

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Удосконалення та дослідження динамічних характеристик частотно-керованого електропривода пасажирського ліфта

Виконав: студент 6 курсу, групи 601МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Мигаль С.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Шефер О.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Галай В.М.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2021 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
 Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
 Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
 Освітній рівень Магістр
 Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри
 автоматики, електроніки та
 телекомунікацій

д.т.н., доцент О.В. Шефер
 “ 01 ” вересня 2021 р.

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ МИГАЛЮ Станіславу Володимировичу

1. Тема проекту (роботи) «Удосконалення та дослідження динамічних характеристик частотно-керованого електропривода пасажирського ліфта»
 керівник проекту (роботи) ШЕФЕР Олександр Віталійович, д.т.н., доцент
 затверджена наказом вищого навчального закладу від “25” серпня 2021 року № 688-фа
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.12.2021 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи). Вантажопідйомність ліфту – 400 кг. Максимальна швидкість руху 2,5 м/с. Максимально допустиме прискорення (уповільнення) руху кабіни до 2 м/с². Висота переміщення до 27 м. Потужність привода та ПЧ до 10кВт.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз динамічних характеристик ЕП пасажирського ліфта. Вибір оптимального ЕП для пасажирського ліфта. ЕП пасажирського ліфта за системою ТП-АД. Вибір електродвигуна і визначення передавального числа редуктора. Попередня перевірка двигуна на нагрів. Модернізація ЕП пасажирського ліфта з покращеними динамічними режимами та забезпеченням комфортності. Моделювання ЕП пасажирського ліфта з покращеними динамічними режимами. Розрахунок техніко-економічної ефективності використання автоматизованого ЕП пасажирського ліфта.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів): Аналіз електроприводів пасажирських ліфтів. Механічна характеристика та математична модель ПЧ-АД. Принципи регулювання швидкості частотним перетворювачем. Принципи регулювання швидкості частотним перетворювачем та графіки переміщення кабіни ліфта. Навантажувальні діаграма моментів ЕП. Часові залежності кутової швидкості та характеристики моменту ЕП. Схема електрична принципова підключення ПЧ до мережі і до двигуна. Загальний вигляд профілів зміни частоти ЕП. Оптимальна діаграма руху кабіни ліфта. Модель розгону і гальмування електроприводу пасажирського ліфта. Перехідні характеристики АД.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економіка	Григор'єва О.В., доцент, к.е.н.		

7. Дата видачі завдання 01.09.21 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз динамічних характеристик електропривода пасажирського ліфта.	01.09.21	5%
2.	Вибір оптимального електроприводу для пасажирського ліфта. Електропривод пасажирського ліфта за системою ТП-АД.	15.09.21	10%
4.	Розрахунок моментів статичних опорів і попередній розрахунок потужності електродвигуна.	27.10.21	30%
5.	Розрахунок наведених статичних моментів, моментів інерції і коефіцієнта жорсткості системи електропривод –кабіна ліфта.	05.11.21	40%
6.	Вибір електродвигуна і визначення передавального числа редуктора. Попередня перевірка двигуна на нагрів і продуктивність.	17.11.21	50%
7.	Модернізація електроприводу пасажирського ліфта з покращеними динамічними режимами та забезпеченням комфортності.	24.11.21	60%
8.	Моделювання електроприводу пасажирського ліфта з покращеними динамічними режимами.	01.12.21	80%
9.	Розрахунок техніко-економічної ефективності використання автоматизованого електроприводу пасажирського ліфта.	08.12.21	90%
10.	Підготовка графічних матеріалів. Оформлення магістерської роботи.	15.12.21	100%

Студент _____
(підпис)Мигаль С.В.
(прізвище та ініціали)Керівник роботи _____
(підпис)Шефер О.В.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	.....
1. АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТА ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ.....	.....
1.1 Аналіз електроприводів пасажирських ліфтів.....	.....
1.1.1 Одношвидкісний електроприводпасажирського ліфта.....	.....
1.1.2 Двошвидкісний електропривод пасажирського ліфта.....	.....
1.1.3 Системи з регулюванням напруги (ACVV).....	.....
1.1.4 Системи з регульованою напругою і частотою (VVVF).....	.....
1.2 Вибір оптимального електроприводу для пасажирського ліфта.....	.....
1.3 Основні функції ППП і ПЧ.....	.....
1.3.1 Регульоване прискорення.....	.....
1.3.2 Керування швидкістю.....	.....
1.3.3 Регулювання швидкості руху кабіни ліфта.....	.....
1.3.4 Кероване уповільнення кабіною ліфта.....	.....
1.3.5 Зміна напрямку обертання.....	.....
1.3.6 Захист електроприводу.....	.....
1.4 Електропривод пасажирського ліфта за системою ТП-АД.....	.....
1.5 Загальні відомості про частотно-регульований електропривод.....	.....
1.6 Скалярне і векторне керування асинхронним двигуном.....	.....
1.7 Постанова завдання дослідження.....	.....
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТА.....	.....
2.1 Проектування електроприводу пасажирського ліфта.....	.....
2.2 Розрахунок моментів статичних опорів і попередній розрахунок потужності електродвигуна.....	.....
2.3 Обґрунтування вибору роду струму і типу електроприводу.....	.....
2.4 Вибір електродвигуна і визначення передавального числа редуктора.....	.....
2.5 Розрахунок наведених статичних моментів, моментів інерції і коефіцієнта жорсткості системи електропривод –кабіна ліфта.....	.....
2.6 Попередня перевірка двигуна на нагрів і продуктивність.....	.....
3. МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТА З ПОКРАЩЕНИМИ ДИНАМІЧНИМИ РЕЖИМАМИ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ КОМФОРТНОСТІ.....	.....
3.1 Основний принцип роботи ППП і ПЧ.....	.....
3.1.1 Структура ППП і ПЧ.....	.....
3.1.2 Регулювання швидкості ППП і ПЧ.....	.....
3.1.3 Вбудований захист ППП і ПЧ.....	.....
3.1.4 Управління $U / f = \text{const}$.....	.....
3.3 Опис роботи ліфта з застосуванням ПЧ.....	.....
3.4 Вибір гальмівного резистора і розрахунок його потужності.....	.....
3.4.1 Визначення номінальної потужності.....	.....

3.4.2	Вибір гальмівного резистора.....
3.5	Розрахунок частоти і напруги двигуна в системі ПЧ-АД.....
3.6	Розрахунок статичних характеристик електроприводу. Природні характеристики асинхронного двигуна.....
3.7	Розрахунок параметрів схем включення, що забезпечують пуск і гальмування двигуна.....
3.8	Складання структурної схеми електропривода та розрахунок її параметрів.....
3.8.1	Структурна схема механічної частини електроприводу.....
3.8.2	Структурна схема електромеханічного перетворення енергії.....
3.8.3	Структурні схеми електричних перетворювачів енергії.....
3.8.4	Структурна схема електроприводу з системою ПЧ-АД.....
3.9	Розрахунок оптимального руху кабіни ліфта.....
4.	МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТА З ПОКРАЩЕНИМИ ДИНАМІЧНИМИ РЕЖИМАМИ.....
4.1	Формування профілів розгону та гальмування.....
4.2	Моделювання розгону і гальмування електроприводу пасажирського ліфта.....
5	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТА.....
5.1	Розрахунок виробничої потужності обладнання.....
5.2	Розрахунок капітальних витрат автоматизованого електроприводу пасажирського ліфта.....
5.3	Питання організації праці і заробітної плати.....
5.4	Розрахунок витрат на електроенергію, ремонт обладнання і економії від автоматизованого електроприводу пасажирського ліфта.....
5.5	Розрахунок загальної економії.....
	Висновок за розділом економічної частини.....
	ВИСНОВКИ.....
	Список використаної літератури.....
	ДОДАТКИ.....

Вступ

У зв'язку зі стрімким розвитком і широкою гаммою технологічних процесів, а також можливостями широкого доступу дорозмаїття сучасної перетворювальної техніки – існує необхідність в удосконаленні існуючих методів і алгоритмів керування пасажирськими ліфтами з метою економії електроенергії та продовження терміну їх експлуатації.

Електромеханічна частина пасажирських ліфтів, здебільшого, працює у динамічному режимі частих пусків та гальмувань, що призводить до швидкого зношування металевих конструкцій ліфта та релейно-контакторної системи керування.

В даний час у частотно-регульованих електроприводах вітчизняного виробництва, що мають у своїй структурі перетворювачі частоти (ПЧ), використовуються лінійні профілі інтенсивності, що дозволяють змінювати (збільшувати при розгоні і зменшувати при гальмуванні) частоту напруги живлення за лінійним законом.

Однак, слід зазначити, що в тих технологічних процесах де найважливішим є плавність розгону і гальмування, зокрема, пасажирські ліфти, лінійні профілі, котрі широко використовуються, не забезпечують очікуваного комфорту і не дозволяють оптимізувати використання ресурсної бази ліфту, повною мірою.

Для усунення зазначених впливів на конструкцію та систему керування, ставиться завдання розробити алгоритми керування, котрі сприятимуть формуванню профілів, які забезпечать максимально плавний розгін і гальмування виконавчих механізмів електроприводів.

Електромеханічними системами, що максимально відповідають сучасним тенденціям ліфтобудування, є електроприводи за системою «перетворювач частоти – асинхронний електродвигун». Ці системи відповідають сучасним вимогам і запитам споживачів, але, переважно, виготовляються за межами України, в країнах ЄС і Китаї, або збираються на вітчизняних заводах з імпортованих комплектуючих.

Система «ПЧ-АД» вносить нові можливості в керуванні електродвигунами. Як наслідок, виникає необхідність у формуванні якісно нових алгоритмів керування, найбільш адаптивних і здатних виконувати широкий комплекс завдань. Пріоритетними з них є безпека, надійність, енергоефективність і комфортність. Для забезпечення плавності руху механізмів електроприводу ліфта в якості форми розгону і гальмування доцільно використовувати S-подібні профілі. Зупинка електроприводу пасажирського ліфта з редукторною лебідкою і двошвидкісним АД відбувається через його гальмування з номінальною частотою обертання до малої швидкості, а потім - з малої швидкості (з моменту спрацьовування датчика дотягування) до повної зупинки. Отже, для плавної зупинки електроприводу пасажирського ліфта використовується комбінований (складений з двох) профіль гальмування.

У представлені магістерській роботі розглядається електромеханічна система змінного струму, що використовує асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, котрий живиться від напівпровідникового перетворювача частоти.

Широкому поширенню даної системи сприяла поява порівняно недорогих і досить потужних транзисторних перетворювачів частоти (ТПЧ).

Частотний спосіб регулювання є широко розповсюдженим і найбільш перспективним для регулювання швидкості АД. Він забезпечує плавне регулювання у широкому діапазоні швидкостей, і, що важливо, одержані характеристики мають достатньо високу жорсткість. Втрати електроенергії асинхронного електроприводу, що пов'язані з ковзанням самої електричної машини - невеликі, тому частотний спосіб найбільш доцільний з економічної точки зору.

Для кращого використання переваг АД і отримання високих енергетичних показників його роботи - коефіцієнта корисної дії, коефіцієнта потужності і достатньої перевантажувальної здатності - одночасно зі зміною частоти прикладеної напруги, необхідно змінювати і її амплітуду.

За своїми робочими властивостями система ПЧ-АД наближається до систем постійного струму, з одночасним збереженням усіх переваг асинхронного електроприводу, зокрема - надійність, довговічність, високу перевантажувальну здатність.

1. Аналіз динамічних характеристик електропривода пасажирського ліфта та постановка завдань

Однією з основних вимог, що висуваються до електроприводу пасажирського ліфта, є забезпечення мінімального часу руху кабіни від початку положення кабіни до поверху призначення за наказом або викликом. Звідси випливає прагнення підвищувати швидкість руху ліфта для оптимізації його продуктивності, однак збільшення зазначеної швидкості не завжди є доцільним та виправданим.

Ліфти зі швидкістю руху кабіни більше 2 м/с, в тому випадку коли кабіна повинна робити зупинки на кожному поверсі, по суті не використовуються за швидкістю, оскільки між поверхами введені обмеження прискорення та уповільнення, кабіна не встигає досягти номінальної швидкості, тому шлях розгону до сталої швидкості, зазвичай, більше половини міжповерхової відстані.

В залежності від умов роботи електроприводу, доцільно використовувати привода, котрі забезпечують різні усталені швидкості руху.

В готелях та адміністративних будівлях рекомендується застосовувати пасажирські ліфти з номінальними швидкостями [1, 2]:

- до 9 поверхів - від 0,7 м/с до 1 м/с;
- 9 або 16 поверхів - від 1 до 1,4 м/с.

У разі встановлення в одному під'їзді двох ліфтів, часто використовується технічне рішення, за якого система керування забезпечує зупинку одного ліфта тільки на парних поверхах, а іншого - тільки на непарних. Це збільшує використання можливостей швидкостей самоелектропривода, а отже, підвищує продуктивність транспортних механізмів циклічної дії.

Крім основної швидкості руху кабіни, яка багато в чому визначає продуктивність ліфта, електропривод і система керування ліфтом з номінальною швидкістю більше 0,7 м/с повинні забезпечувати можливість руху кабіни зі швидкістю не більше 0,4 м/с, що необхідно для режиму ревізії.

Однією з найважливіших вимог, виконання якої залежить від самої структури електроприводу і системи його керування, є обмеження прискорення і уповільнення кабіни $a = d\vartheta/dt$ та їх похідних (поштовхів, або ривків) $\rho = da/dt = d^2\vartheta/dt^2$.

Максимально допустима величина прискорення (уповільнення) руху кабіни за нормальних режимів роботи, не може перевищувати 2 м/с² для всіх ліфтів, крім лікарняного[2].

Похідна прискорення або уповільнення (ривка) вимогами не регламентується, однак необхідність його обмеження, як і обмеження прискорення, визначається необхідністю обмеження динамічних навантажень у механічній передачі під час перехідних процесів і завданням забезпечення необхідного комфорту для пасажирів. Обмеження величин прискорення і ривка має забезпечувати високу плавність перехідних процесів

і тим самим виключити негативний вплив на самопочуття пасажирів. Для швидкісних ліфтів максимальне значення ривка зазвичай становить $3,0 - 10 \text{ м/с}^3$.

Вимога обмеження прискорень і ривків допустимими значеннями вступає в суттєві протиріччя зі зазначеною вище вимогою забезпечення максимальної продуктивності ліфта, так як з неї випливає, що час розгону і уповільнення руху кабіни ліфта не може бути меншим певної величини, яка визначається цим обмеженням. Тому для забезпечення максимальної продуктивності ліфта під час перехідних процесів електропривод повинен забезпечувати розгін і уповільнення кабіни з максимальними допустимими значеннями прискорення і ривка.

Важливою вимогою до електроприводу ліфта є забезпечення точної зупинки кабіни на заданому рівні. Для пасажирських ліфтів мала точність зупинки кабіни знижує його продуктивність, оскільки збільшується час входу і виходу пасажирів, а також зменшується комфортність ліфта і безпека користування ним.

У ряді випадків необхідність забезпечення вимог точності зупинки робить вирішальний вплив на вибір системи електроприводу ліфта.

Відповідно до правил[3], точність зупинки кабіни на рівні поверхової площадки повинна лежати в межах, що не перевищують для пасажирських ліфтів $\pm 50 \text{ мм}$.

Зі збільшенням максимально допустимої швидкості руху кабіни ліфта збільшується і можливий розкид положень зупинки кабіни, що зазвичай вимагає вжиття додаткових заходів для виконання вимог до точності зупинки.

Додатковою вимогою до електроприводу ліфта є можливість його реверсу для забезпечення підйому і опускання кабіни, що накладає додаткові вимоги до електроприводу ліфта та його системи керування.

Частота включень за годину для пасажирських ліфтів повинна становити 60-240 за стандартної тривалості включень 15-60%, що відповідає режиму S3.

Крім того, регламентом роботи обладнання передбачено ряд додаткових вимог до електроприводу ліфта, що визначаються необхідністю забезпечення безпеки його експлуатації.

Напруга силових електричних ланцюгів в машинних приміщеннях повинна бути не вище 660 В, що виключає можливість застосування двигунів з великою номінальною напругою.

1.2 Аналіз електроприводів пасажирських ліфтів

1.1.1 Одношвидкісний електропривод пасажирського ліфта

Це найпростіший вид приводу, що використовується на старих ліфтах зі швидкістю до 0,6 м/с. У системах застосовуються двигуни з підвищеним ковзанням, які мають високий початковий момент і низький пусковий струм.

Запуск двигунів здійснюється прямим включенням в мережу.

Зниження прискорень і ривків при розгоні забезпечується застосуванням додаткових махових мас з моментом інерції, що перевищує момент інерції двигуна. При цьому збільшуються втрати і знижується к.к.д. двигуна.

1.1.2 Двошвидкісний електропривод пасажирського ліфта

Ці системи використовують двошвидкісні асинхронні електродвигуни з перемиканням кількості пар полюсів, спеціально розроблені для ліфтового приводу. Хоча двошвидкісні системи і не є приводом з регульованою швидкістю, їх можна назвати регульованими, так як вони працюють на дві швидкості. Ці системи широко використовувалися в Європі в кінці ХХ століття. В Україні переважна частина ліфтів працює на подібних приводах і в даний час. Вони працюють від прямого пуску, а тому існує необхідність в застосуванні маховиків для зменшення ривків і додання двигуну плавності.

Основним елементом двошвидкісних систем є двигун з двома обмотками, закладеними в статор, взаємодіючими з одним ротором. Відношення швидкостей в таких системах зазвичай 3:1, 4:1 або 6:1. Таким чином мінімальна швидкість становитиме 33%, 25% або 16,6% від граничної швидкості. Двигуни мають наступні співвідношення чисел полюсів: 6:18 (1000/333 об/хв), 6:24 (1000/250 об/хв), 4:16 (1500/375 об/хв) або 4:24 (1500/250 об/хв).

Недоліки подібних систем:

- розгін і уповільнення несправні, мають місце ривки;
- високий пусковий струм та низький пусковий момент;
- низька точність через залежність від навантаження;
- зайва витрата енергії через прямий пуск і застосування додаткових маховиків.

1.1.3 Системи з регулюванням напруги (ACVV)

Принцип роботи заснований на використанні трьох пар зустрічних тиристорів для зміни напруги на статорі. Функціонування приводів з

регульованими напругою і швидкістю можна ілюструвати за допомогою рис. 1.1.

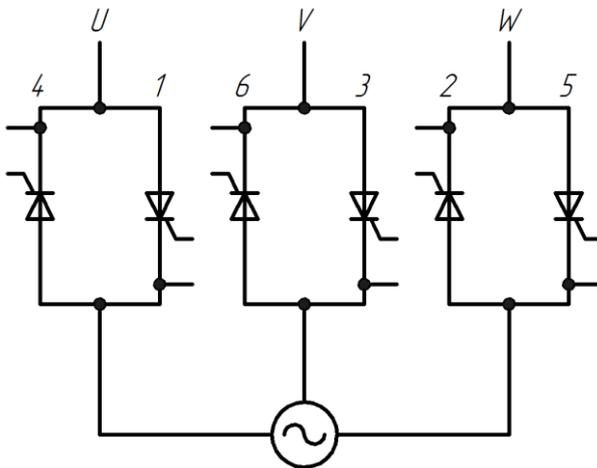


Рисунок 1.1 Схема включення одношвидкісного двигуна

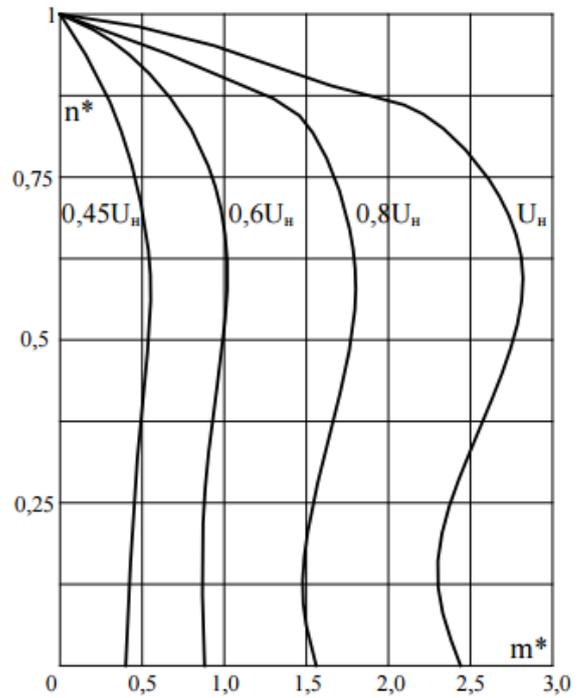


Рисунок 1.2 Характеристики «швидкість-момент» двигуна 2,2 кВт(750 об/хв) при зміні напруги

Під час зниження величини напруги живлення зменшується момент обертання і при сталості навантаження падає робоча швидкість (зростає ковзання).

Пропорційно зростанню ковзання ростуть утрати

$$P_s = P_2 \cdot S$$

P_2 - потужність на валу двигуна, кВт;

S – ковзання.

Крім того, на низьких швидкостях кут відкриття тиристорів збільшується, що обумовлює наявність вищих гармонійних складових напруги.

Двигун нагрівається і ккд усієї системи падає. Необхідно примусово охолоджувати приводний електродвигун. Подібним системам властиве збільшення витрати енергії і не високий ккд.

1.1.4 Системи з регульованою напругою і частотою (VVVF)

Ці системи складаються з асинхронного двигуна, сполученого з інвертором, що дозволяє безперервно регулювати і напругу і частоту. З таким типом приводу двигун може забезпечувати заданий момент при будь-якій швидкості, сумісної з частотою інвертора. Ці системи використовуються в редукторних і безредукторних ліфтах. Вони забезпечують високу швидкість, плавний розгін і високу точність зупинки. Дані системи мають невеликий пусковий струм, зазвичай $I_{\text{пуск}} \approx 1,5 I_{\text{ном}}$. Інвертор виділяє з повного струму тільки активну складову, яка утворює обертовий момент. Необхідно відзначити, що живлення асинхронного двигуна від статичного інвертора проводиться несинусоїдальними напругами, що призводить до збільшення втрат приблизно на 10-15% через наявність вищих гармонійних складових. При цьому двигун не може забезпечити номінальну потужність і буде працювати з меншим навантаженням. Присутність гармонік напруги і струму призводить до коливань моменту і збільшення втрат, погіршення охолодження при роботі на малій швидкості, призводить до необхідності знижувати потужність. Електропривод з регульованою швидкістю будується замкнутою системою зі зворотним зв'язком. Ця система здійснює контроль за зміною швидкості ліфта шляхом відстеження швидкості двигуна. Потім вона порівнює фактичну величину швидкості із заданим «еталонним» значенням і розганяє або уповільнює двигун в залежності від відповідних значень цих сигналів. Для визначення швидкості руху ліфта в будь-який момент часу будується графік, який описує значення швидкості, з якою повинен рухатися ліфт (рис.1.3, крива 1). Це не означає, що ліфт саме з такою швидкістю і рухається. Фактичне значення швидкості фіксується пристроєм зворотного зв'язку (рис.1.3, крива 2). В ідеалі, обидва графіка повинні збігатися. У будь-якому ліфтовому приводі з регульованою швидкістю існує блок, званий «здатчик еталонного значення». Його функція полягає в порівнянні

«еталонної швидкості» зі швидкістю двигуна (а значить і ліфта) в будь-якій точці циклу і забезпеченні плавності кривої швидкості (рис.1.3).

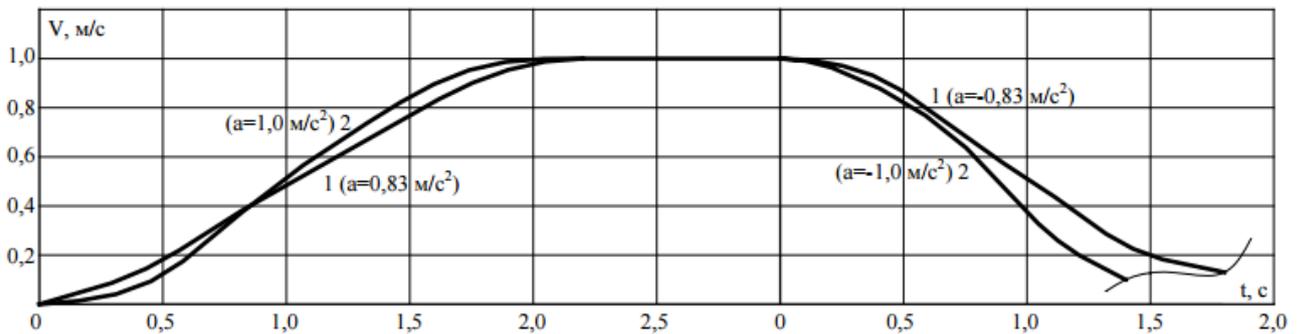


Рисунок 1.3 Залежність швидкості ліфта від часу при проїзді через поверх ліфтів з номінальною швидкістю до 1,0 м/с:

- 1 - задана «еталонна» швидкість;
- 2 - фактична швидкість при підйомі вантажу (ліфт до 400 кг).

Багато, щоб радіус кривої швидкості був великим на відрізках «нульова швидкість - розгін», «розгін - постійна гранична швидкість», «постійна гранична швидкість - уповільнення», «уповільнення - швидкість дотягування». Така форма кривої показана на рис.1.3, де всі переходи плавні. Чим більше радіус цих переходів, тим менші ривки і зручніше рух. Граничний випадок виникає при перетині кривих двох послідовних переходів, коли утворюється форма «S» або перевернута «S».

1.2 Вибір оптимального електроприводу для пасажирського ліфта

Найбільш поширений шлях пуску асинхронних двигунів - безпосередньо від мережі живлення (прямий пуск). Ця технологія часто підходить для широкого спектру механізмів.

Однак вона несе в собі обмеження, які не дозволяють її застосовувати в деяких випадках:

- стрибок струму при пуску може вносити перешкоди в роботу інших приладів, підключених до тієї ж лінії живлення;
- механічне ударне навантаження в процесі пуску, яке не припустиме для пристрою або може зробити шкідливий вплив на комфорт і безпеку користувача;
- неможливо керувати розгоном і гальмуванням;
- неможливо регулювати швидкість.

Отже, найоптимальнішим електроприводом у даному випадку вважаємо систему з регульованою напругою і частотою, що включає у себе пристрої плавного пуску (ППП) і перетворювачі частоти (ПЧ) здатні вирішити вищевказані проблеми.

Спочатку для запуску електродвигунів і керування їх швидкістю використовувалися пускові реостати, механічні приводи і обертові пристрої.

