

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


(підпис)

Інна НЕФЬОДОВА
(ім'я, прізвище)

«05» грудня 2024 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (ПРОЄКТ)

рівень вищої освіти другий (магістерський)
спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
освітньо-професійна Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
тема «Синтез непрямого векторного керування лінійною швидкістю асинхронного електропривода із перетворювачем частоти»

Виконав(ла)

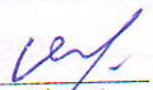
здобувач(ка) групи БД-П23МГ
(шифр групи)

Ростислав ГАЛУЗИНСЬКИЙ
(ім'я, прізвище)


(підпис)

Керівник роботи


д.т.н., проф. Тетяна НІКІТІНА
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)


(підпис)

Рецензент роботи

д.т.н., проф. Олексій ЧОРНИЙ
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)


(підпис)

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

Харків – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Факультет/ІННІ Бахмутський навчально-науковий професійно-педагогічний інститут

Кафедра Електромеханічних та комп'ютерних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Інна НЕФЬОДОВА



(підпис)

(ім'я, прізвище)

«08» жовтня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ)

Галузинський Ростислав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Синтез непрямого векторного керування лінійною швидкістю асинхронного електропривода із перетворювачем частоти

керівник 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 непрямого векторного керування лінійною швидкістю асинхронного електропривода із перетворювачем частоти
5	Розробка непрямого векторного керування лінійною швидкістю асинхронного електропривода із перетворювачем частоти
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 зовнішні рецензування роботи
9	Захист дипломної роботи у ЕК

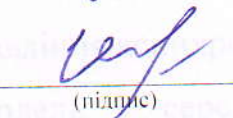
5. Дата видачі завдання «08» жовтня 2024 р.

Здобувач(ка)


(підпис)

Ростислав ГАЛУЗИНСЬКИЙ
(ім'я, прізвище)

Керівник роботи


(підпис)

Тетяна НІКІТІНА
(ім'я, прізвище)

АНОТАЦІЯ

У цій роботі представлено класифікацію автоматизованих електромеханічних систем управління, наведено кінематичну схему та визначено основні її елементи. Розглянуто найбільш поширені кінематичні схеми, а також обґрунтовано вибір конкретної схеми, яка буде застосована у роботі.

Визначено вимоги до автоматизованої системи електропривода для забезпечення необхідного рівня продуктивності, високої безпеки, надійності в роботі, підвищеного комфорту та ефективного енергозбереження під час експлуатації. Проведено розрахунок необхідної потужності електродвигуна та обрано асинхронний двигун. Виконано аналіз статичних навантажень і побудовано діаграми рушійних зусиль.

На основі номінального струму статора та потужності двигуна було здійснено вибір відповідного частотного перетворювача. Описано стандартний алгоритм непрямого векторного управління асинхронним двигуном.

Розроблено математичну модель у середовищі Simulink програми MATLAB 7.9 для моделювання перехідних процесів, а також надано детальний опис кожного з її блоків.

Створено схему керування, яка реалізована на базі промислового контролера.

ВЕКТОРНЕ УПРАВЛІННЯ АСИНХРОННИЙ ДВИГУН,
МАТЕМАТИЧНУ МОДЕЛЬ, АНАЛІЗ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ABSTRACT

This paper presents the classification of automated electromechanical control systems, presents a kinematic diagram and identifies its main elements. The most common kinematic diagrams are considered, and the choice of a specific diagram to be used in the work is justified.

The requirements for an automated electric drive system are determined to ensure the required level of productivity, high safety, reliability in operation, increased comfort and effective energy saving during operation. The required electric motor power is calculated and an asynchronous motor is selected. Static load analysis is performed and driving force diagrams are constructed.

Based on the rated stator current and motor power, a suitable frequency converter is selected. A standard algorithm for indirect vector control of an asynchronous motor is described.

A mathematical model is developed in the Simulink environment of the MATLAB 7.9 program for modeling transient processes, and a detailed description of each of its blocks is provided.

A control scheme has been created, which is implemented on the basis of an industrial controller.

VECTOR CONTROL OF ASYNCHRONOUS MOTOR, MATHEMATICAL MODEL, ANALYSIS, ENERGY SAVING

ВСТУП

Необхідно розробити автоматизовану електромеханічну систему управління, яка забезпечуватиме рух з максимальною швидкістю до 2.5 м/с та прискоренням (сповільненням) не більше 1.5 м/с². Система повинна бути надійною та безпечною, гарантувати безперервний підйом і спуск протягом тривалого часу експлуатації, мати високий коефіцієнт корисної дії, а також бути максимально простою в обслуговуванні та ремонті, забезпечуючи економію енергії під час роботи.

Для досягнення цих цілей використовується регулювання за допомогою перетворювача частоти — одного з найсучасніших і найпоширеніших методів управління.

Автоматизація є одним із ключових завдань, яка реалізується за допомогою сучасної мікропроцесорної техніки.

Основні компоненти системи включають: програмований логічний контролер, редуктор, перетворювач частоти та асинхронний двигун. Вибір асинхронного двигуна для цієї системи обґрунтований їхньою надійністю, відносно низькою вартістю та високим рівнем енергоефективності.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Технологічний процес

Підйомні механізми є важливою складовою нашого повсякденного життя. Вони значно спрощують і прискорюють виробничі процеси, а такі механізми, як ліфти, стають невід'ємною частиною багатопверхових будівель, вказуючи на рівень комфорту. Сьогодні в різних сферах активно використовуються численні підйомні механізми для транспортування людей і вантажів, серед яких крани, ліфти та ескалатори. Ліфти є одними з найпоширеніших підйомних механізмів і встановлюються в житлових будинках, лікарнях, а також на підприємствах.

Сучасні ліфти оснащені високим рівнем автоматизації, що забезпечує відкриття та закриття дверей, а також пуск і зупинку кабіни за допомогою електроприводів. Вимоги до електроприводів стосуються як безпеки, так і комфорту експлуатації. Пуск і гальмування мають бути плавними, з заданим прискоренням, швидкість руху повинна підтримуватися на певному рівні, а зупинка — точно на поверсі.

Залежно від функціонального призначення, ліфти поділяються на пасажирські, вантажопасажирські, вантажні та спеціальні. Вони також класифікуються за швидкістю руху на тихохідні, швидкохідні, швидкісні та високошвидкісні. Вантажопідйомність пасажирських ліфтів варіюється від 250 до 1500 кг, тоді як вантажних — від 50 до 5000 кг.

Основними компонентами для різних кінематичних схем є направляючі барабани, підйомна лебідка, двигун, механічні гальма, канати, кабіна, противага та апаратура керування.

В залежності від типу приводу, двигуни бувають електричними та гідравлічними. Для тихохідних і швидкохідних ліфтів зазвичай використовують електроприводи змінного струму, у той час як швидкісні та високошвидкісні ліфти оснащуються електроприводами постійного струму.

Конструктивно ліфти можуть бути з барабанною лебідкою, канатоведучим шківом або безредукторною лебідкою. Що стосується системи керування, ліфти поділяються на кнопкові (внутрішні та зовнішні), змішані, з нормальним, збірним та груповим керуванням, а також з програмним керуванням.

Кінематично ліфти можуть мати нижнє або верхнє розташування приводного механізму, з противагою або без. Ліфти без противаги вимагають застосування потужних електричних двигунів, тому їх використовують рідко, зазвичай у випадках, коли вантажопідйомність незначна, а встановити противагу неможливо.

1.2 Аналітичний огляд конструкцій і електроприводів

Ліфт — це підйомник переривчастої дії, що забезпечує вертикальний рух кабіни по жорстких напрямних, які розташовані в огороженій шахті з усіх боків.

Пасажирські ліфти класифікують на три групи в залежності від швидкості руху кабіни: - тихохідні — до 0.5 м/с; - швидкохідні — до 1 м/с; - швидкісні — понад 1 м/с.

Технологічна схема механізму

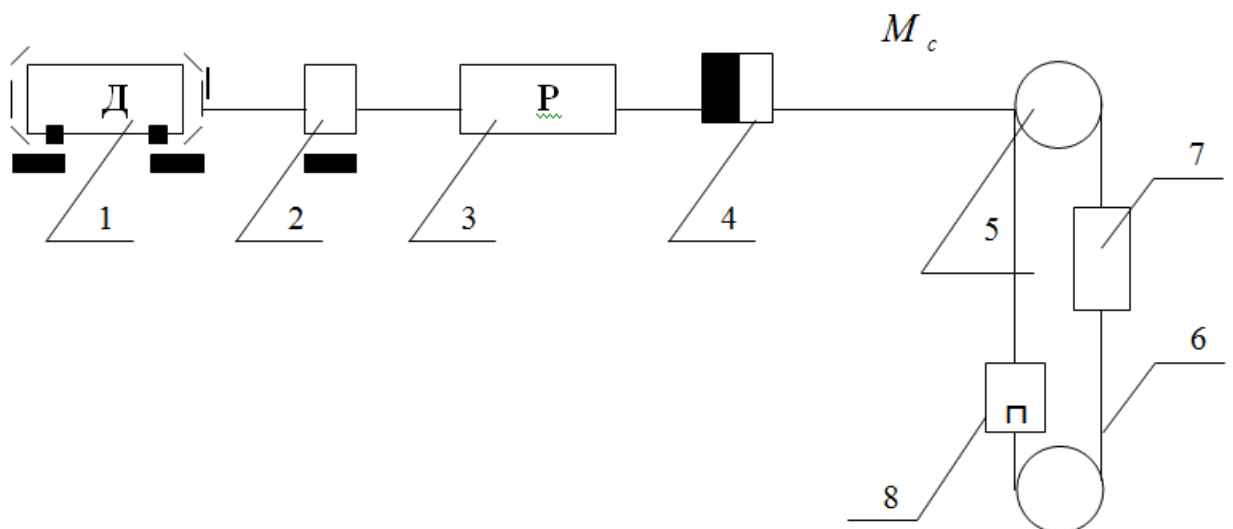


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ліфта.

У технологічній схемі (рис.1.1) позначені: 1 – двигун; 2 - гальмівна муфта; 3 – редуктор; 4 - сполучна муфта; 5 - канатоведучий шків; 6 – канати; 7 – кабіна; 8 – противага

У сучасних ліфтах зазвичай використовуються технологічні схеми з верхнім розташуванням електроприводу (ЕП). Таке розміщення дозволяє зменшити кількість перегинів канатів, що підвищує їхню довговічність, покращує коефіцієнт корисної дії, знижує навантаження на опорні конструкції та зменшує вартість. Проектований мною ліфт належить до цієї категорії.

Технологічна схема з верхнім розташуванням ЕП працює таким чином: рух від двигуна (1) передається на канатоведучий шків (5) через гальмівну муфту (2), редуктор (3) та сполучну муфту (4), які приводять в рух кабіну (7) і противагу (8) за допомогою канатів (6).

У сучасних електроприводах постійного і змінного струму для пасажирських і вантажопасажирських ліфтів використовують вітчизняні кранові електродвигуни змінного струму з фазним ротором серії МТК або короткозамкненим ротором серії МТКФ, потужність яких варіюється від 2 до 20 кВт, а також двигуни серії 4МТ з потужністю від 2 до 220 кВт, екскаваторні електродвигуни постійного струму серії ДЕ і ПЕ, а також двигуни серій Д і П і ліфтові двигуни серії ПЛ.

Електроприводи змінного струму використовують у тихохідних і швидкохідних ліфтах зі швидкістю руху до 2 м/с. Для швидкісних і високошвидкісних ліфтів, швидкість яких перевищує 2 м/с, застосовують електроприводи постійного струму. У житлових і адміністративних будівлях, які мають до 18 поверхів, зазвичай встановлюються швидкохідні ліфти зі швидкістю до 2 м/с, а в будинках з до 10 поверхами — ліфти зі швидкістю від 0,7 до 1 м/с.

В останні роки вимоги до ліфтів значно зросли. Пасажирські ліфти повинні забезпечувати: а) задану продуктивність; б) повну безпеку для пасажирів і вантажів; в) високу надійність роботи; г) підвищений комфорт під час транспортування людей; д) можливість економічної експлуатації.

Лебідки ліфтів можуть бути редукторними або безредукторними за своєю конструкцією. У редукторних лебідках канатоведучий шків закріплений на повільному валу редуктора. Ці лебідки використовуються у вітчизняних ліфтах зі швидкістю руху до 1,6 м/с і оснащені двошвидкісним асинхронним електродвигуном з короткозамкненим ротором, який працює від мережі змінного струму.

Швидкісні ліфти обладнані безредукторними лебідками, що використовують регульований електропривод з електродвигуном постійного струму з незалежним збудженням. У безредукторних лебідках канатоведучий шків закріплений на валу електродвигуна постійного струму. Для висотних будівель використовують швидкісні ліфти з безредукторними лебідками, які мають повільний електродвигун постійного струму з напівпровідниковим управлінням і безконтактними пристроями. Ці лебідки дозволяють зменшити масу приводу, споживання електроенергії, а також час і витрати на ремонт.

Система електроприводу функціонує на постійному струмі за схемою: реверсивний тиристорний перетворювач - двигун. Перетворювачі мають безконтактну систему управління, котра забезпечує необхідні параметри перехідних процесів та стабільного руху ліфта незалежно від навантаження. Система управління дозволяє зупинку кабіни ліфта на попутні виклики під час руху вгору та вниз і призначена для групового автоматичного управління ліфтами. Виклик ліфта здійснюється натисканням кнопки на передній стіні шахти, електрообладнання в машинному приміщенні і кнопкова панель у кабіні зв'язані між собою гнучким підвісним кабелем.

Розсувні двері, що ведуть до ліфтової кабіни та шахти, оснащені автоматичним приводом, який встановлено на даху кабіни. Відкриття та закриття цих дверей, а також запуск ліфта відбуваються за промахом пасажирів, який натискає кнопку на панелі управління, розташованій всередині кабіни. У системі передбачено використання фотоелектричного контролю для забезпечення безпеки під час відкривання та закривання дверей, що допомагає запобігти травмам або закриттю дверей на пасажирів.

Кінематична схема швидкісного вітчизняного ліфта ілюструє всі основні елементи цього механізму, зокрема їх взаємозв'язки та функціонування. На верхньому рівні шахти, над самою шахтою, знаходиться машинне приміщення, яке містить електродвигун з канатоведучим шківом, що дозволяє піднімати та опускати ліфт. Також тут встановлене гальмо для контролю швидкості та безпеки, а також комплектне низьковольтне пристрій управління, трансформатор і вступний пристрій, які забезпечують належну роботу всіх електричних систем. Це все сприяє безпеці та ефективності функціонування ліфта в цілому.

