_{2a}; \\ \frac{d\psi_{2b}}{dt} &= -\alpha \cdot \psi_{2b} + \omega \cdot p_n \cdot \psi_{2a} + \alpha \cdot L_m \cdot i_{1b} + U_{2b}. \end{aligned} \quad (4.13)$$

Рівняння моменту електромеханічного перетворювача, виражене в системі координат статора (a-b), має вигляд:

$$\begin{aligned} M &= L_m \cdot \vec{i}_1^T \cdot J \cdot \vec{i}_2 = \frac{L_m}{L_2} \cdot \vec{i}_1^T \cdot J \cdot (\vec{\psi}_2 - L_m \cdot \vec{i}_1) = \\ &= \frac{L_m}{L_2} \cdot \vec{i}_1^T \cdot J \cdot \vec{\psi}_2 - \frac{L_m^2}{L_2} \cdot \vec{i}_1^T \cdot J \cdot \vec{i}_1. \end{aligned} \quad (4.14)$$

Оскільки $\vec{i}_1^T \cdot J \cdot \vec{i}_1 = 0$, тоді $M = \frac{L_m}{L_2} \cdot \vec{i}_1^T \cdot J \cdot \vec{\psi}_2 = \frac{L_m}{L_2} \cdot (\psi_{2a} \cdot i_{1b} - \psi_{2b} \cdot i_{1a})$.

Рівняння моменту електромеханічного перетворювача, вираженість в системі координат статора (a-b), має вигляд:

$$\dot{\omega} = \frac{1}{J} \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot p_n \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot (\psi_{2a} \cdot i_{1b} - \psi_{2b} \cdot i_{1a}) - M_C \right];$$

$$\begin{aligned} \frac{di_{1a}}{dt} &= -\frac{R_1}{\sigma} \cdot i_{1a} - \alpha \cdot \beta \cdot L_m \cdot i_{1a} + \alpha \cdot \beta \cdot \psi_{2a} + \beta \cdot \omega \cdot p_n \cdot \psi_{2b} + \frac{U_{1a}}{\sigma}; \\ \frac{di_{1b}}{dt} &= -\frac{R_1}{\sigma} \cdot i_{1b} - \alpha \cdot \beta \cdot L_m \cdot i_{1b} + \alpha \cdot \beta \cdot \psi_{2b} - \beta \cdot \omega \cdot p_n \cdot \psi_{2a} + \frac{U_{1b}}{\sigma}; \end{aligned} \quad (4.15)$$

$$\frac{d\psi_{2a}}{dt} = -\alpha \cdot \psi_{2a} - \omega \cdot p_n \cdot \psi_{2b} + \alpha \cdot L_m \cdot i_{1a};$$

$$\frac{d\psi_{2b}}{dt} = -\alpha \cdot \psi_{2b} + \omega \cdot p_n \cdot \psi_{2a} + \alpha \cdot L_m \cdot i_{1b};$$

де $\alpha = \frac{R_2}{L_2}$, $\beta = \frac{L_m}{\sigma \cdot L_2}$, $\sigma = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2}$, $L_1 = L_m + L_{1\sigma}$, $L_2 = L_m + L_{2\sigma}$.

На Рисунок 5.2 зображена структурна схема АД вкоординатах статора (а-б)

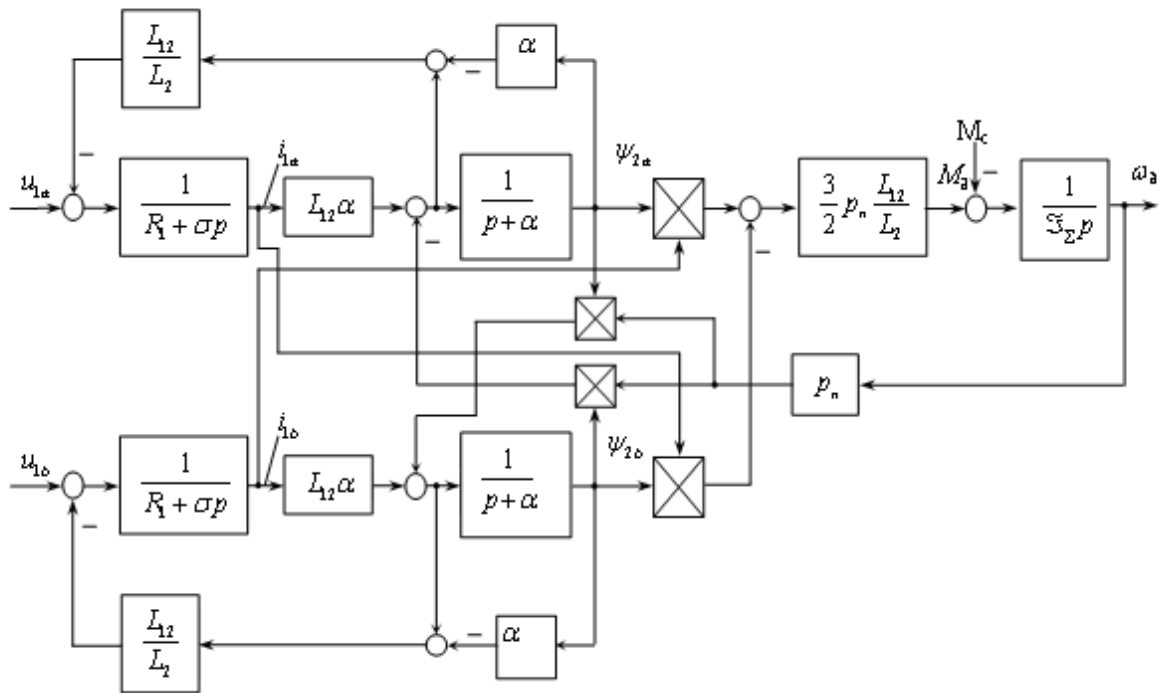


Рисунок 5.2. - Структурна схема АД в координатах статора (а-б)

На схемі прийнято позначення: U_{1a}, U_{1b} - проекції вектора напруги статора на осі a, b і i_{1a}, i_{1b} - проекції вектора струму статора на осі a, b; ψ_{2a}, ψ_{2b} - проекції вектора потокощеплення ротора на осі a, b; P_n - кількість пар полюсів; M_δ - момент двигуна; J_Σ - приведений до валу двигуна момент інерції.

Модель перетворювача частоти

Частотний перетворювач дозволяє одночасно змінювати частоту і амплітуду напруги статора.

Усі сучасні перетворювачі частоти мають вмонтовані функції плавного наростання частоти та функціонального перетворювача [24]. Структурна схема перетворювача частоти представлена на Рисунок 5.3.