Пізніше пристрої плавного пуску (ППП) і перетворювачі частоти (ПЧ) вийшли на передові позиції, як сучасні, рентабельні, надійні пристрої, що забезпечують безперебійну роботу обладнання в промислових цілях.

Будь-який ПЧ або ППП є перетворювачем енергії, модулюючий електричну енергію, яка живить двигун.

ППП використовуються виключно з асинхронними двигунами. Вони є регуляторами напруги.

ПЧ забезпечують плавне прискорення та уповільнення і забезпечують швидкість оптимально точно відповідно робочого режиму.

Керування електродвигуном передбачає автоматизацію всієї його роботи, включаючи пуск, гальмування, реверс і зміна швидкості обертання електродвигуна.

Автоматичний пуск забезпечує плавне ввімкнення пускових опорів, можливість регулювання струму в необхідних межах, що дозволяє зменшити число помилок, що виникають під час пуску, і підвищує продуктивність всієї системи в цілому. Те ж саме стосується реверсу і гальмування.

Частотне регулювання дозволяє усунути один з істотних недоліків електродвигунів з короткозамкненим ротором - постійну частоту обертання ротора електродвигуна, що не залежить від навантаження. Частотне регулювання створює можливість керування швидкістю електродвигуна відповідно до характеру навантаження. Це в свою чергу дозволяє уникати складних перехідних процесів в електричних мережах, забезпечуючи роботу обладнання в найбільш економічному режимі.

Частотне регулювання електродвигуна ефективно використовують на промислових підприємствах, в галузі енергетики, комунальному господарстві та інших сферах. Це пов'язано з тим, що частотне регулювання дозволяє автоматизувати виробничі процеси, економічно витратити електроенергію та інші задіяні у виробництві ресурси підвищувати якість продукції, що випускається, а також збільшувати надійність роботи всієї системи в цілому.

Частотне регулювання також дозволяє поліпшити функціональність і довговічність технологічної системи. Це забезпечується за рахунок зниження пускових струмів, усунення перевантажень елементів системи і поступового вироблення мотогодин обладнання. Для частотного регулювання використовуються частотні перетворювачі з вбудованими в них ПД-регуляторами (пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори), що забезпечують точне регулювання заданих технологічних параметрів.

Частотні перетворювачі поєднують в собі високий технічний рівень реалізації функціональних можливостей технологічних вимог, надійність і відносно невисоку ціну. На базі частотних перетворювачів можна створювати гнучкі системи електроприводу і регулювання технологічних параметрів. Перетворювачі частоти без особливих ускладнень вбудовуються в існуючі системи практично без зупинки керованого технологічного процесу, легко модифікуються і адаптуються у відповідності з усіма аспектами їх застосування. Доступний діапазон потужностей і різні варіанти

систем керування дозволяють підібрати вирішення для багатьох завдань керування.

Частотні перетворювачі мають стандартний інтерфейс і вхідні та вихідні уніфіковані сигнали для можливості їх включення зовнішнім керуючим системам більш високого рівня і підключення пристроїв дистанційного керування і відображення інформації.

Переваги застосування частотних перетворювачів:

- Плавне регулювання швидкості обертання електродвигуна дозволяє відмовитися від використання маховиків, варіаторів, редукторів, дроселів та іншого механічного та електротехнічного обладнання і регулюючої апаратури, що значно спрощує керувану механічну (технологічну) систему, підвищує її надійність і знижує експлуатаційні витрати.

- Частотний пуск керованого електродвигуна забезпечує його плавний без високих пускових струмів і механічних ударів, а також розгін, що зменшує навантаження на двигун і пов'язані з ним передавальні механізми, збільшує термін їх експлуатації. При цьому з'являється можливість за умовами пуску зниження потужності приводних двигунів навантажених механізмів.

- Вбудований керований ПД-регулятор дозволяє реалізувати системи регулювання швидкості керованих двигунів і пов'язаних з ним технологічних процесів.

- Перетворювач частоти в комплекті з програмованим мікропроцесорним контролером може застосовуватися для створення багатофункціональних систем керування електроприводами, в тому числі з резервуванням механічних агрегатів.

- Застосування зворотного зв'язку системи з частотним перетворювачем сприяє якісному підтриманню швидкості двигуна або регульованого технологічного параметра при змінних навантаженнях та інших збурювальних впливах.

- Перетворювач частоти в комплекті з асинхронним електродвигуном може застосовуватися для заміни електроприводів постійного струму.

- Застосування регульованого частотного електроприводу дозволяє заощаджувати електроенергію шляхом усуненням її невиправданих витрат, які мають місце за інших методів регулювання таких, як, з технологічних потоків дроселюванням, за допомогою гідromуфт та інших механічних регулюючих пристроїв.

Основні можливості:

- Частотні перетворювачі дозволяють регулювати частоту трифазної напруги живлення керованого двигуна в межах від нуля до 400 Гц.

- Розгін і гальмування двигуна здійснюється плавно, при необхідності по лінійному закону від часу. Час розгону і (або) час гальмування від 0,01 с до 50 хв.

- Реверс двигуна, при необхідності з плавним гальмуванням і плавним розгоном до заданої швидкості протилежного напрямку.
- При розгоні частотні перетворювачі можуть забезпечувати до 150% збільшення пускових і динамічних моментів.
- У перетворювачах передбачено електронний самозахист і захист двигунів від перевантаження по струму, перегріву, витоках на землю і обривів ліній живлення двигунів, що налаштовується.
- Залежно від виду навантаження двигунів в перетворювачах можна формувати необхідні вольт-частотні вихідні характеристики.
- У найбільш досконалих перетворювачах реалізовано векторне керування, що дозволяє працювати з повним моментом двигуна в області нульових частот, підтримувати швидкість при змінному навантаженні без датчиків зворотного зв'язку, точно контролювати момент на валу двигуна.

1.3 Основні функції ППП і ПЧ

1.3.1 Регульоване прискорення

Збільшення швидкості двигуна регулюється з використанням лінійної або S-подібної характеристики прискорення. Ця характеристика зазвичай налаштовується, тому є можливість вибору часу зростання швидкості відповідно з конкретним випадком застосування.

1.3.2 Керування швидкістю

Регулятор частоти сам по собі не являється у той же самий час регулятором швидкості. У найпростіших ПЧ принцип керування здійснюється на основі електричних характеристик двигуна з використанням регулювання потужності в системі без зворотного зв'язку, відомої як «відкритий контур».

Швидкість двигуна визначається вхідною величиною (напруга або струм), відомої як задане значення або уставка. Для конкретного заданого значення швидкість може варіюватися в залежності від перешкод (змін до напрузі, навантаження, температури). Діапазон регулювання швидкості визначається по відношенню до номінальної швидкості.

1.3.3 Регулювання швидкості руху кабіни ліфта

Регулятор швидкості - це пристрій керування приводом (рис. 1.4). Він включає в себе систему керування з посиленням потужності і контуром зворотного зв'язку, відомим як «замкнутий контур».

Швидкість двигуна визначається заданим значенням. Величина заданого значення постійно порівнюється з сигналом зворотного зв'язку, який являє собою значення швидкості двигуна. Даний сигнал може

надходити як від тахогенератора, так і від імпульсного датчика, встановленого на кінці вала двигуна.

Якщо буде виявлено відхилення, викликане зміною швидкості, то прикладені до двигуна значення (напруги і / або частоти) автоматично коригуються для того, щоб повернути швидкість до її початкової величини.

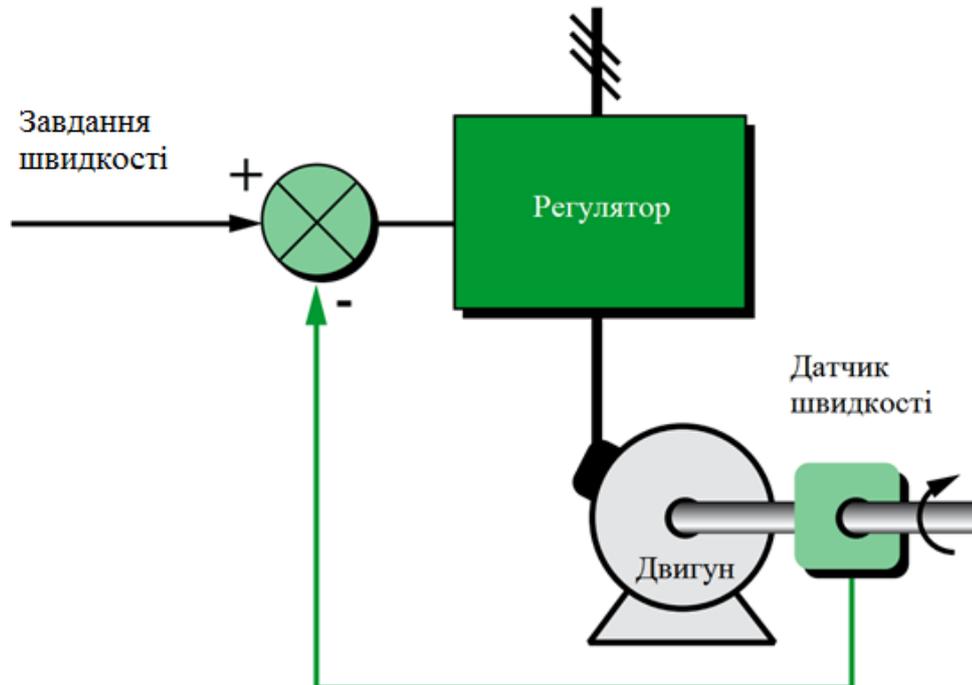


Рисунок 1.4 Принципи регулювання швидкості

Керування зі зворотним зв'язком створює стійкість до зовнішніх впливів.

1.3.4 Кероване уповільнення кабіною ліфта

Коли двигун вимикається, він гальмується під дією моменту опору механізму (зупинка вибігом). ППП і ПЧ можуть використовуватися для керування уповільненням по лінійній або S- подібній характеристиці, яка зазвичай не залежить від кривої темпу прискорення.

Темп уповільнення може регулюватися, щоб забезпечити необхідний час гальмування від поточної швидкості до проміжної швидкості або до повної зупинки:

- якщо необхідне уповільнення швидше, ніж зупинка вибігом, двигун повинен розвинути гальмівний момент, який додається до моменту опору механізму. Це відомо, як електричне гальмування, яке може бути досягнуто як рекуперацією енергії в мережу живлення, так і розсіюванням її на гальмівному резисторі.

- якщо необхідне уповільнення довше, ніж зупинка вибігом, двигун повинен розвинути крутний момент більше, ніж момент опору механізму і продовжити оберти навантаження до зупинки.

1.3.5 Зміна напрямку обертання

Більшість сучасних приводів підтримують цю функцію як стандартну. Порядок чергування фаз напруги, що живить двигун, змінюється автоматично шляхом зміни полярності сигналу задання частоти або за допомогою подачі команди на логічний вхід, або за допомогою команди, що передається по комунікаційній мережі.

1.3.6 Захист електроприводу

Сучасні приводи зазвичай забезпечують захист від перевищення температури для себе і двигунів. Мікропроцесор використовує вимірювання струму і дані швидкості (якщо вентиляція двигуна залежить від його швидкості обертання) для розрахунку зростання температури двигуна і посилає сигнал тривоги або сигнал на зупинку в разі надмірного зростання температури.

Приводи, а особливо перетворювачі частоти, також часто забезпечуються захистом:

- від короткого замикання між фазами і між фазами і землею;
- від перенапруги і провалів напруги;
- від дисбалансу фаз;
- від роботи на одній фазі.

1.4 Електропривод пасажирського ліфта за системою ТП-АД

Для електромеханічної системи ліфтів застосовуються як асинхронні двигуни, так і двигуни постійного струму. Але можливість регулювання швидкості асинхронних двигунів до останнього часу була обмежена, тому в ліфтобудуванні на ліфти встановлювалися в основному двигуни постійного струму з автономними перетворювачами і машинами. Системи Г-Д і ТП-Д дозволяють виконати досить жорсткі вимоги щодо точності зупинки і підтримки заданого закону руху в перехідних процесах [5, 15]. Система ТП-Д знаходила до останнього часу широке застосування (рисунок 1.5).

Використання в електромеханічній системі ліфта практично безінерційного ТП дозволяє найбільш точно реагувати закон руху в часі перехідного процесу. Заміна редукторів та маховиків статичним перетворювачем зменшує нагрів системи, шум зменшує витрати на ремонт і обслуговування. До переваг системи ТП-Д слід віднести великий коефіцієнт підсилення. У зв'язку з цим, впровадження новітніх енергозберігаючих технологій при модернізації ліфтового обладнання стає вкрай актуальним завданням. Систематичний аналіз інформації будівельних, монтажних і проектних організацій дозволяє зробити висновок, що в якості базисної

програми з енергозбереження на ліфтах необхідно розглядати впровадження частотно-регульованих електроприводів, головний елемент яких - частотний перетворювач.

Застосування частотно-керованого електроприводу пасажирського ліфта значно підвищує комфорт під час руху кабіни, забезпечує високу точність зупинки й безшумність роботи, збільшує довговічність механічного обладнання, а також дозволяє знизити витрату електроенергії, у середньому на 50%.

Використання системи ПЧ-АД підвищує показники комфорту під час руху кабіни ліфта і довговічність механічного обладнання за рахунок отримання плавних перехідних процесів без додаткових ривків, що, в свою чергу, знижує експлуатаційні витрати на капітальний ремонт обладнання за рахунок значного зниження динамічних навантажень в елементах кінематичних кіл.

Зниження спожитої електроенергії досягається завдяки значному зменшенню обертових махових мас лебідки ліфта, що виключає непродуктивні втрати в перехідних пуско-гальмівних режимах. Плавні перехідні режими дозволяють знизити динамічні навантаження в елементах кінематики електроприводу ліфта, що призводить до збільшення терміну служби редуктора, тягового канату, канатоведучого шківів, гальмівної системи, електродвигуна, елементів підвіски противаги.

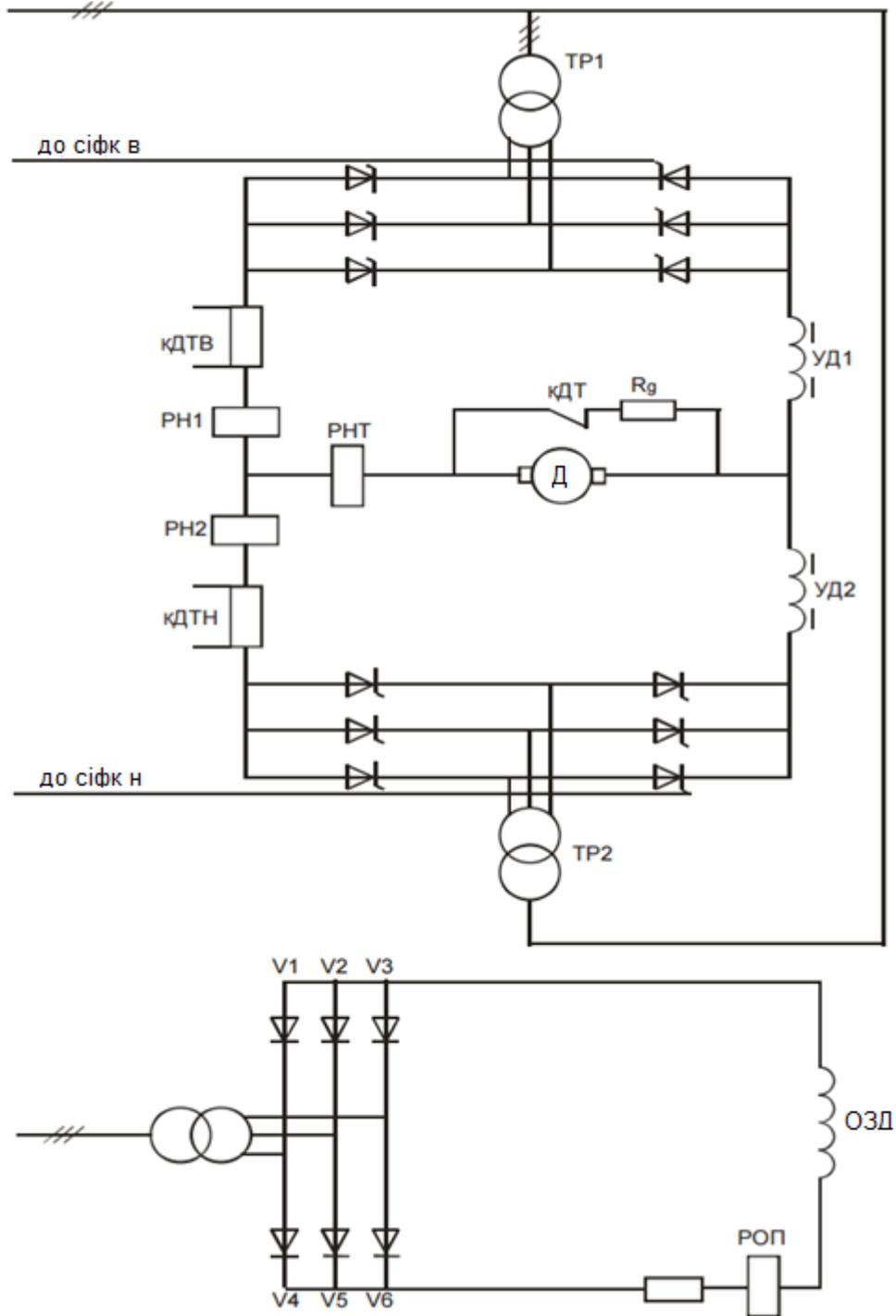


Рисунок 1.5 Схема силової частини електроприводу ліфта по системі ТП-АД

1.5 Загальні відомості про частотно-регульований електродвигун

Розвиток частотно-регульованого електродвигуна до недавніх пір стримувався високою вартістю перетворювачів частоти та їх великими габаритами. Розроблення силових схем з IGBT-транзисторами, а також розробка високопродуктивних мікропроцесорних систем керування дозволило різним фірмам ЄС, США і Японії створити сучасні перетворювачі частоти доступної вартості [6, 17].

Із доступних літературних джерел [1-3, 14-17] відомо, що регулювання частоти обертання виконавчих механізмів можна здійснювати за допомогою різних пристроїв: механічних варіаторів, гідравлічних муфт, додатково введених в коло статора або ротора резисторів (фехралевих, манганінових та константанових), електромеханічними та електромашинними перетворювачами частоти, статичними перетворювачами частоти.

Застосування більшості з перелічених пристроїв не забезпечує високої якості регулювання швидкості, має низькі економічні та експлуатаційні показники, вимагає великих витрат під час монтажу та експлуатації. На сьогодні, статичні перетворювачі частоти є найбільш досконалими пристроями керування асинхронним двигуном.

Основний принцип частотного методу регулювання швидкості асинхронного двигуна полягає в тому, що змінювати частоту обертання вала асинхронного приводного електродвигуна можна змінюючи частоту f_1 напруги живлення, відповідно до виразу:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \times f_1}{p} \quad (1.1)$$

- змінюючи частоту мережі живлення;
- змінюючи число пар полюсів p .

Зазначений спосіб забезпечує плавне, без ривків та піків, регулювання швидкості в широкому діапазоні, а механічні характеристики мають високу жорсткість.

Регулювання швидкості в цьому випадку не супроводжується збільшенням ковзання асинхронного двигуна, тому втрати потужності при регулюванні незначні.

Для отримання високих енергетичних показників асинхронного електродвигуна – коефіцієнту потужності, коефіцієнту корисної дії, перевантажувальної здатності - необхідно одночасно з частотою змінювати і напругу живлення [4, 18].

Закон зміни напруги живлення залежить від характеру моменту навантаження M_c [18]. При постійному моменті навантаження $M_c = \text{const}$ напруга на статорі має регулюватися пропорційно частоті:

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{const} \quad (1.2)$$

Для вентиляторного характеру моменту навантаження маємо:

$$\frac{U_1}{f_1^2} = \text{const} \quad (1.3)$$

При моменті навантаження, зворотно пропорційному швидкості:

$$\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = const \quad (1.4)$$

Отже, для плавного безступінчатого регулювання частоти обертання валу приводного асинхронного електродвигуна, перетворювач частоти повинен забезпечувати одночасне регулювання частоти і напруги на статорі асинхронного двигуна.

1.6 Скалярне і векторне керування асинхронним двигуном

При скалярному управлінні за певним законом змінюють амплітуду і частоту прикладеної до двигуна напруги. Зміна частоти напруги живлення призводить до відхилення від розрахункових значень максимального і пускового моментів двигуна, ккд, коефіцієнту потужності. Тому для підтримки необхідних робочих характеристик двигуна необхідно зі зміною частоти одночасно відповідно змінювати і амплітуду напруги.

В існуючих перетворювачах частоти при скалярному управлінні найчастіше [16-18] підтримується постійним відношення максимального моменту двигуна $M_{\text{макс}}$ до моменту опору на валу M_0 . Тобто при зміні частоти амплітуда напруги змінюється таким чином, що відношення максимального моменту двигуна до поточного моменту навантаження залишається незмінним. Це відношення називається перевантажувальною здатністю двигуна [4, 15].

При сталості перевантажувальної здатності номінальні коефіцієнт потужності і ккд двигуна на всьому діапазоні регулювання частоти обертання практично не змінюються.

Основна особливість при регулюванні АД полягає в тому, що необхідно змінювати напругу U на статорі як в функції моменту статичних M_0 опорів, так і відповідно до зміни частоти. Таким чином, при скалярному методі керування залежність напруги живлення від частоти визначається характером навантаження на валу електричного двигуна. При цьому для постійного моменту навантаження завжди підтримується відношення $U / f = const$, і, по суті, забезпечується сталість максимального моменту двигуна. Разом з тим на малих частотах, починаючи з деякого значення частоти, максимальний момент двигуна починає падати. Для компенсації цього і для збільшення пускового моменту використовується підвищення рівня напруги живлення.

Використовуючи залежність максимального крутного моменту від напруги і частоти, можна побудувати графік для U від f для будь-якого типу навантаження.

Важливою перевагою скалярного методу є можливість одночасного керування групою електродвигунів.

Скалярне керування достатньо для більшості практичних випадків застосування частотно-регульованого електроприводу з діапазоном регулювання частоти обертання двигуна до 1:40.

Векторне керування дозволяє істотно збільшити діапазон керування, точність регулювання, підвищити швидкодію електроприводу. Цей метод забезпечує безпосереднє керування обертовим моментом двигуна.

Обертовий момент визначається струмом статора, який створює збудливе магнітне поле. При безпосередньому управлінні моментом необхідно змінювати крім амплітуди і фази статорного струму, тобто вектор струму. Цим і обумовлений термін «векторне керування».

Для керування вектором струму, а, отже, положенням магнітного потоку статора щодо обертового ротора потрібно знати точне положення ротора в будь-який момент часу. Завдання вирішується або за допомогою виносного датчика положення ротора, або визначенням положення ротора шляхом обчислень за іншими параметрами двигуна. В якості цих параметрів використовуються струми і напруги статорних обмоток.

Менш дорогим є частотно-регульований електропривод з векторним керуванням без датчика зворотного зв'язку швидкості, проте векторне керування при цьому вимагає великого обсягу і високої швидкості обчислень від перетворювача частоти [4, 15].

Крім того, для безпосереднього керування моментом при малих, близьких до нульових швидкостях обертання робота частотно-регульованого електроприводу без зворотного зв'язку по швидкості неможлива.

Векторне керування з датчиком зворотного зв'язку швидкості забезпечує діапазон регулювання до 1:1000 і вище, точність регулювання по швидкості - соті частки відсотка, точність по моменту - одиниці відсотків.

У синхронному частотно-регульованому приводі застосовуються ті ж методи керування, що і в асинхронному.

Механічні характеристики асинхронного двигуна при частотному регулюванні швидкості для різних об'єктів керування мають вигляд представлений на рис. 1.6.

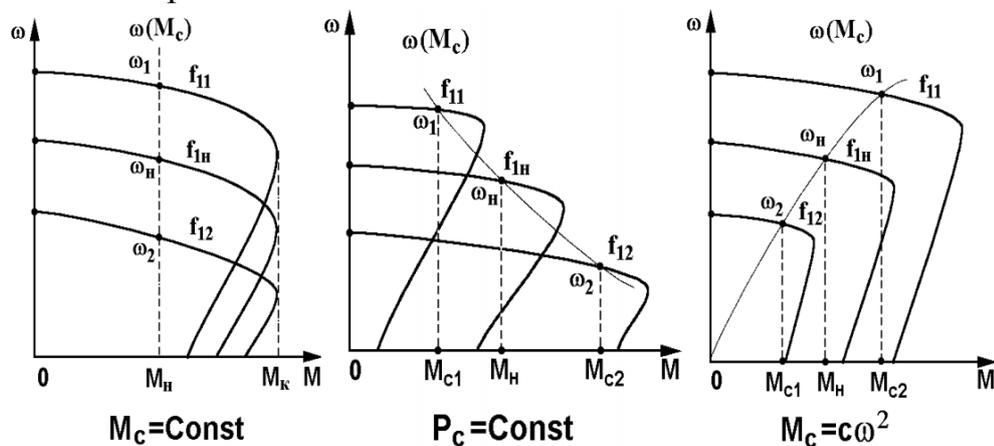


Рисунок 1.6 Механічні характеристики асинхронного двигуна

Керуюча частина ПЧ виконується на цифрових мікропроцесорах і забезпечує керування силовими електронними ключами, а також рішення великої кількості допоміжних завдань (контроль, діагностика, захист). При цьому на виході перетворювача частоти формується трифазна (або однофазна) змінна напруга змінної частоти і амплітуди ($i_{вих} = var$, $f_{вих} = var$).

Отже, при об'єктах керування з постійним моментом статичного навантаження $M_c = const$, напруга джерела живлення повинна змінюватися пропорційно його частоті $U / f = const$ в об'єктах керування, які потребують регулювання швидкості при сталості потужності $P_c = const$ закон керування, буде: $U / \sqrt{f} = const$, при вентиляторному навантаженні закон керування відповідає $U / f^2 = const$. З цих міркувань найбільше поширення метод регулювання отримав для механізмів $M_z = const$, хоча в принципі використання функціональних перетворювачів дозволяє реалізувати будь-який з цих законів [1, 4, 16].

До останнього часу системи електроприводів будувалися виключно на базі двигунів постійного струму. Причиною цього була відсутність надійних перетворювачів частоти. При цьому системи тиристорний перетворювач двигун (ТП-Д) мають такі недоліки, як:

- обмеження темпу наростання струму якоря, підвищений момент інерції електроприводу, що призводять до зниження швидкодії систем автоматичного регулювання; високі масогабаритні показники; трудомісткість в обслуговуванні.

Перераховані недоліки обумовлені наявністю колектора і відповідно процесів комутації та можуть бути виключені при побудові системи електроприводу на основі асинхронного короткозамкненого двигуна.