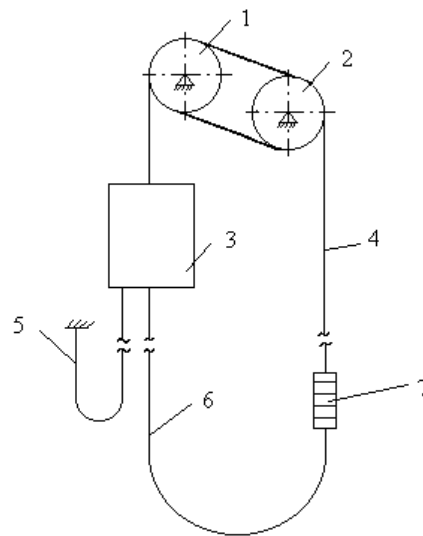


Рисунок 1.2 – Кінематична схема вітчизняного ліфта:

1-канатоведучий шків; 2-відвідної блок; 3 кабіна; 4-тяговий канат;
5-підвісний кабель; 6-врівноважуючий канат; 7-противага

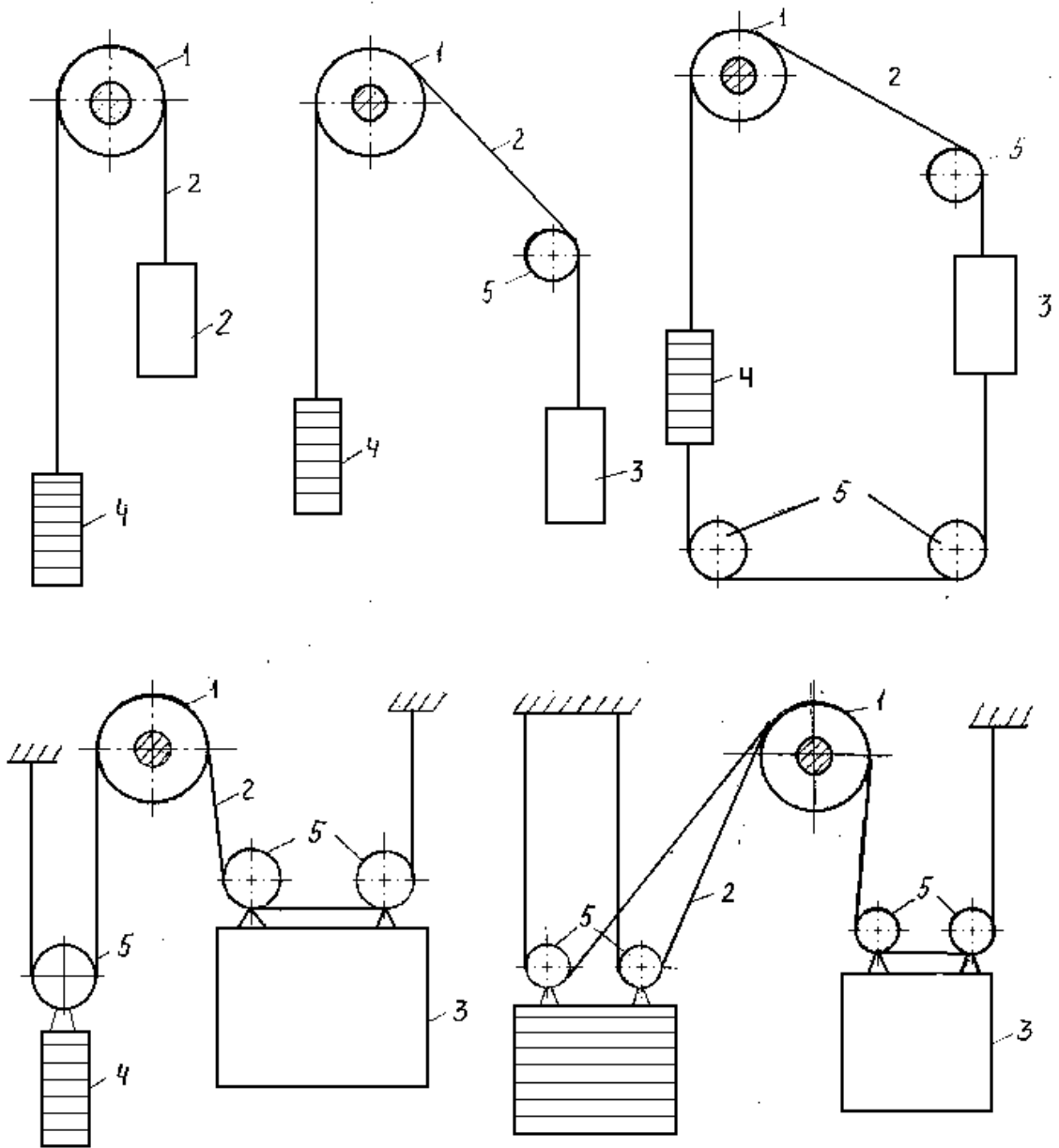


Рисунок 1.3 – Кінематичні схеми ліфтів

1 - канатоведучий шків; 2 - тяговий канат; 3 - кабіна; 4-противага; 5-направляючий шків.

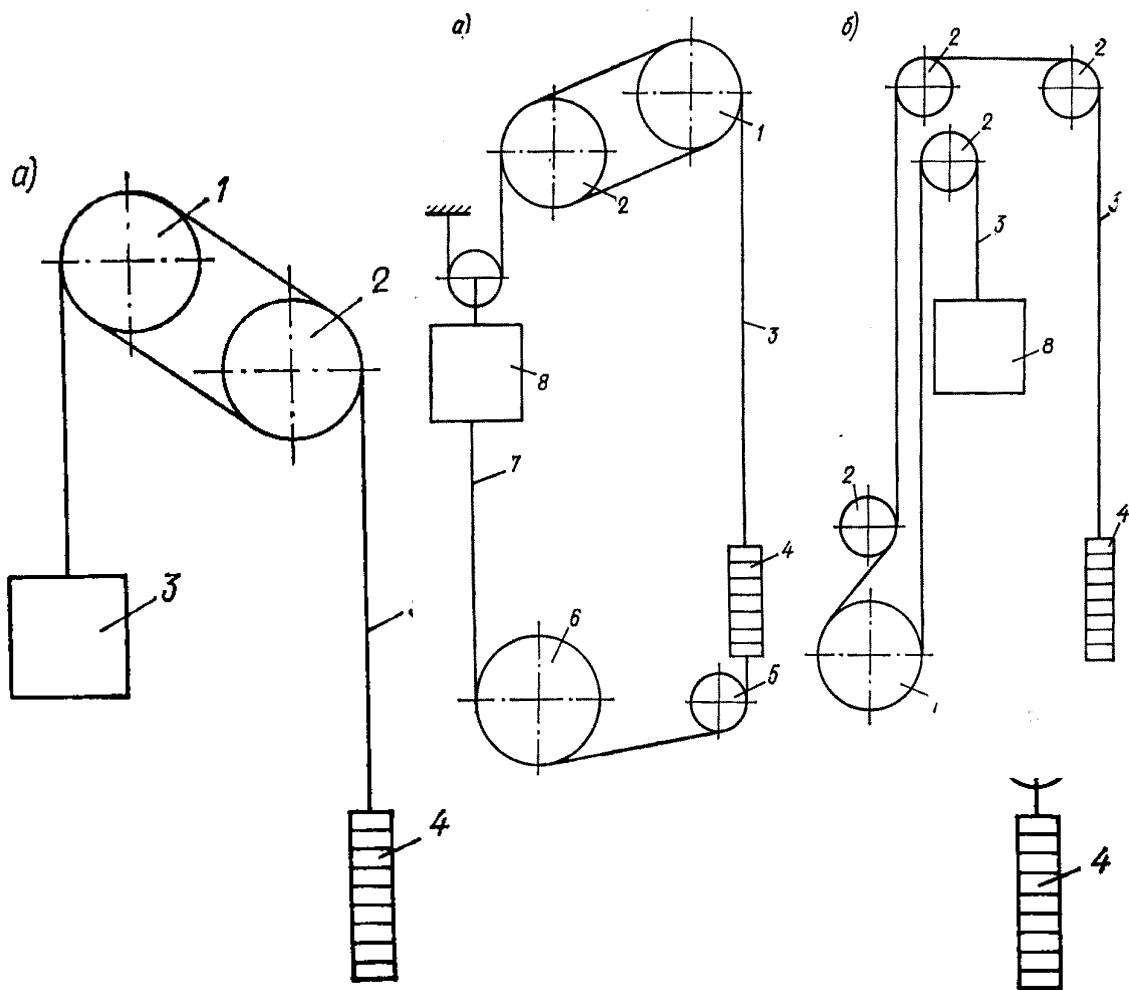


Рисунок 1.4 – Кінематичні схеми швидкісних японських ліфтів:

а) - схема з прямою підвіскою кабіни при подвійному куті обхвату канатоведущого шківів тяговими канатами (для ліфтів зі швидкістю більше 4 м / с); б) - схема з поліспастиною підвіскою при подвійному вугіллі обхвату канатоведущого шківів тяговими канатами (для ліфтів зі швидкістю більше 3 4 м / с); 1 - канатоведучий шків; 2 - відповідної блок; 3 - кабіна; 4 - протизвага; 5 - тяговий канат; 6 - відповідної блок кабіни.

1.3 Вимоги до автоматизованої системи електропривода

В останні роки вимоги до ліфтів істотно зросли, зокрема для вантажопасажирських ліфтів, які повинні відповідати ряду специфічних критеріїв. По-перше, вони мають забезпечувати задану продуктивність, що

важливо для ефективного функціонування в багатоповерхових будівлях. По-друге, безпека пасажирів та перевезених вантажів є найголовнішою вимогою, що включає в себе не лише механічну, але й електричну безпеку. Важливими також є показники надійності роботи ліфта, комфорт при транспортуванні людей, а також ефективне енергозбереження в процесі експлуатації.

Основні вимоги до систем електропривода вантажопасажирських ліфтів (ЛПУ) включають реверсивність, що дозволяє ліфту працювати в обох напрямках, а також точне позиціонування – для житлових та адміністративних будинків цей показник має скласти не більше ± 50 мм, тоді як для лікарняних ліфтів він повинен бути ще суворішим – ± 10 мм. Крім того, важливою є мінімізація тривалості перехідних процесів при заданих величинах прискорення та гальмування, що зазвичай становить стандартне значення 2 м/с^2 . При цьому необхідно забезпечити розрахункову швидкість руху, а також дотримуватись показників безпеки, надійності та низького рівня шуму.

З метою підвищення безпеки в ЛПУ використовується ряд механічних та електричних блокувань, а також різноманітних видів захистів. Наприклад, до основних блокувань належать: заборона пуску при недостатній вазі пасажирів, заборона пуску за умов відкритих дверей кабіни або шахти, відкритих дверей приямка, а також при відкритому аварійному люку кабіни, а також заборона пуску при перевантаженні кабіни. Щодо видів захистів, слід зазначити максимально струмовий захист, захист від перегріву, обриву фаз та захист від перевищення швидкості. У разі спрацьовування будь-якого з цих захистів або блокувань, система керування не видає команди на початок роботи ліфта. Якщо захист спрацьовує під час роботи, система керування генерує сигнал для екстреного зупинення руху.

Система керування ліфтом повинна контролювати і безпечно керувати процесом підйому та спуску кабіни, забезпечуючи вибрану швидкість руху, а також обмежувати прискорення та ривок під час розгону і гальмування. При наближенні ліфта до визначеного поверху, система повинна знижувати швидкість, щоб зменшити навантаження на механічне гальмо та знизити

ривок. Коли пасажери подають запит на виклик ліфта, система повинна визначати, з якого поверху надійшов виклик, на якому поверсі перебуває кабіна, і вибирати відповідний напрямок руху.

Враховуючи всі зазначені вимоги, необхідно спроектувати автоматизовану електромеханічну систему керування для вантажопасажирського ліфта. Ця система має забезпечувати ефективне транспортування пасажирів у дванадцяти п'ятиповерхових житлових будинках, надаючи можливість зупинки на будь-якому з поверхів. Система повинна відповідати всім сучасним вимогам безпеки, комфорту та ефективності, суттєво покращуючи якість обслуговування мешканців.

Конкретно, ліфтова установка повинна бути спроектована для підйому та спуску пасажирів з максимальною вантажопідйомністю 1000 кг, забезпечуючи швидкість не більше 2.5 м/с і максимальне прискорення (а також сповільнення) не більше 1.5 м/с². Необхідно, щоб система була не лише надійною та безпечною, але й здатною забезпечити безперебійний підйом і спуск протягом тривалого періоду експлуатації.

Важливими аспектами проектування є високий коефіцієнт корисної дії, простота в експлуатації та ремонті, а також енергоефективність під час роботи. Надійність системи буде забезпечена завдяки використанню регулювання через перетворювач частоти, що є одним із найсучасніших та найбільш розповсюджених методів управління.

Автоматизація роботи ліфта є ще одним ключовим завданням проекту, і вона реалізується за допомогою сучасної мікропроцесорної технології. Система керування повинна постійно опитувати кнопки виклику ліфта, розташовані на поверхових майданчиках, і на основі натиснутих пасажирами кнопок виконувати підйом та спуск кабіни до потрібного поверху. Крім того, система повинна забезпечувати точне визначення поточного номера поверху та його індикацію для зручності користувачів.

Важливим аспектом спроектованої автоматизованої електромеханічної системи є контроль за відсутністю ваги та перевантаження, що забезпечує

безпеку під час експлуатації. Система повинна включати вбудовані механізми блокування руху ліфта у випадку виникнення аварійної ситуації, що надає додатковий рівень захисту пасажирів. Завдяки цим функціям, спроектована система стане надійним і безпечним рішенням для транспортування людей у багатоповерхових будинках, відповідаючи всім необхідним стандартам і вимогам безпеки.

До основних елементів системи входять кілька ключових компонентів. По-перше, модульний програмований контролер, який забезпечує ефективне управління роботою ліфта. По-друге, редуктор, який дозволяє знижувати швидкість обертання двигуна, передаючи необхідні оберти на підйомний механізм. Крім того, система включає перетворювач частоти, що регулює швидкість двигуна, що, в свою чергу, дозволяє адаптувати швидкість ліфта відповідно до умов експлуатації.

Асинхронний двигун був обраний для цієї системи через його високу надійність, невелику вартість і ефективність енергоспоживання. Привід дверей кабіни ліфта є важливою частиною системи, забезпечуючи автоматичне відкриття та закриття дверей для комфортного та безпечного входу і виходу пасажирів.

Також необхідними компонентами є обмежувач швидкості, який контролює максимальну швидкість руху ліфта, а також ловителі, що запобігають падінню кабіни у разі надзвичайної ситуації. Пристрої індикації поверхів надають інформацію пасажирам про поточний поверх і напрямок руху ліфта.

Загалом, ретельно продумана конструкція цієї системи має на меті забезпечити ефективність, надійність та безпеку при транспортуванні пасажирів у багатоповерхових будівлях. Це дозволить забезпечити високий рівень обслуговування та комфорт для користувачів.

2. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТА ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ

2.1. Розрахунок потужності та попередній вибір електродвигуна

Розрахунок здійснюється на основі наступних вихідних даних: висота підйому ліфта, кількість обслуговуваних поверхів і заселеність, показник розрахункової інтенсивності пасажиропотоку; вимоги до рівня транспортної комфортності; ГОСТ та нормативно-технічні документи.

Завантаження ліфтового обладнання в будівлях та спорудах коливається в часі за випадковим законом. Залежно від типу та призначення будівлі, завантаження протягом доби може мати характерні сплески інтенсивності. Величину пасажиропотоку прийнято визначати кількістю користувачів, які рухаються в одному напрямку за одну одиницю часу.

Для порівняння інтенсивності пасажиропотоків у будівлях різних цілей застосовується показник інтенсивності 5-хвилинного потоку, виражений у % від загальної кількості осіб, що користуються ліфтом.

Приймаються наступні показники інтенсивності 5 хвилинного пасажиропотоку: житлові будинки масової забудови - 3 - 6%; готелі - 7 - 15%; адміністративні будівлі - 14 - 20%; будівлі та споруди громадського призначення - 15 - 20%; навчальні заклади - 20 - 35 %.

Розрахунок вертикального транспорту у житлових, адміністративних будівлях і готелях проводиться за умов двостороннього пасажиропотоку з урахуванням специфіки розміщення ліфтового обладнання та наявності експресних зон (частина висоти будівлі, де кабіна рухається без зупинок) ліфтового оснащення.

З'ясуємо інтенсивність 5-хвилинного пасажиропотоку, приймаючи до уваги, що розрахункова інтенсивність $I_n=6\%$ для житлового будинку.

$$A_5 = \sum_2^n a_i \cdot \frac{I}{100}, \text{чол} / 5\text{хв}; \quad (2.1)$$

де a_i - заселеність i -го поверху,

I - розрахункова інтенсивність п'ятихвилинного пасажиропотоку,

n - кількість поверхів

$$a_i = 15 \text{ чел};$$

$$I = 6\%;$$

$$n = 25 \text{ пов};$$

$$A_{5-2} = 15 \cdot \frac{6}{100} = 0,9 \text{ чел} / 5\text{хв}; \quad (2.2)$$

Оскільки на кожному з поверхів проживає приблизно однакова кількість людей, то приймаємо:

$$A_5 = 25 \cdot 0,9 = 22,5 \text{ чел} / 5\text{хв}; \quad (2.3)$$

Розрахунковий годинний пасажиропотік:

$$A_p = 12K \cdot A_5, \text{ чел} / \text{год}; \quad (2.4)$$

де $K = 0.8 \div 0.9$ - коефіцієнт, що враховує нерегулярність пасажиропотоку, пов'язану із захворюваннями і відпустками;

$$A_p = 12 \cdot K_{np} \cdot A_5 = 12 \cdot 0.8 \cdot 22,5 = 216 \text{ чел} / \text{год}; \quad (2.5)$$

Визначимо швидкість руху з висоти підйому:

$$V = \frac{H}{30} = \frac{77,2}{30} = 2.5 \text{ м} / \text{с}; \quad (2.6)$$

де $H=77,2$ м - висота підйому ліфта,

Розрахунковий приведений пасажиропотік при русі кабіни:

$$\text{На підйом: } A_n = 0.66 \cdot A_p = 0.66 \cdot 216 = 142,56 \text{ чел} / \text{год}; \quad (2.7)$$

$$\text{на спуск: } A_c = 0.34 \cdot A_p = 0.34 \cdot 216 = 73,44 \text{чол / год}; \quad (2.8)$$

Розрахункова місткість кабіни визначається на основі вказаного інтервалу з урахуванням інтенсивності пасажиропотоку при підйомі та спуску:

$$\text{на підйом: } E_n = \frac{A_n \cdot t_u}{3600} = \frac{142.56 \cdot 90}{3600} = 3.56 \text{чол}; \quad (2.9)$$

$$\text{на спуск: } E_c = \frac{A_c \cdot t_u}{3600} = \frac{73.44 \cdot 90}{3600} = 1,84 \text{чол}; \quad (2.10)$$

Вибираємо фактичне значення місткості ліфта $E = 13 \text{чол}$.