На Рис. 5.3: f_3 - стрибкоподібне завдання частоти; k_{ff} - великий коефіцієнт підсилення, $k_{ff} \gg 10$; T_f - стала часу, яка визначає кут наростання f ; f_{max} - максимальне значення f ; $T_{\mu 1}, T_{\mu 2}$ - малі некомпенсовані сталі часу (від 0,001 до 0,01 с); U_0 приймається в проміжку від 6 до 25% від U_n ;

$$k' = \frac{U_{mi} - U_0}{f_i^2} = \frac{310 - 18.6}{50^2} = 0.1166; \quad (4.16)$$

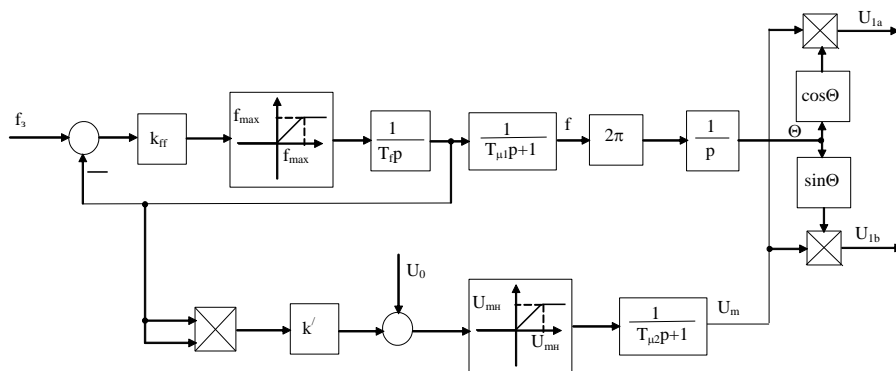


Рисунок 5.3 - Структурна схема перетворювача частоти

Якщо статична точність в розімкненій системі керування не задовольняє вимоги технологічного процесу, то необхідна організація замкнутого контуру за технологічним параметром. Сучасні перетворювачі частоти дозволяють підключити сигнал зворотного зв'язку за технологічним параметром і мають вмонтований ПІД-регулятор. При цьому унеможливується функція плавного наростання частоти і структурна схема перетворювача частоти трансформується до вигляду (Рисунок 5.4).

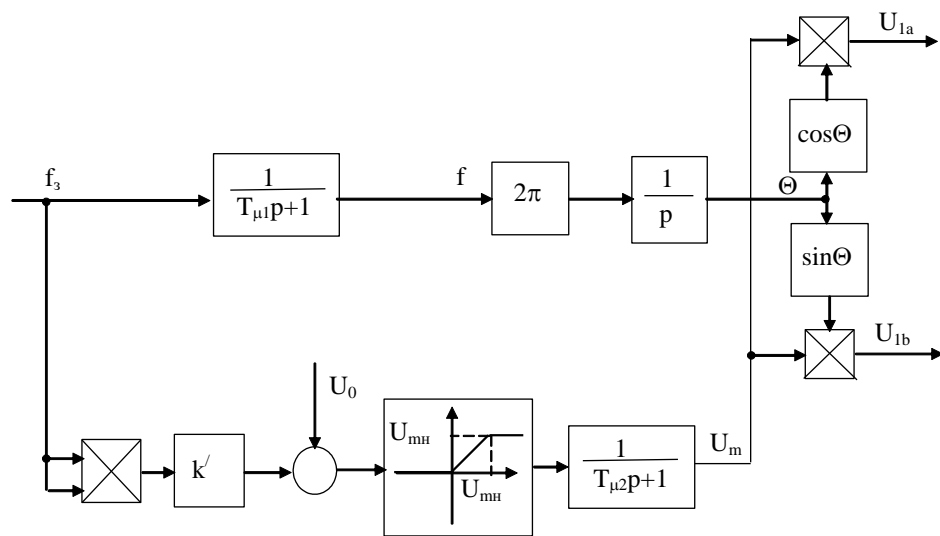


Рисунок 5.4. Структурна схема перетворювача частоти

Функцію плавної зміни частоти виконуватиме вихідний сигнал регулятора, технологічного параметру електромеханічної системи.

4.2 Розрахунок структурної схеми об'єкта регулювання і регулятора швидкості

Передатна функція регульованого двигуна може бути записана у вигляді аперіодичної ланки:

$$W(p) = \frac{M_d}{\omega_0 - \omega} = \frac{\beta}{T_\omega \cdot p + 1}, \quad (4.17)$$

де β - модуль жорсткості;

T_ω - електромагнітна стала часу двигуна.

Якщо доповнити передаточну функцію двигуна ланкою, пов'язуючим керуючим впливом, в нашому випадку частоту, з різницею, а також передатної функції механічної частини у вигляді одномасової схеми, то отримаємо структурну схему асинхронного двигуна. А при доповненні цієї схеми передатною функцією перетворювача частоти яка може бути представлена у вигляді:

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{K_{ПЧ}}{T_\mu \cdot p + 1} \quad (4.18)$$

Отримаємо структурну схему об'єкта регулювання контуру швидкості, яка представлена на Рисунок 5.5

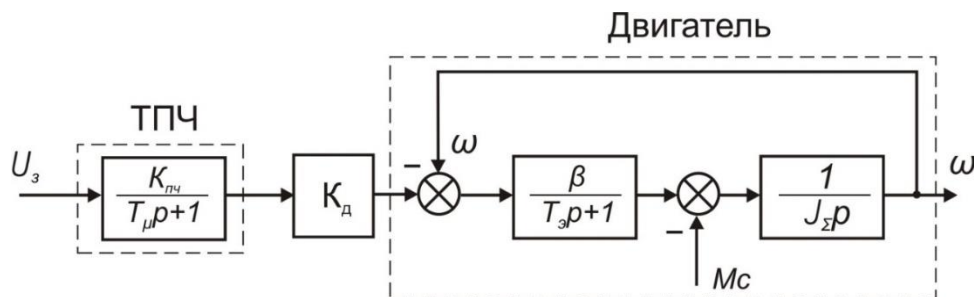


Рисунок 5.5- Структурна схема об'єкта регулювання

Розрахуємо параметри передатних функцій даної структурної схеми.

Передатна функція ПЧ :

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{K_{ПЧ}}{T_\mu \cdot p + 1} = \frac{5}{0,01 \cdot p + 1}, \quad (4.19)$$

де $K_{ПЧ} = \frac{f_H}{U_3} = \frac{50}{10} = 5$ - коефіцієнт підсилення ПЧ

$T_\mu = 0,01$ - постійна часу ПЧ.

Інші параметри схеми:

T_e - електромагнітна стала часу двигуна;

β - модуль статичної жорсткості;

J_M - момент інерції механізму;

J_Σ - сумарний момент інерції;

T_M - Електромеханічна постійна двигуна;

K_D - Коефіцієнт передачі двигуна.

$$T_e = \frac{1}{\omega_{0C} \cdot S_{KH}} = \frac{1}{314 \cdot 0.104} = 0,031; \quad (4.20)$$

$$T_M = \frac{J_\Sigma}{\beta} = \frac{3.6}{2526.93} = 1.425 \cdot 10^{-3} \text{ c}; \quad (4.25)$$

$$K_D = \frac{2 \cdot \pi}{p} = \frac{2 \cdot 3,14}{4} = 1.57. \quad (4.26)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості:

$$K_\omega = \frac{U_3}{1,3 \cdot \omega_H} = \frac{10}{1,3 \cdot 77.519} = 0,052 \text{ B} \cdot \text{c} \quad (4.27)$$

Таким чином, узагальнена структурна схема частотного регулювання буде мати такий вигляд:

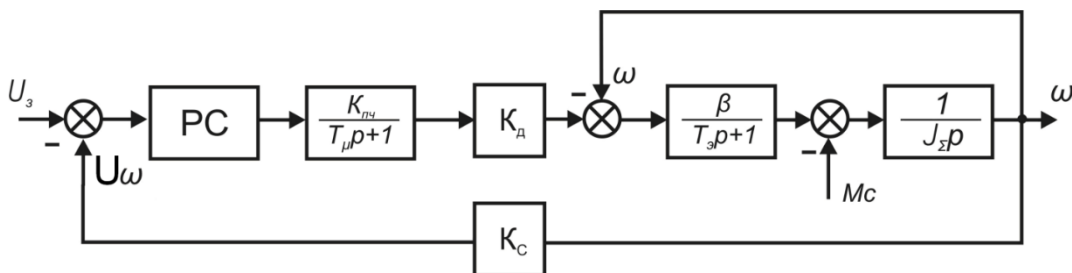


Рисунок 5.6 Структурна схема частотного регулювання

Передаточна функція двигуна буде мати вигляд :

$$\begin{aligned}
 W_d(p) &= \frac{\beta \cdot K_d}{J_\Sigma \cdot p \cdot (T_\Theta \cdot p + 1)} = \frac{\beta \cdot K_d}{J_\Sigma \cdot T_\Theta \cdot p^2 + J_\Sigma \cdot p + \beta} = \\
 &= \frac{K_d}{T_M \cdot T_\Theta \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1} = \frac{1.57}{4.363 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 1.425 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1}
 \end{aligned} \tag{4.28}$$

Структурна схема регулювання контуру швидкості виглядає наступним чином:

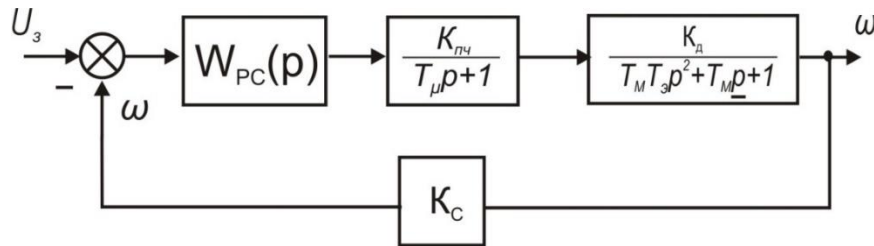


Рисунок 5.7- Структурна схема регулювання контуру швидкості

Звідси передатна функція об'єкта регулювання за швидкістю буде:

$$\begin{aligned}
 W_{орш}(p) &= \frac{K_{пч} \cdot K_d}{(T_\mu \cdot p + 1) \cdot (T_M \cdot T_\Theta \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1)} = \\
 &= \frac{5 \cdot 1.57}{(0,01 \cdot p + 1) \cdot (4.363 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 1.425 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1)}
 \end{aligned} \tag{4.29}$$

Регулятор швидкості будемо вибирати з наступних міркувань. Прийmemo, що передатна функція об'єкта регулювання має вигляд:

$$W_{орш}(p) = \frac{K_1 \cdot K_2 \dots K_n}{\prod_1^m (T_i \cdot p + 1)},$$

де T_i - постійна часу об'єкта регулювання.

Можна компенсувати постійні часу, виключивши їх з розімкнутого контуру регулювання. Аналогічним шляхом можна виключити з розімкнутого контуру регулювання всі коефіцієнти $K_1 \cdot K_2 \dots K_n$, а для усунення статичної помилки ввести в нього інтегральний елемент з постійною часу [25].

Таким чином, вихідний розімкнутий контур регулювання вдається замінити бажаним контуром, які мають загальний коефіцієнт посилення, рівний одиниці (зворотний зв'язок представляється одиничним).

$$W_{PA3C}(p) = W_{OPC}(p) \cdot W_{PC}(p) = \frac{1}{T_o p \cdot \prod_{i=1}^m (T_i p + 1)} \quad (4.30)$$

де i - число постійних, компенсованих регулятором.

Визначення передавальної функції регулятора, здійснюється за допомогою

$$\begin{aligned} W_{PC}(p) &= \frac{W_{PA3C}(p)}{W_{OPC}(p)} = \frac{T_M \cdot T_{\Sigma} \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1}{T_U \cdot p} = \\ &= \frac{4.363 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 1.425 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1}{0,001155 \cdot p}, \end{aligned} \quad (4.31)$$

де $T_U = a_c \cdot K_{\omega} \cdot K_{ПЧ} \cdot K_D \cdot T_M = 2 \cdot 0,125 \cdot 5 \cdot 1,257 \cdot 6.646 \cdot 10^{-3} = 0,0119$ с, a_c - коефіцієнт демпфування, дане значення відповідає оптимальному за швидкодією перехідному процесу. Підставимо значення, отримаємо:

$$W_{PC}(p) = 0,038 \cdot p + 1,234 + \frac{1}{0,001155 p}. \quad (4.32)$$

Висновки до четвертого розділу

В даному розділу було розроблено математичну модель електромеханічної частини механізму підвісної канатної дороги, яка складається з математичної моделі асинхронного двигуна, перетворювача частоти, регулятора швидкості.

Використавши параметри з розділу 3 вдалося синтезувати електромеханічну модель. Також був здійснений синтез регулятора швидкості та розраховані ПД параметри регулятора. Дану модель було створено для подальшого використання в моделюванні електромеханічної системи у середовищі MATLAB Simulink, яке буде здійснено і описано у наступному розділі даної роботи.

5 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB SIMULINK. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИЙ І СТАТИЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ

На Рисунок 6.1 представлений зовнішній вигляд моделі електромеханічної системи .

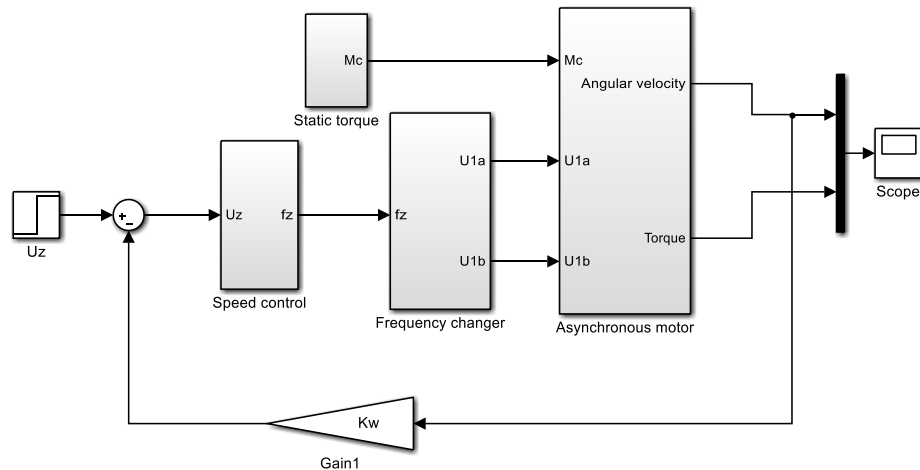


Рисунок 5.1 - Зовнішній вигляд електромеханічної системи .

Електромеханічна система складається з блока U_z – задачника інтенсивності, K_w – зворотнього зв'язку по швидкості, та підсистем *Speed control* – регулювання швидкості, *Static torque* – статичного моменту, *Frequency changer* – перетворювача частоти, *Asynchronous motor* – асинхронного двигуна в двофазній системі статора (a-b).

На Рисунок 6.2 показана підсистема *Speed control*. У блоки K_p і K_i вводимо коефіцієнти ПІ регулятора , які вже були розраховані раніше.

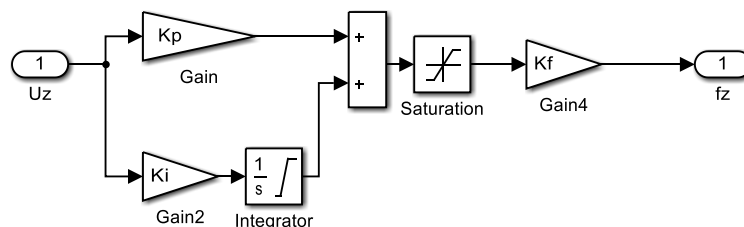


Рисунок 5.2 - Підсистема *Speed control*.