В даний час є достатній досвід промислового застосування електроприводів по системі ПЧ-АД в діапазоні потужностей 35 ... 100 кВт. Таким чином, система ПЧ-АД має діапазон регулювання до 1:1000 і вище, точність регулювання по швидкості - соті частки відсотка і точність по моменту - одиниці відсотків може забезпечувати необхідну синхронізацію швидкостей приводних електродвигунів в ліфтах різного призначення [1, 2].

Використання регульованого електроприводу забезпечує високу енергоефективністю, сприяє енергозбереженню і дозволяє отримувати нові високі якісні показники електромеханічної системи в цілому. Значна економія електроенергії забезпечується шляхом регулювання будь-якого технологічного параметра [2].

Перетворювач частоти складається з некерованого силового діодного випрямляча В, автономного інвертора (струму чи напруги), системи широтно-імпульсного керування (ШІМ), системи автоматичного регулювання, дроселя L_v і конденсаторного фільтра C_v (рис. 1.7). Регулювання вихідної частоти $f_{вих}$ і напруги $U_{вих}$ здійснюється в інверторі за рахунок високочастотного широтно-імпульсного керування.

Широтно-імпульсне керування характеризується періодом модуляції, всередині якого обмотка статора електродвигуна підключається по черзі до позитивного і відємного полюсів випрямляча.

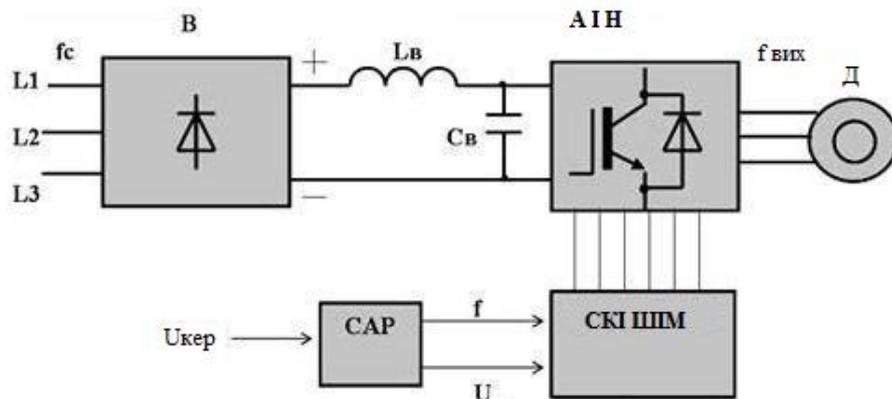


Рисунок 1.7 Перетворювач частоти

Тривалість цих станів всередині періоду ШІМ модулюється за синусоїдальним законом. При високих тактових частотах (зазвичай 2 ... 15 кГц), в обмотках електродвигуна, внаслідок їх фільтруючих властивостей, течуть синусоїдальні струми.

Отже, форма кривої вихідної напруги являє собою високочастотну двохполярну послідовність прямокутних імпульсів (рис. 1.8). Частота імпульсів визначається частотою ШІМ, ширина імпульсів протягом періоду вихідної частоти АІН промодульована за синусоїдальним законом. Форма кривої струму в обмотках асинхронного електродвигуна (вихідного струму) практично синусоїдальна. Регулювання вихідної напруги інвертора можна здійснити двома способами: амплітудним (АР) за рахунок зміни вхідної напруги U_B і широтно-імпульсним (ШІМ) за рахунок зміни програми перемикання вентилів V1-V6 при $U_B = \text{const}$.

В сучасних перетворювачах частоти останній спосіб керування отримав широке розповсюдження та використання завдяки розвитку сучасної елементної бази (IGBT-транзистори та мікропроцесори). При широтно-імпульсній модуляції форма струмів в обмотках статора асинхронного двигуна близька до синусоїдальної завдяки фільтруючим властивостями самих обмоток [4, 7, 17].

Таке керування дозволяє отримати високий ККД перетворювача. Це керування еквівалентне аналоговому керуванню за допомогою частоти і амплітуди напруги.

Сучасні інвертори виконуються на основі повно керованих силових напівпровідникових приладів - запираючих GTO - тиристорів, або біполярних IGBT-транзисторів із ізольованим затвором [6].

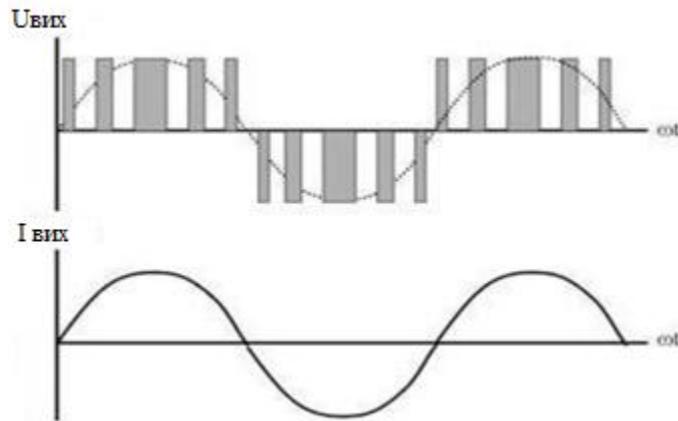


Рисунок 1.8 Форма кривої вихідної напруги

1.7 Постановка завдання дослідження

Для дослідження динамічних режимів необхідно вирішити наступні завдання:

- Провести аналіз технологічного процесу пасажирського ліфта;
- Розрахувати моменти статичних опорів і попередньо визначити потужність електродвигуна;
- Обґрунтувати вибір роду струму і типу електроприводу;
- Вибрати електродвигун і визначити передавальне число редуктора;
- Розрахувати наведені статичні моменти, моменти інерції і коефіцієнт жорсткості системи електропривод - пасажирський ліфт;
- попередньо перевірити двигун по нагріванню і продуктивності;
- Скласти структурну схему електроприводу і розрахувати її параметри;
- Розрахувати статичні характеристики електроприводу;
- Побудувати природні характеристики асинхронного двигуна.

2. Дослідження динамічних режимів роботи електроприводу пасажирського ліфта

2.1 Проектування електроприводу пасажирського ліфта

Електропривод ліфта повинен відповідати таким вимогам:

- а) обмеження максимальних значень швидкості, прискорень і ривка;
- б) забезпечення мінімального часу перехідного процесу;
- в) точна зупинка;
- г) можливість реверсування.

Крім основної швидкості руху кабіни, обов'язково повинна бути передбачена ревізійної (ремонтна) швидкість, яка не повинна перевищувати 0,36 м/с. Ревізійна швидкість необхідна для контролю обладнання в шахті. Від електроприводу ліфта потрібна надійність в роботі, зручність і простота в експлуатації і обслуговуванні, економічність і безшумність. Значення прискорення і уповільнення і їх похідних - ривка є дуже важливим питанням при розробці електромеханічної системи ліфта [3].

Максимальне прискорення (a_{max}) не повинно перевищувати для пасажирських ліфтів $1,5 \text{ м / с}^2$, а максимальний ривок (p_{max}) не повинен перевищувати 5 м / с^3 . Обмеження прискорення від ривка знижує динамічні навантаження на канати і кабіни ліфта, а також визначає нормальне самопочуття пасажирів. Але при цьому необхідно забезпечити високу продуктивність ліфта. З огляду на це допустимі значення прискорення і ривка приймаємо наступними

$$a = 1.5 \text{ м/с}^2 \quad (2.1)$$

$$p_{max} = 3.0 \text{ м/с}^3 \quad (2.2)$$

Оптимальним вважають такий закон зміни швидкості кабіни $v(t)$ в перехідних процесах, коли значення ривка і прискорення на певних інтервалах часу підтримуються постійними і рівними гранично допустимих значень.

Об'єктом проектування електроприводу є механізм з повторно-короткочасним режимом роботи S3 (механізм ліфту).

Навантаження механізму змінюється протягом циклу, і включає в себе розгін до робочої швидкості, виконання корисної роботи на цій швидкості, гальмування або реверс і повернення на підвищеній швидкості в початкове положення. В процесі роботи механізму виникає необхідність регулювання моменту і швидкості, обмеження граничних значень моменту, обмеження прискорення робочого органу. Виникають режими набору і скидання навантаження.

Вихідними даними для проектування електроприводу є:

- Кінематична схема робочого органу із указанням динамічних мас і зусиль (моментів) опору руху, що обертаються та рухаються поступально;
- Допустиме відхилення швидкості руху робочого органу від заданого значення при різному завантаженні;

- Допустимі значення прискорення за умов механічної міцності або умов технологічного процесу;
- Число циклів за годину та роботи для виконання технологічної операції;
- Лінійне переміщення (кут повороту вала) РО;
- Лінійні (або граничні) жорсткості сполучних валів РО;
- Умови навколишнього середовища.

У процесі розрахунку необхідно визначити найбільш завантажений для двигуна режим роботи, забезпечити виконання вимог щодо прискорення пасажирського ліфта, комфортності руху для пасажирів і можливість його роботи з різними вантажами на підйом і на спуск.

У таблиці 2.1 приведено вхідні дані для проектування електроприводу ліфта.

Таблиця 2.1

Параметр	Позначення	Значення
Маса кабіни ліфта, противоваги, деталей та вузлів, що опираються на підшипники	m_1	1200 кг
Вантажопідйомність	m_B	400 кг
Діаметр барабана	D	400 мм
Діаметр осі	$d_{ш}$	80 мм
Коефіцієнт тертя ковзання у підшипниках	μ_n	0,15
Прискорення вільного падіння	g	9,81 м/с ²
Коефіцієнт тертя кочення	f	0,08
Висота шахти ліфту	L	27 м

2.2 Розрахунок моментів статичних опорів і попередній розрахунок потужності електродвигуна

Розрахунок моментів при русі з вантажем:

Маса всіх рухомих частин дорівнює

$$m = m_1 + m_g = 1600 \text{ кг} \quad (2.3)$$

Момент сил тертя в підшипниках

$$M_{ТП} = \frac{m \cdot d_{ш} \cdot \mu_n \cdot g}{2} = 94.176 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.4)$$

Момент тертя кочення

$$M_{ТК} = m f g = 1256 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.5)$$

Статичний момент робочої машини дорівнює

$$M_{рост} = M_{ТП} + M_{ТК} = 1350.176 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.6)$$

Для визначення динамічних моментів робочої машини розраховуються моменти інерції робочої машини (робочого органу)

$$J_{РО} = J_B + m \times \frac{D^2}{4} = 64 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.7)$$

При заданій величині допустимого прискорення a для кожного режиму робочої машини визначаються динамічні моменти

$$M_{родин} = J_{РО} \times \frac{2a}{D} = 480 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.8)$$

Повний момент робочої машини

При пуску

$$M_{po} = M_{рост} + M_{родин} = 1830.176 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.9)$$

При роботі з усталеною швидкістю

$$M_{po} = M_{рост} = 1350.176 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.10)$$

при гальмуванні

$$M_{po} = M_{рост} - M_{родин} = 870.176 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.11)$$

Навантажувальна діаграма моментів робочої машини представлена на рис. 2.1

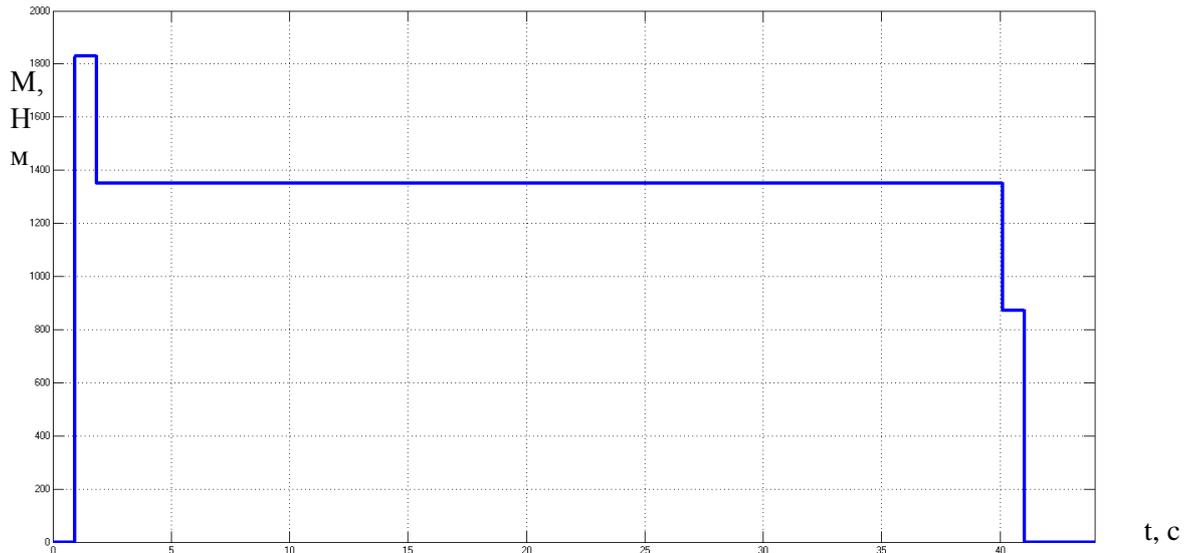


Рисунок 2.1 Навантажувальна діаграма моментів робочої машини при русі з вантажем

Розрахунок моментів при русі без вантажу:

Момент сил тертя в підшипниках

$$M_{ТП} = \frac{m_1 \cdot d_{ш} \cdot \mu_n \cdot g}{2} = 70.632 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Статичний момент робочої машини дорівнює

$$M_{рост} = M_{ТП} = 70.632 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для визначення динамічних моментів робочої машини розраховуються моменти інерції робочої машини (робочого органу) за виразом

$$J_{PO} = J_B + m \times \frac{D^2}{4} = 48 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

При заданій величині допустимого прискорення a для кожного режиму робочої машини визначаються динамічні моменти

$$M_{родин} = J_{PO} \times \frac{2a}{D} = 360 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Повний момент робочої машини

При пуску

$$M_{po} = M_{рост} + M_{родин} = 430.632 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При роботі з усталеною швидкістю

$$M_{po} = M_{рост} = 70.632 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При гальмуванні

$$M_{po} = M_{рост} - M_{родин} = 289.368 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Навантажувальна діаграма моментів робочої машини представлена нарис. 2.2

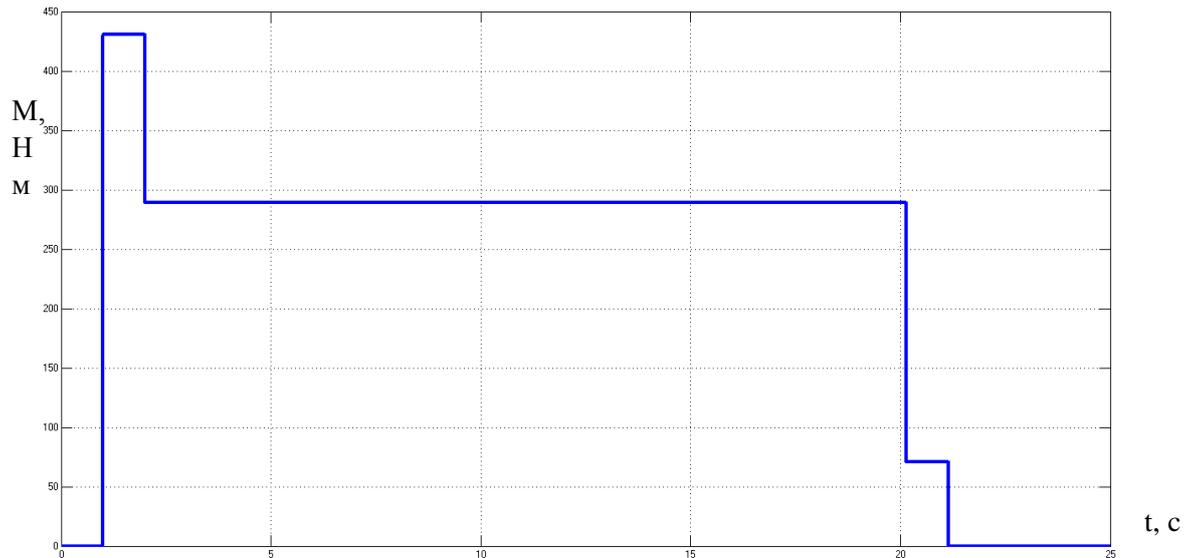


Рисунок 2.2 Навантажувальна діаграма моментів робочої машини при русі без вантажу

На основі вихідних даних кабіни ліфта розраховують і будують залежності швидкості приводного електродвигуна від часу $v(t)$. Ділянки розрізняються значеннями статичних навантажень і моментів інерції. Виходячи із заданих шляхів переміщення a , усталеної швидкості V_y і допустимого прискорення a розраховуємо час пуску t_n до сталої швидкості з допустимим прискоренням, гальмування t_r від сталої швидкості до зупинки визначається по наступною формулою

$$t_n = t_r = \frac{V}{a} \quad (2.12)$$

При робочому ході

$$t_n = t_r = \frac{V}{a} = 0.93 \text{ c}$$

При транспортуванні

$$t_n = t_r = \frac{V}{a} = 1 \text{ c}$$

Шлях, пройдений за час пуску (гальмування) робочою машиною

$$a_n = a_r = \frac{V^2}{2 \times a} \quad (2.13)$$

При робочому ході

$$a_n = a_r = \frac{V^2}{2 \times a} = 0.65 \text{ м}$$

При транспортуванні

$$a_n = a_r = \frac{V^2}{2 \times a} = 0.75 \text{ м}$$

Час усталеного режиму руху зі швидкістю v

$$t_y = \frac{L - (a_n + a_r)}{v} \quad (2.14)$$

При робочому ході

$$t_y = \frac{L - (a_n + a_2)}{V} = 38.25 \text{ c}$$

При транспортуванні

$$t_y = \frac{L - (a_n + a_2)}{V} = 18.15 \text{ c}$$

На підставі побудованої навантажувальної діаграми моменту робочої машини можна розрахувати середньоквадратичне значення моменту

$$M_{cp\text{ кв}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m M_k^2 \times t_k}{\sum_{k=1}^m t_k}} = 375.31 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.15)$$

в якому враховані не тільки статичні навантаження, а й частина динамічних навантажень.

Фактичне значення відносної тривалості включення $T_{B\phi}$ розраховується по тривалості часу роботи t_k на всіх m ділянках руху і заданому часу циклу

$$t_{\text{ц}} = 3600 / z = 30 \text{ c} \quad (2.16)$$

де z - число циклів роботи машини в годину

$$PB_{\phi} = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \sum_{k=1}^m t_k \times 100\% \approx 23\%$$

$$PB_{\text{кат}} = 25\%$$

При цьому потужність двигуна може бути визначена по співвідношенню

$$P_{\text{дв}} = k_1 \cdot M_{cp\text{ кв}} \frac{2V}{D} \sqrt{\frac{PB_{\phi}}{PB_{\text{кат}}}} = 4046.48 \text{ Вт} \quad (2.17)$$

2.3 Обґрунтування вибору роду струму і типу електроприводу

Вибір типу електроприводу і роду струму доцільно проводити на основі розгляду і порівняння техніко-економічних показників ряду варіантів, що задовольняють технічним вимогам пасажирського ліфта. Електродвигуни постійного струму допускається застосовувати тільки в тих випадках, коли електродвигуни змінного струму не забезпечують необхідних характеристик механізму або не економічні.

Залежно від діапазону і плавності регулювання швидкості, вимог до якості перехідних процесів можуть бути застосовані системи реостатного регулювання швидкості, так і системи з індивідуальними перетворювачами [1, 6, 7].

Для регульованого електроприводу завдання вибору типу приводу вирішується складніше. Залежно від діапазону і плавності регулювання швидкості руху, вимог до якості перехідних процесів, можуть бути застосовані як системи реостатного регулювання швидкості, так і системи з індивідуальними перетворювачами.

При глибокому регулюванні швидкості в більшості випадків питання вирішується на користь приводів постійного струму. Однак конкурентними

по своїм властивостям є приводи з частотним і частотно-струмовим керуванням. Переваги приводів з асинхронними двигунами - простота конструкції і підвищена надійність двигунів, можливість їх виготовлення в поточному виробництві. Перешкодою до швидкого впровадження частотно-регульованих приводів є складність систем управління, що призводить до недостатньої надійності їх роботи і підвищеної вартості. Поява на світовому ринку частотно-регульованих електроприводів з мікропроцесорним управлінням підвищує їх надійність, але вартість їх не знижується.

Застосування регульованого електроприводу забезпечує енергозбереження. Якщо це транспортер або конвеєр, то можна регулювати швидкість його руху. Якщо це насос або вентилятор - можна підтримувати тиск або регулювати продуктивність. Якщо це верстат, то можна плавно регулювати швидкість подачі або головного руху.

2.4 Вибір електродвигуна і визначення передавального числа редуктора

Виходячи з навантажувальних діаграм (рис. 2.1, 2.2) для пасажирськоголіфта вибираємо асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, номінальні дані якого визначені для повторно-короткочасного режиму роботи з тривалістю включення 40%. Вибираємо один двигун, номінальна потужність якого не менше розрахункової номінальної потужності і найбільш близька до неї. Вибираємо двигун 5АН(Ф)200МВ 6/24. Дані обраного двигуна наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Параметр	Позначення	Значення
Потужність номінальна, кВт	P_n	7.5
Номінальна частота обертання, об / хв	n_n	940
Номінальний струм (статора), А	I_n	13.8
Коефіцієнт потужності в номінальному режимі	$\cos\phi$	0.8
Пусковий струм, А	I_p	16.4
Пусковий момент, Нм	M_p	76
Максимальний (критичний) момент, Нм	M_{\max}	336
Активний опір фазної обмотки статора, Ом	r_1	0.06
Струм холостого ходу для номінального режиму, А	I_0	1.5
Активний опір короткого замикання, Ом	$R_{кз}$	0.04
Індуктивний опір короткого замикання, Ом	$X_{кз}$	0.11
Коефіцієнт приведення опорів	k_r	0.32
Момент інерції двигуна, кг м ² (Нм)	$J_{дв}$	0.55

Передавальне число редуктора визначається за номінальною швидкості обертання обраного двигуна ω_n і основний швидкості руху виконавчого органу ω_o по формулі

$$\omega_n = \frac{n_n}{9,55} = 98,4 \text{ рад/с} \quad (2.18)$$

$$j_p = \frac{\omega_n D}{2V_0} = 20,09 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.19)$$

де D - діаметр колеса (ролика, шків тощо), що знаходиться на вихідному валу редуктора і перетворює обертання валу в поступальний рух виконавчого органу робочої машини.

Редуктор вибирають за довідником, виходячи з необхідного передавального числа, заданого значення номінальної потужності (або моментів на тихохідному і швидкохідному валу) і швидкості обраного двигуна з урахуванням характеру навантаження (режиму роботи) РО, для якого проектується електропривод.

Вибираємо триступеневий циліндричний редуктор ЦТНД-315. Основні параметри наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Основні параметри триступеневого циліндричного редуктора ЦТНД-315

Параметр	Позначення	Значення
Номінальний крутний момент на вихідному валу, Нм	M_n	8300
Передавальне число	n	20
ККД, %	η	97

2.5 Розрахунок наведених статичних моментів, моментів інерції і коефіцієнта жорсткості системи електропривод – кабіна ліфта

На етапі попереднього розрахунку потужності електродвигуна по заданим технічним показникам робочої машини були розраховані статичні і динамічні моменти робочої машини. Після вибору двигуна і редуктора, коли відомі передавальне число, коефіцієнт корисної дії ККД редуктора, розраховуються статичні моменти робочої машини, до валу двигуна.

Рух при робочому ході:

$$M_{pc} = \frac{M_{pocт}}{j_p} = 60,2 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.20)$$

Рух без транспортування вантажу

$$M_{pc} = \frac{M_{pocт}}{j_p} = 3,52 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

З урахуванням втрат в редукторі статичні моменти на валу розраховують залежно від режиму роботи електроприводу.

Статичний момент на валу в руховому режимі з вантажем

$$M_{ec} = \frac{M_{pc}}{\eta_p} = 62,06 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.21)$$

Статичний момент на валу в руховому режимі без вантажу

$$M_{ec} = \frac{M_{pc}}{\eta_p} = 3,63 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При роботі електропривода в гальмівних режимах втрати в редукторі викликають зменшення навантаження двигуна.

Статичний момент на валу в гальмівному режимі з вантажем

$$M_{вс} = M_{рс} \times \eta_p = 58.394 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.22)$$

Статичний момент на валу в гальмівному режимі без вантажу

$$M_{вс} = M_{рс} \times \eta_p = 3.414 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номінальний момент на валу двигуна

$$M_{вм} = \frac{P_n}{\omega_n} = 30.487 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.23)$$

Сумарний приведений до валу двигуна момент інерції системи може бути розрахований по такому співвідношенню:

$$J = \delta J_\delta + J_{np} \quad (2.24)$$

При русі з вантажем

$$J = \delta J_\delta + J_{np} = 13.24 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

При русі без вантажу

$$J = \delta J_\delta + J_{np} = 13.15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Приведений до валу двигуна сумарний момент інерції рухомих виконавчих органів робочої машини і пов'язаних з ними рухомих мас:

При русі з вантажем

$$J_{np} = \frac{J_{po}}{j_p^2} = 0.69 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.25)$$

При русі без вантажу

$$J_{np} = \frac{J_{po}}{j_p^2} = 0.58 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

У проекті розраховуємо момент інерції електроприводу наближено, приймаючи у формулі коефіцієнт $\delta = 1,4$.

Усталена швидкість двигуна:

При робочому ході

$$\omega_c = \frac{2V_0}{D} j_p = 140.63 \text{ рад/с} \quad (2.26)$$

При транспортуванні

$$\omega_c = \frac{2V_0}{D} j_p = 150.67 \text{ рад/с}$$

Пускові M_n і гальмівні M_g моменти двигуна, при яких забезпечується змога розгону і гальмування електроприводу з заданим допустимим прискоренням:

При русі з вантажем

$$M_{дин} = J \times \frac{2a \times j_p}{D} = 1994.93 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.27)$$

При русі без вантажу

$$M_{дин} = J \times \frac{2a \times j_p}{D} = 1981.38 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковий момент в руховому режимі з вантажем

$$M_n = M_c + M_{дин} = 2053.32 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.28)$$

Пусковий момент в руховому режимі без вантажу

$$M_n = M_c + M_{дин} = 2056.73 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Гальмівний момент в гальмівному режимі з вантажем

$$M_z = M_{дин} - M_c = 1922.99 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.29)$$

Гальмівний момент в гальмівному режимі без вантажу

$$M_z = M_{дин} - M_c = 2049.91 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Графіки перехідних процесів пуску двигуна наведені на слайді.