Розрахунок вантажопідйомності ліфта.

$$Q = q \cdot z = 77 \cdot 13 = 1000 \text{кг}; \quad (2.11)$$

де q - маса одного пасажиря; $q = 77 \text{кг}$; z - число пасажирів

Продуктивність пасажирського ліфта:

$$\Pi = \frac{3600 \cdot z}{T} \cdot \phi_{ст} = \frac{3600 \cdot 10}{103.796} \cdot 0.6 = 208 \text{чол / год}; \quad (2.12)$$

де $\phi_{сп} = 0.6$ – середній коефіцієнт заповнення кабіни.

Маса кабіни пасажирського і вантажопасажирського ліфта наближено визначається за наступною залежністю:

$$m_k = (500 \div 550) \cdot A \cdot B = 500 \cdot 1.6 \cdot 1.4 = 1120 \text{кг}; \quad (2.13)$$

де A, B - ширина і глибина кабіни, відповідно, м.

Маса противаги визначається за формулою:

$$m_n = m_k + \varphi \cdot Q = 1120 + 0.5 \cdot 1000 = 1620 \text{кг}; \quad (2.14)$$

де φ - коефіцієнт врівноваження номінального вантажу кабіни; Q - маса вантажу, кг.

Для швидкості ліфта 2.5м/с та вантажопасажирського ліфта вантажопідйомністю 1000кг обираємо прискорення $a = 1.5 \text{м/с}^2$;

тоді час розгону (гальмування):

$$t_{pe} = \frac{V}{a} = \frac{2.5}{1.5} = 1.7c; \quad (2.15)$$

За цей час ліфт пройде шлях:

$$L_{pe} = \frac{a \cdot t_{pe}^2}{2} = \frac{1.5 \cdot 1.7^2}{2} = 2.1675m; \quad (2.16)$$

Відстань руху з усталеною швидкістю:

$$L_y = H - 2 \cdot L_{pe} = 77,2 - 2 \cdot 2.1675 = 72.865m; \quad (2.17)$$

Час переміщення зі встановленою швидкістю:

$$t_y = \frac{L_y}{V} = \frac{72,865}{2.5} = 29.146c; \quad (2.18)$$

Час переміщення:

$$t_{nep} = t_y + 2t_{pe} = 29.146 + 2 \cdot 1.7 = 32.546c; \quad (2.19)$$

Час циклу:

$$t_u = 2 \cdot t_{nep} + 2 \cdot t_0 = 2 \cdot 32.546 + 2 \cdot 5.75 = 65.092 + 11.5 = 76.592c; \quad (2.20)$$

Час паузи: $t_0 = 5.75c$

По вищенаведеним розрахункам побудуємо тахограму ЛПУ, яка представлена на рис.2.1

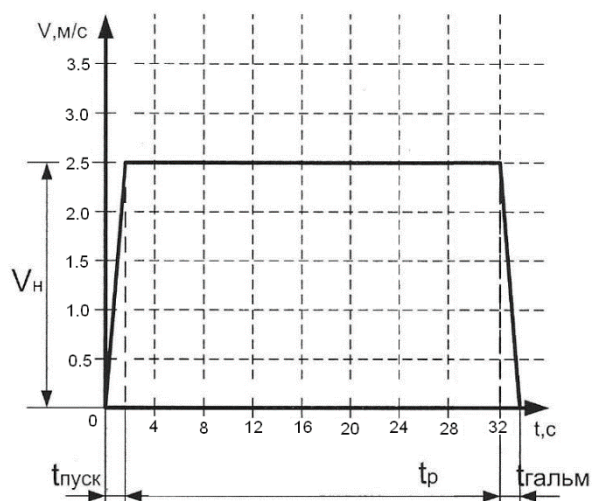


Рисунок 2.1 – Тахограма ЛПУ

Побудова діаграми рушійних зусиль є ключовою для розрахунку потужності приводного двигуна та визначення особливостей роботи автоматизаційної схеми на окремих етапах. Розрахункова кінематична схема представлена на рис. 2.2. Оскільки висота $H < 50$ м, у системі відсутній хвостовий (врівноважуючий) канат, що робить систему статично нестійкою.

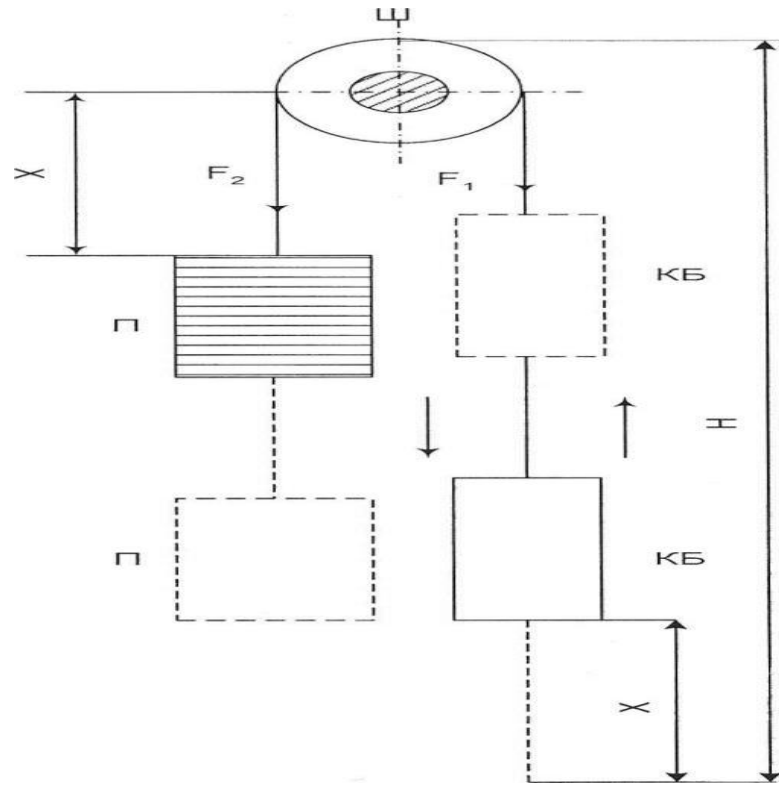


Рисунок 2.2 – Розрахункова кінематична схема.

На схемі вказані: X - шлях пройдений з початку циклу кабіною КБ і противагою П; F_1 , F_2 - статичні зусилля на канатах.

Рушійне зусилля може бути знайдене на підставі рівняння динаміки ЛПУ:

$$F_{дин} = F_{ов} - F_{ст}; \quad (2.21)$$

Звідки:
$$F_{ов} = F_{дин} + F_{ст}; \quad (2.22)$$

де $F_{дин} = ma$ - динамічне зусилля ЛПУ; m - приведена маса ЛПУ; a - прискорення; $F_{ст}$ - статичне зусилля, характер зміни якого залежить від кінематичної схеми, завантаженості кабіни і так далі.

Підйом пасажирів

Рівняння статичних зусиль ЛПУ на канаті:

$$F_{cm} = G - \alpha \cdot G_H + (H - 2 \cdot X)q_k ; \quad (2.23)$$

де G - фактична вага вантажу, G_H - номінальна вага вантажу,

H - висота підйому; коефіцієнт урівноваження $\alpha = 0.5$; X - пройдений шлях; $q_k = 3.5 \text{ кг} / \text{м}$ - вага одного метра канату.

Рушійне зусилля на канаті, враховуючи, що при розгоні $a > 0$:

$$F_{об} = G - \alpha G_H + (H - 2X) \cdot q_k + ma = F_{cm} + ma ; \quad (2.24)$$

Фактична (G) і номінальна (G_H) вага вантажу:

$$G = G_H = Q_n \cdot g = 1000 \cdot 9.8 = 9800 \text{ Н} ; \quad (2.25)$$

де Q - вантажопідйомність кабіни.

Загальний шлях розгону і гальмування:

$$X' = 2 \cdot L_{pz} = 2 \cdot 2.1675 = 4.335 ; \quad (2.26)$$

Статичні $F_{ст}$ та рушійні $F_{дв}$ зусилля в характерних точках діаграми:

— Точка початку шляху:

$$F_{cm0} = G - \alpha \cdot G + (H - 2 \cdot 0) \cdot q_k = 9800 - 0.5 \cdot 9800 + (77,2 - 2 \cdot 0) \cdot 3.5 = 5170 \text{ Н} ; \quad (2.27)$$

$$F_{об0} = F_{cm0} + (Q + m_k) \cdot a = 5170 + (1000 + 1120) \cdot 0.5 = 6230 \text{ Н} ; \quad (2.28)$$

де M_k - вага кабіни.

— Точка завершення розгону:

$$F_{cm1} = G - \alpha \cdot G + (H - 2 \cdot L_{pz}) \cdot q_k = 9800 - 0.5 \cdot 9800 + (77,2 - 2 \cdot 2.1675) \cdot 3.5 = 5155,0275 \text{ Н} ; \quad (2.29)$$

$$F_{\text{дв1}} = F_{\text{см1}} + (Q + m_k) \cdot a = 5155,0275 + (1000 + 1120) \cdot 0.5 = 6215,0275H; \quad (2.30)$$

— Точка початку рівномірного ходу:

$$F_{\text{дв2}} = G - \alpha \cdot G + (H - 2 \cdot L_{p2}) \cdot q_k = 7840 - 0.5 \cdot 7840 + (76 - 2 \cdot 2.1675) \cdot 3.5 = 4170.8275H; \quad (2.31)$$

— Точка завершення рівномірного ходу:

$$F_{\text{см2}} = G - \alpha \cdot G + (H - 2 \cdot X') \cdot q_k = 9800 - 0.5 \cdot 9800 + (77,2 - 2 \cdot 4.335) \cdot 3.5 = 5139,855H; \quad (2.32)$$

$$F_{\text{дв2}'} = F_{\text{см2}} = 5139,855H; \quad (2.33)$$

— Точка початку гальмування, враховуючи, що при гальмуванні $a < 0$:

$$\begin{aligned} F_{\text{дв3}} &= G - \alpha \cdot G + (H - 2 \cdot L_{p2}) \cdot q_k - (m_k + Q) \cdot a = \\ &= 9800 - 0.5 \cdot 9800 + (77,2 - 2 \cdot 2.1675) \cdot 3.5 - (1000 + 1120) \cdot 0.5 = 4095,0275H; \end{aligned} \quad (2.34)$$

Точка завершення підйомного циклу:

$$F_{\text{см3}} = G - \alpha \cdot G + (H - 2 \cdot X') \cdot q_k = 9800 - 0.5 \cdot 9800 + (77,2 - 2 \cdot 4.335) \cdot 3.5 = 5139,855H; \quad (2.35)$$

$$F_{\text{дв3}'} = F_{\text{см3}} - (Q + m_k) \cdot a = 5139,855 - (1000 + 1120) \cdot 0.5 = 4079,855H; \quad (2.36)$$

Діаграма рушійних зусиль при підйомі пасажирів разом з трьохперіодною тахограмою ЛПУ зображені на рис.2.3.

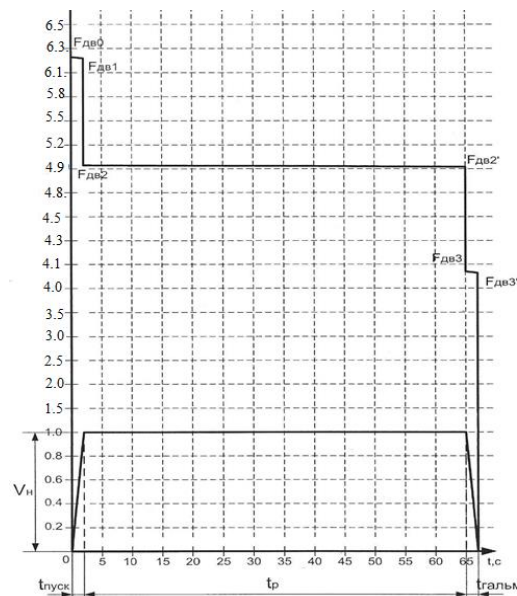


Рисунок 2.3 – Діаграма рушійних зусиль при підйомі пасажирів

Спуск пасажирів

Рівняння статичних зусиль ЛПУ на канаті:

$$F_{cm} = G - \alpha \cdot G + (2 \cdot X - H) \cdot q_k; \quad (2.37)$$

Приймаємо коефіцієнт урівноваження $\alpha=0.5$.

Рушійне зусилля на канаті, враховуючи, що при розгоні $a > 0$:

$$F_{\partial\sigma} = G - \alpha G_H + (2 \cdot X - H) \cdot q_k + ma = F_{cm} + ma; \quad (2.38)$$

Статичні F_{cm} та рушійні $F_{\partial\sigma}$ зусилля в характерних точках діаграми:

Точка початку шляху:

$$F'_{cm0} = G - \alpha \cdot G + (2 \cdot 0 - H) \cdot q_k = 9800 - 0.5 \cdot 9800 + (2 \cdot 0 - 77,2) \cdot 3.5 = 4629,8H; \quad (2.39)$$

$$F'_{\partial\sigma0} = F'_{cm0} + (Q + m_k) \cdot a = 4629,8 + (1000 + 1120) \cdot 0.5 = 5689,8H; \quad (2.40)$$

—Точка завершення розгону:

$$F'_{cm1} = G - \alpha \cdot G + (2 \cdot L_{p2} - H) \cdot q_k = 9800 - 0.5 \cdot 9800 + (2 \cdot 2.1675 - 77,2) \cdot 3.5 = 4644,9725H; \quad (2.41)$$

$$F'_{\partial\sigma1} = F'_{cm1} + (Q + m_k) \cdot a = 4644,9725 + (1000 + 1120) \cdot 0.5 = 5704,9725H; \quad (2.42)$$

—Точка початку рівномірного ходу:

$$F'_{\partial\sigma2} = G - \alpha \cdot G + (2 \cdot L_{p2} - H) \cdot q_k = 9800 - 0.5 \cdot 9800 + (2 \cdot 2.1675 - 77,2) \cdot 3.5 = 4644,9725H; \quad (2.43)$$

—Точка завершення рівномірного ходу:

$$F'_{cm2} = G - \alpha \cdot G + (2 \cdot X' - H) \cdot q_k = 9800 - 0.5 \cdot 9800 + (2 \cdot 4.335 - 77,2) \cdot 3.5 = 4660,145H; \quad (2.44)$$

$$F'_{\partial\sigma2} = F'_{cm2} = 4660,145H; \quad (2.45)$$

—Точка початку гальмування, враховуючи, що при гальмуванні $a < 0$:

$$F'_{\text{дв3}} = G - \alpha \cdot G + (2 \cdot L_{p2} - H) \cdot q_k - (m_k + Q) \cdot a = 9800 - 0.5 \cdot 9800 + (2 \cdot 2.1675 - 77,2) \cdot 3.5 - (1000 + 1120) \cdot 0.5 = 3584,9725H; \quad (2.46)$$

—Точка завершення підйомного циклу:

$$F'_{\text{ст3}} = G - \alpha \cdot G + (2 \cdot X' - H) \cdot q_k = 9800 - 0.5 \cdot 9800 + (2 \cdot 4.335 - 77,2) \cdot 3.5 = 4660,145H; \quad (2.47)$$

$$F'_{\text{дв3}} = F'_{\text{ст3}} - (Q + m_k) \cdot a = 4660,145 - (1000 + 1120) \cdot 0.5 = 3600,145H; \quad (2.48)$$

Діаграма рушійних зусиль при підйомі пасажирів разом з тахограмою ЛПУ зображені на рис.2.4.