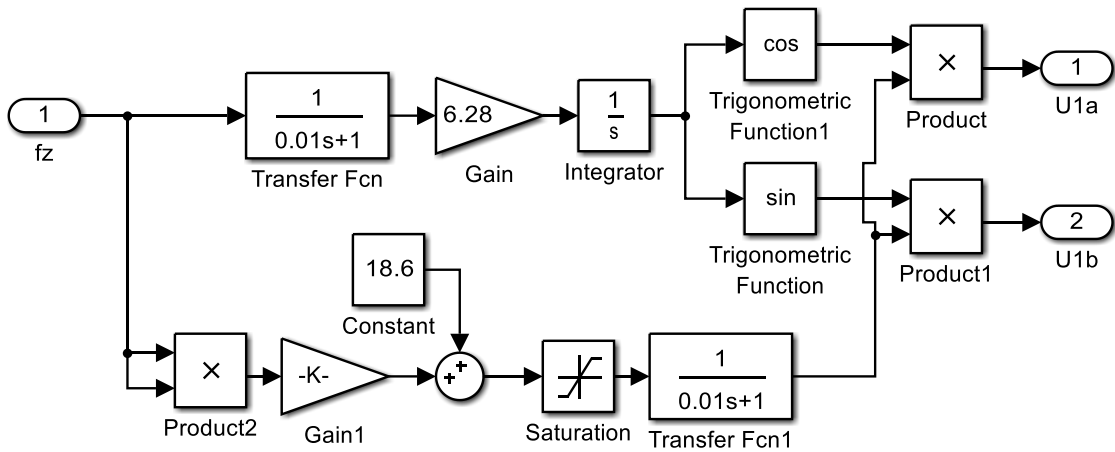


Рисунок 5.3 – Підсистема Frequency changer.

На Рисунок 6.4 представлена підсистема Asynchronous motor, який зібраний в двофазній системі координат статора (a-b).

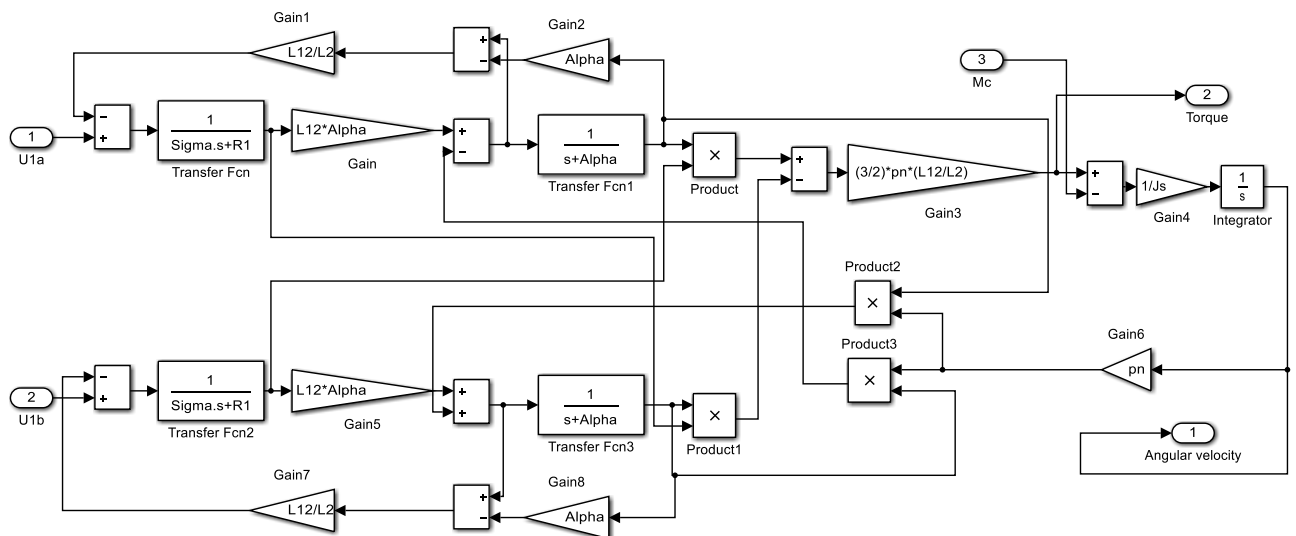
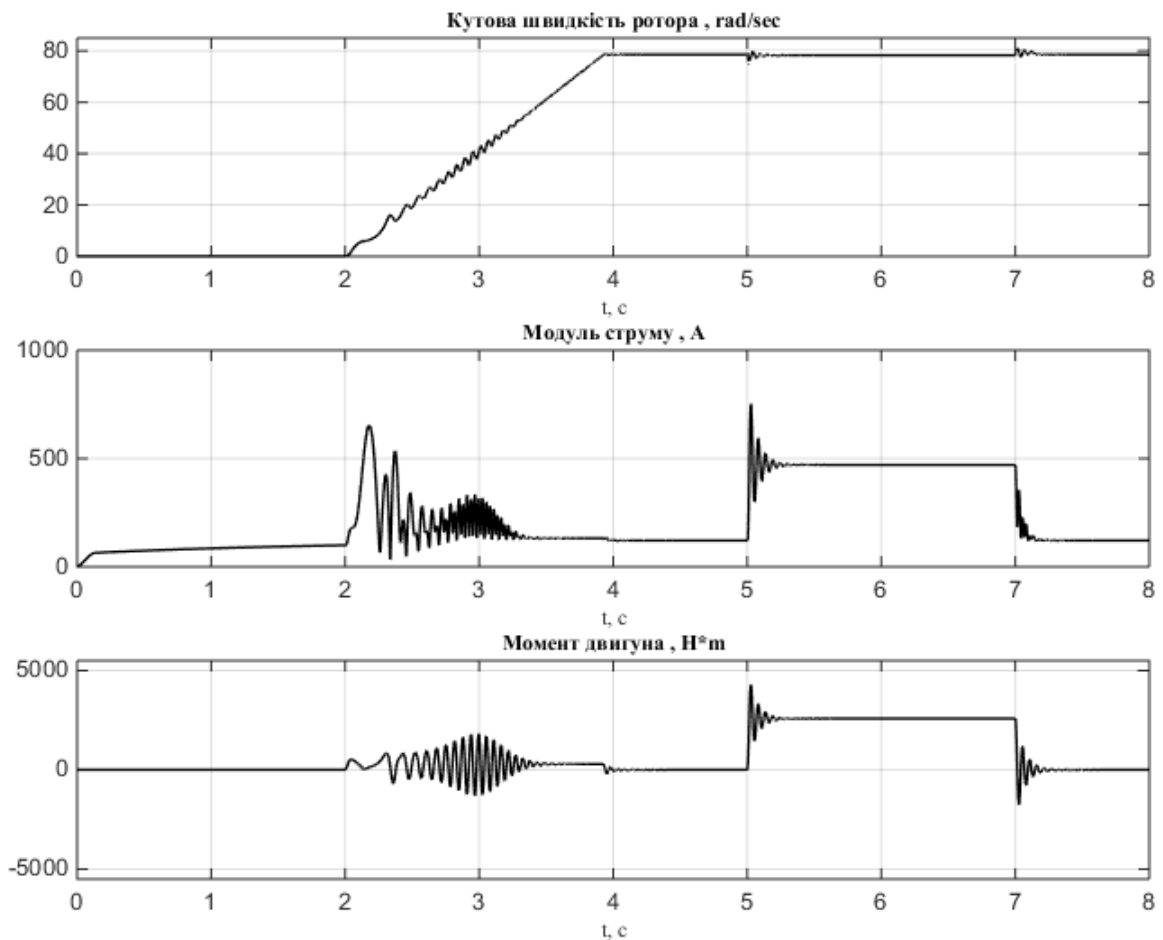


Рисунок 5.4 – Підсистема Asynchronous motor.