Для наближеного розрахунку часу перехідного процесу оцінюємо середній момент двигуна M_{cp} :

Рух з вантажем:

При пуску

$$M_{cp} = \frac{M_n + 1.2M_c}{2} = 1061.7 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.30)$$

При динамічному гальмуванні

$$M_{cp} = \frac{M_z}{2} = 961.495 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.31)$$

Рух без вантажу:

При пуску

$$M_{cp} = \frac{M_n + 1.2M_c}{2} = 1030.413 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При динамічному гальмуванні

$$M_{cp} = \frac{M_z}{2} = 1024.955 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При живленні від перетворювача з задатчиком інтенсивності середній момент двигуна можна прийняти рівним моменту, допустимому по прискоренню:

- під час пуску $M_{cp} = M_{п}$;
- при гальмуванні $M_{cp} = M_{г}$.

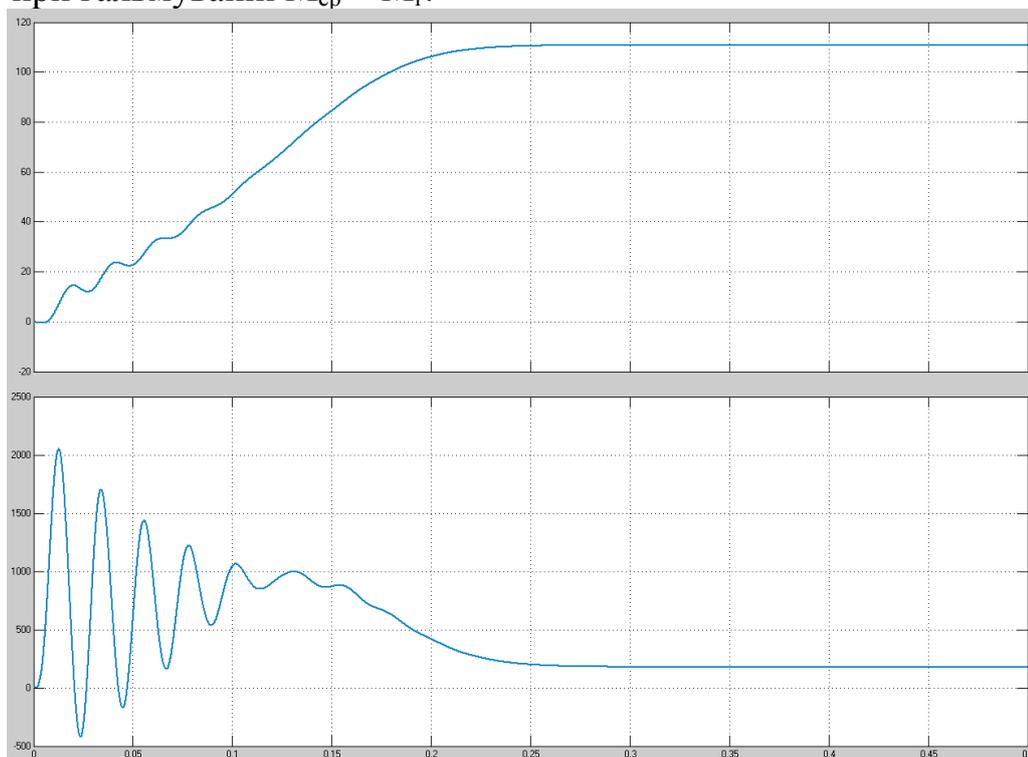


Рисунок 2.3 Криві перехідних характеристик АД: частота обертання валу ротора, рад/с; електромагнітний момент, Н·м

2.6 Попередня перевірка двигуна на нагрів і продуктивність

Розрахунок часу перехідних процесів

$$t_i = J \frac{\omega_c}{M_{cp} - M_c} \quad (2.32)$$

Рух з вантажем:
при пуску

$$t_i = J \frac{\omega_c}{M_{cp} - M_c} = 1.86 \text{ с}$$

при гальмуванні

$$t_i = J \frac{\omega_c}{M_{cp} - M_c} = 2.06 \text{ с}$$

Рух без вантажу:
при пуску

$$t_i = J \frac{\omega_c}{M_{cp} - M_c} = 1.86 \text{ с}$$

при гальмуванні

$$t_i = J \frac{\omega_c}{M_{cp} - M_c} = 1.9 \text{ с}$$

Розрахунок кута повороту вала двигуна за час перехідного процесу

$$a_n = \frac{\omega_c \times t_i}{2} \quad (2.33)$$

Рух з вантажем:
при пуску

$$a_n = \frac{\omega_c \times t_i}{2} = 130.78 \text{ рад}$$

при гальмуванні

$$a_2 = \frac{\omega_c \times t_i}{2} = 144.85 \text{ рад}$$

Рух без вантажу:
при пуску

$$a_n = \frac{\omega_c \times t_i}{2} = 131.12 \text{ рад}$$

при гальмуванні

$$a_2 = \frac{\omega_c \times t_i}{2} = 131.95 \text{ рад}$$

Розрахунок часу роботи з усталеною швидкістю

$$t_y = \frac{a - (a_n + a_m)}{\omega_c} \quad (2.34)$$

$$a = 2L \frac{j_p}{D} = 2712 \text{ рад} \quad (2.35)$$

Рух з вантажем

$$t_y = \frac{a - (a_n + a_2)}{\omega_c} = 19.18 \text{ с}$$

Рух без вантажу

$$t_y = \frac{a - (a_n + a_z)}{\omega_c} = 18 \text{ c}$$

Попередня перевірка двигуна по нагріванню здійснюється по величині середньоквадратичного моменту

$$M_{\text{ср кв}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m M_k^2 \times t_k}{\sum_{k=1}^m t_k}} = 375.31 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{доп}} = 761 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M_{\text{доп}} \cdot 0,8 = 608.8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Отримані значення показують, що обраний двигун по нагріву підходить.

3. Модернізація електроприводу пасажирського ліфта з покращеними динамічними режимами та забезпеченням комфортності

Як уже було сказано раніше, для модернізації електроприводу пасажирського ліфту використаємо перетворювач частоти (ПЧ) для забезпечення принципу плавного пуску (ППП) асинхронного двигуна приводу.

3.1 Основний принцип роботи ППП і ПЧ

Перетворювач частоти для приводних електродвигунів змінного струму отримує живлення від силового кола фіксованої напруги і частоти та перетворює його в змінну регульовану напругу змінного струму зі змінною частотою, у прямій залежності від заданої швидкості. Для забезпечення необхідної перевантажувальної здатності двигуна при будь-якій швидкості, необхідно забезпечувати постійний магнітний потік двигуна. Для цього напруга і частота повинні змінюватися одночасно в одному і тому ж співвідношенні[4].

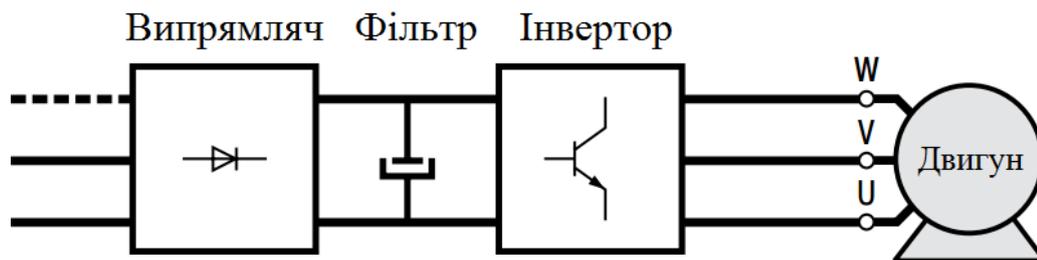


Рисунок 3.1 Спрощена схема перетворювача частоти

3.1.1 Структура ППП і ПЧ

Силова частина ПЧ складається з випрямляча та інвертора, який використовує випрямлена напруга для отримання напруги змінної амплітуди і частоти (рис. 3.1).

Як випрямляч зазвичай використовується діодний випрямний міст з фільтром, що складається з одного або більше конденсаторів, в залежності від потужності ПЧ. Для забезпечення захисту ланцюгів від перевантаження при подачі живлення в пристрій вбудовано схему обмеження струму заряду конденсаторів. У деяких перетворювачах для обмеження скачків струму при зарядці конденсаторів фільтра, які заряджаються до амплітудного значення напруги мережі живлення (близько 540 В при живильному напрузі 380В) використовується тиристорний міст.

Примітка: не дивлячись на наявність ланцюгів розрядки, конденсатори продовжують зберігати небезпечну напругу навіть при виключенні силового живлення. Тому будь-яке технічне обслуговування цих пристроїв має проводитися тільки з дотриманням правил безпеки навченим персоналом,

який точно знає, які запобіжні заходи слід застосувати і як визначити, що заряд конденсаторів досяг безпечного рівня.

Міст інвертора, підключеного до цих конденсаторів, виконаний на шести потужних транзисторах (зазвичай IGBT), укомплектованих зворотними діодами[6]. Цей тип регулятора розроблений для живлення асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

3.1.2 Регулювання швидкості ППП і ПЧ

Вихідна напруга формується з імпульсів різної ширини, одержуваних шляхом комутації постійної напруги на виході випрямляча таким чином, що результуючий змінний струм буде практично синусоїдальним (рис. 3.2). Ця технологія, відома як ШІМ (широтно-імпульсна модуляція), дозволяє отримати рівномірне обертання на невисокій швидкості і обмежує зростання температури. Частота комутації транзисторів вибирається на основі компромісу, оскільки вона повинна бути високою для зниження струмових пульсацій і акустичних шумів в двигуні без значного збільшення втрат на випрямному мосту і на транзисторах інвертора. Управління двома кривими - розгону і гальмування.

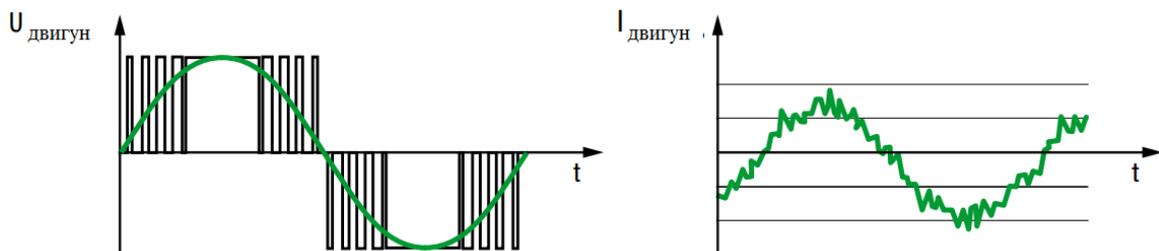


Рисунок 3.2 Широтно-імпульсна модуляція

3.1.3 Вбудований захист ППП і ПЧ

Перетворювач частоти захищає себе і двигун від перегріву, блокуючи роботу до того моменту, поки не буде відновлена допустима для роботи температура.

Також забезпечується захист від будь-якого типу перешкод або проблем, які можуть впливати на нормальну роботу пристрою, таких як підвищена або низька напруга або відсутність вхідної чи вихідної фази. У деяких ПЧ випрямляч, інвертор, гальмівний ключ, схеми управління і захисту від короткого замикання розміщуються в єдиному інтелектуальному силовому модулі(ICM), наприклад, як показано у [11-12].

3.1.4 Управління $U / f = \text{const}$

При цьому законі регулювання сигнал завдання швидкості визначає частоту на виході інвертора і, отже, на двигун, який розвиває задану швидкість обертання. Напряга знаходиться в прямому співвідношенні з частотою (рис. 3.3-3.4). Цей тип управління часто називають управлінням U / f або скалярним керуванням.

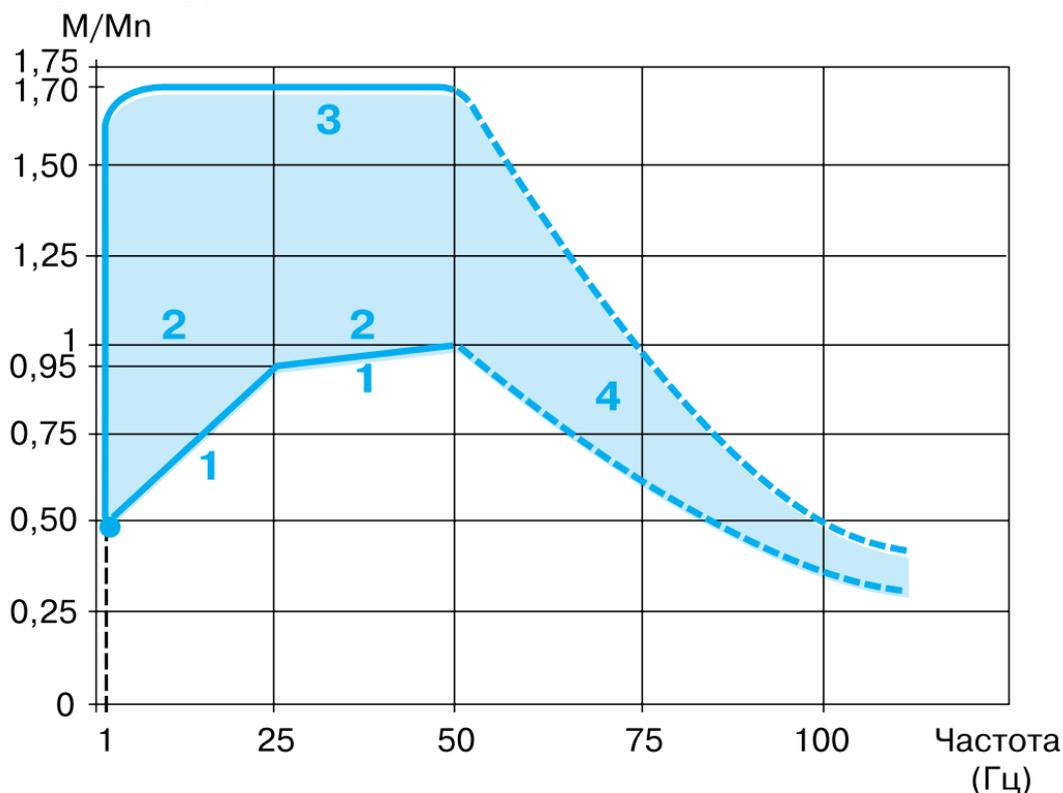


Рисунок 3.3 Характеристики моменту ПЧ зі збільшеним моментом навантаження

- 1 – тривалий корисний момент двигуна з самовентиляцією
- 2 – тривалий корисний момент двигуна з примусовим охолодженням
- 3 – перевантажувальний перехідний момент
- 4 – момент на швидкості вище номінальної при сталій потужності

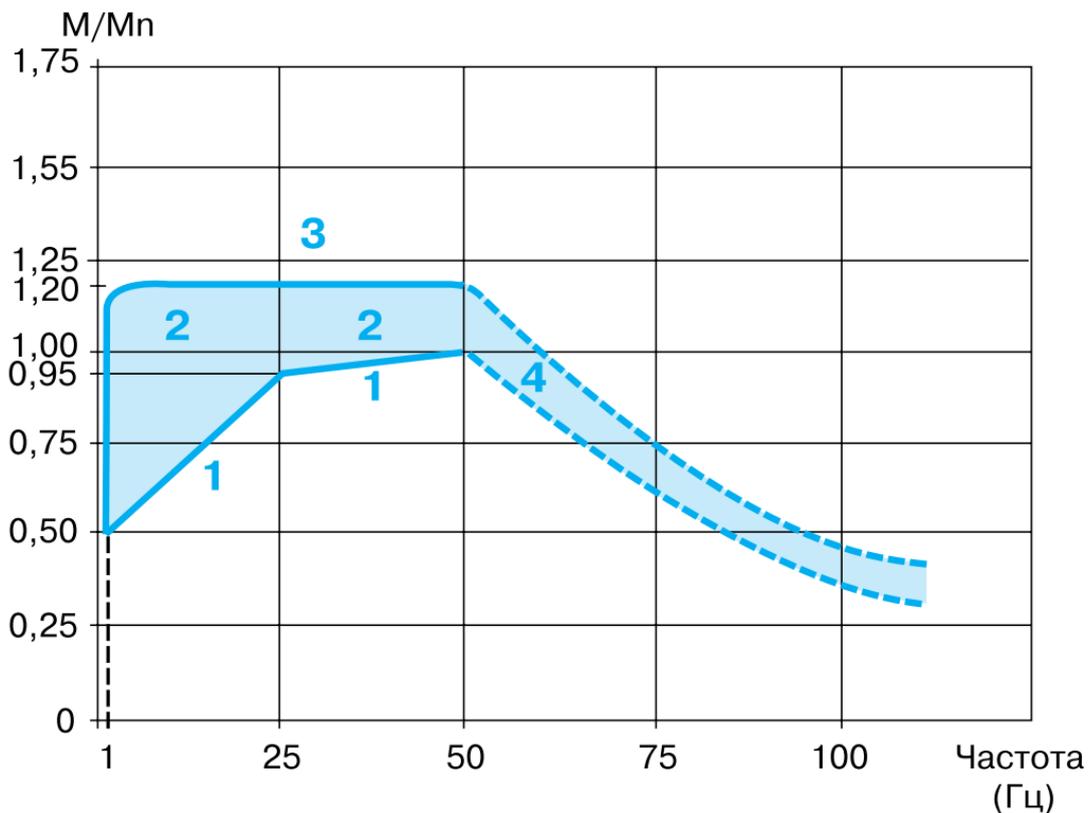


Рисунок 3.4 Характеристики моменту ПЧ із стандартним моментом навантаження

- 1 – тривалий корисний момент двигуна з самовентиляцією
- 2 – тривалий корисний момент двигуна з примусовим охолодженням
- 3 – перевантажувальний перехідний момент
- 4 – момент на швидкості вище номінальної при сталій потужності

3.2 Вибір ПЧ і системи управління ліфтом

Вибір ПЧ проводиться по потужності двигуна і за напругою живлення. З каталогу вибираємо ПЧ виробництва SchneiderElectric, потужність якого дорівнює або більше номінальної потужності двигуна.

Вибираємо ПЧ типу ATV58HD12N4, його параметри представлені в таблиці 3.1, а схема підключення ПЧ до двигуна показана на рис.3.5. Зовнішній вигляд представлено на рисунку3.6.

Таблиця 3.1

Параметри перетворювача частоти

Двигун		Джерело живлення				Тривалість допустимого вихідного струму, А	Максимальний перехідний струм, А	Маса, кг
Тип ПЧ	Потужність, кВт	Лінійний струм		Макс. лінійний струм КЗ				
		при $U_{\text{мін}}$, А	при $U_{\text{макс}}$, А	при $U_{\text{мін}}$, кА	при $U_{\text{макс}}$, кА			
ATV-58ED12N4	7.5	17.5	14	22	22	17.6	24	43

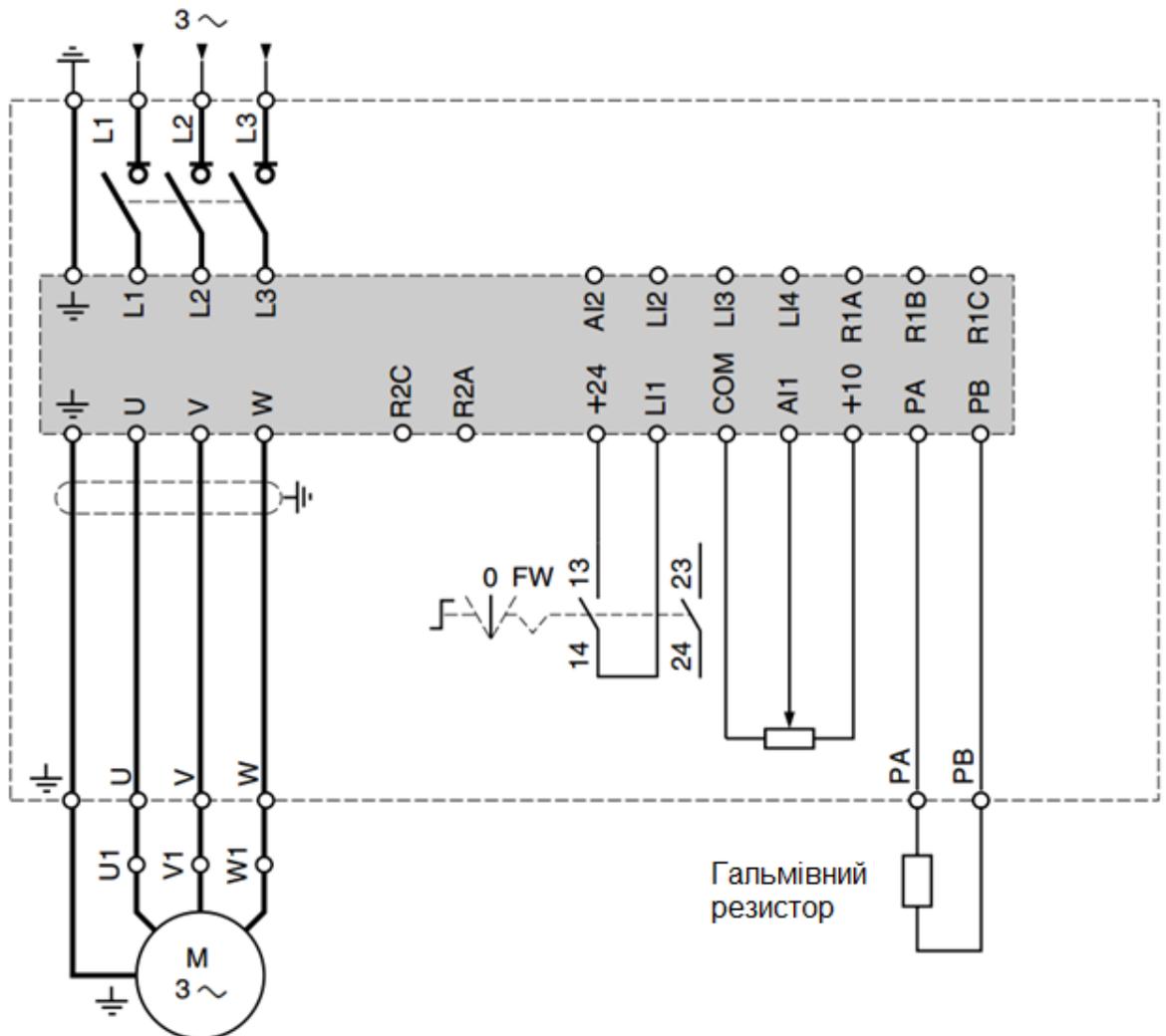


Рисунок 3.5 Схема підключення ПЧ до мережі і до двигуна



ATV-58ED12N4

Рисунок 3.6 Зовнішній вигляд ПЧ

3.3 Опис роботи ліфта з застосуванням ПЧ

Застосування перетворювача частоти (ПЧ), що підключається до високошвидкісної обмотки двигуна, забезпечує переміщення кабіни ліфта з підвищеною (робочою) і зниженою (дотягування) швидкостями, а також зі швидкістю ревізії. Рух здійснюється з плавними пусками і гальмуваннями при обмежених ривках і прискореннях і високому рівні комфорту проїзду в кабіні ліфта [3].

Цикл роботи головного приводу ліфта в нормальному режимі наступний. У початковому стані кабіна ліфта нерухома. При необхідності пересування з пристрою управління на ПЧ надходить сигнал завдання на пряму руху, а замиканням контактів пускача обмотка двигуна підключається до перетворювача. З контактів вбудованого в ПЧ реле на пристрій управління приходить сигнал про готовність ПЧ до роботи. На двигун подається напруга, необхідна для створення моменту утримання. Після наростання струму в обмотках двигуна до величини, що забезпечує момент утримання, на пристрій управління через замкнуті контакти іншого вбудованого в ПЧ реле надходить відповідний сигнал. Після цього, за командами з пристрою управління, знімається механічне гальмо, а на ПЧ надходить сигнал завдання рівня робочої (підвищеної) швидкості. Після отримання цього сигналу ПЧ формує на обмотці двигуна напругу таким чином, що при цьому забезпечується плавний пуск кабіни ліфта з необхідними прискореннями і ривками до робочої швидкості. Після наїзду на датчик уповільнення з пристрою керування на ПЧ надходить сигнал завдання зниженої швидкості. ПЧ формує напругу, що забезпечує плавне гальмування до швидкості дотягування. Ліфт продовжує рух зі зниженою швидкістю до наїзду на датчик точної зупинки, після чого по команді з пристрою управління ПЧ формує напругу, що забезпечує остаточне загальмування і утримання. Після зупинки двигуна з ПЧ на пристрій

управління подається сигнал про закінчення руху, по надходженню якого накладається механічний гальмо, двигун відключається від ПЧ, а всі командні сигнали з ПЧ знімаються. Цикл роботи головного приводу при цьому закінчено.

Низькошвидкісна обмотка застосовуваного двохшвидкісного двигуна використовується при монтажних і ремонтних роботах, а також при виході з ладу ПЧ. При цьому її живлення може здійснюється через додаткові комутуючі пристрої.

Використання ПЧ дає наступні переваги:

- збільшений діапазон регулювання швидкості, що покращує точність зупинки;
- більш високу точність підтримки швидкості ліфта, незалежно від завантаження кабіни, що забезпечує підвищену продуктивність і зниження часу проїзду;
- обмежені пускові струми двигуна, що зменшує витрату електроенергії, знижує нагрів і збільшує термін служби ізоляції;
- не потрібне використання додаткових маховиків, що також знижує витрату електроенергії і зменшує нагрівання;
- зняття і накладення механічного гальма відбувається при повністю зупиненому роторі двигуна, що знижує знос колодок гальма і підвищує надійність його роботи.

Програмування ПЧ здійснюється за допомогою робочого терміналу. Його зовнішній вигляд показаний на рисунках 3.7 і 3.8.



Рисунок 3.7 - Зовнішній вигляд робочого терміналу спереду



Рисунок 3.8 - Зовнішній вигляд робочого терміналу ззаду

3.4 Вибір гальмівного резистора і розрахунок його потужності

Резистор забезпечує роботу перетворювача частоти ATV58HU90N при гальмуванні до повної зупинки або під час зниження швидкості шляхом розсіювання гальмівної енергії. Гальмівний момент з резистором розраховується за графіком на рисунку 3.9.