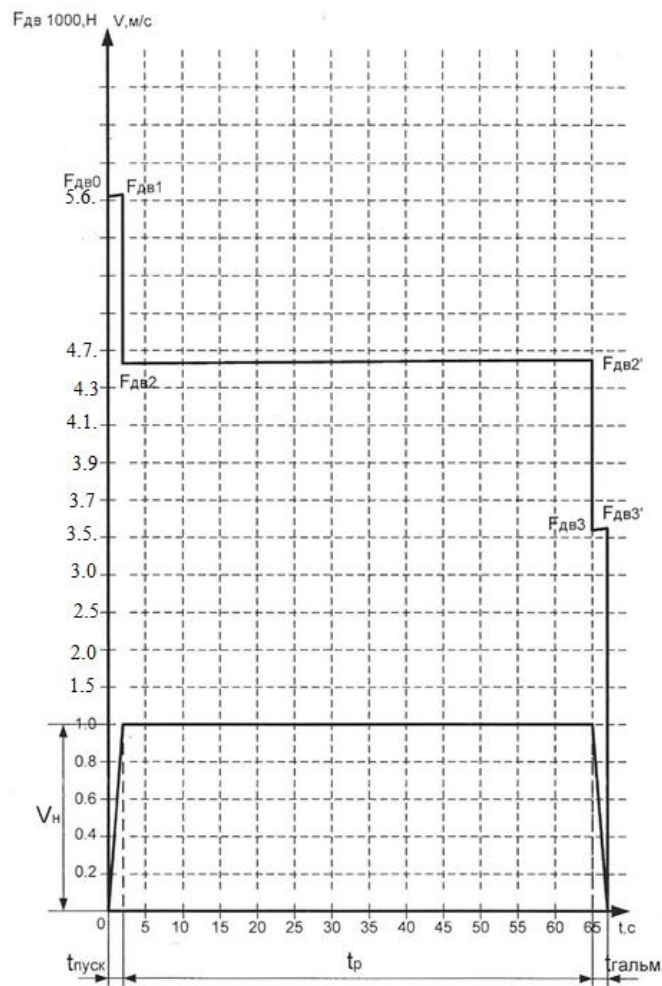


Рисунок 2.4 – Діаграма рушійних зусиль при спуску пасажирів

Для розрахунку потужності електродвигуна можуть бути застосовані два методи: метод еквівалентного струму на основі експериментальних даних струмової діаграми та метод, що базується на статичних характеристиках.

Перший метод полягає в тому, що при розрахунках приведеної маси (або приведеного моменту) необхідно враховувати відповідні параметри двигуна, який ще не був обраний. Тому ці параметри оцінюються приблизно, спираючись на відповідні рекомендації.

При використанні другого методу будуються графіки, які відображають режими підйому при номінальному завантаженні кабіни, а також підйом ненавантаженої кабіни, а також спуск з номінальним вантажем і порожньою кабіною.

Потужність приводного двигуна визначимо на основі формул еквівалентних зусиль під час режиму підйому вантажу.

Визначимо середнє значення зусилля на ділянках розгону, рівномірного ходу та гальмування відповідно:

$$F_1 = \frac{F_{\text{дв}0} + F_{\text{дв}1}}{2} = \frac{6230 + 6215,0275}{2} = 6222,51H; \quad (2.49)$$

$$F_2 = \frac{F_{\text{дв}2} + F_{\text{дв}2'}}{2} = \frac{4170,8275 + 5134,855}{2} = 4652,84125H; \quad (2.50)$$

$$F_3 = \frac{F_{\text{дв}3} + F_{\text{дв}3'}}{2} = \frac{4095,0275 + 4079,855}{2} = 4087,44125H; \quad (2.51)$$

Еквівалентне значення зусилля для всіх ділянок:

$$F_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{F_1^2 t_{\text{рз}} + F_2^2 t_{\text{р}} + F_3^2 t_{\text{рз}}}{T_{\text{ц}}}} = \sqrt{\frac{6222,51^2 \cdot 1,7 + 4652,84125^2 \cdot 29,146 + 4087,44125^2 \cdot 1,7}{76,592}} =$$

$$= \sqrt{\frac{65823372,19 + 630979763,3 + 28402199,15}{76,592}} = 3077,080017H; \quad (2.52)$$

Еквівалентний момент:

$$M_{\text{екв}} = F_{\text{екв}} \cdot \frac{D}{2} = 3077,080017 \cdot \frac{0,517}{2} = 795,43H \cdot м; \quad (2.53)$$

Для того щоб точно визначити потужність двигуна, необхідно провести перерахунок значення еквівалентного моменту, який вимірюється на шківі, та привести його до моменту, що діє на вал двигуна. Крім того, для того щоб адекватно врахувати вплив сили тертя, що виникає в кабіні ліфтів під час роботи ЛПУ, а також у направляючих елементах, у формулу вводиться коефіцієнт корисної дії (ККД), що слугує для корекції розрахунків у знаменнику.

$$M_{екв.дв} = \frac{M_{екв}}{i_p \cdot \eta} = \frac{795,43}{10 \cdot 0,8} = \frac{795,43}{8} = 99,43 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.54)$$

Необхідна кутова частота обертання ротора двигуна:

$$\omega_{дв} = \frac{2 \cdot V \cdot i_p}{D} = \frac{2 \cdot 2,5 \cdot 10}{0,517} = 96,7 \text{ рад} / \text{с}; \quad (2.55)$$

Еквівалентна потужність двигуна:

$$P_{екв.дв} = M_{екв.дв} \cdot \omega_{дв} \cdot \kappa_3 = 99,43 \cdot 96,7 \cdot 1,1 = 10576,3691 \text{ Вт}; \quad (2.56)$$

де $\kappa_3 = 1,1 \div 1,5$ – коефіцієнт запасу, який враховує співвідношення

тривалості пуску і рівномірного руху.

Визначимо необхідну потужність. Виконаний раніше розрахунок проводився на підставі дійсного значення тривалості включення ПВД, яке визначається по розрахунковій діаграмі, яка зображена на рис.2.1:

$$ПВ_{д} = \frac{T_p}{T_u} \cdot 100 = \frac{70}{76} \cdot 100 = 92\%; \quad (2.57)$$

Найближча каталожна тривалість включення ПВН = 100%, тому перераховуємо потужність до цього значення:

$$P_{ПВном} = P_{екв.дв} \sqrt{\frac{ПВ_{д}}{ПВ_{Н}}} = 10576,3691 \cdot \sqrt{\frac{92}{100}} = 10144,5 \text{ Вт}; \quad (2.58)$$

Виходячи з розрахунків вибираємо електричний двигун серії 4А160S6Y3

Перевірка правильності вибору електродвигуна.

Перевірку проводимо по перевантажувальній здатності. Двигун буде вибраний правильно, якщо $M_{\max}^{\text{необх}} \leq M_{\max}^{\text{кат}}$,

де $M_{\max}^{\text{необх}}$ - необхідний максимальний момент, $M_{\max}^{\text{кат}}$ - максимальний момент, вказаний в каталозі для цього двигуна.

Потужність на бистрохідному валу:

$$P_{\text{ТВ}} = \frac{F_{\text{дв0}} \cdot V}{\eta} = \frac{4792.5 \cdot 2.5}{0.87} = 13771.552 \text{Вт}; \quad (2.59)$$

При цьому момент на бистрохідному валу:

$$M_1 = M_{\max 1} = \frac{P_{\text{ТВ}}}{\omega_{\text{дв}}} = \frac{13771.552}{96.7} = 142415 \text{Н} \cdot \text{м}; \quad (2.60)$$

Оскільки в довіднику дана перевантажувальна здатність, то знайдемо спочатку номінальний, а потім максимальний момент.

Номінальна швидкість обертання:

$$\begin{aligned} \omega_c &= \frac{n \cdot \pi}{30} = \frac{1000 \cdot 3.14}{30} = 104.72 \text{рад/с}; \\ \omega_n &= \omega_c \cdot (1 - s_n) = 104.72 \cdot (1 - 0.027) = 101.89 \text{рад/с}; \end{aligned} \quad (2.61)$$

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{11000}{101.89} = 107.96 \text{Н} \cdot \text{м}; \quad (2.62)$$

$$M_{\max} = \lambda \cdot M_{\text{ном}} = 2 \cdot 107.96 = 215.92 \text{Н} \cdot \text{м}; \quad (2.63)$$

Звідси видно, що

$$\begin{aligned} M_{\max 1} &\leq M_{\max} \\ 142.415 &\leq 215.92, \end{aligned}$$

тобто двигун проходить по перевантажувальній здатності.

2.2. Вибір електродвигуна

Цілям роботи повністю задовольняють двигуни серії 4А. Ця серія двигунів спеціально розроблена для використання в механізмах, які працюють у режимах повторно-короткочасного (S3) та переміжного (S6) навантаження. Двигуни серії 4А мають високий ступінь захисту, що становить IP44, і пропонуються в широкому діапазоні висот осі обертання від 71 до 250 мм. Вони здатні функціонувати на синхронних частотах обертання, що складають 3000, 1500, 1000 і 750 об/хв.

Залежно від результатів розрахунків, проведених у попередньому пункті, ми зупиняємо свій вибір на електричному двигуні серії 4А160S6Y3 з оптимальною потужністю та синхронною частотою обертання. У наступному етапі необхідно буде виконати розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення, яка ілюстрована на малюнку 2.5.

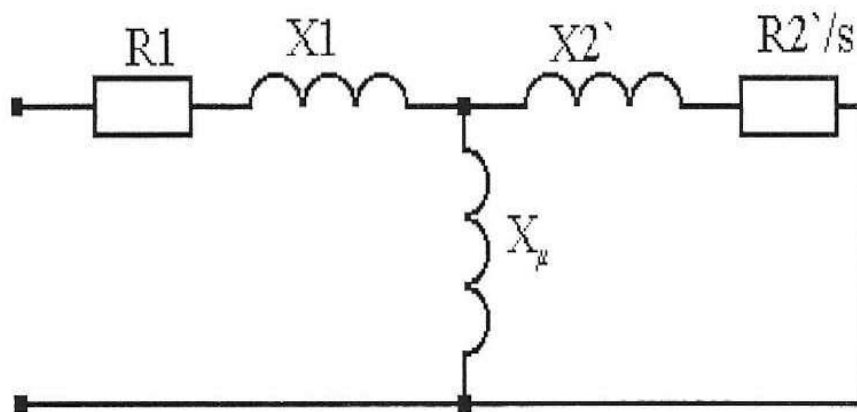


Рисунок 2.5 – Т-подібна схема заміщення АД

Номінальне значення фазної напруги визначимо по формулі:

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{сл}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219.393\text{В}; \quad (2.64)$$

Знайдемо $I_{1\phi}$ - номінальний струм статора:

$$I_{1\phi} = \frac{P_{2H}}{3 \cdot U_{\phi} \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi} = \frac{11000}{3 \cdot 220 \cdot 0.86 \cdot 0.86} = \frac{11000}{488.136} = 22.5 \text{ A}; \quad (2.65)$$

де P_{2H} - номінальна потужність; U_{ϕ} - фазна напруга;

$$Z_n = \frac{U_{н\phi}}{I_{н\phi}} = \frac{220}{22.5} = 9.8 \text{ Ом}; \quad (2.66)$$

Помножимо на Z_n всі параметри схеми заміщення:

$$R_1 = R_1' \cdot Z_n = 0.073 \cdot 9.8 = 0.714 \text{ Ом}; \quad (2.67)$$

$$R_2 = R_2'' \cdot Z_n = 0.0429 \cdot 9.8 = 0.42 \text{ Ом}; \quad (2.68)$$

$$X_1 = X_1' \cdot Z_n = 0.128 \cdot 9.8 = 1.2544 \text{ Ом}; \quad (2.69)$$

$$X_2 = X_2'' \cdot Z_n = 0.128 \cdot 9.8 = 1.2544 \text{ Ом}; \quad (2.70)$$

$$X_{\mu} = X_{\mu}' \cdot Z_n = 1.7952 \cdot 9.8 = 17.59296 \text{ Ом}; \quad (2.71)$$

Визначимо індуктивності полів розсіювання статора і ротора і індуктивність обмотки статора і ротора відповідно, а також індуктивність контуру намагнічування.

Визначимо номінальну кругову частоту мережі:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p} = 2 \cdot \pi \cdot 50 / 3 = 104.72 \text{ рад / с}; \quad (2.72)$$

де f_H - номінальна частота напруги мережі

Індуктивність поля розсіювання статора:

$$L_{\sigma 1} = \frac{X_1' \cdot Z_n}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0.128 \cdot 9.8}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.00399 \text{ Гн}; \quad (2.73)$$

Індуктивність поля розсіювання ротора:

$$L_{\sigma 2} = \frac{X_2'' \cdot Z_n}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0.128 \cdot 9.8}{314.16} = 0.00399 \text{ Гн}; \quad (2.74)$$

Індуктивність контуру намагнічування:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}' \cdot Z_n}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{1.7952 \cdot 9.8}{314.16} = 0.056 \text{ Гн}; \quad (2.75)$$

Індуктивність обмотки статора:

$$L_1 = L_{\mu} + L_{\sigma 1} = 0.056 + 0.00399 = 0.06 \text{ Гн}; \quad (2.76)$$

Індуктивність обмотки ротора:

$$L_2 = L_{\mu} + L_{\sigma 2} = 0.056 + 0.00399 = 0.06 \text{ Гн}; \quad (2.77)$$

Обчислимо сумарний момент інерції:

$$J_m = (m_K + m_{II} + q_K \cdot H + Q) \cdot \left(\frac{R_{III}}{i_p} \right)^2 =$$

$$= (945 + 1345 + 3.5 \cdot 76 + 800) \cdot \left(\frac{0.517}{2 \cdot 10} \right)^2 = 2.242555 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad (2.78)$$

$$J_{\Sigma} = J_{дв} + J_m = 2.242555 + 0.138 = 2.38 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad (2.79)$$

Сумарний індуктивний опір короткого замикання визначимо по формулі:

$$X_K = X_1 + X_2 = 1.2544 \cdot 2 = 2.5088 \text{ Ом}; \quad (2.80)$$

2.3. Вибір перетворювача частоти

– Виходячи з значення номінального струму статора та потужності двигуна, ми обираємо перетворювач частоти від фірми АВВ моделі ACS550-01-023А-4.

– Основні технічні характеристики обраного перетворювача включають:

– Потужність двигуна: 11 кВт, що є оптимальним значенням для наших потреб.

- Номінальний вихідний струм: 23 А, що забезпечує стабільну роботу при високих навантаженнях.
- Номінальна вихідна напруга: 380 В, що відповідає стандартним вимогам для промислового обладнання.
- Значення струму перевантаження: 180%, що дозволяє короткочасно перевищувати номінальні значення струму без шкоди для обладнання.
- Допустиме відхилення напруги: +10%, -10%; це забезпечує гнучкість в умовах роботи.
- Допустиме відхилення частоти: +5%, -5%; що забезпечує стабільність роботи привода.
- Переваги обраного перетворювача включають:
 - Наявність цифрового годинника з функцією таймера, що дозволяє точно планувати роботу системи.
 - Можливість організації роботи привода в режимі повторюваного циклу, що дуже зручно для автоматизованих процесів.
 - Вмонтована система захисту від багатьох параметрів, що допомагає уникнути поломок як силового механізму, так і самого електродвигуна.
 - Наявність вмонтованих ПДД-регуляторів, які дозволяють записувати та налаштувати макроси, що служать для ефективного керування зовнішніми технологічними процесами.
- Вибір цього перетворювача частоти забезпечує надійність і ефективність роботи привода, що робить його оптимальним рішенням для наших задач.

2.4. Вибір редуктора

Виходячи з передаточного числа та необхідної потужності на бистрохідному валу, ми обираємо черв'ячний редуктор з глобоїдним зачепленням, з провідним колесом моделі РГСЛ – 160.

Даний редуктор має специфічні умови експлуатації: він може бути встановлений та функціонувати лише при розташуванні черв'яка безпосередньо під колесом. Це також стосується ситуацій з постійними або змінними навантаженнями, які можуть включати періодичні зупинки. Редуктор розрахований на роботу з одним напрямом обертання черв'яка або реверсивним обертанням.

При безперервному режимі роботи допускається зменшення навантаження на 40%. Характерною особливістю ліфтового редуктора цієї моделі є його здатність витримувати значне консольне навантаження на вихідному валу, при цьому обертальний момент залишається постійним і не залежить від передаточного числа.

Редуктори, зокрема, зазвичай експлуатуються при частоті обертання черв'яка 1000 об/хв. Однак, також допускається їх використання при частоті обертання до 1500 об/хв, але з обов'язковим зменшенням обертального моменту на 20%. Ці технічні характеристики та умови експлуатації роблять черв'ячний редуктор РГСЛ – 160 оптимальним вибором для забезпечення ефективної роботи системи у зазначених умовах.