На Рис. 6.5 зображені графіки перехідних процесів частотного пуску двигуна з регулятором швидкості, $\omega = \omega_{on} = 77.4$ рад/с та номінальним навантаженням $M_c = 2580$ Нм. На рисунку зображенні 12 графіків, такі як : кутова швидкість ротора, момент двигуна, модуль струму статора, механічна,

активна та реактивна потужність. Розгін двигуна починається на 2 с. і продовжується до 4 с. На 5 с відбувається накидання номінального моменту, а на 7 с скидається.

З графіків бачимо що задана швидкість відпрацьовується добре, а регулятор швидкості робить похибку взагалі мінімальною, на рівні 0.15 рад/с. Також з графіків бачимо що система витримує номінальний момент і Механічна потужність при накиданні – 200 кВт, активна - 200.5 кВт.



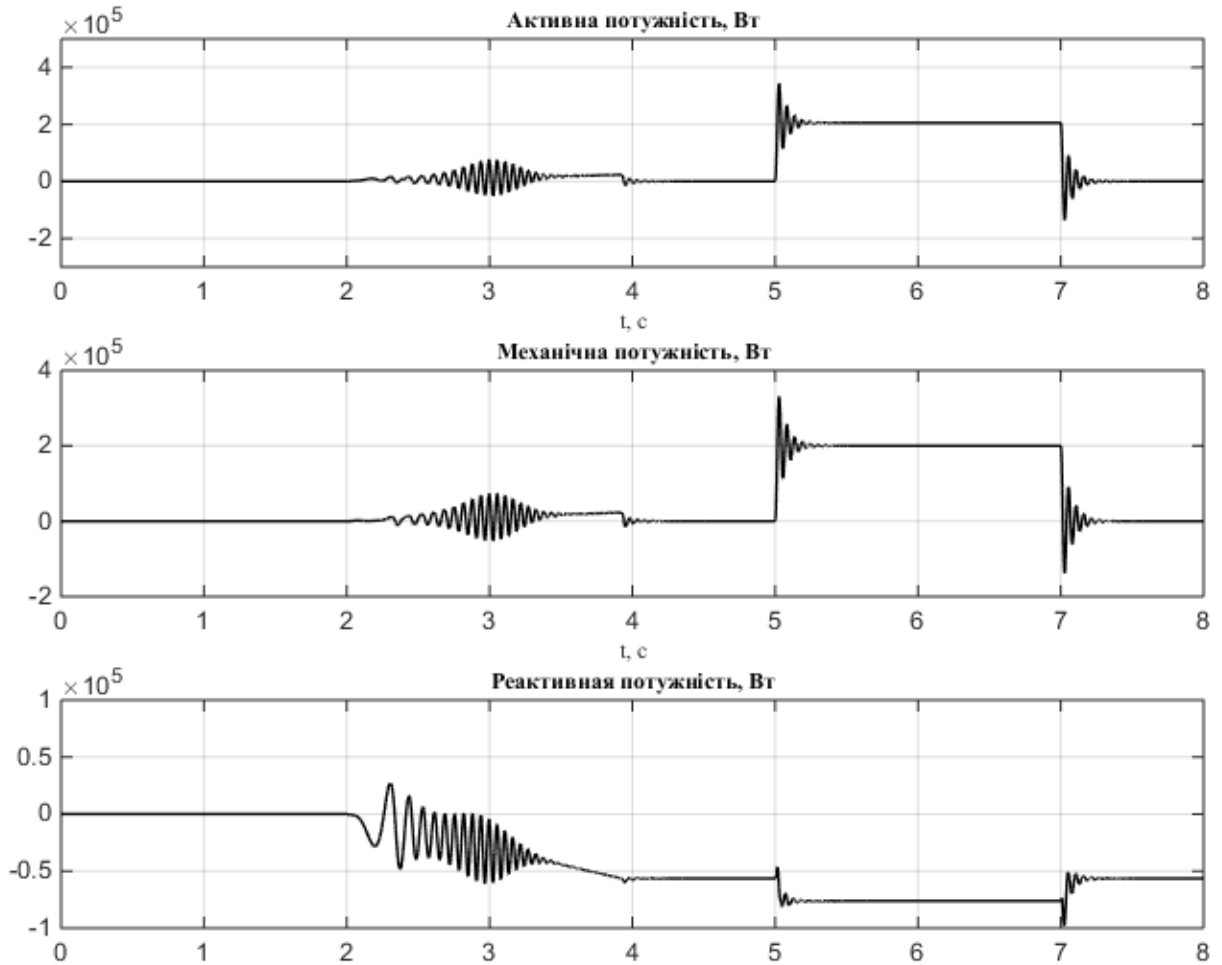


Рисунок 5.5 - Графіки перехідних процесів частотного пуску двигуна 4А355М4У3 з регулятором швидкості, $\omega = \omega_{on}$ та $M_c = M_H$.

Визначимо показники якості при розгоні двигуна з будь-якого графіка :

- час перехідного процесу :

$$t_{n,n} = 0.6 \text{ c};$$

перерегулювання:

$$\sigma = \frac{\omega_{\max} - \omega_H}{\omega_H} \cdot 100\% = \frac{78.81 - 78.54}{78.54} \cdot 100\% = 0.3\%; \quad (6.1)$$

коливальність:

$$\psi = \left(1 - \frac{\omega_{\max 2}}{\omega_{\max 1}} \right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{78.6}{78.81} \right) \cdot 100\% = 0.2\%; \quad (6.2)$$

Показники якості при накиданні $M_c = M_H$:

$$\text{перерегулювання: } \sigma = \frac{\omega_{\max} - \omega_H}{\omega_H} \cdot 100\% = \frac{81 - 78.54}{78.54} \cdot 100\% = 3.1\% ; \quad (6.3)$$

$$\text{коливальність: } \psi = \left(1 - \frac{\omega_{\max 2}}{\omega_{\max 1}}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{79.6}{81}\right) \cdot 100\% = 1.7\% ; \quad (6.4)$$

$$\Delta\omega_{M_H} = \frac{\Delta\omega}{\omega_n} \cdot 100\% = \frac{(78.54 - 77.48)}{78.54} \cdot 100\% = 1.3\% \quad (6.3)$$

Висновки до п'ятого розділу

В даному розділі на основі математичної моделі електромеханічної системи була складена її копію у середовищі MATLAB Simulink, проведено дослідження динамічних і статичних режимів з номінальним моментом. З отриманих графіків можна зробити висновки що наша система відпрацьовує поставлене завдання. Похибка швидкості складає 1.3%.

6 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИЙ І СТАТИЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПРИ РІЗНИХ МОМЕНТАХ НАВАНТАЖЕННЯ

Для моделювання і дослідження динамічних і статичних режимів при різних моментах навантаження : $0.2M_H$, $0.4M_H$, $0.6M_H$, $0.8M_H$, $1M_H$, $1.2M_H$ використаємо програму MATLAB Simulink та модель яка вже була представлена на Рис. 5.1. На Рис. 6.1 – 6.6 зображені графіки перехідних процесів при різному моменті навантаження.