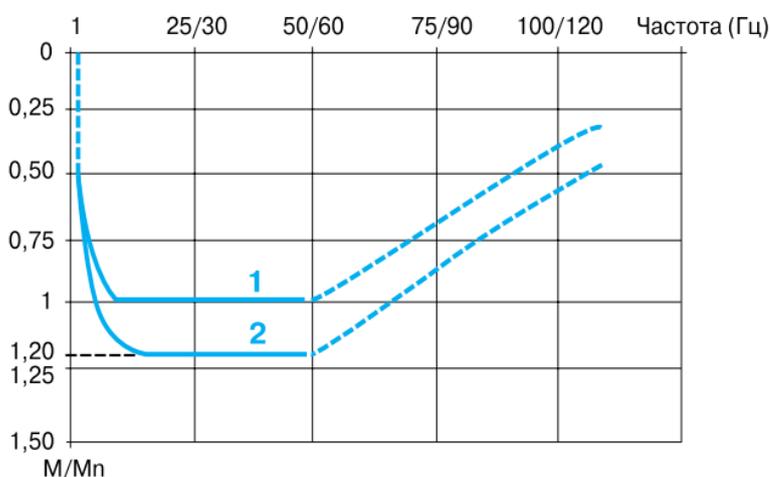


Рисунок 3.9 Гальмівний момент з резистором

1 - Тривалий гальмівний момент (активний момент). Коефіцієнт навантаження: 100%.

2 - Максимальний перехідний гальмівний момент (протягом 60 с).

З графіка видно, що гальмівний момент буде дорівнює номінальному моменту на частотах рівних 10 Гц і 50 Гц.

Для ПЧ типу ATV-58ED12N4 рекомендується використовувати резистор типу VW3-A58735, опором не менше 53 Ом.

Визначасмо коефіцієнт навантаження по формулі

$$fm = \frac{t}{T} \times 100\% = 7.1\% \quad (3.1)$$

де f_m -коєфіцієнт навантаження, %;
 t - час гальмування, с;
 T - тривалість циклу, с;

3.4.1 Визначення номінальної потужності

З рисунка 3.10 визначаємо коєфіцієнт K_1 , відповідний гальмівним моментом рівному номінальному моменту і коєфіцієнта навантаження 7.1%. Як видно з графіка коєфіцієнт $K_1 = 0,07$.

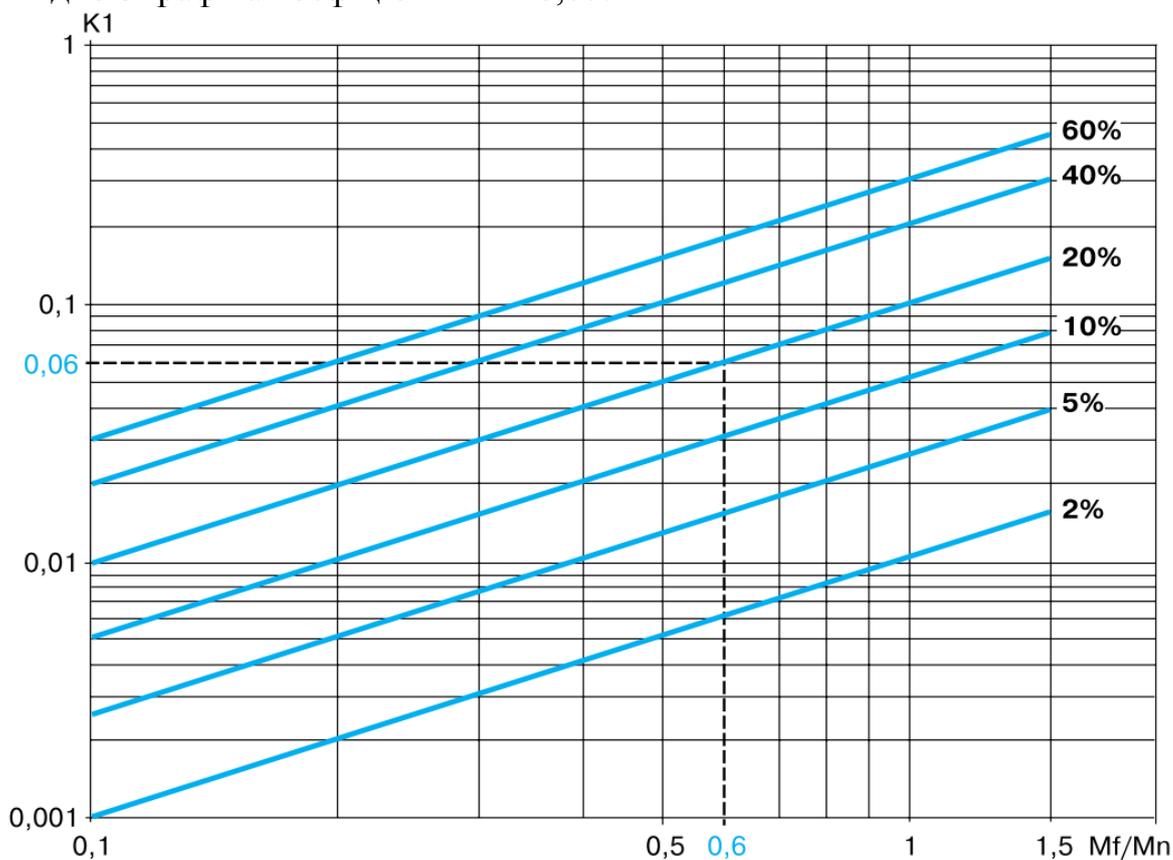


Рисунок 3.10 Значення коєфіцієнта K_1 , в залежності від гальмівного моменту i_{fm}

Допустиме перевантаження резистора в залежності від часу показана на рисунку 3.11. З нього ми визначаємо коєфіцієнт K_2 , відповідний часу гальмування 1 с. Як видно з графіка $K_2 = 20$.

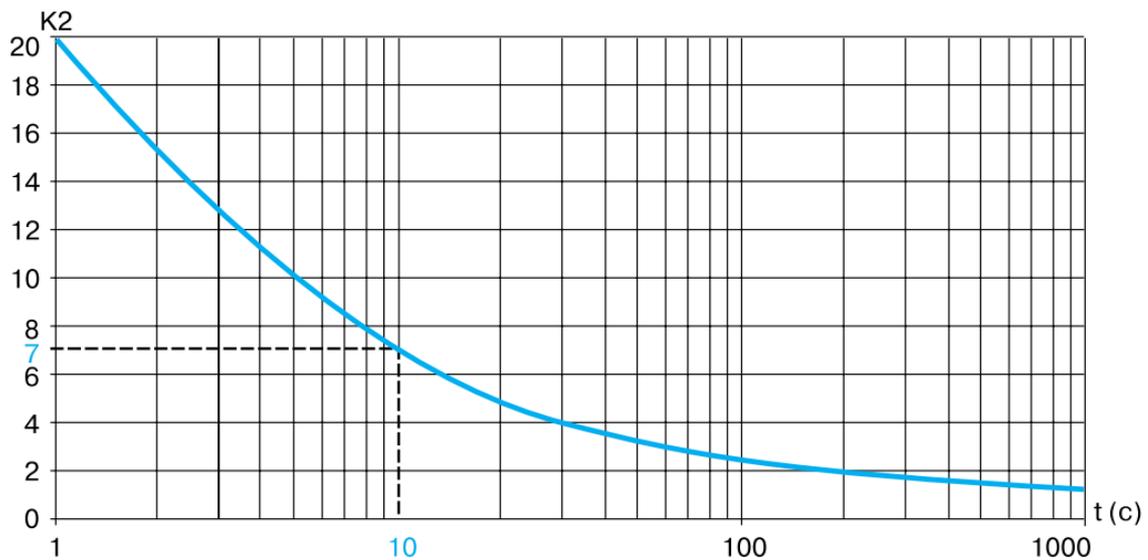


Рисунок 3.11 Допустиме перевантаження резистора

Номінальну потужність резистора визначаємо за

$$P_n = P_m \cdot K_1 \eta \cdot \left(1 + \frac{1}{K_2 \cdot f_m}\right) = 116 \text{ Вт} \quad (3.2)$$

де P_n - розрахункова потужність резистора, Вт;

P_m - потужність двигуна, Вт;

K_1 - коефіцієнт відповідний гальмівному моменту і коефіцієнту навантаження;

η - ККД двигуна;

K_2 - коефіцієнт відповідний часу гальмування;

f_m - коефіцієнт навантаження, %.

Потужність гальмівного резистора повинна бути не менше 116 Вт, а опір не менше 53 Ом.

3.4.2 Вибір гальмівного резистора

Вибираємо гальмівний модуль VW3-A58735, що складається з двох резисторів $P_n = 80 \text{ Вт}$, $R = 60 \text{ Ом}$;

3.5 Розрахунок частоти і напруги двигуна в системі ПЧ-АД

При живленні асинхронного двигуна від перетворювача частоти в процесі перетворення напруги промислової частоти в напругу регульованою амплітуди і регульованої частоти виникають втрати напруги і потужності в перетворювачі. Зазвичай такі перетворювачі мають внутрішні зворотні зв'язки, і при зміні навантаження двигуна вихідна напруга і частота практично не змінюються. Тому надалі напругу і частоту на статорі двигуна вважатимемо незалежними від навантаження [4].

Синхронна швидкість двигуна ω_0 залежить від частоти мережі живлення f_1 і числа пар полюсів p_n

$$\omega_{0n} = \frac{2\pi p_{1n}}{p_n} = 78.5 \text{ рад/с} \quad (3.3)$$

Для стійкої роботи двигуна необхідно при зміні частоти підтримувати перевантажувальну здатність двигуна, що забезпечується регулюванням напруги на статорі за різними законами в залежності від частоти і від характеру зміни статичного моменту. Ці особливості необхідно враховувати при розрахунку частоти і амплітуди напруги.

Частота напруги в заданій точці

$$f_{1з} = \frac{\omega_{0зад}}{\omega_{0н}} \cdot f_{1н} = \alpha \cdot f_{1н} = 53.5 \text{ Гц} \quad (3.4)$$

3.6 Розрахунок статичних характеристик електроприводу. Природні характеристики асинхронного двигуна

Найбільш точною механічною характеристикою асинхронного двигуна є каталожна залежність $M(S)$, і лише за відсутності каталожної залежності доводиться звертатися до наближених розрахунків. При збільшенні номінальної потужності P_n двигуна величина активного опору статора знижується, а при $P_n > 10$ кВт можна знехтувати його величиною $r_1 \approx 0$. Тоді $a = 0$, вираз механічної характеристики перетвориться до

$$M = \frac{2M_k}{\frac{s_k + s}{s} + \frac{s}{s_k}} \quad (3.5)$$

а вираз критичного ковзання - до виду

$$s_k = s_n (\mu_k \pm \sqrt{\mu_k^2 - 1}) \quad (3.6)$$

де μ_k - перевантажувальна здатність асинхронного двигуна.

Синхронна швидкість двигуна

$$\omega_{0н} = \frac{2\pi p_{1н}}{p_n} = 78.5 \text{ рад/с}$$

Номінальне ковзання

$$s_n = \frac{\omega_{0н} - \omega_n}{\omega_{0н}} = 0.07$$

Момент втрат холостого ходу асинхронного двигуна M_X розрахувати досить складно через відсутність каталожних даних по опорам статора і ротора. Тому в розрахунках асинхронного електроприводу можна не враховувати момент втрат холостого ходу ($M_X \approx 0$), а електромагнітний момент в сталому режимі приймати рівним статичному моменту.

Електромеханічні характеристики асинхронного двигуна - залежності частоти обертання ротора ω від струму статора ω (I_1), від струму ротора ω (I_2), від струму намагнічування ω (I_μ). Розрахунок цих залежностей досить складний, так як необхідний облік опорів статора і ротора і їх змін в залежності від частоти струмів ротора і статора. Також при розрахунку необхідно враховувати зміну опору контуру намагнічування за допомогою

кривої намагнічення. Найчастіше на стадії проектування електроприводу опір обмоток і крива намагнічування не відомі [1, 4, 5, 15].

3.7 Розрахунок параметрів схем включення, що забезпечують пуск і гальмування двигуна

При живленні двигуна від індивідуального перетворювача з'являється можливість плавного регулювання напруги (частоти), тому перехідні процеси пуску і гальмування забезпечуються формуванням напруги управління перетворювачем. У розімкнутій системі перетворювач-двигун найчастіше застосовують лінійне зростання напруги управління, що визначає лінійне зростання напруги (частоти) живлення двигуна. У цьому випадку величина динамічного моменту двигуна визначається темпом наростання напруги, і, в кінцевому підсумку, похідною швидкості ідеального холостого ходу двигуна в часі $d\omega_0 / dt$.

У сталому режимі наростання швидкості двигуна, коли загасають вільні складові перехідного процесу,

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega_0}{dt} = \varepsilon_0 = \text{const} = 54.2 \text{ c}^{-2} \quad (3.7)$$

а величина сталого значення динамічного моменту двигуна $M_{\text{дин}} = J\xi_0$.

Для формування лінійного закону зміни напруги управління на вхід перетворювача підключають інтегральний задатчик інтенсивності ЗІ, вихідна напруга якого при подачі на його вхід стрибка задаючої напруги $U_{\text{зад}}$ змінюється за лінійним законом. При досягненні величини $U_{\text{зад}}$ наростання напруги на виході ЗІ припиняється. Вихідна напруга ЗІ, таким чином, є керуючою напругою перетворювача, а величина $U_{\text{зад}}$ визначає сталу величину швидкості ω_0 двигуна. Темп наростання швидкості визначається величиною базової постійної часу ЗІ $T_{\text{ЗІ}}$, чисельно рівній часу досягнення вихідної напруги перетворювача від нуля до базового значення $U_{\text{н}}$.

Базова стала задатчика інтенсивності

$$T_{\text{ЗІ}} = \frac{d\omega_0}{\varepsilon_0} = 1.8 \text{ c} \quad (3.8)$$

Механічна стала часу

$$T_{\text{ЗІ}} = J \frac{d\omega_0}{M_{\text{н}}} = 9.1 \text{ c} \quad (3.9)$$

З отриманих співвідношень видно, що при різних моментах інерції J , величина $T_{\text{ЗІ}} = \text{const}$ (рис.3.12).

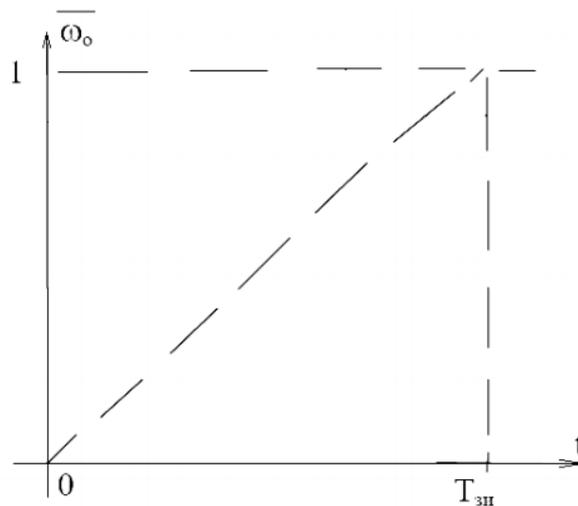


Рисунок 3.12 До розрахунку параметрів задатчика інтенсивності

3.8 Складання структурної схеми електропривода та розрахунок її параметрів

3.8.1 Структурна схема механічної частини електроприводу

Механічна частина електропривода включає в себе рухомі маси двигуна, передачі і робочої машини. Структурні схеми механічної частини повинні враховувати пружні зв'язки і розподіл моментів інерції між двигуном і робочою машиною. Багатомасові пружні системи найчастіше згортаються в двомасові системи з приєднанням малих махових мас до ланок механічної частини, володіють великими маховими масами, тобто до ротора двигуна і робочої машини [8]. Диференціальні рівняння, що описують поведінку двохмасової пружної системи, без урахування дисипативних сил і зазорів в передачі, мають вигляд:

$$\begin{aligned} M_1 - M_{12} - M_{c1} &= J_1 \cdot \frac{d\omega_1}{dt} \\ M_{12} - M_{c1} &= J_2 \cdot \frac{d\omega_2}{dt} \\ M_{12} &= C_{np} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) \end{aligned} \quad (3.10)$$

Зробивши необхідні перетворення, отримаємо систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} \delta J_{\partial\delta} \cdot \frac{\omega_{0н}}{M_n} \cdot \frac{d\bar{\omega}_1}{dt} &= \bar{M} - \bar{M}_{12} - \Delta\bar{M} \\ \frac{1}{C_{np}} \cdot \frac{M_n}{\omega_{0н}} \cdot \frac{d\bar{M}_{12}}{dt} &= \bar{\omega}_1 - \bar{\omega}_2 \\ J_{np} \cdot \frac{\omega_{0н}}{M_n} \cdot \frac{d\bar{\omega}_2}{dt} &= \bar{M}_{12} - \bar{M}_{pc} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Коефіцієнти при похідних являють собою постійні часу:

Двигуна

$$T_{\partial\delta} = \delta J_{\partial\delta} \frac{\omega_{0н}}{M_n} = 10 \quad (3.12)$$

Пружної ланки

$$T_c = \frac{M_n}{C_{np} \cdot \omega_{0n}} = 0.04 \quad (3.13)$$

Робочого органу

$$T_{po} = J_{np} \frac{\omega_{0n}}{M_n} = 2.01 \quad (3.14)$$

Структурна схема двохмасової пружної системи приведена на рисунку 3.13.

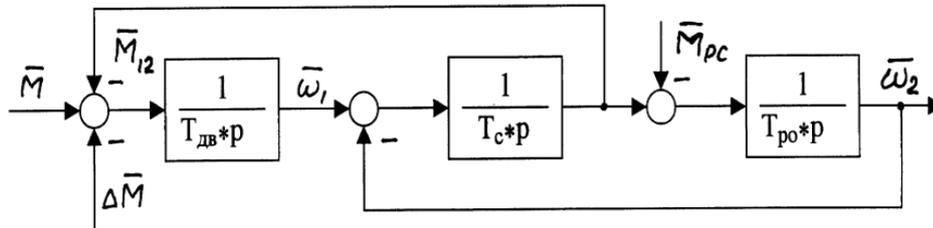


Рисунок 3.13 Структурна схема двохмасової пружної системи

Головні інерційні маси, представлені інтегруючими ланками з постійними часу $T_{дв}$ і $T_{ро}$, розділені інтегруючою ланкою з постійною часу T_c .

3.8.2 Структурна схема електромеханічного перетворення енергії

Математично описати асинхронний двигун при наявності шести обмоток на статорі і роторі з урахуванням їх взаємного розташування, безлічі зв'язків між ними та блоків досить складно. У практиці електроприводу знаходять застосування методи, в яких математичний опис спрощується за рахунок різних припущень. Представлення двигуна у вигляді еквівалентної двофазної машини дозволяє дещо спростити математичний опис і структурну схему асинхронного двигуна. Перехід до спрощеної структурної схеми на підставі запису рівняння моменту двигуна $M(s)$ в часткових похідних по напрузі живлення, частоті і швидкості залишає нелінійні коефіцієнти посилення. Для розгляду перехідних процесів на робочій ділянці механічної характеристики можливе застосування більш простого співвідношення між моментом і швидкістю двигуна [4]

$$(T_e \cdot p + 1) \cdot M = \beta \cdot (\omega_0 - \omega) \quad (3.15)$$

де $\beta = 2 \cdot M_k / (\omega_{0n} \cdot S_k)$ - модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики.

Передавальна функція електромеханічного перетворення енергії в асинхронному двигуні:

$$W_{ем}(p) = \frac{\bar{M}(p)}{\omega_0(p) - \omega(p)} = \frac{1/S_k}{T_e p + 1} \quad (3.16)$$

Після перетворень структурна схема асинхронного двигуна для робочої ділянки механічної характеристики повністю повторює структурну схему двигуна постійного струму незалежного збудження (рис. 3.14).

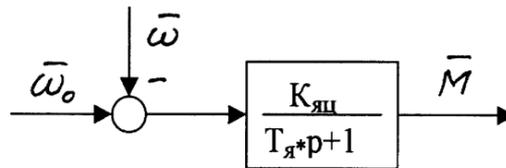


Рисунок 3.14 - Аперіодична ланка

Для асинхронного двигуна

$$K_{яц} = 1/S_n, \text{ а } \bar{\omega}_0 = \bar{f}_1 \quad (3.17)$$

Межі доцільного використання отриманих співвідношень обмежуються значеннями моменту $-0,8 \cdot M_k \leq M < 0,8 \cdot M_k$.

Якщо необхідно розглядати роботу асинхронного двигуна при великих ковзаннях, при частотному регулюванні швидкості і моменту в широких межах слід звертатися до більш складного математичного опису перетворення.

3.8.3 Структурні схеми електричних перетворювачів енергії

Електричне перетворення енергії виконують різні пристрої: тиристорні і транзисторні перетворювачі змінного струму в постійний, перетворювачі частоти, широтно-імпульсні перетворювачі та ін., а також звичайні резистори, що встановлюються в силовий ланцюг двигуна. Перетворювачі електричної енергії використовуються в якості регуляторів потужності, забезпечуючи подачу на затискачі двигуна заданої напруги або струму в залежності від вимог до електроприводу як у сталих, так і в перехідних режимах.

При живленні силового ланцюга двигуна від мережі постійної напруги в якості регулятора потужності застосовують додаткові опори в силовому ланцюзі і релейно-контакторні станції управління для включення або виключення ступенів цих опорів. Відповідний підбір цих резисторів забезпечує правильну пускову діаграму (реостатне регулювання моменту) і необхідну швидкість руху робочого органу (реостатне регулювання швидкості).

При живленні двигуна постійного струму від тиристорного перетворювача в силовий ланцюг додатково включаються активні і індуктивні опори обмоток трансформатора (або струмообмежувального реактора) і згладжувального реактора, в результаті зростають $R_{яц}$ і $L_{яц}$ і змінюються параметри структурної схеми $K_{яц}$ і $T_{я}$.

Силова частина тиристорного перетворювача щодо миттєвих значень вхідних і вихідних координат являє собою нелінійну імпульсну систему, яка в смузі пропускання частот, обмеженою практично частотою мережі, може розглядатися як безінерційною ланка з косинусоїдальною залежністю середньої ЕРС E_d від кута відкривання α . Фазові зрушення кута α щодо напруги управління U_u вносить система імпульсно-фазового управління.

Передавальна функція тиристорного перетворювача для лінійної ділянки регулювальної характеристики $E_d = f(U_y)$ має вигляд

$$W_{mn}(p) = k_{mn} \cdot \frac{e^{-\tau p}}{T_n p + 1} \quad (3.18)$$

де $k_{mn} = E_d / U_y$ - коефіцієнт посилення перетворювача.

З метою спрощення розрахунків на стадії вибору і розрахунку елементів силової частини електроприводу з'являється можливість не враховувати інерційність ТП і представляти ТП безінерційною ланкою з коефіцієнтом посилення $K_{тп}$. Облік падіння напруги в елементах перетворювача при зміні навантаження враховується зміною параметрів структурної схеми $K_{яц}$ і $T_{я}$.

Все наведене вище відноситься до перетворювачів частоти. Більш того, в зв'язку з тим, що в схемі ПЧ в контурі протікання струмів включено більше число елементів (тиристорів, дроселів і т.п.), електричні дані яких на стадії проектування невідомі, а також з огляду на наявність внутрішніх зворотних зв'язків в перетворювачі, що забезпечують підтримання заданої напруги на виході при зміні навантаження, з'являється можливість не враховувати падіння напруги всередині перетворювача (вважати його внутрішній опір рівним нулю)[6, 7].

Таким чином, тиристорний перетворювач електричної енергії є безінерційною ланкою з коефіцієнтом посилення $K_{тп}$.

Вихідна напруга і частота перетворювачів формується на їх вході за допомогою вхідних пристроїв. В даний час практично всі перетворювачі укомплектовані задатчиками інтенсивності ЗІ з різними законами зміни керуючої напруги.

Найбільш часто застосовують інтегральні ЗІ, що забезпечують плавне лінійне зростання напруги, що управляє, і пропорційно-інтегральні ЗІ, в якому спільно з інтегральним каналом працює пропорційний канал. Структурна схема ЗІ для ділянки лінійного зміни напруги на рисунку 3.15.

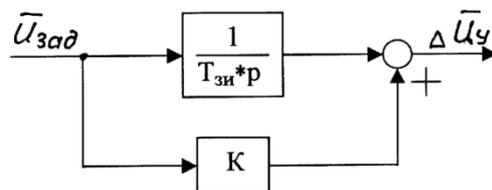


Рисунок 3.15 Структурна схема ЗІ для ділянки лінійного зміни напруги

3.8.4 Структурна схема електроприводу з системою ПЧ-АД

Повна структурна схема електроприводу включає в себе структурні схеми складових частин: механічної частини, електромеханічного перетворювача енергії, електричного перетворювача і задаючого пристрою [5, 15].

Структурна схема системи ПЧ - АД в загальному вигляді складна. Якщо допустити певні обмеження ($\beta = \text{const}$, $M_k = \text{const}$ і ін.), то для настройки систем управління можна скласти структурну схему для робочої ділянки механічної характеристики. Однак при таких допущених виникають похибки в розрахунках електромеханічного перетворення енергії. Відсутні способи розрахунку струмів в ланцюгах двигуна. Істотно спотворюються показники нагріву, так як для розрахунку доводиться використовувати метод еквівалентного моменту, також спотворюються енергетичні показники системи електроприводу. Тому складність структурної схеми ПЧ - АД залежить від завдань, які з її допомогою потрібно вирішувати [7, 15].

Формування плавно протікаючих перехідних процесів в асинхронному електроприводі є необхідністю, так як двигун з короткозамкненим ротором при прямому пуску не зовсім задовольняє вимоги характеристик. При пуску асинхронного двигуна виникають великі електромагнітні моменти, які можуть викликати небезпечні динамічні навантаження в обмотках електродвигунів. Формування рівних перехідних процесів при пуску і гальмуванні забезпечує виключення великих динамічних навантажень, що збільшує термін служби електродвигуна. Зниження цих динамічних навантажень і забезпечення плавного пуску асинхронного двигуна, з системою «Перетворювач частоти-асинхронний двигун» (ПЧ-АД), можливо при оптимальній керуючій дії на систему цього електроприводу [1]. Структурна схема нелінійної замкнутої системи ПЧ-АД із зворотними зв'язками за швидкістю і за напругою, відповідно до рекомендацій [16], з виводу регулятора швидкості, представлена на рисунку 3.16.