Редуктор глобоїдний спеціальний ліфтовий РГСЛ-160, який є конструктивним аналогом редуктора "РГЛ" Могильовського ліфтобудівельного заводу, має фланцеве кріплення для електродвигуна. Цей редуктор призначений для використання в ліфтових лебідках пасажирських та лікарняних ліфтів, які експлуатуються в районах з помірним кліматом (позначення У), та відповідає категоріям розміщення 1-3 і 5 за стандартом ГОСТ 15150-69.

Крім того, редуктори повинні бути встановлені в приміщеннях, де температура навколишнього середовища варіюється в межах від -15° до $+40^{\circ}\text{C}$. Експлуатація апарату передбачає умови, що відповідають вимогам вибухобезпечного і неагресивного зовнішнього середовища. Це робить редуктор РГСЛ-160 ідеальним рішенням для використання в ліфтових системах, забезпечуючи надійність та безпеку під час роботи в різних умовах.

Редуктор складається з корпусу з ліхтарем, що дозволяє фланцеве кріплення електродвигуна, кришки корпусу редуктора та кришок підшипників, які виготовлені з чавуну. Глобоїдний черв'як виконаний з термообробленої легованої сталі, а вінець глобоїдного колеса — з високоолов'янистої бронзи. У конструкції редуктора застосовуються кулькові та роликові радіально-наполегливі підшипники, що забезпечує надійну підтримку обертальних деталей. Глобоїдна передача розрахована за спеціальними параметрами, що сприяє скороченню часу прироблення та підвищенню плавності роботи.

Висновки

У другому розділі було виконано розрахунок потужності електродвигуна та обрано асинхронний двигун типу 4A160S6Y3 з потужністю 11 кВт. Також проведено розрахунки статичних навантажень і побудовано діаграми рушійних зусиль при підйомі та спуску пасажирів. Це дозволило детально оцінити характеристики системи та забезпечити її ефективність і безпеку під час експлуатації.

Виходячи з значення номінального струму статора та потужності двигуна, було обрано перетворювач частоти фірми АВВ моделі ACS550-01-023A-4, а також черв'ячний редуктор з глобоїдним зачепленням і провідним колесом РГСЛ – 160.

Обраний перетворювач частоти забезпечує необхідну потужність та адаптується до експлуатаційних умов, що дозволяє контролювати частоту обертання електродвигуна та оптимізувати його роботу. У поєднанні з черв'ячним редуктором РГСЛ – 160, який забезпечує надійний передаток моменту та високу ефективність, ці компоненти створюють потужну та ефективну систему для ліфтових механізмів.

Таке поєднання обладнання гарантує стабільну роботу системи при різних умовах навантаження, підвищуючи ефективність підйомно-транспортних процесів.

3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ САК

3.1. Алгоритм непрямого векторного керування для математичної моделі САК

Для моделювання системи буде використовуватись стандартний алгоритм непрямого векторного керування асинхронним двигуном (АД). У цьому підході управління моментом та модулем вектора потокозчеплення ротора досягається через реалізацію асимптотичної орієнтації за полем.

Досліджуваний метод керування передбачає використання нелінійного алгоритму для забезпечення точності управління. Завдяки цьому, система здатна адаптуватись до змінних умов роботи, що позитивно вплине на динамічну поведінку двигуна. Нелінійний алгоритм дозволяє ефективно управляти моментом, зменшуючи вплив коливань навантаження, а також забезпечує оптимізацію використання потужності.

Таким чином, поєднання непрямого векторного керування з нелінійним менеджментом робить систему більш стабільною та забезпечує досягнення бажаних характеристик роботи асинхронного двигуна в різних режимах.

Управління моментом і модулем вектора потокозчеплення ротора при асимптотичній орієнтації по полю досягається при використанні нелінійного алгоритму управління, що складається з:

– компенсуючого регулятора:

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} u_a \\ u_b \end{pmatrix} &= e^{J\varepsilon_0} \left[\sigma \begin{pmatrix} -\omega_0 i_q + v_d \\ \omega i_d + v_q \end{pmatrix} \right], \\ \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} &= e^{-J\varepsilon_0} \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \end{pmatrix}; e^{J\varepsilon_0} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_0 & -\sin \varepsilon_0 \\ \sin \varepsilon_0 & \cos \varepsilon_0 \end{bmatrix}; \end{aligned} \quad (3.1)$$

– регулятора модуля потоку:

$$\begin{aligned} \dot{i}_d^* &= \frac{\Psi^*}{L_m}, \\ \dot{\epsilon}_0 &= \omega_0 = \omega + \alpha L_m \frac{i_q}{\Psi^*}; \end{aligned} \quad (3.2)$$

– регулятора струму по осі d :

$$\begin{aligned} v_d &= -k_{id1} \tilde{i}_d + x_d, \\ \dot{x}_d &= -k_{ii} \tilde{i}_d; \end{aligned} \quad (3.3)$$

– регулятора швидкості:

$$\begin{aligned} \dot{i}_q^* &= \frac{1}{\mu} (k_\omega \cdot \tilde{\omega} + x_\omega); \\ \dot{x}_\omega &= k_{i\omega} \cdot \tilde{\omega}; \end{aligned} \quad (3.4)$$

– регулятора струму по осі q:

$$\begin{aligned} v_q &= -k_{iq1} \tilde{i}_q + x_q, \\ \dot{x}_q &= -k_{ii} \tilde{i}_q. \end{aligned} \quad (3.5)$$

Структурна схема стандартного алгоритму непрямого векторного керування наведена на рис. 3.1.

Параметрами алгоритму непрямого векторного керування (3.1) - (3.5), що настраюються, є значення пропорційних ($k_{id} = k_{iq} = k_p$) і інтегральних складових регуляторів струму. Типова налаштування контурів регулювання струму, як лінійних систем другого порядку з характеристичним рівнянням $p^2 + k_p p + k_{ii} = 0$, передбачає виконання співвідношень:

$$k_{ii} = \frac{k_p^2}{4} \text{ при } \xi = 1,$$

$$k_{ii} = \frac{k_p^2}{2} \text{ при } \xi = \sqrt{2}/2, \quad (3.6)$$

де $k_{ii} = \omega_0^2$, ω_0 – власна частота коливань, ξ – коефіцієнт демпфування.

Розглянутий стандартний алгоритм регулювання швидкістю та модулем вектора потокозчеплення ротора демонструє властивість локальної експоненціальної стійкості, що забезпечує асимптотичне розв'язання процесів управління вихідними координатами. Це означає, що система здатна швидко і стабільно реагувати на зміни, забезпечуючи ефективне управління.

Асимптотичне регулювання потоку та швидкості досягається за умови, що параметри асинхронного двигуна (АД) відомі та залишаються постійними. У такій ситуації можна точно налаштувати алгоритм, що гарантує стабільність і ефективність управління, зокрема в умовах змінних навантажень та зовнішніх впливів.

Цей підхід є особливо важливим для забезпечення плавної та точної роботи асинхронних двигунів у промислових та комерційних застосуваннях, де необхідно підтримувати стабільні характеристики в процесі експлуатації.

Задаємося наступними параметрами алгоритму непрямого векторного керування:

$$k_{\omega} = 100$$

$$k_{\omega i} = 5000$$

$$k_{iq} = k_{id} = 700$$

$$k_{ii} = 122500$$

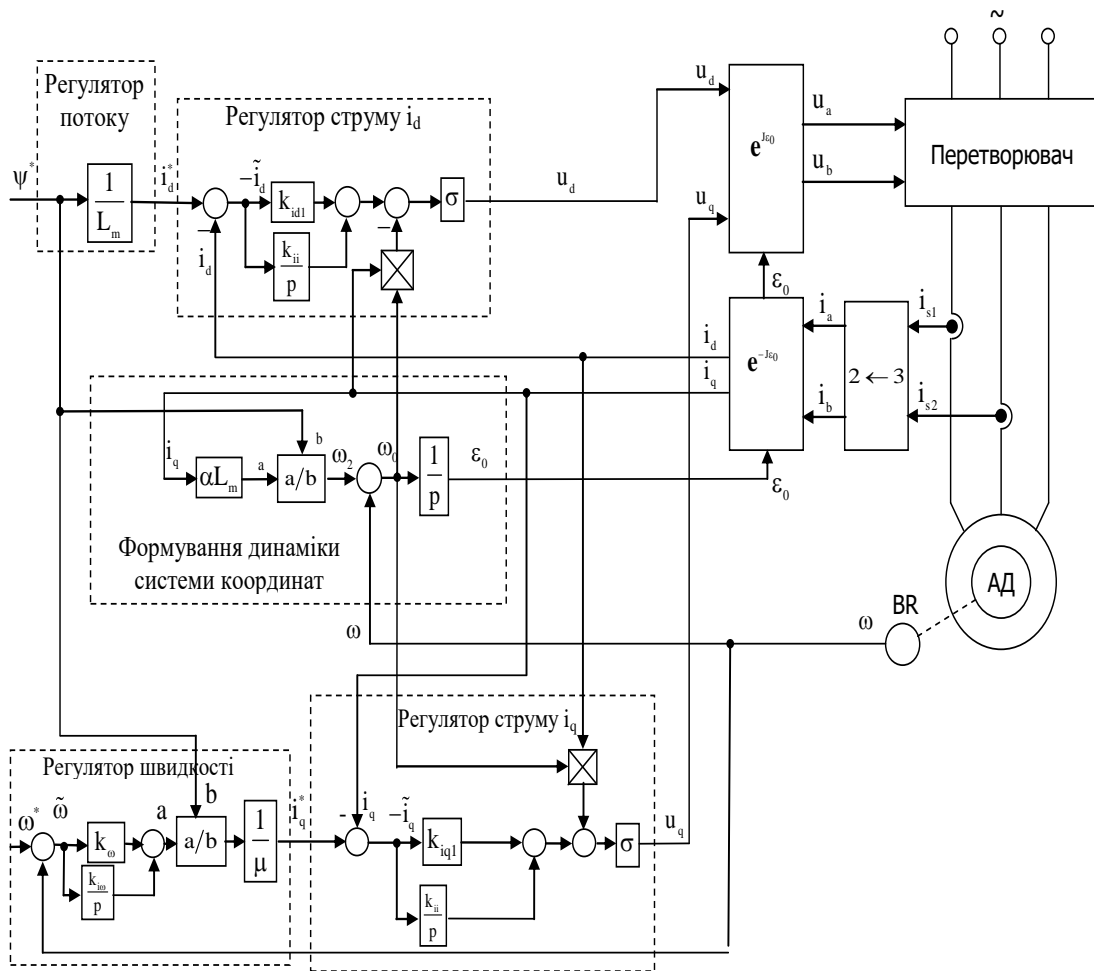


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи стандартного непрямого векторного керування АД

3.2. Дослідження динамічних режимів САК

Для дослідження динамічних режимів на основі алгоритму непрямого векторного керування буде побудовано математичну модель у пакеті Simulink програми MATLAB 7.9. Ця модель, представлена на рис. 3.2, включає компоненти, які імітують поведінку асинхронного двигуна з використанням непрямого векторного керування.

Модель у Simulink дозволяє досліджувати динамічні реакції системи на різні умови навантаження, а також аналізувати стійкість та ефективність алгоритму векторного керування в реальних експлуатаційних ситуаціях. Це забезпечить можливість виявлення потенційних проблем і оптимізації роботи асинхронного двигуна в умовах конкретних застосувань.

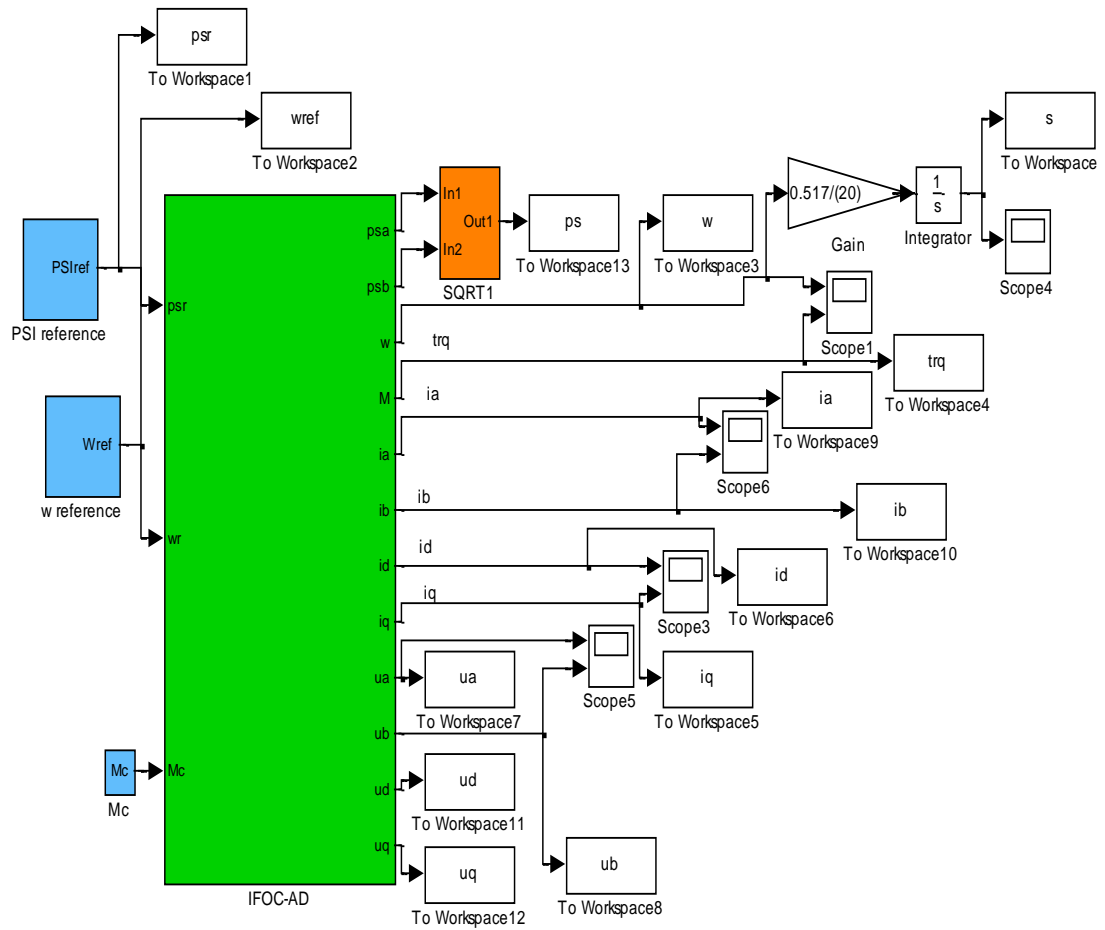


Рисунок 3.2 – Блок IFOC

Опис елементів моделі. Структура блоку IFOC-AD наведена на рис. 3.3.