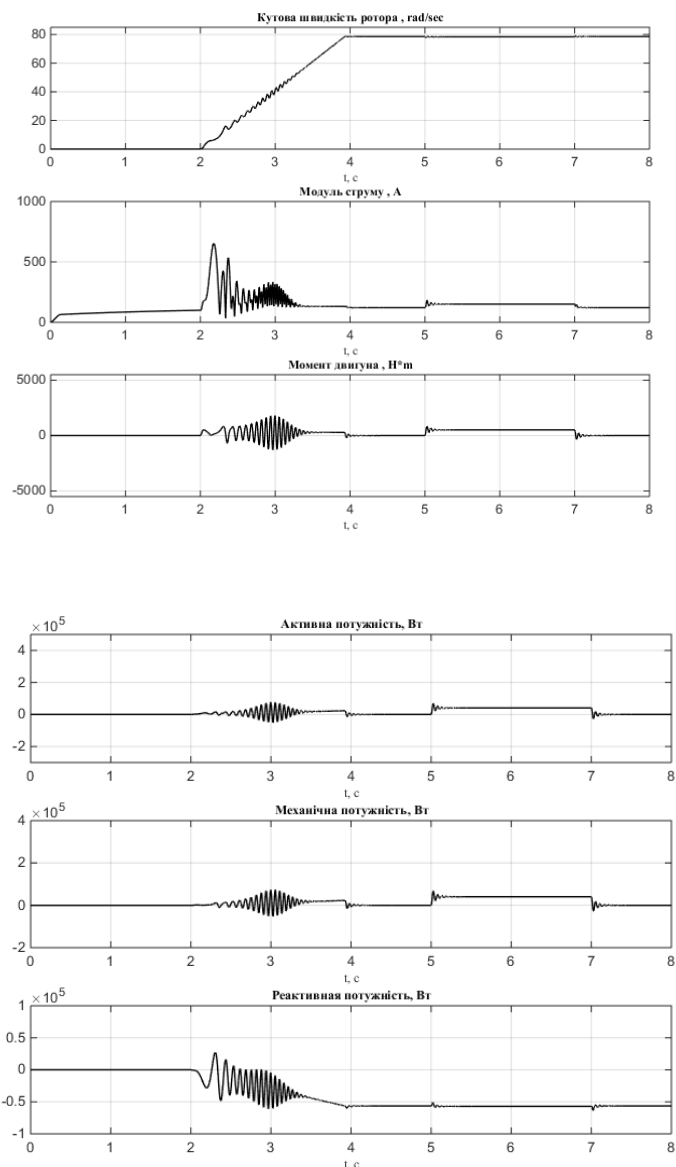


Рисунок 6.1 - Графіки перехідних процесів частотного пуску двигуна 4A355M4У3 з регулятором швидкості, $\omega = \omega_{on}$ та $M_c = 0.2M_H$.

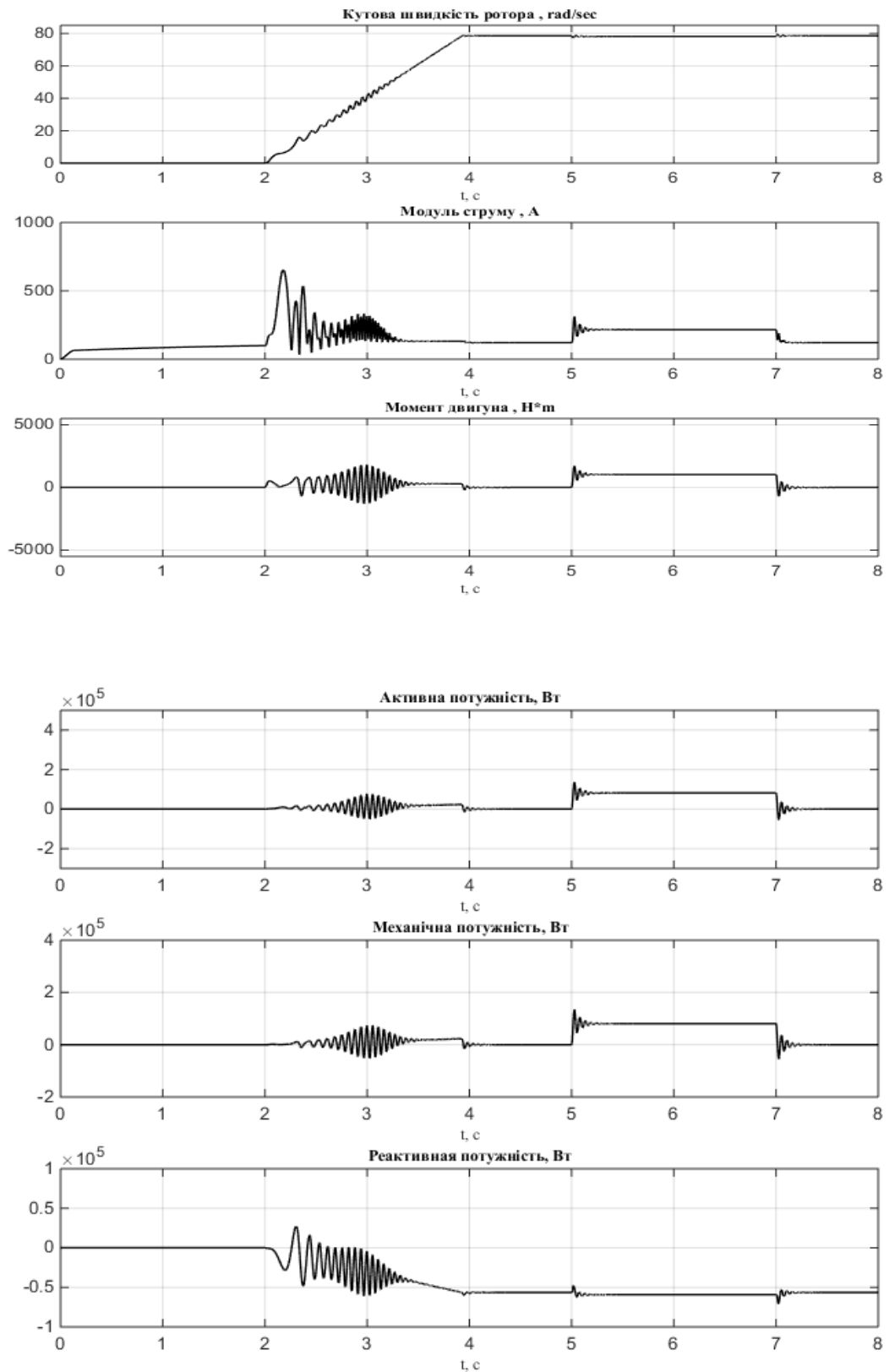


Рисунок 6.2 - Графіки перехідних процесів частотного пуску двигуна 4A355M4У3 з регулятором швидкості, $\omega = \omega_{0n}$ та $0.4 \cdot M_n$.