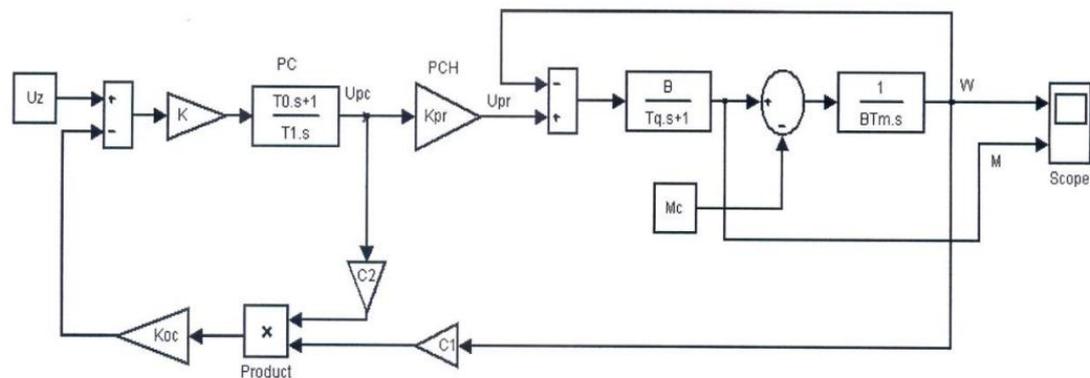


Рисунок 3.16 Структурна схема системи ПЧ-АД із зворотними зв'язками за швидкістю і за напругою з регулятора швидкості

У структурній схемі прийняті наступні позначення:
 b -модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики АД;
 $T_q = T_e$ - еквівалентна електромагнітна постійна часу статора і ротора АД;
 K_{pr} -передавальний коефіцієнт ПЧ;
 T_m -електромеханічна стала часу ланцюга управління ПЧ;
 T_0, T_1 -постійна часу регулятора швидкості (РШ) [5, 7].

Математичний опис замкнутої системи ПЧ-АД можна представити в наступному вигляді

$$\begin{aligned}
 \frac{d\Delta\omega}{dt} &= y; \\
 \frac{dy}{dt} &= \frac{K_{pr}}{T_{\omega}T} \Delta U_{np} - \frac{1}{T_3} y - \frac{1}{T_3 T_M} \Delta\omega; \\
 \frac{d\Delta U_{pr}}{dt} &= \frac{1/(k_{oc}c_1c_2)}{\left(\frac{T_1}{T_{0k_{oc}c_1c_2}} + \omega\right)} \frac{dU}{dt} + \frac{1/(T_{oc}c_1c_2)}{\left(\frac{T_1}{T_{0k_{oc}c_1c_2}} + \omega\right)} U - \\
 &\quad \frac{1}{\left(\frac{T_1}{T_{0k_{oc}c_1c_2}} + \omega\right)} y U_{pc} - \frac{1/T_0}{\left(\frac{T_1}{T_{0k_{oc}c_1c_2}} + \omega\right)} \omega U_{pc}
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dx}{dt} &= x_2 \\
 \frac{dx_2}{dt} &= a_1 x_3 - a_2 x_2 - a_3 x_1; \\
 \frac{dx_3}{dt} &= \frac{a_4}{(a_5 + x_1)} z + \frac{a_6}{(a_5 + x_1)} x_4 - \frac{1}{(a_5 + x_1)} x_2 x_3 - \frac{a_7}{(a_5 + x_1)} x_1 x_3 \\
 \frac{dx_4}{dt} &= z;
 \end{aligned} \tag{3.20}$$

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \Delta\omega; x_2 = y; x_3 = U_{pr}; x_4 = U_{pc}; \\
 a_1 &= \frac{k_{pr}}{T_3 T_M}; a_2 = \frac{1}{T}; a_3 = a_1; a_4 = \frac{1}{k_{oc}c_1c_2}; \\
 a_4 &= \frac{T_0}{T_0 k_{oc}c_1c_2}; a_6 = \frac{1}{T_0 k_{oc}c_1c_2}; a_7 = \frac{1}{T_0};
 \end{aligned} \tag{3.21}$$

$\Delta\omega$ - частота обертання двигуна;

ΔU_{np} - напруга на виході перетворювача частоти;

ΔU_{pc} - напруга на виході регулятора швидкості;

u - управління;

z - допоміжна змінна.

Для визначення керуючого впливу $u(t)$ системи ПЧ-АД, згідно з [16] з вище зазначеними зворотними зв'язками на основі класичного варіаційного числення, вибираємо узагальнений інтегральний критерій якості вигляду

$$J(u) = \int_0^{\infty} (\sum_{i=1}^4 x_i^2 + cz^2) dt \quad (3.22)$$

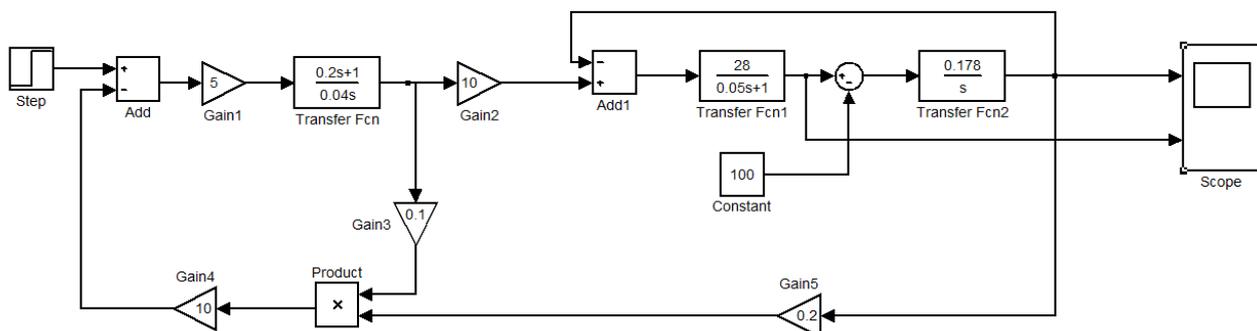


Рисунок 3.17 - Структурна схема моделі

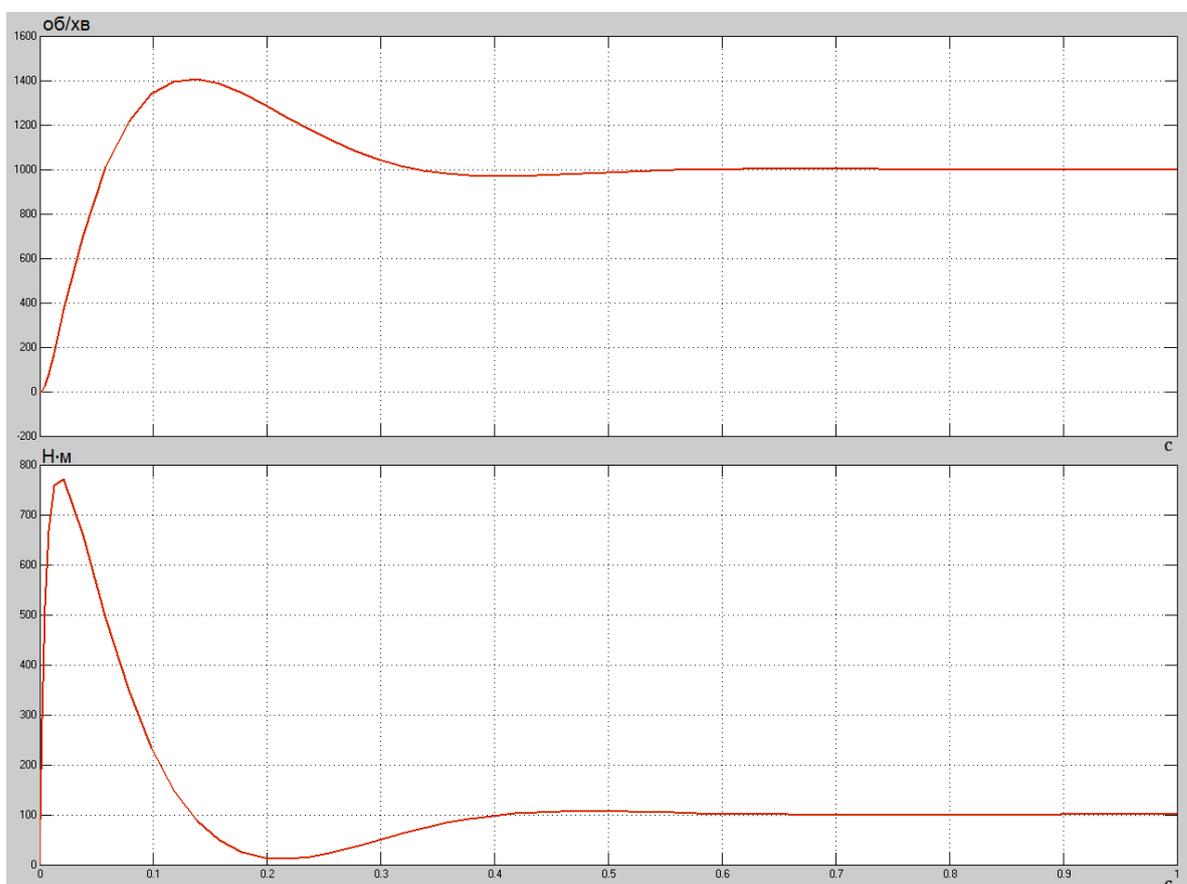


Рисунок 3.18 - Осцилограма перехідних процесів швидкості і моменту

3.9 Розрахунок оптимального руху кабіни ліфта

Необхідність обмеження прискорень і ривків, з одного боку, і необхідність забезпечення максимальної продуктивності ліфта, з іншого, вимагає, щоб під час перехідних процесів електропривод забезпечував розгін і уповільнення кабіни з максимальними допустимими значеннями прискорення і ривка.

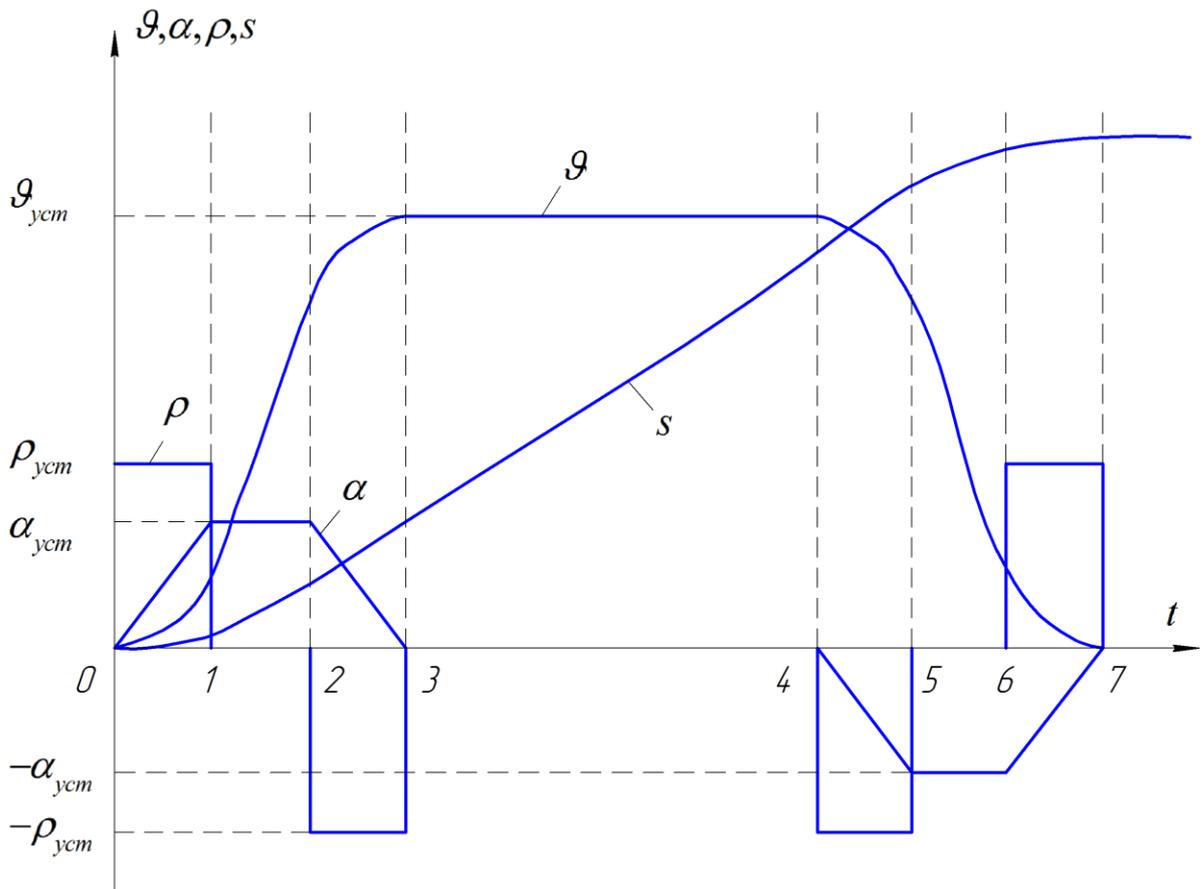


Рисунок 3.19 Оптимальна діаграма руху кабіни ліфта

Відповідний виконання цієї умови графік руху кабіни, наведений на рис. 3.19, зазвичай прийнято вважати оптимальним, оскільки при цьому забезпечується мінімальна тривалість режимів розгону-гальмування кабіни.

Відповідно до цього графіка, значення ривка і прискорення на певних інтервалах перехідного процесу підтримуються постійними і рівними гранично допустимих значень.

На першому етапі розгону 0-1 підтримується постійним ривок $\rho = \rho_{\text{дон}} = \text{const}$. При цьому прискорення змінюється за лінійним законом

$$\alpha_1(t) = \int_0^1 \rho_{\text{дон}} dt = \rho_{\text{дон}} t. \quad (3.23)$$

Зміна швидкості характеризується квадратичною параболою:

$$\vartheta_1(t) = \int_0^1 \alpha_1(t) dt = \int_0^1 \rho_{\text{дон}} t dt = \frac{\rho_{\text{дон}} t^2}{2} \quad (3.24)$$

а шлях, пройдений кабіною на цьому етапі, визначається кубічною параболою

$$s_1(t) = \int_0^1 \vartheta_1(t) dt = \int_0^1 \frac{\rho_{\text{дон}} t^2}{2} dt = \frac{\rho_{\text{дон}} t^3}{6} \quad (3.25)$$

Тривалість першого інтервалу руху визначається з умови:

$$t_1 = \alpha_{\text{дон}} / \rho_{\text{дон}} \quad (3.26)$$

В кінці першого інтервалу руху прискорення досягає допустимого значення $\alpha_1 = \alpha_{\text{дон}}$, а величини швидкості і пройденого шляху можуть бути визначені за умови $t=t_1$ підстановкою (3.26) в (3.24) і (3.25):

$$\vartheta_1 = \frac{\alpha_{\partial on}^2}{2\rho_{\partial on}} \quad (3.27)$$

$$s_1 = \frac{\alpha_{\partial on}^3}{6\rho_{\partial on}^2} \quad (3.28)$$

На третьому етапі руху 2-3, яким завершується режим розгону електроприводу до сталої швидкості ϑ_{yct} , ривок має таку ж величину, як і на першому етапі, але з протилежним знаком: $\rho = -\rho_{\partial on} = const$, а зміна прискорення і швидкості характеризуються залежностями :

$$\alpha_3(t) = \alpha_{\partial on} + \int_0^1 (-\rho_{\partial on}) dt = \alpha_{\partial on} - \rho_{\partial on} t \quad (3.29)$$

$$\Delta\vartheta_3(t) = \int_0^1 \alpha_3(t) dt = \int_0^1 (\alpha_{\partial on} - \rho_{\partial on} t) dt = (\alpha_{\partial on} - \rho_{\partial on} t/2)t \quad (3.30)$$

Тривалість цього етапу руху рівна тривалості першого етапу:

$$\Delta t_3 = t_1 = \alpha_{\partial on} / \rho_{\partial on} \quad (3.31)$$

В кінці третього етапу прискорення стає рівним нулю $a_3=0$, а зміна швидкості на цьому етапі визначається з при $t = \Delta t_3$:

$$\Delta\vartheta_3 = \frac{\alpha_{\partial on}^2}{2\rho_{\partial on}} \quad (3.32)$$

На другому етапі 1-2 розгону з постійним прискоренням ($\rho = 0, \alpha = \alpha_{\partial on} = const$) швидкість змінюється на величину:

$$\Delta\vartheta_2 = \vartheta_{yct} - \vartheta_1 - \Delta\vartheta_3 = \vartheta_{yct} - \frac{\alpha_{\partial on}^2}{2\rho_{\partial on}} - \frac{\alpha_{\partial on}^2}{2\rho_{\partial on}} = \vartheta_{yct} - \frac{\alpha_{\partial on}^2}{\rho_{\partial on}} \quad (3.33)$$

Зміна цієї швидкості у часі на другому етапі характеризується залежністю:

$$\Delta\vartheta_2(t) = \int_0^1 \alpha_{\partial on} dt = \alpha_{\partial on} t \quad (3.34)$$

Тоді враховуючи, що $\Delta\vartheta_2(\Delta t_2) = \Delta\vartheta_2$ із (3.33), (3.34) визначимо тривалість другого етапу:

$$\Delta t_2 = \frac{\vartheta_{yct}}{\alpha_{\partial on}} - \frac{\alpha_{\partial on}}{\rho_{\partial on}} \quad (3.35)$$

Переміщення кабіни в часі на другому етапі характеризується залежністю:

$$\begin{aligned} \Delta s_2(t) &= \int_0^1 \vartheta_2(t) dt = \int_0^1 (\vartheta_1 + \Delta\vartheta_2(t)) dt = \\ &= \int_0^1 \left(\frac{\alpha_{\partial on}^2}{2\rho_{\partial on}} + \alpha_{\partial on} t \right) dt = \frac{\alpha_{\partial on} t}{2} \left(\frac{\alpha_{\partial on}}{\rho_{\partial on}} + t \right) \end{aligned} \quad (3.36)$$

При підстановці у цю залежність $t = \Delta t_2$ можна знайти переміщення кабіни на цьому етапі:

$$\Delta s_2 = \frac{\vartheta_{yct}}{2} \left(\frac{\vartheta_{yct}}{\alpha_{\partial on}} - \frac{\alpha_{\partial on}}{\rho_{\partial on}} \right) \quad (3.37)$$

На третьому етапі переміщення кабіни в часі характеризується залежністю:

$$\begin{aligned} \Delta s_3(t) &= \int_0^1 \vartheta_3(t) dt = \int_0^1 [\vartheta_1 + \Delta\vartheta_2 + \Delta\vartheta_3(t)] dt = \\ &= \int_0^1 \left[\frac{\alpha_{\partial on}^2}{2\rho_{\partial on}} + \vartheta_{yct} - \frac{\alpha_{\partial on}^2}{\rho_{\partial on}} + \left(\alpha_{\partial on} - \frac{\rho_{\partial on}}{2} t \right) t \right] dt = \end{aligned} \quad (3.38)$$

$$= \left(\vartheta_{ycm} - \frac{\alpha_{\partial on}^2}{2\rho_{\partial on}} \right) t + \frac{\alpha_{\partial on} t^2}{2} - \frac{\rho_{\partial on} t^3}{6}$$

Звідси при $t = \Delta t_3$ можна визначити з урахуванням (3.31) переміщення кабіни за час третього етапу:

$$\Delta s_3 = \frac{\alpha_{\partial on}}{\rho_{\partial on}} \left(\vartheta_{ycm} - \frac{\alpha_{\partial on}^2}{6\rho_{\partial on}} \right) \quad (3.39)$$

Повний шлях розгону являє собою суму шляхів, пройдених кабіною на перших трьох рухах. Тоді із (3.28), (3.37), (3.39):

$$s_{раз} = s_1 + \Delta s_2 + \Delta s_3 = \frac{\vartheta_{ycm}}{2} \left(\frac{\vartheta_{ycm}}{\alpha_{\partial on}} + \frac{\alpha_{\partial on}}{\rho_{\partial on}} \right) = \frac{\vartheta_{ycm}^2}{2\alpha_{\partial on}} + \frac{\vartheta_{ycm}\alpha_{\partial on}}{2\rho_{\partial on}} \quad (3.40)$$

Повна тривалість розгону являє собою суму тривалостей перших трьох етапів, визначених рівностями (3.26), (3.35), (3.31):

$$t_{раз} = t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 = \frac{\vartheta_{ycm}}{\alpha_{\partial on}} + \frac{\alpha_{\partial on}}{\rho_{\partial on}} \quad (3.41)$$

Отримані вирази (3.40) і (3.41) характеризують відповідно мінімальний шлях розгону і мінімальний час розгону при наявності обмежень, що накладаються на прискорення і ривок, причому перші члени цих виразів характеризують мінімальні шлях і час розгону при відсутності обмеження ривка, а другі члени визначають збільшення шляху і часу розгону внаслідок обмеження ривка.

Так, якщо прийняти, що $\vartheta_{ycm} = 4м/с$, $\alpha_{\partial on} = 2м/с^2$, $\rho_{\partial on} = 5м/с^3$, то мінімальний шлях та час розгону будуть рівні:

$$s_{раз} = \frac{4^2}{2 \cdot 2} + \frac{4 \cdot 2}{2 \cdot 5} = 4 + 0,8 = 4,8м$$

$$t_{раз} = \frac{4}{2} + \frac{2}{5} = 2 + 0,4 = 2,4с$$

При заданій величині сталої швидкості і зазначеним обмеженням прискорення та ривка електропривод не може (і не повинен) забезпечувати шлях і час розгону менший визначеного з виразів (3.40) і (3.41), а вибраний для ліфта електропривод повинен забезпечити максимальне наближення реального шляху і часу розгону до вказаних розрахунковим.

Аналогічно можуть бути отримані вирази, що характеризують рух кабіни в процесі гальмування.

При цьому для п'ятого етапу 4-5:

$$\begin{aligned} \rho_5 &= -\rho_{\partial on} \\ \alpha_5(t) &= -\rho_{\partial on} t \\ \Delta \vartheta_5(t) &= -\rho_{\partial on} t^2 / 2 \\ \Delta s_5(t) &= \vartheta_{ycm} t - \rho_{\partial on} t^3 / 6 \\ \Delta t_5 &= \alpha_{\partial on} / \rho_{\partial on} \\ \Delta \vartheta_5 &= -\frac{\alpha_{\partial on}^2}{2\rho_{\partial on}} \\ \Delta s_5(t) &= \frac{\alpha_{\partial on}}{\rho_{\partial on}} \left(\vartheta_{ycm} - \frac{\alpha_{\partial on}^2}{6\rho_{\partial on}} \right) \end{aligned} \quad (3.42)$$

Для шостого етапу 5-6:

$$\begin{aligned}
 \rho_6 &= 0 \\
 \alpha_6(t) &= -\alpha_{\text{дон}} = \text{const} \\
 \Delta\vartheta_6(t) &= -\alpha_{\text{дон}} t \\
 \Delta s_6(t) &= \vartheta_{\text{уст}} t - \frac{\alpha_{\text{дон}} t}{2} \left(\frac{\alpha_{\text{дон}}}{\rho_{\text{дон}}} + t \right) \\
 \Delta t_6 &= \frac{\vartheta_{\text{уст}}}{\alpha_{\text{дон}}} - \frac{\alpha_{\text{дон}}}{\rho_{\text{дон}}} \\
 \Delta\vartheta_6 &= -\vartheta_{\text{уст}} + \frac{\alpha_{\text{дон}}^2}{\rho_{\text{дон}}} \\
 \Delta s_6 &= \frac{\vartheta_{\text{уст}}}{2} \left(\frac{\vartheta_{\text{уст}}}{\alpha_{\text{уст}}} - \frac{\alpha_{\text{дон}}}{\rho_{\text{дон}}} \right)
 \end{aligned} \tag{3.43}$$

Для сьомого етапу 6-7:

$$\begin{aligned}
 \rho_7 &= -\rho_{\text{дон}} \\
 \alpha_7(t) &= -\alpha_{\text{дон}} + \rho_{\text{дон}} t \\
 \Delta\vartheta_7(t) &= -\alpha_{\text{дон}} t + \rho_{\text{дон}} t^2 / 2 \\
 \Delta s_7(t) &= \frac{\alpha_{\text{дон}}^2}{2\rho_{\text{дон}}} t - \frac{\alpha_{\text{дон}} t^2}{2} + \frac{\rho_{\text{дон}} t^3}{6} \\
 \Delta t_7 &= \alpha_{\text{дон}} / \rho_{\text{дон}} \\
 \Delta\vartheta_7 &= -\frac{\alpha_{\text{дон}}^2}{2\rho_{\text{дон}}} \\
 \Delta s_7 &= \frac{\alpha_{\text{дон}}^3}{6\rho_{\text{дон}}^3}
 \end{aligned} \tag{3.44}$$

Шлях гальмування рівний сумі переміщень кабіни на п'ятому, шостому та сьомому етапах:

$$s_{\text{гал}} = \Delta s_5 + \Delta s_6 + \Delta s_7 = \frac{\vartheta_{\text{уст}}^2}{2\alpha_{\text{дон}}} + \frac{\vartheta_{\text{уст}}\alpha_{\text{дон}}}{2\rho_{\text{дон}}} \tag{3.45}$$

Тривалість гальмування:

$$t_{\text{гал}} = \Delta t_5 + \Delta t_6 + \Delta t_7 = \frac{\vartheta_{\text{уст}}}{\alpha_{\text{дон}}} + \frac{\alpha_{\text{дон}}}{\rho_{\text{дон}}} \tag{3.46}$$

Одержуваний з (3.45) шлях гальмування визначає мінімальну відстань кабіни від поверху призначення, на якому має розпочатися гальмування кабіни. Ця відстань не може бути менше величини, отриманої з (3.45), оскільки в іншому випадку внаслідок обмежень, що накладаються на уповільнення і ривок, кабіна не зможе зупинитися на заданому рівні.

Для оптимального графіка руху кабіни (рис. 3.19) шлях і час гальмування рівні шляху і часу розгону, що впливає з порівняння виразів (3.45) і (3.46) з виразами (3.40) і (3.41).

Шлях, який проходить кабіна на четвертому етапі 3-4 з усталеною швидкістю $\vartheta_{\text{уст}} (\alpha_4 = 0, \rho_4 = 0)$ залежить від заданої величини переміщення кабіни $s_{\text{зад}}$ до поверху призначення, а також суми шляхів розгону і гальмування кабіни:

$$\Delta s_4 = s_{зад} - (s_{раз} + s_{гал}) \quad (3.47)$$

Цю відстань кабіна буде проходити за час:

$$t_{уст} = \Delta t_4 = \Delta s_4 / v_{уст} \quad (3.48)$$

При цьому необхідно враховувати, що етап сталого руху може бути відсутнім, якщо задається переміщення кабіни менше суми шляхів розгону і гальмування кабіни, тобто

$$s_{зад} < (s_{раз} + s_{гал}) = \frac{v_{уст}^2}{\alpha_{дон}} + \frac{v_{уст} \alpha_{дон}}{\rho_{дон}} \quad (3.49)$$

Для розглянутої вище ділянки прикладу приймемо $v_{уст} = 4 \text{ м/с}$:

$$s_{раз} + s_{гал} = 4,8 \text{ м} + 4,8 \text{ м} = 9,6 \text{ м}$$

Очевидно, що в разі, якщо кабіна повинна зупинитися на кожному поверсі, електропривод не зможе розганятися до сталої швидкості, внаслідок чого, в залежності від умов роботи, далеко не завжди слід прагнути до збільшення номінальної швидкості двигуна, що, ускладнює електропривод, може не дати очікуваного при цьому підвищення продуктивності.