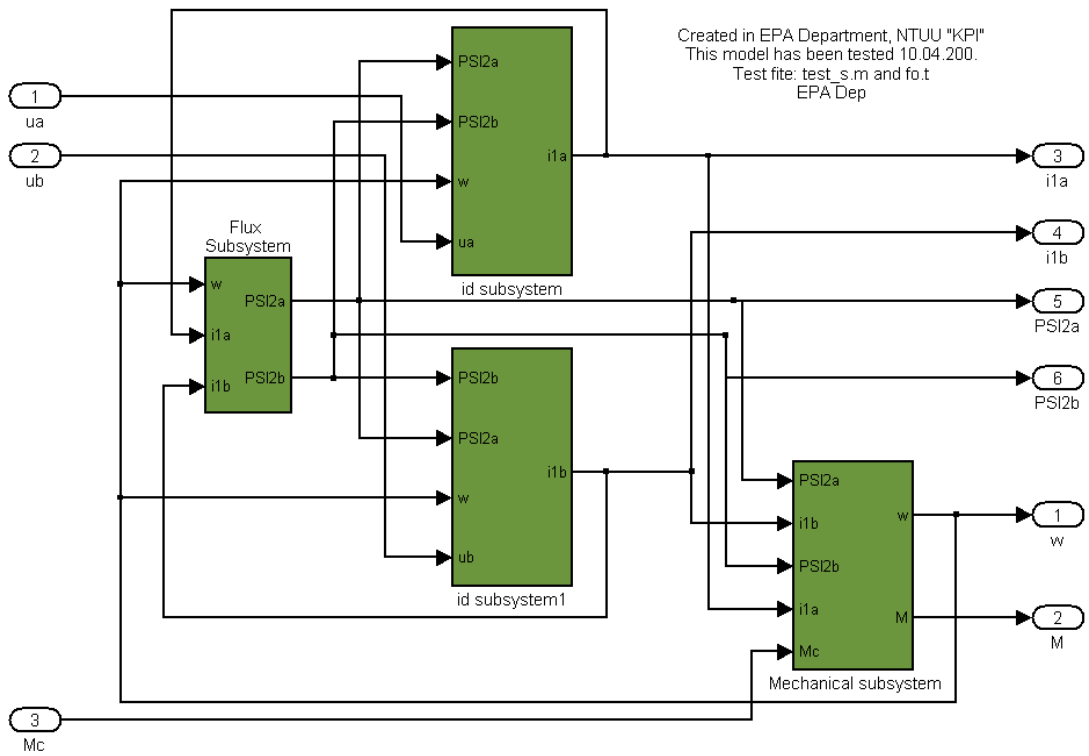


Рисунок 3.4 – Model of IM (a-b)

До даного блоку входять наступні елементи:

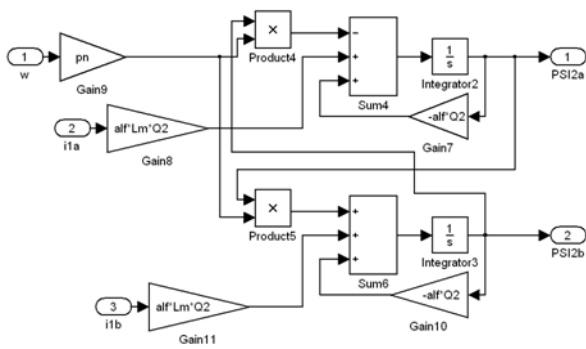


Рисунок 3.5 – Flux Subsystem

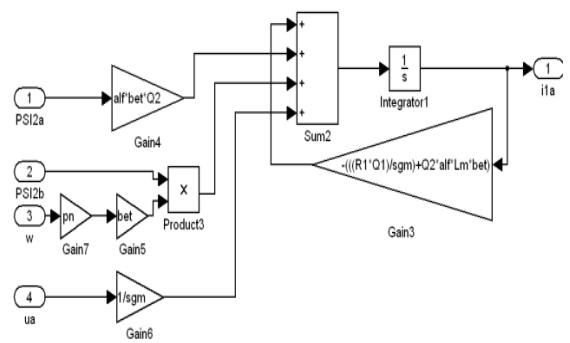


Рисунок 3.6 – Блок i_d Subsystem

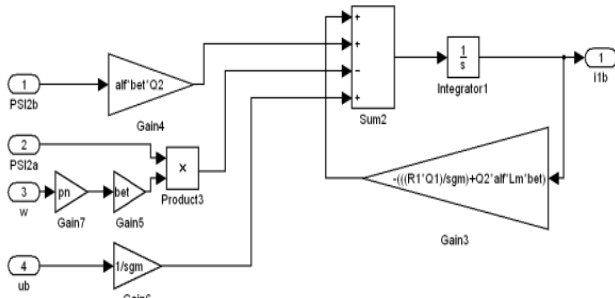


Рисунок 3.7 – Блок i_d Subsystem1

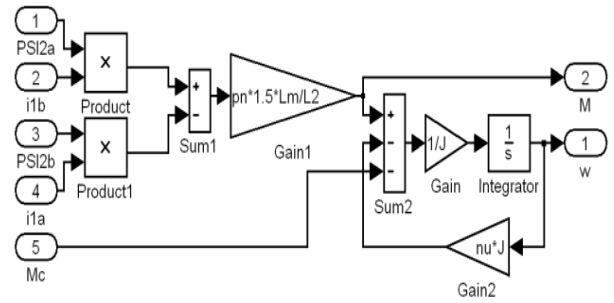


Рисунок 3.8 – Блок Mechanical Subsystem

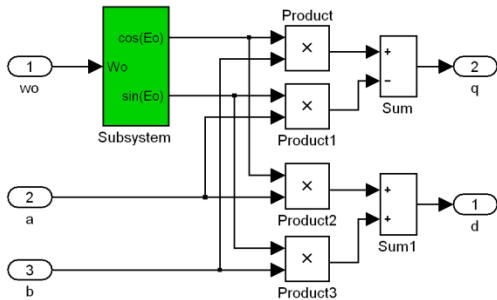


Рисунок 3.9 – Блок (d-q) - (a-b)

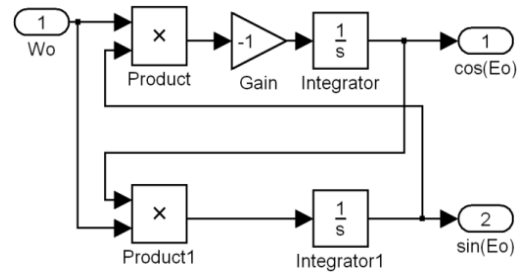


Рисунок 3.10 – Блок Subsystem

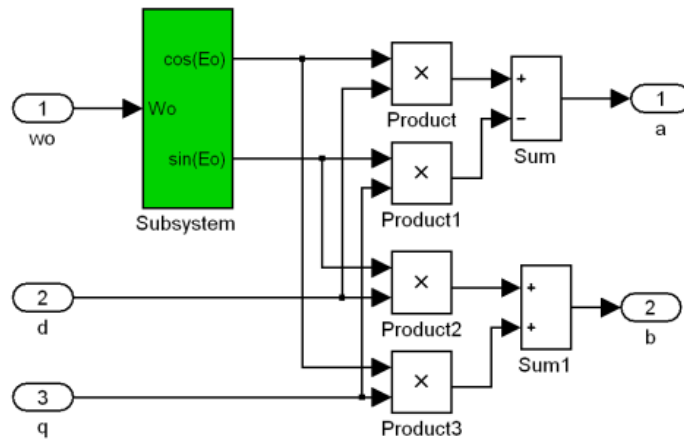


Рисунок 3.11 – Блок (a-b) - (d-q)

Блок W_{ref} – це блок завдання швидкості. Цей блок задає величину заданої швидкості, яка поступає від системи керування. Цей блок має структуру, зображену на рис.3.23

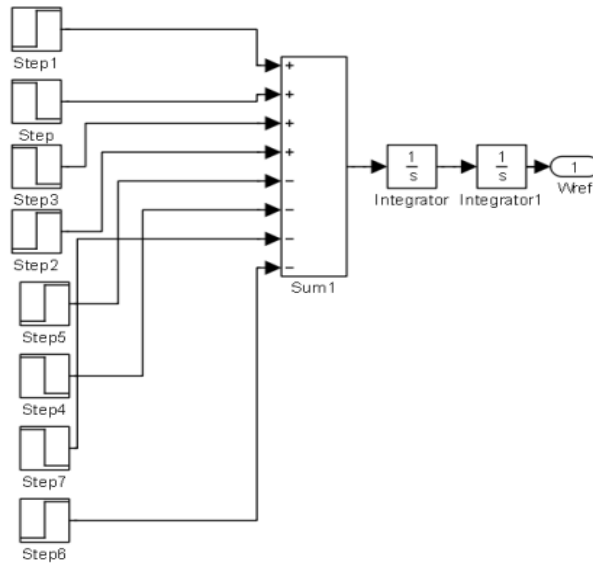


Рисунок 3.12 – Склад блоку W_{ref}

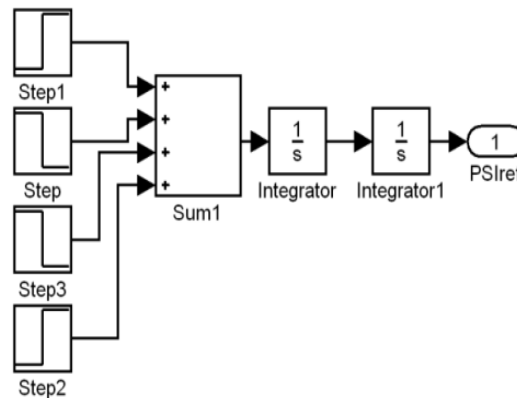


Рисунок 3.13 – Склад блоку PSI_{ref}

Блок SQRT1 виконує математичну функцію $\sqrt{a^2 + b^2}$. Структура блоку наведена на рис.3.14:

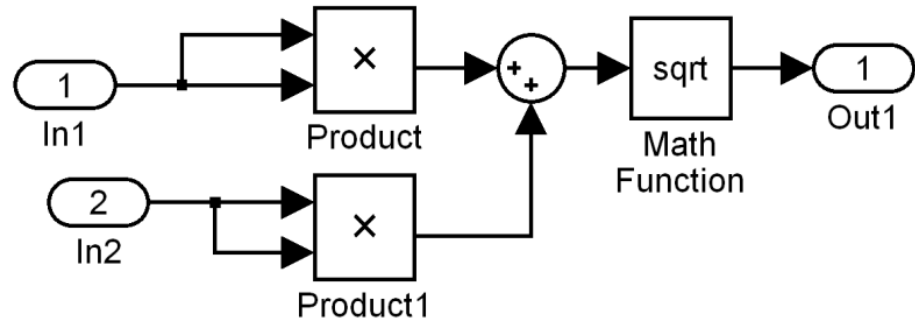


Рисунок 3.14 – Склад блоку SQRT1

Блок M_c блок завдання моменту навантаження. Структура блоку представлена на рис.3.15:

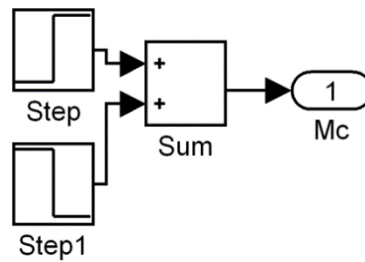


Рисунок 3.15 – Склад блоку M_c

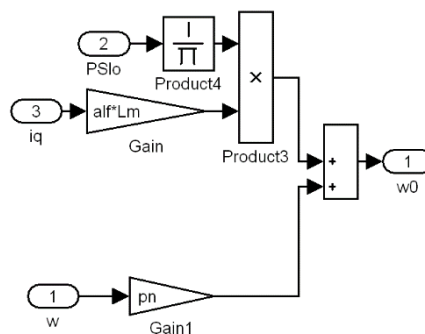


Рисунок 3.16 – Блок Subsystem

Дослідження динамічних процесів, що відбуваються в механізмі підйому, будемо проводити для випадку підйому кабіни ліфта на останній 25-ий поверх, що відповідає лінійному переміщенню 77,2 м при максимальному завантаженні, рівному 1000 кг.

Графіки перехідних процесів при підйомі кабіни ліфта представлені на рис. 3.17-3.19.

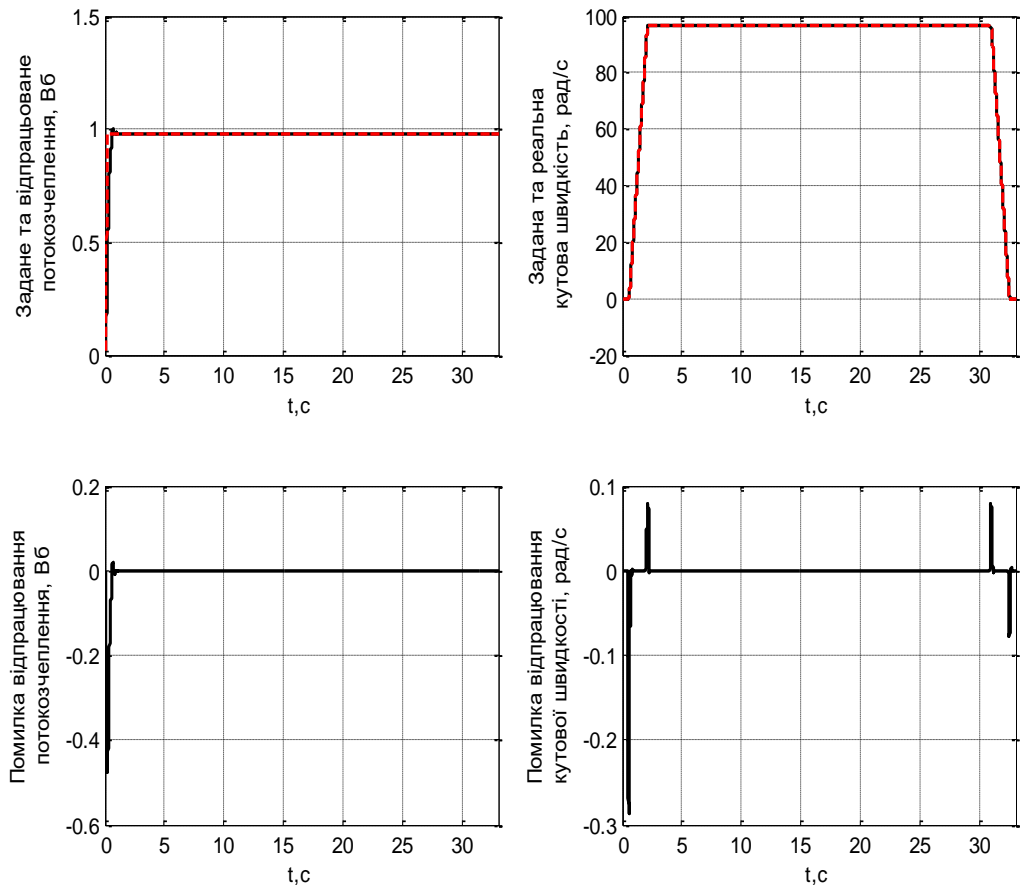


Рисунок 3.17 – Задане ψ^* та відпрацьоване ψ потокозчеплення, помилка відпрацювання потокозчеплення $\tilde{\psi}$, задана кутова швидкість ω^* , реальна кутова швидкість ω , помилка відпрацювання кутової швидкості $\tilde{\omega}$.

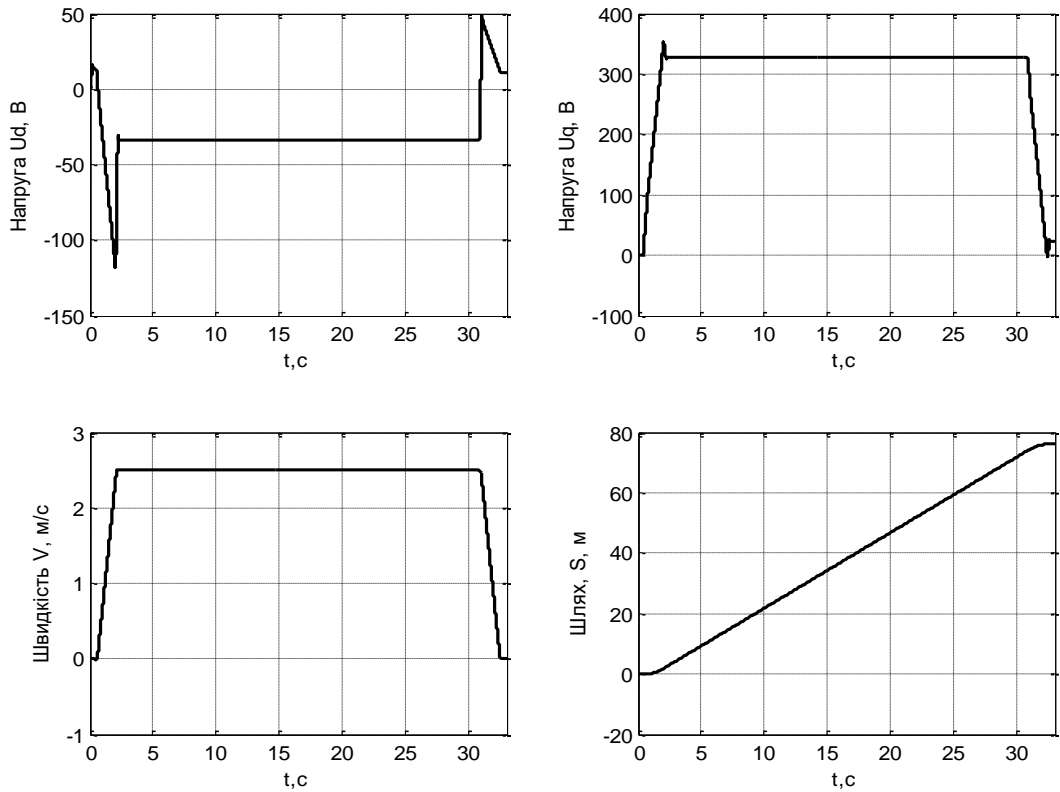


Рисунок 3.18 – Заданий струм та помилка відпрацювання струму статора.