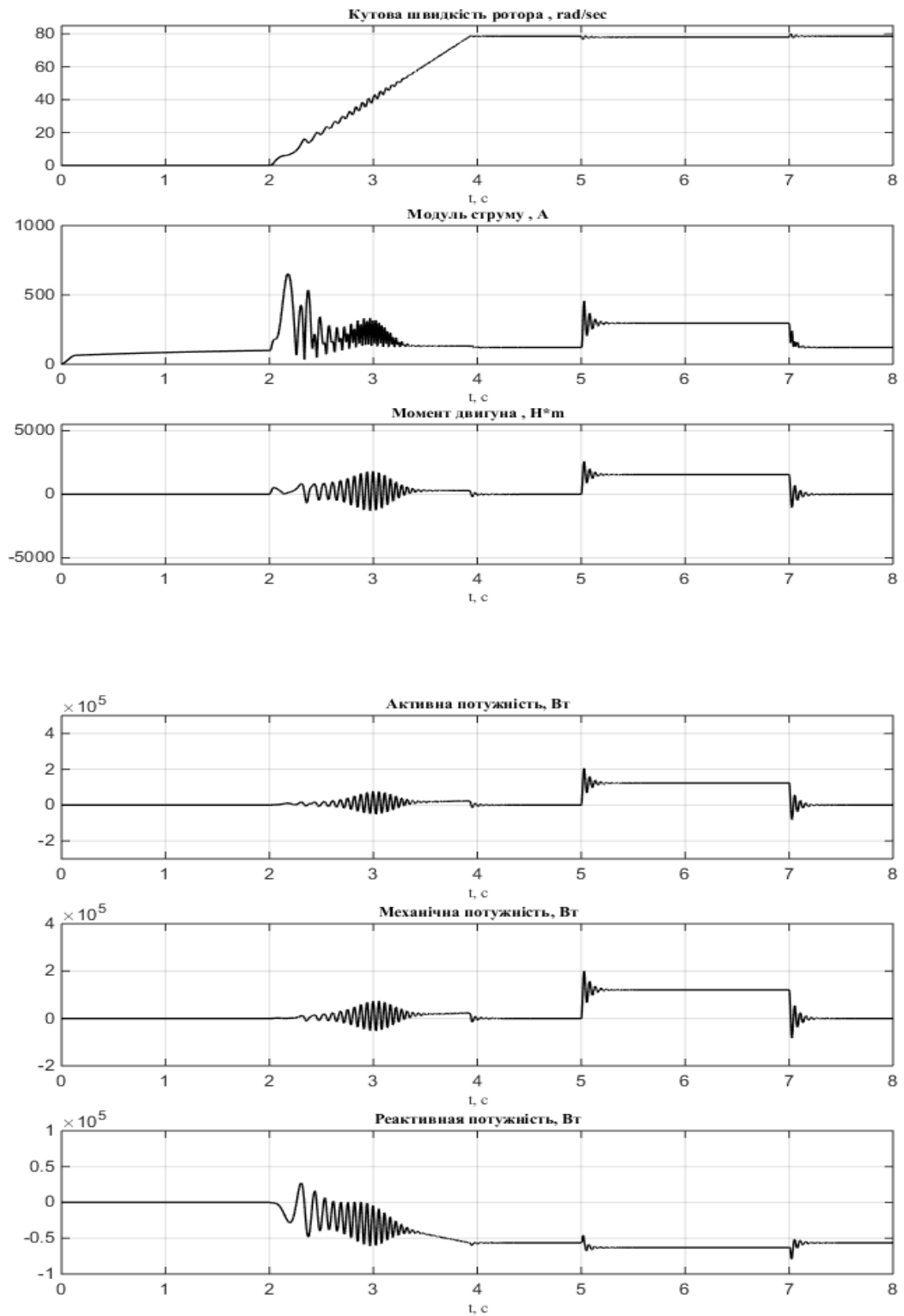


Рисунок 6.3 - Графіки перехідних процесів частотного пуску двигуна 4А355М4У3 з регулятором швидкості, $\omega = \omega_{on}$ та $M_c = 0.6M_n$.

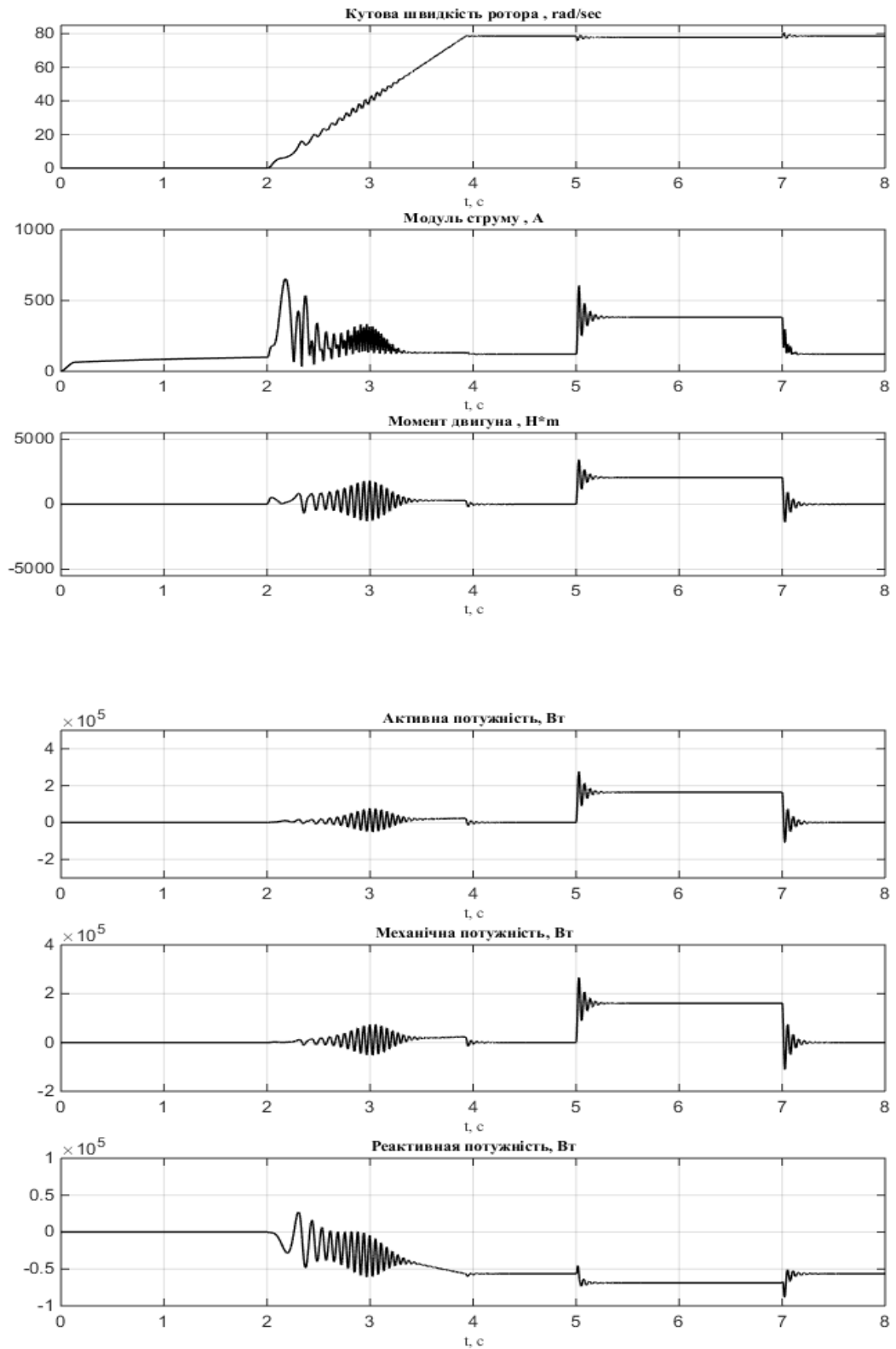


Рисунок 6.4 - Графіки перехідних процесів частотного пуску двигуна 4А355М4У3 з регулятором швидкості, $\omega = \omega_{on}$ та $M_c = 0.8M_H$.

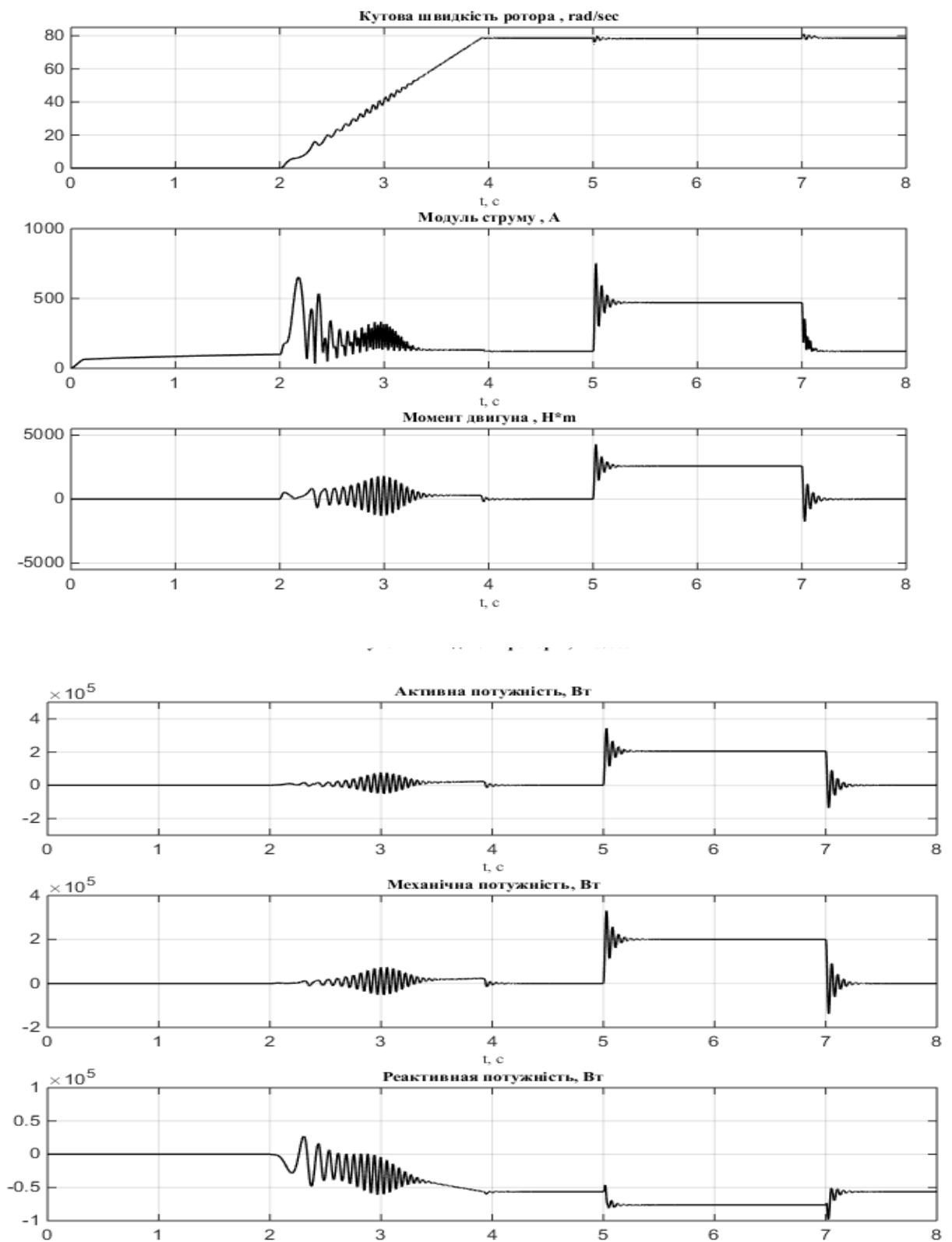


Рисунок 6.5 - Графіки перехідних процесів частотного пуску двигуна 4A355M4У3 з регулятором швидкості, $\omega = \omega_{on}$ та $M_c = M_n$.

Так як накидання різного за величиною моменту навантаження відбувається на 2с, то на розгін двигуна він не впливає.

Динамічне падіння швидкості при накиданні різного моменту навантаження:

При 0.2 M_H :

$$\Delta\omega_{дин1} = \frac{\Delta\omega}{\omega_H} \cdot 100\% = \frac{(78.5 - 78.31)}{78.5} \cdot 100\% = 0.24 \quad \% \quad (7.3)$$

При 0.4 M_H :

$$\Delta\omega_{дин2} = \frac{\Delta\omega}{\omega_H} \cdot 100\% = \frac{(78.54 - 78.1)}{78.54} \cdot 100\% = 0.51 \quad \% \quad (7.4)$$

При 0.6 M_H :

$$\Delta\omega_{дин3} = \frac{\Delta\omega}{\omega_H} \cdot 100\% = \frac{(78.54 - 77.9)}{78.54} \cdot 100\% = 0.76 \quad \% \quad (7.5)$$

При 0.8 M_H :

$$\Delta\omega_{дин4} = \frac{\Delta\omega}{\omega_H} \cdot 100\% = \frac{(78.54 - 77.69)}{78.54} \cdot 100\% = 1.03 \quad \% \quad (7.6)$$

При M_H :

$$\Delta\omega_{M_H} = \frac{\Delta\omega}{\omega_H} \cdot 100\% = \frac{(78.54 - 77.48)}{78.54} \cdot 100\% = 1.3 \quad \% \quad (7.7)$$

Висновок до шостого розділу.

В даному розділі на основі математичної моделі електромеханічної системи у середовищі MATLAB Simulink, було проведено дослідження динамічних і статичних режимів з рядом деяких статичних моментів $0.2M_H$, $0.4M_H$, $0.6M_H$, $0.8M_H$, $1M_H$, $1.2M_H$. З отриманих графіків можна зробити висновки що наша система відпрацьовує поставлене завдання. Також були визначенні показники якості системи, тобто перерегулювання, коливальність та похибку швидкості при накиданні ряду статичних моментів. Можна сказати, що система відпрацьовує завдання, оскільки жоден із параметрів якості не перевищує 5% межу.

ВИСНОВКИ

У процесі аналітичного огляду технічної літератури було досліджено ключові конструктивні елементи підвісних канатних доріг. Крім того, визначено вимоги до електропривода, які відповідають поставленим завданням і забезпечують ефективну роботу системи.

Аналіз існуючих технічних рішень для електроприводів підвісних канатних доріг показав, що більшість таких систем використовують асинхронні двигуни разом із системою керування на базі перетворювача частоти. Це дозволило обрати систему електропривода, яка включає перетворювач частоти (ПЧ) та асинхронний двигун (АД).

Було виконано розрахунок потужності двигуна на основі заданих параметрів і методики обходу по контуру. У результаті для проекту обрано двигун типу 4A355M4У3. Після цього здійснено розрахунки елементів силового контуру перетворювача частоти, за результатами яких обрано перетворювач ACS580-01-363A.

На основі розрахованих параметрів було проведено математичне моделювання електромеханічної системи в середовищі MATLAB Simulink. Дослідження перехідних процесів при різних статичних моментах у діапазоні від 0,2Мн до Мн показало, що максимальна похибка швидкості в усталеному режимі складає 1,3%, перерегулювання при розгоні – 3,7%, а коливальність у перехідному процесі – 7%.

Таким чином, у ході роботи було розроблено електропривод для підвісної канатної дороги, який відповідає заданим технічним вимогам і забезпечує ефективність та стабільність роботи системи.