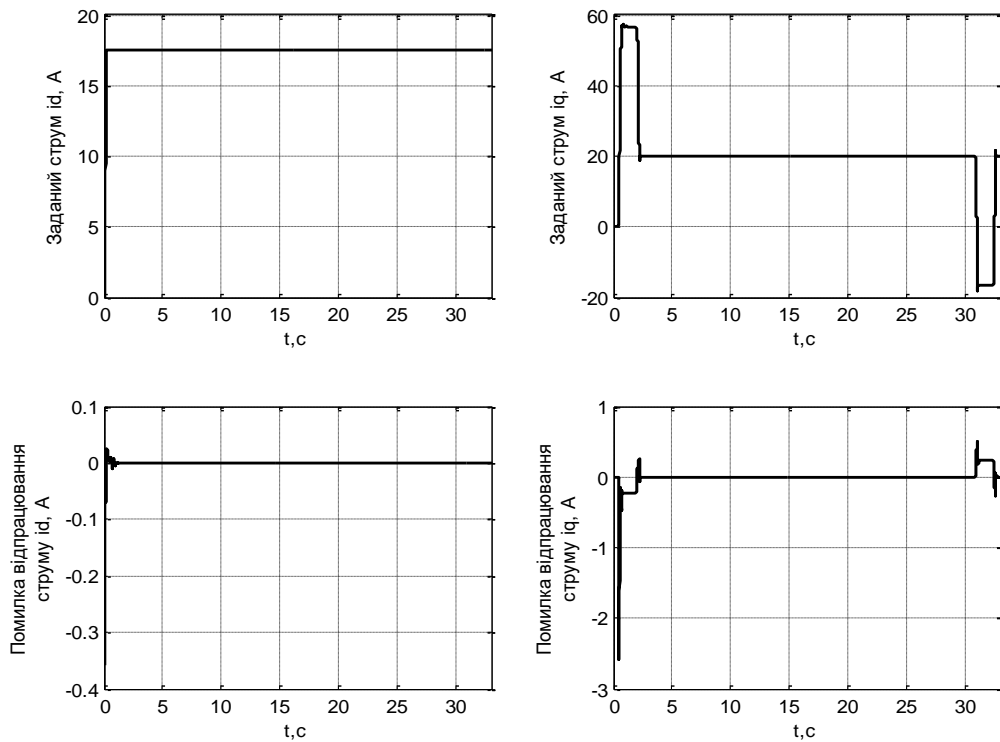


Рисунок 3.19 – Компоненти напруги статора U_d та U_q , лінійна швидкість кабіни, шлях пройдений кабіною.

При моделюванні прийнята наступна послідовність операцій управління:

- під час початкового інтервалу часу $0 \div 0.25$ с машина збуджується, траєкторія заданого потоку починається з $\psi^*(0) = 0.02$ Вб і досягає значення 0.96 Вб з першою похідною, рівною 3.76 Вб/с;

- починаючи з $t = 0.5$ с двигуну необхідно відпрацювати задану траєкторію зміни швидкості, яка починається з нуля і досягає значення 96.7 рад/с, з першою та другою похідними, рівними 63.28 рад/с² и 372 рад/с³;

- статичний момент накидається при $t=0.5$ с.

Як видно з графіків, здійснюється пуск двигуна під навантаженням по траєкторії першого порядку до швидкості 96.7 рад/с з лінійним прискоренням 1.5 м/с², що відповідає максимальному допустимому лінійному прискоренню кабіни ліфта.

Похибка відпрацювання модуля потокозчеплення виникає на початку відпрацювання траєкторії, значення якої не перевищує 0.48 Вб, що пояснюється початковим значенням потокозчеплення.

При накиданні навантаження виникає похибка відпрацювання швидкості, значення якої складає 0.28 рад/с, яка відразу компенсується ПІ регулятором швидкості.

Потокова компонента струму статора повторює траєкторію потокозчеплення і в усталеному стані складає 17.5 А. При цьому похибка струму ід виникає лише при початковому відпрацюванні траєкторії потокозчеплення і ділі повністю компенсується ПІ регулятором струму.

Моментана компонента струму статора при розгоні досягає значення 56.8 А, при русі з усталеною швидкістю –складає 20.1 А, а при сповільненні 16.5 А. Похибка відпрацювання струму іq виникає при розгоні та накиданні навантаження, максимальне значення якої становить 2.6 А, яка повністю компенсується ПІ регулятором струму.

Максимальне значення напуги статора U_q в усталеному режимі складає 327.8 В.

Лінійна швидкість руху кабіни за формою повторює поведінку кутової швидкості, досягаючи максимуму в 2.5м/с на ділянці руху з постійною швидкістю.

Із графіка лінійного переміщення кабіни встановлюємо, що кабіна позиціонується з похибкою в 0.5 мм.

Висновки: Використання алгоритму векторного керування швидкістю забезпечує точне відпрацьовування завдання по швидкості, а також практичну відсутність помилки позиціонування. Система задовольняє поставленим вимогам по точності позиціонування, а також обмеженню максимальної швидкості та прискорення на рівні 2.5м/с і 1.5м/с² відповідно.

4. РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

4.1. Вимоги до автоматизації

Система керує одним ліфтом в будівлі з 25 поверхами. Система є повною збірною, що забезпечує виклик на підйом і спуск на проміжних поверхах в будь-який бажаний час. На кожному поверховому майданчику на проміжних поверхах (2-24) встановлюються дві кнопки - по одній для кожного напрямку руху, на першому поверсі встановлена кнопка виклику ліфта вгору, а на дванадцятому - для виклику ліфта вниз. Ліфт повинен знаходитись на першому поверсі будівлі в разі відсутності викликів.

Пристрій управління виконує наступні функції:

Опитування керуючих кнопок (кабіна і поверхи) індикацію номера поверху визначення поточного номера поверху контроль на відсутність ваги і перевантаження Під час виклику з якого-небудь поверху вмикається світло в ліфті. Якщо поверхи, з якого поступив виклик і, на якому знаходиться ліфт, співпадають, то відразу відбувається відкриття дверей. Інакше, після зупинки ліфта вмикається привід відкриття дверей. Після спрацьовування датчика «Двері відкриті» здійснюється витримка 20 секунд, протягом яких пасажери можуть увійти до ліфта.

Якщо при зачиненні дверей на їх шляху зустрічається перешкода, спрацьовує датчик, знову вмикається привід відкриття дверей і після спрацьовування датчика «Двері відкриті» знову здійснюється витримка 20 секунд.

В разі натиснення кнопки «Пуск» в кабіні витримка часу переривається і двері відразу зачиняються.

За наявності тиску на підлогу та відсутності аварійної ситуації, ліфт з відкритими дверима чекає натиснення кнопки якого-небудь поверху усередині кабінки. При натисненні кнопки і відсутності перевантаження ліфта,

вмикається привід зачинення дверей. При спрацьовуванні датчика «Двері закриті» вмикається двигун, що переміщає ліфт в потрібному напрямі.

Якщо усередині кабіни ліфта натиснена кнопка того поверху, до якого доїхав ліфт, то починається процедура відкриття дверей.

При русі кабіни ліфта вона може зупинятись, щоб підібрати попутних пасажирів, в разі виклику з поверхових майданчиків.

Після того як ліфт піднявся на потрібний поверх і не отримує сигналу підніматись на вищі поверхи, він розпочинає спуск на перший поверх, попутно зупиняючись, щоб забрати пасажирів, які рухаються вниз, або ж для висадки пасажирів, які натиснули в кабіні ліфта кнопки нижніх поверхів.

Після прибуття на перший поверх ліфт буде чекати отримання виклику з верхніх поверхів на спуск чи підйом, або пасажирів, які підніматимуться з першого поверху вгору.

4.2. Визначення вхідних і вихідних сигналів. Розробка функціональної схеми САК

У таблиці 4.1 наведені вхідні і вихідні сигнали САК.

Таблиця 4.1

Вхідні і вихідні сигнали САК

Назва елемента	Призначення	Назва сигналу
SQ1-SQ24	Кінцевий вимикач, ліфт на 1 - 24-му по верхах	SQ1-SQ24
	Рух кабіни ліфта вниз	RKN
	Рух кабіни ліфта вгору	RKV
SQ25	Перевантаження	PEREV
SQ26	Тиск на підлогу кабіни відсутній	TUSK
SQ27	Двері кабіни ліфта відкриті	DVV
SQ28	Двері кабіни ліфта закриті	DVZ
SQ29	Перешкода в дверях	PER
EPDV	Відкриття дверей кабіни	VIDKRD
EPDV	Закривання дверей кабіни	ZAKRD
S1	Включення світла	SVITLO

Продовження таблиці 4.1

SB74	Кнопка «СТОП» (у кабіні)	STOP
SB73	Кнопка «ПУСК» (у кабіні)	PUSK
SB1-SB23	Кнопки виклику ліфта на майданчиках для руху вгору з першого поверху по 23-ій	SB1-SB23
SB24-SB47	Кнопки виклику ліфта на майданчиках для руху вниз з 2-го поверху по 25-ий	SB24-SB47
SB48-SB72	Кнопки-вказівники поверхів в кабіні	SB48-SB72
A	Аварія	A
	Зупинка кабіни	STOPK

Кінцеві вимикачі (SQ1-SQ24) у системі керування ліфтом спрацьовують при замиканні контактів кабіни ліфта, що дозволяє визначити її місцеположення і напрям руху. Кожен вимикач відповідає за певну позицію ліфта, що важливо для безпечного і точного управління.

Датчик SQ25 сигналізує про перевантаження, активуючи сигнал, коли вага вантажу в кабіні перевищує норму. Це дозволяє запобігти аваріям, пов'язаним із перевищенням допустимих навантажень.

Критерії для роботи інших датчиків:

- SQ26: генерує сигнал "1" якщо на підлогу кабіни не тиснуть.
- SQ27: дає сигнал "1" при відкритих дверях кабіни ліфта.
- SQ28: відповідає за закриті двері, генеруючи сигнал "1".

Коли двері кабіни відкриваються, активується сигнал ОТКRD, який дорівнює "1". Сигнал ZAKRD спрацьовує, коли двері закриваються, також маючи рівень "1". Додатково, якщо сигнал SVITLO дорівнює "1", це свідчить про те, що світло в кабіні включене.

Кнопки на поверхах:

- SB1-SB23: використовуються для виклику ліфта для руху вгору.
- SB24-SB47: викликають рух вниз.

Кнопки SB48-SB72 розміщені в кабіні ліфта і служать для вибору напрямку руху та місця зупинки пасажирями. У разі аварійної ситуації активується сигнал А, який дорівнює "1".

На рис. 4.1 представлена функціональна схема системи керування, де відображені всі входи і виходи, що забезпечують інтеграцію та взаємодію цих компонентів. Ця схема дозволяє здійснювати ефективний контроль за роботою ліфта, забезпечуючи безпеку та комфорт для користувачів.

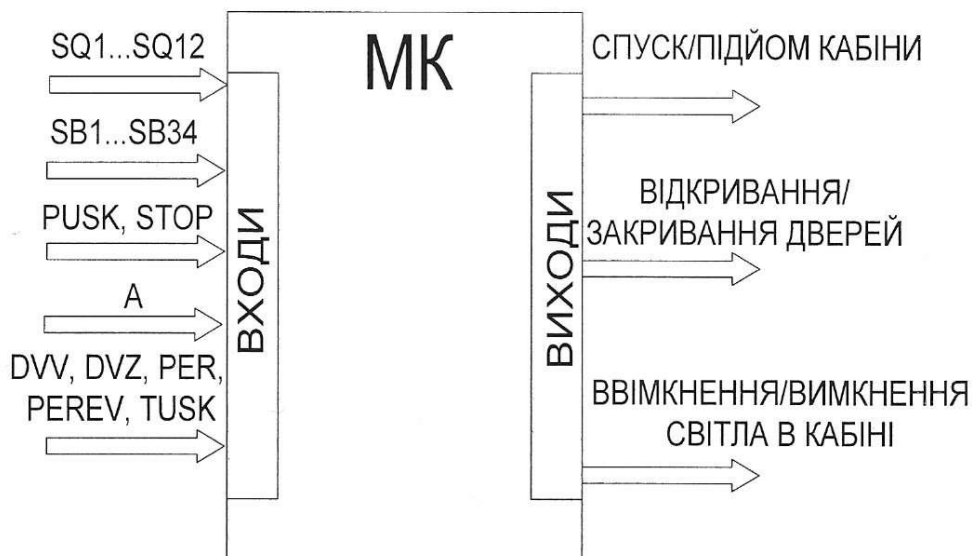


Рисунок 4.1 – Функціональна схема системи керування

4.3. Формулювання умов роботи структурних елементів функціональної схеми і логічний синтез

Для полегшення роботи деякі сигнали можна об'єднати в один. Об'єднаємо сигнали, що дозволяють рух кабіни ліфта. Рух дозволений, якщо немає аварійної ситуації (небезпека пожежі, несанкціоноване проникнення в ліфтову шахту, перевищення допустимої швидкості руху кабіни, перегрів двигуна, обрив фаз і т. д.), не натиснута кнопка «СТОП», двері кабіни ліфта закриті, відсутнє перевантаження ліфта. Отже, маємо один сигнал, що дозволяє рух:

$$RD = \bar{A} \cdot DVZ \cdot \overline{PEREV} \cdot \overline{STOP}$$

1. Блок ввімкнення і вимкнення світла зображений на рис.4.2.

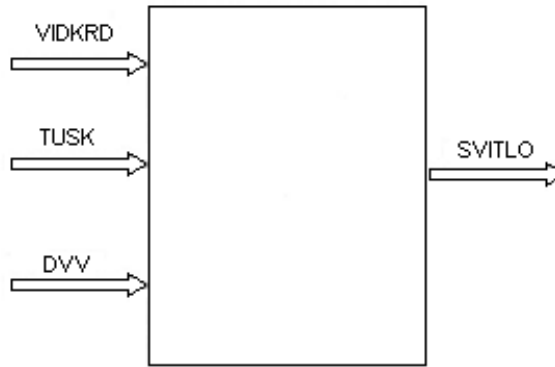


Рисунок 4.2 – Блок ввімкнення і вимкнення світла

Логічний вираз для ввімкнення світла:

$$SVITLO = \overline{TUSK} + VIDKRD + DVV$$

Світло в кабіні вмикається в тому випадку, якщо починається процес відкриття дверей, якщо двері відкриті або якщо в кабіні є пасажир.

2. Блок відкривання і закривання дверей ліфта зображений на рис.4.3

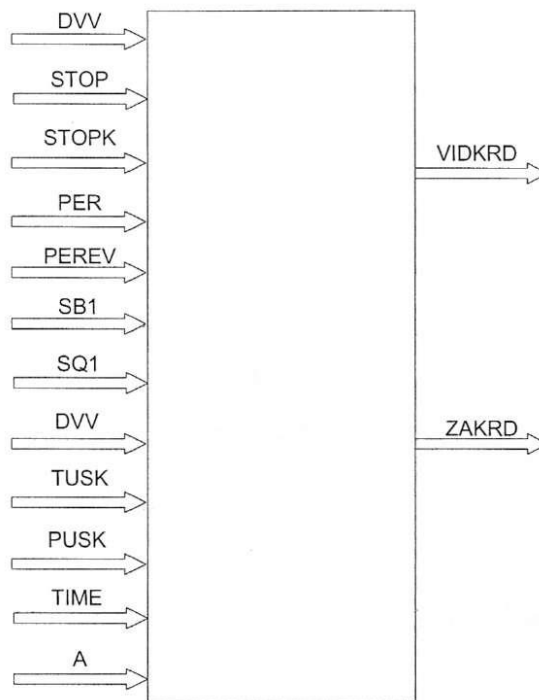


Рисунок 4.3 – Блок відкривання і закривання дверей ліфта

Логічний вираз:

а) для відкривання дверей:

$$VIDKRD = STOPK \cdot [(DVZ \cdot (\overline{SQ1} + \overline{TUSK}) + PER) + SQ1 \cdot SB1]$$

Сигнал на відкривання дверей надходить в тому випадку, якщо кабіна стоїть, двері закриті, є перешкода на шляху дверей,

б) для закривання дверей:

$$ZAKRD = DVV \cdot \overline{PEREV} \cdot \overline{PER} \cdot \overline{A} \cdot \overline{STOP} \cdot (PUSK + TIME)$$

Сигнал на закривання дверей надходить в тому випадку, якщо двері відкриті, немає перевантаження, немає перешкоди, немає аварії, не натиснута кнопка СТОП, натиснута кнопка ПУСК або якщо її не натискали певний час.

3. Блок ввімкнення електроприводу руху кабіни зображений на рис.4.4

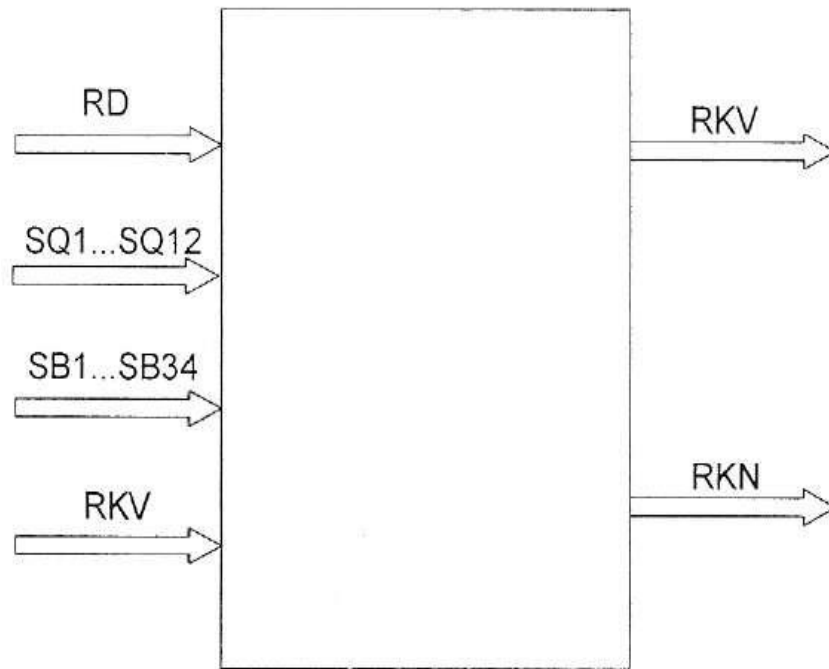


Рисунок 4.4 – Блок ввімкнення електроприводу руху кабіни

Логічні вирази:

а) для сигналу руху кабіни ліфта вгору:

$$RKV = RD \cdot [SQ1(SB2 + \dots + SB23 + SB24 + \dots SB47 + SB49 + \dots SB72) + \frac{1}{2} + SQ2(SB3 + \dots SB23 + SB25 + \dots SB47 + SB50 + \dots SB72) + \dots + SQ23(SB47 + SB72)]$$

Ліфт розпочинає рухатися вгору коли дозволено рух та отримується сигнал виклику з поверхів, або ж в кабіні вмикається кнопка поверхів, що знаходяться вище ніж положення кабінки.

б) для сигналу руху кабінки ліфта вниз: $RKN = \overline{RD} \cdot \overline{RKV} \cdot SQ1$

Ліфт розпочинає рухатися вниз коли дозволено рух, відсутній сигнал для руху вгору і ліфт знаходиться на поверху відмінному від першого.

4. Блок зупинки ліфта зображений на рис.4.5

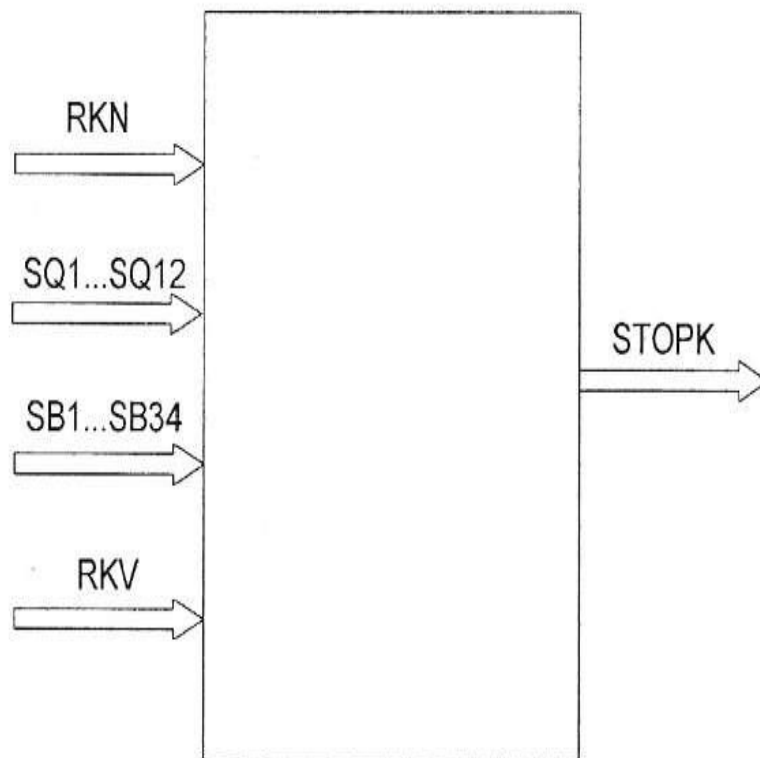


Рисунок 4.5 – Блок зупинки ліфта

Логічний вираз для зупинки ліфта:

$$STOPK = SQ1 + RKV[SQ2(SB2 + SB24 + SB49) + SQ3(SB3 + SB25 + SB50) + \dots + SQ23(SB23 + SB46 + SB71)] - RKN[SQ2(SB24 + SB49) + SQ3(SB25 + SB50) + \dots + SQ23(SB46 + SB71)] + SQ24$$

Ліфт зупиняється коли досягає поверху на якому була натиснута будь яка кнопка при русі вгору, коли досягає поверху на якому була натиснута кнопка виклику ліфта для руху вниз при русі вниз, коли досягає поверху, який

був натиснутий в кабіні, а також коли досягає першого та дванадцятого поверхів.

Вибір елементної бази і розробка принципової схеми

Опис і технічні характеристики промислового контролера SIMATIC S7-200

Програмовані логічні контролери (ПЛК) сімейства SIMATIC S7-200 є відмінним рішенням для розробки високоефективних систем автоматичного управління. Вони забезпечують оптимальний баланс між вартістю придбання обладнання і функціональністю системи, що робить їх зручними для використання в різних застосуваннях.

Основні технічні характеристики контролера SIMATIC S7-200:

- Процесор: контролери обладнані потужним процесором, що забезпечує швидкість виконання програм і обробки даних в реальному часі.

- Модульна структура: контролер має можливість розширення за рахунок підключення додаткових модулів вводу/виводу, термочутливих і аналогових модулів.

- Інтерфейси зв'язку: підтримує обмін даними через традиційні PPI або MPI інтерфейси, а також мережі PROFIBUS-DP або AS-інтерфейс, що забезпечує інтеграцію в широку екосистему автоматизації.

- Програмуванн*: програмування виконується за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення Step 7-Micro/WIN, яке дозволяє швидко і зручно розробляти й відлагоджувати програми управління.

- Витриваліст*: контролери S7-200 проектуються з урахуванням роботи в різних умовах навколишнього середовища, що підвищує їх надійність і довговічність.

Контролери SIMATIC S7-200 можуть бути використані в різних сценаріях: від побудови локальних автоматизованих систем до більш складних розподілених рішень, що вимагають надійного обміну даними.

Розробка принципової схеми

Принципова схема автоматизації ліфтової системи буде включати:

1. Контролер SIMATIC S7-200: центральна управлінська одиниця, яка здійснює обробку сигналів від датчиків і управлінських елементів.
2. Кінцеві вимикачі (SQ1-SQ24): для визначення положення кабіни ліфта.
3. Датчики ваги (SQ25): для контролю за перевантаженням.
4. Датчики відкриття/закриття дверей (SQ26, SQ27, SQ28): для безпечного управління дверима кабіни.
5. Сигнали управління (OTKRD, ZAKRD, SVITLO): для керування світлом та сигналами про відкриття/закриття дверей.
6. Кнопки виклику ліфта (SB1-SB72): для вибору поверху та напрямку руху ліфта.
7. Аварійні датчики: для обробки запитів у разі надзвичайних ситуацій.

Ця система управління, що базується на контролері SIMATIC S7-200, дозволяє забезпечити безпеку, надійність і ефективність роботи ліфтового обладнання. Вона інтегрує всі елементи в єдину мережу, що спрощує моніторинг і управління ліфтом.



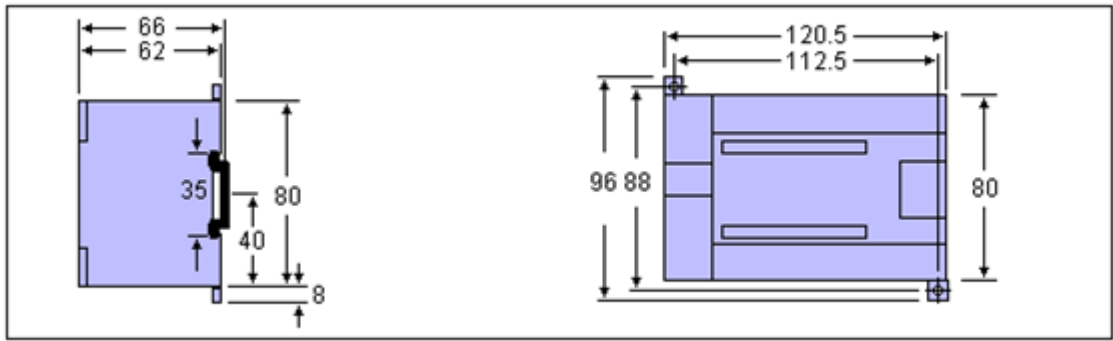
Рисунок 4.6 – Загальний вигляд програмованих логічних контролерів сімейства SIMATIC S7-200

Сімейство програмованих логічних контролерів SIMATIC S7-200 має ряд значних переваг, що роблять його ідеальним вибором для застосувань автоматизації:

- час виконання 1К логічних інструкцій не перевищує 0.37мс;
- наявність швидкісних лічильників зовнішніх подій;
- наявність швидкодіючих входів зовнішніх переривань;
- можливість нарощування кількості обслуговуваних входів-виходів;
- наявність імпульсних виходів (ШІМ або ЧІМ);
- потенціометри аналогового завдання цифрових параметрів;
- годинник реального часу (вбудованих або встановлених у вигляді субмодуля);
- потужний набір інструкцій мови програмування;
- послідовний PPI-інтерфейс, який може бути використаний як вільно програмованого інтерфейсу;
- функції ведучого пристрою AS-інтерфейсу, забезпечувані комунікаційним модулем CP 243-2;
- функції відомого пристрою PROFIBUS-DP, забезпечувані комунікаційним модулем EM 277;
- дружня оболонка програмування STEP 7 Micro / Win;
- трирівнева парольний захист програм користувача;
- можливість роботи з пристроями людино-машинного інтерфейсу.

Сімейство SIMATIC S7-200 об'єднує в своєму складі:

- 4 типи центральних процесорів, що відрізняються об'ємами пам'яті, кількістю вбудованих входів-виходів, набором вбудованих функцій, можливостями розширення системи.
- Широкий спектр модулів вводу-виводу дискретних та аналогових сигналів.
- Два комунікаційних модуля, що забезпечують можливість підключення до AS-інтерфейсу і мережі PROFIBUS-DP (тільки ведене пристрій).



Установчі розміри центрального процесора CPU 224 зображено на рис.4.7

Рисунок 4.7 – Установчі розміри центрального процесора CPU 224

Модулі вводу-виводу дискретних сигналів призначені для розширення кількості входів і виходів, що можуть обслуговуватися одним центральним процесором (ЦП). Вони є важливою частиною системи автоматизації, оскільки забезпечують інтеграцію різноманітних датчиків та виконавчих механізмів.

Модулі вводу-виводу дискретних сигналів виготовляються у пластикових корпусах, що забезпечує їх легкість і надійність. Вони можуть бути встановлені за різними способами:

- На 35-мм профільну рейку DIN: за допомогою механізму кріплення засувками.
- На плоску поверхню: з використанням гвинтів. Цей варіант кріплення рекомендується для установок, підданих підвищеним вібраційним та ударним навантаженням.

Підключення модулів до сусідніх модулів здійснюється за допомогою плоского кабелю, який входить до комплекту постачання кожного модуля. Це забезпечує простоту і швидкість монтажу та демонтажу.

Зовнішні ланцюги підключаються до модулів через клеми з гвинтовими затискачами, що забезпечує надійний контакт і простоту обслуговування. Клеми захищені кришками, що запобігає випадковому контакту і пошкодженням.

Для забезпечення зручності обслуговування зовнішні ланцюги можуть підключатися через знімні термінальні блоки. Використання таких блоків дозволяє швидко змінювати модулі без необхідності демонтажу зовнішніх ланцюгів, що зберігає час і знижує ризик пошкоджень у системі.

Модулі вводу-виводу дискретних сигналів є важливими компонентами в системах автоматизації, оскільки вони забезпечують гнучкість у налаштуванні та розширенні системи. Їх конструктивні особливості, такі як різні способи монтажу та підключення, роблять їх ідеальними для використання в умовах з різними рівнями навантаження.

Модулі вводу-виводу дискретних сигналів EM 223 наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Модулі вводу-виводу дискретних сигналів EM 223

Дискретні входи	
Кількість входів	16
Вхідна напруга: • номінальне значення • логічної одиниці • логічного нуля	=24В =15...30В 0...+5В
Вхідний струм логічної одиниці Ізоляція входів Кількість входів в групах Випробувальна напруга ізоляції Затримка поширення вхідних сигналів Статичний струм ланцюгів 2-провідних датчиків BERO	Оптоелектронна = 500В 4.5мс 1мА
Дискретні виходи	
Кількість виходів Вихідна напруга: • номінальне значення • допустимий діапазон змін • логічної одиниці Тип виходів Кількість виходів у групі Вихідний струм логічної одиниці при: • 40 ° С • 55 ° С Вихідний струм логічного нуля Вихідний струм групи виходів при: • 40 ° С • 55 ° С	16 =24В =20.4...28.8В 18.6В Оптрон 4 і 8 0.75А 0.75А 10мкА 3.6А 3.6А
• при індуктивному навантаженні • при лампової навантаженні	- 5Вт

Затримка перемикання: <ul style="list-style-type: none"> • 0-1, не більше • 1-0, не більше Обмеження наведеної напруги Захист від короткого замикання Довжина кабелю: <ul style="list-style-type: none"> • звичайного • екранованого Випробувальна напруга ізоляції: <ul style="list-style-type: none"> • обмотка-контакт • контакт-контакт 	50мкс 200мкс $U_{вих}$ -48В Зовнішня 15Ом 50Ом - ~500В
Загальні технічні характеристики	
Споживаний струм: <ul style="list-style-type: none"> • від внутрішньої шини контролера (= 5В) • від зовнішнього джерела = 24В Споживана потужність Габарити, мм Маса	160мА - 6Вт 137.5x80x62 0.36кг

Блок живлення мікроконтролера

Блоки живлення SITOP Power 24В/3.5А призначені для живлення центральних процесорів та модулів програмованих контролерів SIMATIC S7-200, а також їх зовнішніх ланцюгів. Вони перетворюють вхідну однофазну напругу змінного струму промислової частоти на стабілізовану вихідну напругу 24В і оснащені електронним захистом від коротких замикань в ланцюзі навантаження. Корпус блока живлення забезпечує ті ж способи кріплення та монтажу, що й модулі S7-200.

Висновки: Розроблено схему керування для вантажопасажирського ліфта в 25-поверховій будівлі. Система керування реалізована на основі промислового контролера SIMATIC S7-200. Під час розробки також була створена принципова схема установки.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі представлена класифікація автоматизованих електромеханічних систем керування, кінематична схема та основні елементи системи. Розглянуто найбільш поширені кінематичні схеми та обґрунтовано вибір кінематичної схеми, яка використовуватиметься в даному проєкті. Визначено вимоги до автоматизованої системи електропривода, зокрема для забезпечення заданої продуктивності, повної безпеки, високої надійності роботи, підвищеного рівня комфорту та енергозбереження під час експлуатації.

Розраховано потужність електродвигуна та обрано асинхронний двигун типу 4A160S6Y3 з потужністю 11 кВт. Проведено розрахунки статичних навантажень і побудовано діаграми рушійних зусиль. Згідно з номінальним струмом статора та потужністю двигуна, обрано перетворювач частоти фірми ABB ACS550-01-023A-4 та черв'ячний редуктор з глобоїдним зачепленням з провідним колесом РГСЛ – 160.

Наведено стандартний алгоритм непрямого векторного керування асинхронним двигуном. Розроблено математичну модель у пакеті Simulink програми MATLAB 7.9 для моделювання перехідних процесів, а також описано кожен з блоків моделі. Розроблено схему керування, побудовану на основі промислового контролера SIMATIC S7-200, а також створено принципову схему установки.