Зменшення сталої швидкості при тих же обмеженнях прискорення і ривка істотно зменшує шлях розгону і гальмування. Так при $v_{уст} = 1.5 \text{ м/с}$, $\alpha_{дон} = 2 \text{ м/с}^2$, $\rho_{дон} = 2 \text{ м/с}^3$, (3.40) і (3.45), (3.41) і (3.46) отримаємо:

$$s_{роз} = s_{гал} = \frac{1.5}{2 \cdot 2} + \frac{1.5 \cdot 2}{2 \cdot 2} = 0.5625 + 0.75 = 1.31 \text{ м}$$

$$s_{роз} + s_{гал} = 1.31 \text{ м} + 1.31 \text{ м} = 2.62 \text{ м}$$

$$t_{раз} = \frac{1.5}{1.5} + \frac{2}{2} = 1 + 1 = 2 \text{ с}$$

Отримані результати показують, що при швидкості $v_{уст} = 1.5 \text{ м/с}$ можливий вихід на сталу швидкість при поверховому роз'їзді. Правда, необхідно враховувати, що в реальних електроприводах шлях розгону і гальмування зазвичай більше розрахованого для оптимального графіка руху.

При наявності етапу руху з усталеною швидкістю час руху кабіни можна визначити з формули:

$$t_{дв} = t_{раз} + t_{уст} + t_{гал} \quad (3.50)$$

де час розгону, усталеного руху і гальмування визначаються з (3.41), (3.46) і (3.48).

Отримані вище формули дозволяють побудувати оптимальний графік руху кабіни і визначити швидкості, шляху і тривалості всіх етапів руху при заданих значеннях сталої швидкості і допустимих величин прискорень і ривків. Цей оптимальний графік і отримані з нього кількісні оцінки руху слід розглядати як граничні, до них слід прагнути при виборі типу електроприводу і його системи управління.

Однак слід враховувати, що вимога наближення графіка руху кабіни до оптимального є хоча і важливим, але не єдиним показником якості електроприводу ліфта. Часто воно вступає в протиріччя з іншими, перш за все економічними показниками, оскільки, пред'являючи жорсткі вимоги до регульовальним характеристикам електроприводу, призводить до його

ускладнення і подорожчання. Достатнє наближення до оптимального графіку руху може бути забезпечено за допомогою порівняно дорогого, складного і громіздкого регульованого приводу постійного і змінного струму. Очевидно, що прагнення використовувати більш простий і дешевий нерегульований привід з асинхронним двигуном, який знайшов широке застосування в ліфтах, однак при цьому, як буде показано нижче, неминуче суттєве відхилення графіка руху приводу від оптимального, а отже, зниження продуктивності ліфта, що може бути економічно виправдане при малій інтенсивності пасажиропотоку і для рідко використовуваних ліфтів.

На практиці нерегульовані приводи змінного струму охоплюють швидкості ліфтів до 1,4 м/с, а для великих швидкостей застосовуються електроприводи постійного струму. В даний час є тенденція розширення сфери застосування електроприводів змінного струму для ліфтів до 2 м/с, що визначається прагненням використовувати найбільш простий і дешевий електропривод в найбільш поширених типах ліфтів. При цьому доводиться застосовувати спеціальні додаткові заходи для зменшення відхилення фактичної діаграми руху від оптимальної. Однак, найбільш радикальним способом вирішення цього завдання є перехід на регульовані асинхронні приводи, якщо врахувати тенденцію до зниження їх вартості.

4. Моделювання електроприводу пасажирського ліфта з покращеними динамічними режимами

4.1 Формування профілів розгону та гальмування

Системами, максимально відповідними сучасним тенденціям ліфтобудування, є електроприводи по системі «перетворювач частоти - асинхронний двигун». Вони відповідають вимогам і запитам сучасного ринку, але переважно виробляються за межами України, в Європі і Китаї, або збираються на вітчизняних заводах з імпорتنих комплектуючих. Система «перетворювач частоти - асинхронний двигун» вносить нові можливості в управління і маніпулювання електродвигунами. Як наслідок, виникає необхідність використанні якісно нових алгоритмів управління, найбільш адаптивних і досконалих, здатних виконувати широкий комплекс завдань. Пріоритетними з них донині є безпека, безперебійність, енергоефективність і комфортність. Для забезпечення плавності руху механізмів електроприводу ліфта та для забезпечення покращення динамічних режимів в якості форми розгону доцільно використовувати S-подібний профіль, що задається у перетворювачі частоти ПЧ. (рис. 4.1-4.2).

Застосування S-подібних кривих дозволяє вибрати механічний зазор, усунути удари і обмежити розбіжність швидкості із завданням під час швидких перехідних процесів у разі великого моменту інерції.

За S-подібними профілями здійснюється поступова зміна вихідної частоти відповідно до необхідного рівня і швидкості зміни.

S-подібні профілі розгону і гальмування формуються з трьох окремих ділянок: дві ділянки з рівноприскореним характером, середній - з прямолінійним. Ділянки рівноприскореного характеру будуються відповідно до параболічного закону, ділянка прямолінійного характеру - з лінійним.

Для створення або зміни S-подібних профілів розгону і гальмування задаються наступні певні параметри (табл. 4.1) згідно з[19].

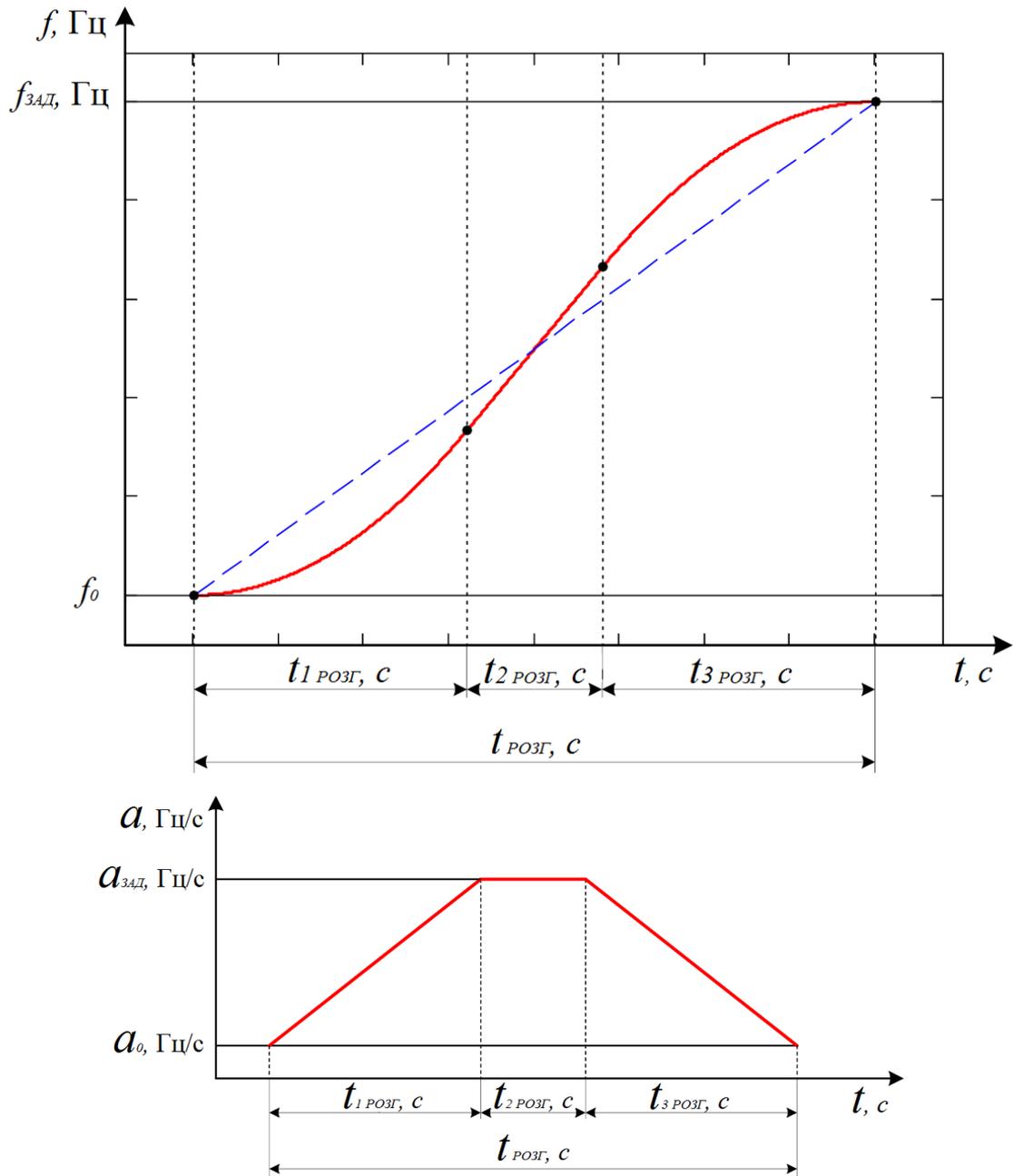


Рисунок 4.1 Загальний вигляд профілю частоти(зверху) та прискорення(знизу) розгону; частоти обертання валу двигуна ($\Gamma\text{ц}$): $f_{зад}$ – необхідна, f_0 – початкова; прискорення обертання валу двигуна ($\Gamma\text{ц}/c$): $a_{зад}$ – необхідне, a_0 – початкове; тривалість розгону (c): $t_{\text{розг}}$ – загальна, $t_{1\text{ РОЗГ}}$ – першої ділянки, $t_{2\text{ РОЗГ}}$ – лінійної ділянки, $t_{3\text{ РОЗГ}}$ – третьої ділянки.

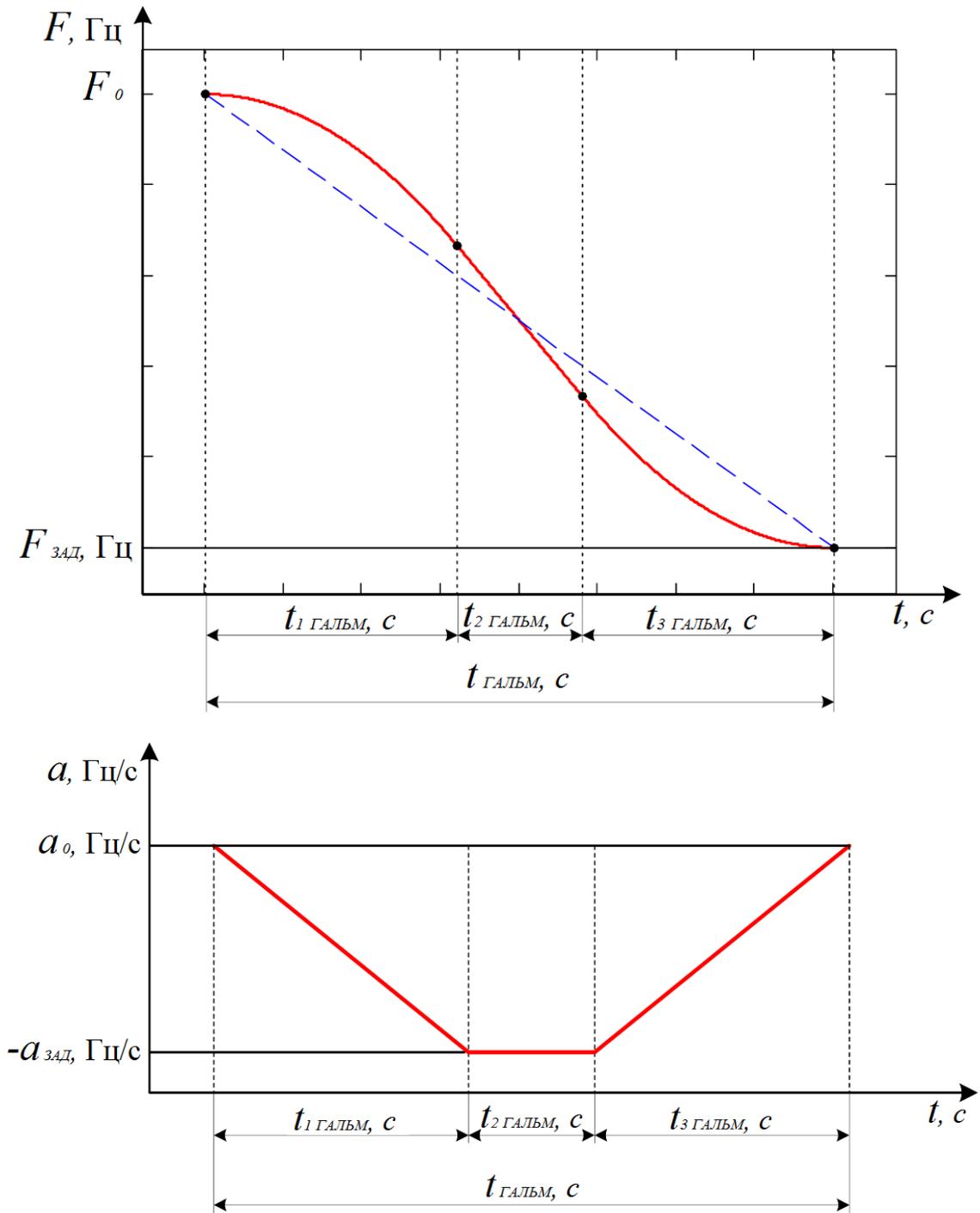


Рисунок 4.2 Загальний вигляд профілю частоти(зверху) та прискорення(знизу) гальмування; тривалість гальмування (с): $t_{\text{ГАЛЬМ}}$ – загальна, $t_{1 \text{ ГАЛЬМ}}$ – першої ділянки, $t_{2 \text{ ГАЛЬМ}}$ – лінійної ділянки, $t_{3 \text{ ГАЛЬМ}}$ – третьої ділянки.

Таблиця 4.1

Параметри профілю розгону та гальмування

Параметр, одиниці виміру	Опис параметру
$f_{\text{зад}}$, Гц	Задана частота
$t_{\text{розг}}$, с	Повний час розгону
$t_{\text{гальм}}$, с	Повний час гальмування
$t_{1\text{розг}}$, с	Час першої ділянки S-подібного профілю розгону Становить 20% від $t_{\text{розг}}$
$t_{2\text{розг}}$, с	Час другої ділянки лінійного профілю розгону Розраховується, як $t_{2\text{розг}} = t_{\text{розг}} - (t_{1\text{розг}} + t_{3\text{розг}})$
$t_{3\text{розг}}$, с	Час третьої ділянки S-подібного профілю розгону Становить 30% від $t_{\text{розг}}$
$t_{1\text{гальм}}$, с	Час першої ділянки S-подібного профілю гальмування Становить 30% від $t_{\text{гальм}}$
$t_{2\text{гальм}}$, с	Час другої ділянки лінійного профілю гальмування Розраховується, як $t_{2\text{гальм}} = t_{\text{гальм}} - (t_{1\text{гальм}} + t_{3\text{гальм}})$
$t_{3\text{гальм}}$, с	Час третьої ділянки S-подібного профілю гальмування Становить 20% від $t_{\text{гальм}}$

Вигляд лінійного профілю розгону та гальмування, при якому $t_1=t_3=0$, позначено на рис. 4.1, 4.2 пунктирною лінією.

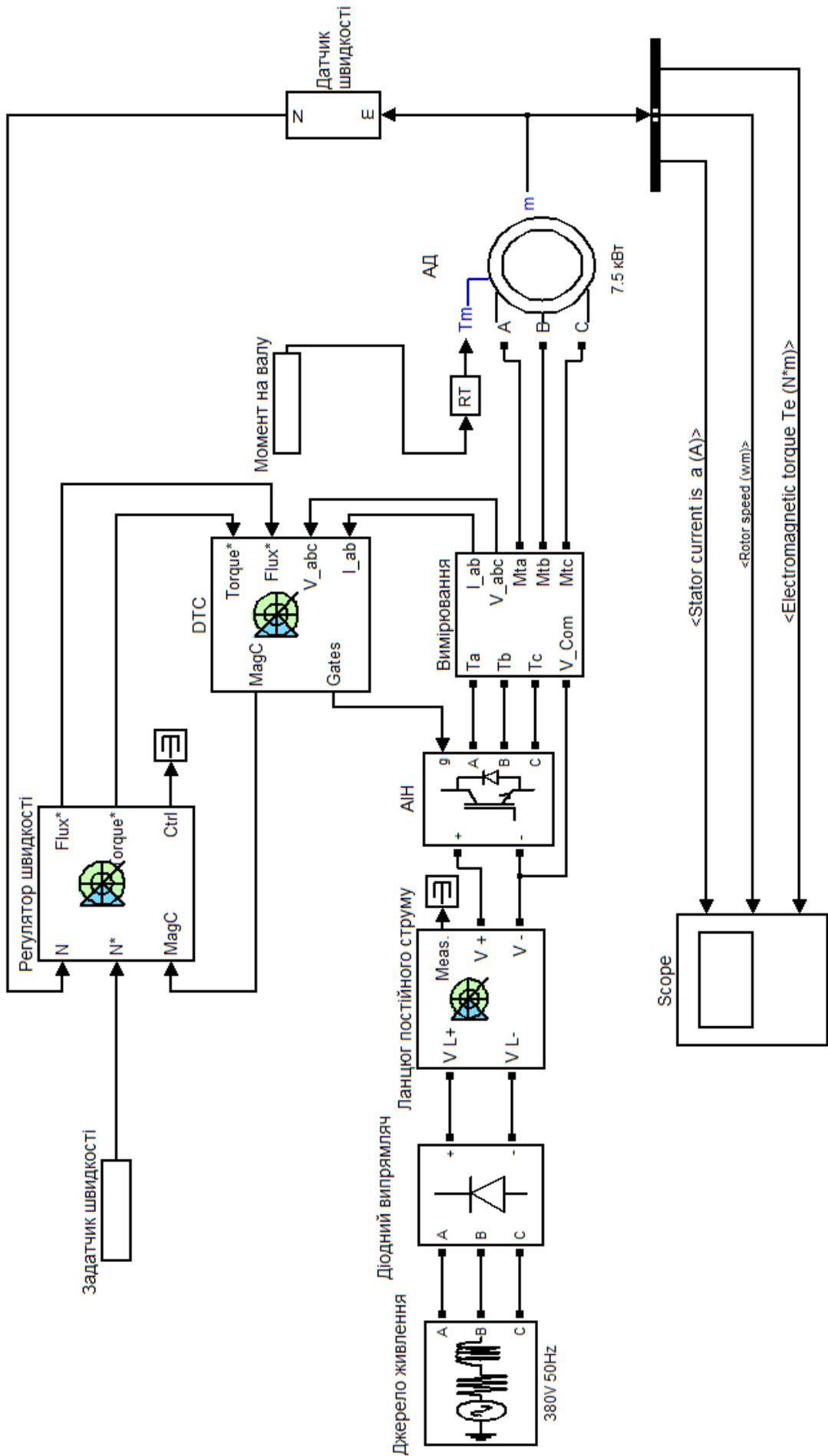
Тривалість лінійних ділянок розгону $t_{\text{розг}}$ та гальмування $t_{\text{гальм}}$ розраховується автоматично, виходячи з загального часу розгону $t_{\text{розг}}$ та гальмування $t_{\text{гальм}}$, першої та третьої ділянки розгону $t_{1\text{розг}}$ та $t_{3\text{розг}}$ і першої та третьої ділянки гальмування $t_{1\text{гальм}}$ та $t_{3\text{гальм}}$.

4.2 Моделювання розгону і гальмування електроприводу пасажирського ліфта

На етапі дослідження алгоритму плавного розгону і гальмування було проведено імітаційне моделювання роботи електроприводу пасажирського ліфта.

Модель електроприводу складається з наступних блоків: асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, джерело живлення, блок управління і блок завдання швидкості (рис. 4.3).

Блок формування частоти формує необхідну частоту обертання вала ротора двигуна по S-подібному профілю (рис. 4.4): профіль розгону – з 0 до 50 Гц за 2 с і профіль гальмування – з 50 до 5 Гц (уповільнення) за 2 с, з 5 Гц до 0 за 1,5 с. Профіль гальмування приводу ліфта формується з профілю уповільнення приводу і профілю дотягування (зупинки) [16] (рис. 4.4).



ис
ун
ок
4.4
Про
филь
частот
и
ро
зго
ну
та
гал
ь
у
в
ан
ня
пр
ив
од
у

P

ліфта по S-подібному профілю

АД з короткозамкненим ротором потужністю 7,5 кВт був обраний на основі проведених розрахунків, виходячи з передбачуваного навантаження (маси кабіни ліфта з пасажирами).

Перетворювач частоти, в залежності від сигналу управління формує необхідну частоту і амплітуду напруги живлення.

В процесі проведення імітаційного моделювання були отримані криві перехідних процесів, що протікають в АД в процесі його пуску та гальмування (рис. 4.5). Для порівняння, на рис. 4.6 зображено криві перехідних процесів АД без використання ПЧ.

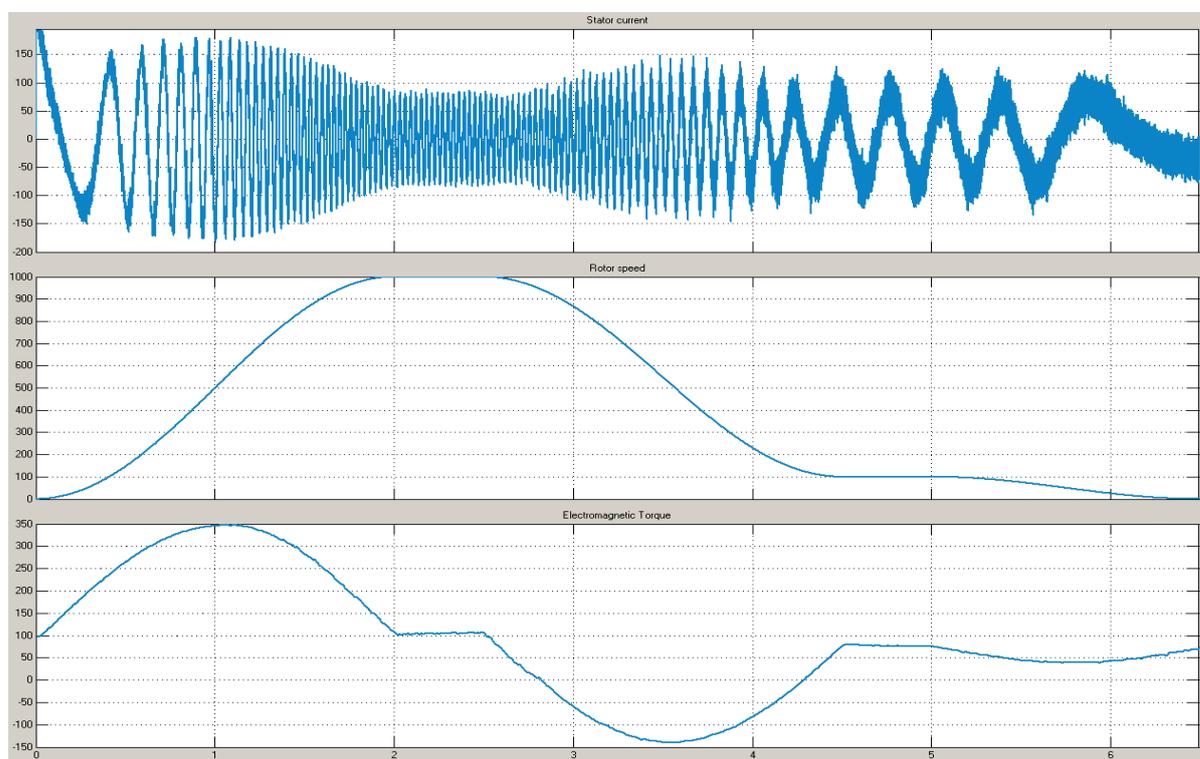


Рисунок 4.5 Криві перехідних характеристик моделювання АД з використанням ПЧ: а) струм фази А, А; б) частота обертання валу ротора, об/хв; в) електромагнітний момент, Н·м

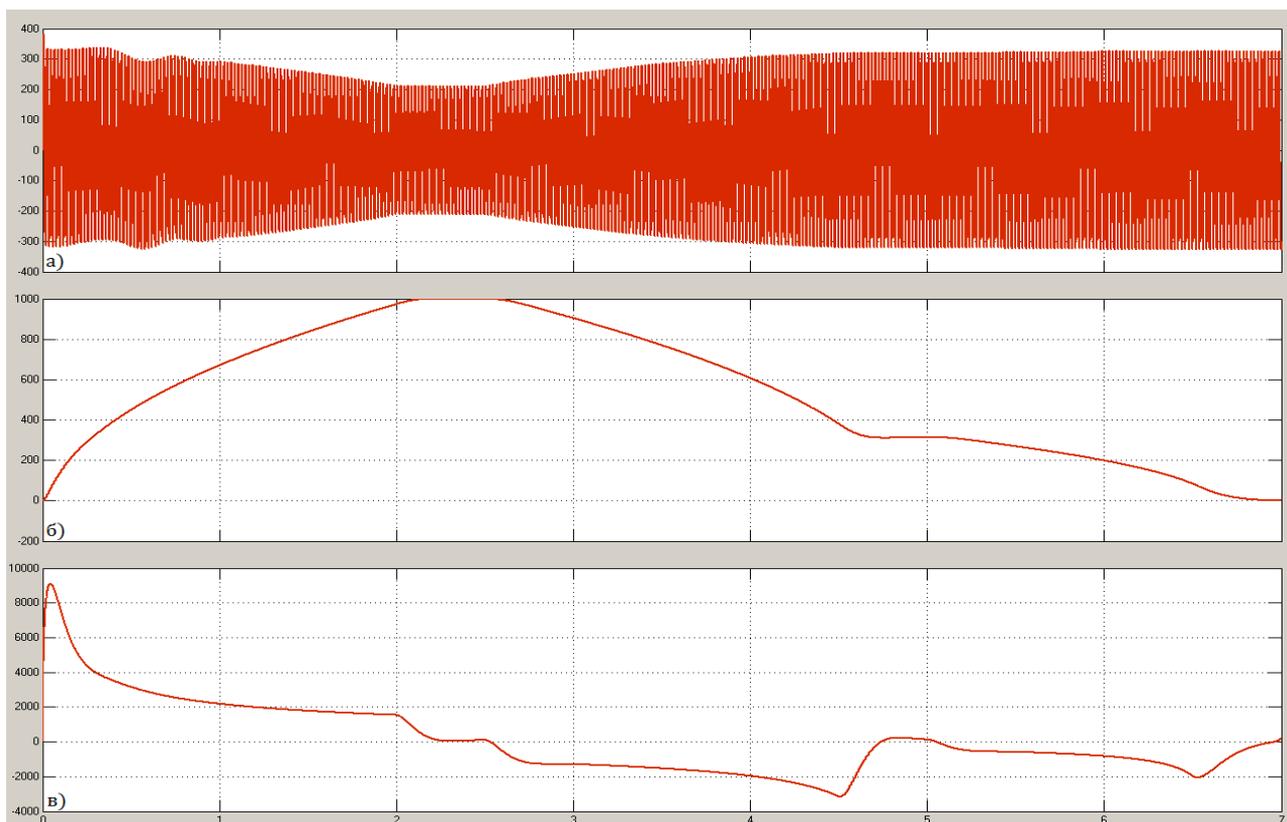


Рисунок 4.6 Криві перехідних характеристик АД без використання ПЧ:

- а) струм фази А, А; б) частота обертання вала ротора, об/хв;
в) електромагнітний момент, Н·м

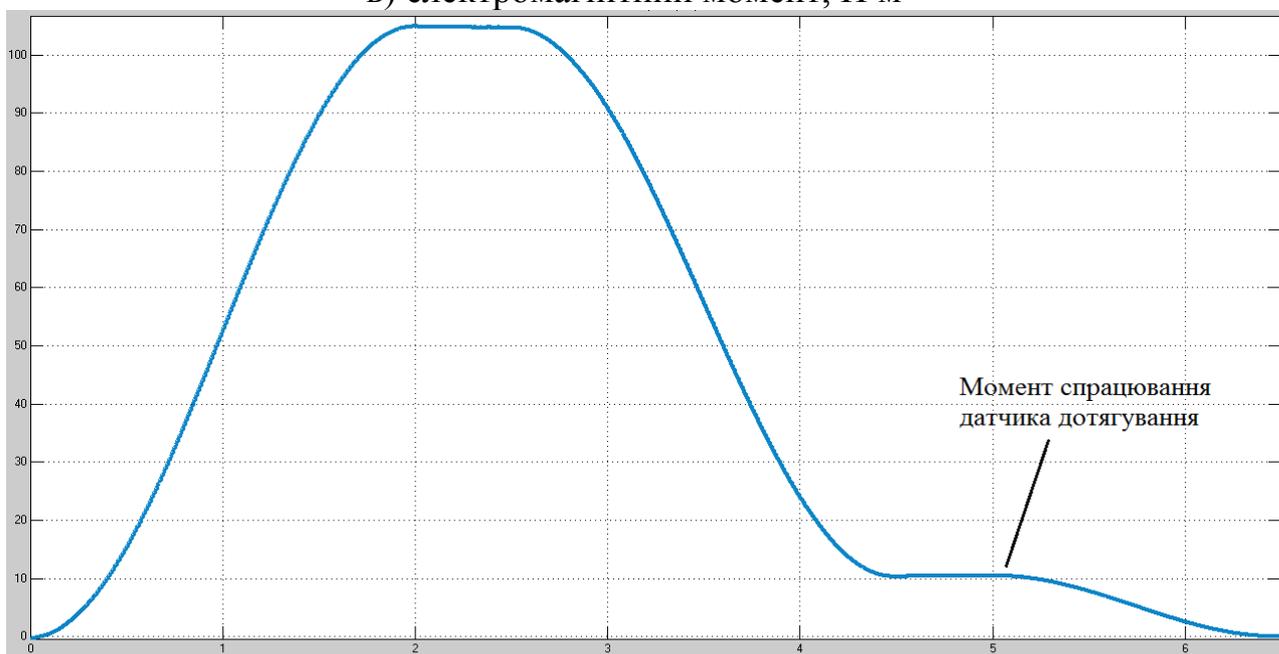


Рисунок 4.7 Частота обертання вала ротора АД при пуску та гальмуванні (результат моделювання)

Достатня плавність кривої електромагнітного моменту АД свідчить про плавність процесів електродвигуна.

Представлені методи забезпечення плавного розгону та гальмування асинхронного двигуна були використані при роботі з ПЧ ATV58HD12N4

виробництва SchneiderElectric пасажирського ліфта (рис. 3.5). При роботі у складі програмного забезпечення ПЧ у процесах плавного пуску та гальмування відбулося покращення характеристик процесів асинхронного електроприводу пасажирського ліфту. Перехідний процес по частоті обертання валу ротора АД, як при розгоні, так і при гальмування, має S-подібну форму, подібну з формою заданої частоти, вказаний на рис.4.7.

5 Економічна частина.

Розрахунок техніко-економічної ефективності використання автоматизованого електроприводу пасажирського ліфта

У техніко-економічній частині даної магістерської роботи розраховуються такі економічні параметри по проектуваному обладнанню:

- виробнича потужність;
- капітальні витрати;
- фонд заробітної плати;
- баланс роботи обладнання;
- собівартість продукції;
- показники ефективності роботи обладнання.

Розрахунок техніко-економічних показників здійснюється в відповідності до матеріалів виробничої практики і даних магістерської роботи.

5.1 Розрахунок виробничої потужності обладнання

Обґрунтування виробничої потужності обладнання здійснюється в суворій відповідності з розрахунками технологічної частини проекту, на основі прийнятої в роботі продуктивності обладнання і ефективного часу його роботи.

Розрахунок виробничої потужності проводиться за наступною формулою

$$P_{вир} = P_o \cdot T_{еф} \quad (5.1)$$

де P_o - технічно обґрунтована годинна продуктивність обладнання;

$T_{еф}$ - ефективний фонд часу роботи обладнання.

Режим роботи обладнання характеризується безперервним робочим тижнем, числом змін на добу і тривалістю робочої зміни в годинах. Ці параметри встановлюються в технологічній частині проекту. Виконуємо розрахунок $T_{еф}$ для безперервного виробництва.

Календарний фонд часу роботи обладнання складає

$$T_{кал} = 365 \cdot 12 = 4380 \text{ год/рік.}$$

Час ефективної роботи ведучого обладнання визначається по формулі

$$T_{еф} = T_{кал} - (T_{рем} + T_3), \quad (5.2)$$

де $T_{кал}$ - календарний фонд часу роботи обладнання,

$T_{рем}$ - час простою в ремонті (годин),

T_3 - час технологічних зупинок по регламенту.

Ефективний фонд часу роботи обладнання $T_{еф}$ дорівнює номінальному фонду $T_{ном}$ за вирахуванням зупинок на ремонті $T_{рем}$, здійснені в робочий час, а також технологічно неминучих зупинок T_3 в відповідності до системи планово-попереджувального ремонту:

$$T_{еф} = T_{ном} - T_{рем} - T_3, \quad (5.3)$$

Для визначення ефективного фонду часу роботи обладнання складається баланс робочого часу в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Баланс робочого часу

Елементи часу	Час(днів/годин)
Календарний час, $T_{\text{кал}}$	365 / 4380
Вихідні дні	0
Номінальний фонд часу, $T_{\text{ном}}$	355 / 4260
Планові зупинки на кап. ремонт та інше	14 / 168
Ефективний фонд часу роботи обладнання, $T_{\text{еф}}$	341 / 4092

Таким чином, виробнича потужність розраховується за формулою

$$P = K \cdot N \cdot T_{\text{еф}}, \quad (5.4)$$

де K - кількість одиниць ведучого обладнання,

N - годинна продуктивність ведучого обладнання,

$T_{\text{еф}}$ - ефективний фонд часу роботи ведучого обладнання.

$$P = 1 \cdot 8 \cdot 4092 = 32736 \text{ Вт} = 32,73 \text{ кВт.}$$

5.2 Розрахунок капітальних витрат автоматизованого електроприводу пасажирського ліфта

Кошторисна вартість устаткування визначається на підставі підбору обладнання, зробленого в технологічній частині магістерської роботи. Розрахунок проводиться за формою, представленої в таблиці 5.2

Таблиця 5.2

Розрахунок капітальних витрат на обладнання і прилади

№	Найменування обладнання	Кількість, шт	Вартість		Затрати на доставку та монтаж		Кошторисна вартість, грн	Амортизаційні нарахування	
			1 шт, грн	Загальна, грн	%	гривень		Норма амортизації, %	Сума, грн
1	Електродвигун 5АН(Ф)200МВ 6/24	1	29712	29712	10	2971	32683	10	3268
2	Редуктор ЦТНД-315	1	15000	15000	10	1500	16500	10	1650
3	Перетворювач частоти ATV58HD12N4	1	23861	23861	10	2386	26247	10	2624
4	Всього						75430		75430

Капітальні витрати на будівництво об'єкта складаються з:

- витрат на придбання обладнання і засобів автоматизації, включаючи вартість монтажних матеріалів, монтажу і накладних витрат, пов'язаних з їх придбанням, доставкою;
- витрат на дорогий інвентар та інструменти.

Після встановлення кошторисної вартості об'єкта, що проектується необхідно визначити питомі капітальні вкладення, які розраховуються як частка від ділення всіх капітальних витрат за кошторисом на величину проектної потужності об'єкта:

$$K_{num} = \frac{KB}{P} = \frac{75430}{32736} = 2.3 \text{ грн/кВт}$$

5.3 Питання організації праці і заробітної плати

Одне з основних завдань організації виробництва - вибір раціонального режиму роботи підприємства та його підрозділів за часом. Режим роботи істотно впливає на використання в часі основних виробничих фондів, особливо їх активної частини, а так само на продуктивність праці робітників.

Під режимом роботи підприємства розуміється встановлена тривалість і порядок виробничої діяльності підприємства. Він визначає число робочих і неробочих днів і годин на рік, число робочих змін на добу і тривалість робочої зміни.

Аналіз практики застосування різних режимів роботи показує, що в ряді випадків його вибір обумовлюється технічними або технологічними умовами виробництва. При цьому поряд з економічними міркуваннями необхідно враховувати і соціальну сторону питання.

Прийнятий календарний режим в значній мірі визначає порядок виконання основних і допоміжних робіт та організацію в цілому виробничого процесу в часі.

При організації виробничого процесу в часі слід керуватися такими принципами:

- 1) поєднання в часі всіх календарних перерв в послідовних ланках виробничого ланцюга;
- 2) забезпечення максимально можливого виконання допоміжних робіт суміжних ланок під час календарних перерв;
- 3) прогнозування ходу виробничого процесу, тобто продуктивності і відмов обладнання;
- 4) вибір оптимальних моментів для виконання допоміжних робіт;
- 5) постійна готовність до виконання профілактичних робіт і поєднання їх за часом з відмовами суміжних ланок виробничого процесу;
- 6) першочергове виконання таких допоміжних робіт, які забезпечують підвищення продуктивності виробничого ланки.

Баланс робочого часу встановлює число днів, що підлягають обробці одним робочим в рік (таблиця 5.3).

Таблиця 5.3

Баланс робочого часу

	Безперервне виробництво при 8-ми годинній робочій зміні
Число календарних днів у році	365
Вихідні дні	10
Святкові дні	10
Число виходів на роботу по графіку (номінальний фонд часу)	251
Не виходи:	24
- чергові та додаткові відпустки, 24 дні;	
- неявки за хворобою, виконання державних та громадських обов'язків	10
Всього невиходів	34
Число днів, належних відпрацюванню 1 робочому в рік	217/1736

При безперервному режимі роботи ліфта, в більшості виробництв робота та обслуговування ліфта здійснюється в дві зміни по 8 годин. При безперервному робочому тижні робота може проводитися в одну, дві і три зміни в залежності від конкретних умов.

Таблиця 5.4

Розрахунок чисельності робітників

Найменування професій	Явочна чисельність у зміну	Кількість змін	Явочна кількість у добу	Коефіцієнт перерахунку	Облікова чисельність
Основний робітник	1	2	1	1.07	1
Допоміжний робітник	1	2	1	1.07	1
Всього	2		2		2

Коефіцієнт перерахунку явочного складу робочих в обліковий становить для безперервного виробництва:

$$K_{\text{пер}} = T_{\text{кал}} / T_{\text{еф}} = 365/341 = 1,07. \quad (5.5)$$

Зробимо розрахунок річного фонду заробітної плати робітників і запишемо в таблицю 5.5.

При колишньому режимі роботи пасажирського ліфта чисельність робітників становила 3 особи: з них: 2 основних і 1 допоміжний. Річний фонд заробітної плати становив 3 особи*6500 грн *12 місяців = 234 тис. грн.

Річна економія по фонду заробітної плати склала: 2 особи*6500 грн *12 місяців = 165 тис. грн.
234000-156000= 78 000 грн.

Таблиця 5.5

Розрахунок річного фонду заробітної плати робітників

№ п/п	Найменування професій	Облікова чисельність, чол.	T _{эф} , год.	Годинна тарифна ставка, грн.	Тарифний фонд заробітної плати, грн.	Доплати до основного фонду, грн.	Загальний основний фонд заробітної плати, тис. грн.	Додаткова заробітна плага, тис. грн.	Загальний річний фонд заробітної плати, тис. грн..
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Основні виробничі працівники	1	4092	39.12	160079,04		160.079	1.950	162.029
2	Допоміжні працівники	1	1994	39,12	78005.28		78.005	0.975	78.98
	Всього	2							241.009

5.4 Розрахунок витрат на електроенергію, ремонт обладнання і економії від автоматизованого електроприводу пасажирського ліфта

Установка автоматизованого електроприводу пасажирського ліфта дозволяє продовжити термін двигуна, так як без застосування автоматизованого електродвигуна підвищується трудомісткість робіт, можливе виникнення аварійних ситуацій призводить до поломки двигуна і виходу з ладу мережі живлення.

Електрична потужність буде дорівнювати 8 кВт. Час роботи двигуна з урахуванням зупинки на капітальний ремонт складе 4380 годин на рік. Тоді обсяг спожитої електроенергії за рік складе:

$$E_{\text{спож}} = 8 \text{ кВт} \cdot 4380 \text{ год} = 35040 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Економія електроенергії складе 10%.

У натуральному вираженні

$$35040 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 0,1 = 3504 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

У вартісному вираженні:

$$3504 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 1.68 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год} = 5886,72 \text{ грн.}$$

Без автоматизованого електродвигуна витрати на утримання і ремонт обладнання підвищуються за рахунок зарплати допоміжних робочих та відсутності економії електроенергії, соціального податку і складають 78980 грн.

5.5 Розрахунок загальної економії

Загальна економія складається з трьох основних складових:

- Економії фонду заробітної плати;
- Економії електроенергії;
- Економії на утриманні та ремонт обладнання.

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{ФЗП}} + E_{\text{ел}} + E_{\text{р}} = 78000 + 5886,72 + 78980 = 162866,72 \text{ грн.} \quad (5.6)$$

Термін окупності за рахунок економії основних витрат складе:

$$T_{\text{ок}} = K / E_{\text{заг}} = 241009 + 75430 + 35040 / 162866,72 = 351479 / 162866,72 = 2,15 \text{ міс.} \quad (5.7)$$



Рисункок 6.1 Шляхи реалізації енергозбереження засобами промислового електроприводу

Висновок за розділом економічної частини

Після проведення всіх необхідних розрахунків видно, що економічна ефективність модернізації обладнання вигідна.

За рахунок зменшення експлуатаційних витрат на нове обладнання ми економимо 162866,72 грн в рік, ніж при обслуговуванні старого обладнання.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі були вирішені наступні поставлені завдання: проведено аналіз технологічного процесу пасажирського ліфта; розраховані моменти статичних опорів та динамічні моменти і попередньо визначена потужність електродвигуна; обґрунтований вибір роду струму і типу електроприводу; обрано електродвигун і визначено передавальне число редуктора; розраховані статичні моменти, моменти інерції і коефіцієнт жорсткості системи електропривод - пасажирський ліфт; попередньо перевірений двигун по нагріванню і продуктивності; обґрунтовано та обрано перетворювач частоти; розроблена структурна схема електроприводу і розраховані її параметри; розраховані статичні характеристики електроприводу; побудовані природні характеристики асинхронного двигуна; розраховані частоти та напруги двигуна в системі ПЧ-АД; розраховані параметри схем включення, що забезпечують пуск і гальмування двигуна; сформовано профілі розгону та гальмування АД; розраховані енергетичні показники електроприводу; була досліджена віртуальна модель розробленого електроприводу ПЧ-АД в середовищі Simulink (Matlab).

Також розраховано і приведено техніко-економічне обґрунтування проекту. Після проведення всіх необхідних розрахунків видно, що економічна ефективність модернізації обладнання доцільна.

В результаті роботи був розроблений автоматизований електропривод пасажирського ліфта, що забезпечує: плавний пуск та гальмування, задану швидкість і прискорення підйому і опускання при повторно-короткочасному режимі роботи, підвищену точність зупинки, комфортність руху пасажирів та економне використання електроенергії. Дана система задовольняє всі поставлені вимоги технологічного процесу.

Список використаної літератури

1. Шефер О.В. Електропривод та автоматизація загальнопромислових механізмів: конспект лекцій. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2020. – 154 с.
2. Григоров О.В. Ліфти : навч. посібник / О.В. Григоров, В.В. Стрижак, С.О. Губський, та ін. – Х.: НТУ«ХП», 2016. – 172 с.
3. Вимоги до електроприводів ліфтів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://rsm.vn.ua/ua/news/3.html>
4. Шефер О. В. Електричні машини: Навчальний посібник. / В. В. Онушко, О. В. Шефер. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – 536 с.
5. Галай В. М. Теорія цифрових систем автоматичного керування: Навчальний посібник. / В. М. Галай. – Полтава: Видавництво ПолтНТУ, 2008. – 107 с.
6. IGBT-транзистор [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://symmetron.ua/silovie-poluprovodniki/tranzistori/tranzistori-igbt/>
7. Шульга О. В. Системи керування електроприводами: Посібник. / О. В. Шульга. – Полтава: Видавництво ПолтНТУ, 2003. – 293 с.
8. Будівельна техніка (довідник) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://budtehnika.pp.ua/3409-elektrichne-obladnannya-lftv.html>
9. Електродвигуни для привода ліфтів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://kitlift.com.ua/product-category/catalog/zapchastini/golovnij-privid-lifta/dviguni/>
10. Електродвигуни для привода ліфтів та частотні перетворювачі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ukrprommotor.com.ua/?gclid=CjwKCAjwn8SLBhAyEiwAHNTJbfGoFSgtMMPqt-BjoWRueovKpjXzLGV1cStaxfwbeg9zO6GvvRi6nRoC26wQAvD_BwE
11. Shefer O. Synthesis of inventories to the interference of information and telecommunication systems / O. Shefer, B. Topikha, V. Shefer, S. Myhal // Systems of control, navigation and communication. – Poltava: PoltNTU, 2019. – no. 6 (58). – pp. 115-122.
12. Шефер О.В. Інформаційний обмін між навігаційним процесором і вимірювачем в апаратурі супутникової навігації/ О.В. Шефер, С.В. Мигаль // Тези 73-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Том 1. (Полтава, 21 квітня – 13 травня 2021 р.) – Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2021. – 32-34.
13. Шефер О.В. Енергоефективне використання штучного холоду для зберігання плодоовочевої продукції / О.В. Шефер, С.В. Мигаль // Тези 73-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка

імені Юрія Кондратюка». Том 1. (Полтава, 21 квітня – 13 травня 2021 р.) – Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2021. – 29-30.

14. Пристрої плавного пуску. Переваги використання. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.svaltera.ua/press-center/articles/4344.php>

15. Толочко, О.І. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О.І. Толочко. – Київ, НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с.

16. Matlab. The language of technical computing. Using Simulink. – The MathWorks Corporation, 2016.

17. Zhai, J. Optimal reset controller designed for induction machine drive with hardware in the loop test / J. Zhai, Y. Wang, X. Liu // IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). – 2017. – P. 506 – 511.

18. Sieklucki, G. Analysis of the transfer-function models of electric drives with controlled voltage source / G. Sieklucki // Przegląd elektrotechniczny. – 2012. – No 88. – P. 250 – 255.

19. Галай В.М. Дослідження та моделювання системи управління електроприводом пасажирського ліфта із покращеними динамічними характеристиками Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПолтНТУ, 2017.– №3 (43). – С.14-17.

ДОДАТКИ

1. Analysis of the dynamic characteristics of the electric drive of the passenger elevator and setting tasks

One of the main requirements for the electric drive of a passenger elevator is to ensure a minimum time of movement of the cabin from the beginning of the position of the cabin to the destination floor by order or call. Hence the desire to increase the speed of the elevator to optimize its performance, but increasing this speed is not always appropriate and justified. Elevators with a cabin speed of more than 2 m / s, in the case when the cabin has to make stops on each floor, are essentially not used for speed, because between the floors imposed restrictions on acceleration and deceleration, the cabin does not have time to reach nominal speed. constant speed, usually more than half the distance between floors. Depending on the operating conditions of the electric drive, it is advisable to use drives that provide different steady speeds. In hotels and office buildings it is recommended to use passenger elevators with rated speeds [1, 2]: up to 9 floors - from 0.7 m / s to 1 m / s; 9 or 16 floors - from 1 to 1.4 m / s. If two elevators are installed in one entrance, a technical solution is often used, in which the control system ensures that one elevator stops only on even floors and the other only on odd floors. This increases the use of the speed of the electric drive, and thus increases the productivity of cyclic transport mechanisms. In addition to the basic speed of the car, which largely determines the performance of the elevator, the electric drive and elevator control system with a nominal speed of more than 0.7 m / s must provide the ability to move the car at a speed of 0.4 m / s, which is necessary for the audit mode . One of the most important requirements, the fulfillment of which depends on the structure of the electric drive and its control system, is to limit the acceleration and deceleration of the cab $\alpha = d\vartheta/dt$ and their derivatives (shocks or jerks) $\rho = da/dt = d^2\vartheta/dt^2$.

The maximum allowable value of acceleration (deceleration) of the cabin in normal operation, can not exceed 2 m / s² for all elevators except hospital [2]. Derivative acceleration or deceleration (jerk) is not regulated, but the need to limit it, as well as limiting acceleration, is determined by the need to limit the dynamic loads in the mechanical transmission during transients and the task of providing the necessary comfort for passengers. Limiting the magnitude of acceleration and jerk should ensure high smoothness of transients and thus eliminate the negative impact on the well-being of passengers. For high-speed elevators, the maximum value of the jerk is usually 3.0 - 10 m / s³. The requirement to limit accelerations and jerks to acceptable values is in significant contradiction with the above requirement to ensure maximum elevator performance, as it follows that the acceleration and deceleration time of the elevator car can not be less than a certain value determined by this restriction. Therefore, to ensure maximum productivity of the elevator during transients, the electric drive must provide acceleration and deceleration of the cabin with the maximum allowable values of acceleration and jerk. An important requirement for the electric drive of the elevator is to ensure the exact

stop of the cabin at a given level. For passenger elevators, the low accuracy of the cab stop reduces its productivity, as it increases the time of entry and exit of passengers, as well as reduces the comfort of the elevator and safety of use. In some cases, the need to meet the requirements of the accuracy of the stop has a decisive influence on the choice of electric elevator drive system. According to the rules [3], the accuracy of the cab stop at the level of the floor platform must be within limits not exceeding ± 50 mm for passenger lifts. As the maximum permissible speed of the elevator car increases, the possible spread of the car's stopping positions also increases, which usually requires taking additional measures to meet the requirements for stopping accuracy. An additional requirement for the electric drive of the elevator is the possibility of its reverse to ensure the rise and fall of the cabin, which imposes additional requirements for the electric drive of the elevator and its control system. The frequency of inclusions per hour for passenger elevators should be 60-240 with a standard duration of inclusions of 15-60%, which corresponds to the S3 mode. In addition, the regulations of the equipment provide a number of additional requirements for the electric drive of the elevator, which are determined by the need to ensure the safety of its operation. The voltage of power electrical circuits in the engine room should not exceed 660 V, which eliminates the possibility of using motors with high rated voltage.

1.1. Analysis of electric drives of passenger elevators

1.1.1 Single-speed electric drive of a passenger elevator

This is the simplest type of drive used in old elevators with speeds up to 0.6 m / s. The systems use high-slip motors that have a high starting torque and low starting current. Start of engines is carried out by direct inclusion in a network. Reduction of accelerations and jerks at dispersal is provided by application of additional flywheels with the moment of inertia exceeding the moment of inertia of the engine. At the same time losses increase and efficiency decreases. engine.

1.1.2 Two-speed electric drive of the passenger elevator

These systems use two-speed asynchronous electric motors with switching the number of pole pairs, specially designed for elevator drive. Although two-speed systems are not adjustable speeds, they can be called adjustable because they operate on two speeds. These systems were widely used in Europe in the late twentieth century. In Ukraine, the vast majority of elevators work on similar drives today. They work from direct start, and therefore there is a need to use flywheels to reduce jerks and give the engine smoothness. The main element of two-speed systems is a motor with two windings embedded in the stator, interacting with one rotor. The speed ratio in such systems is usually 3: 1, 4: 1 or 6: 1. Thus, the minimum speed will be 33%, 25% or 16.6% of the speed limit. The motors have the following ratios of the number of poles: 6:18 (1000/333 rpm), 6:24 (1000/250

rpm), 4:16 (1500/375 rpm) or 4:24 (1500/250) rpm). Disadvantages of such systems: • acceleration and deceleration are not smooth, there are jerks; • high starting current and low starting torque; • low accuracy due to load dependence; • excessive energy consumption due to direct start and the use of additional flywheels. 1.1.3 Voltage control systems (ACVV) The principle of operation is based on the use of three pairs of counter thyristors to change the voltage on the stator. The operation of drives with adjustable voltage and speed can be illustrated by fig.1.1.

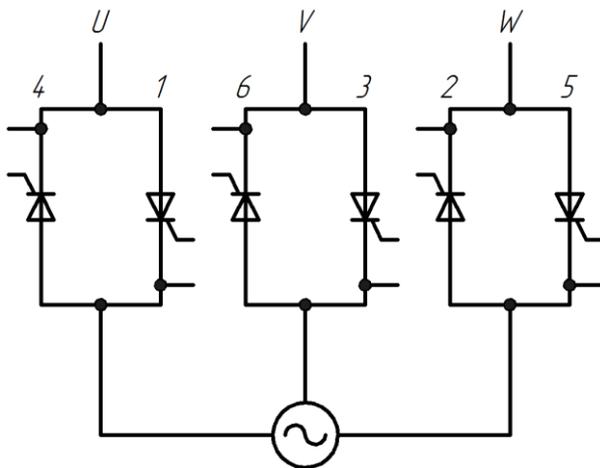


Fig. 1.1 The scheme of inclusion of the one-speed engine

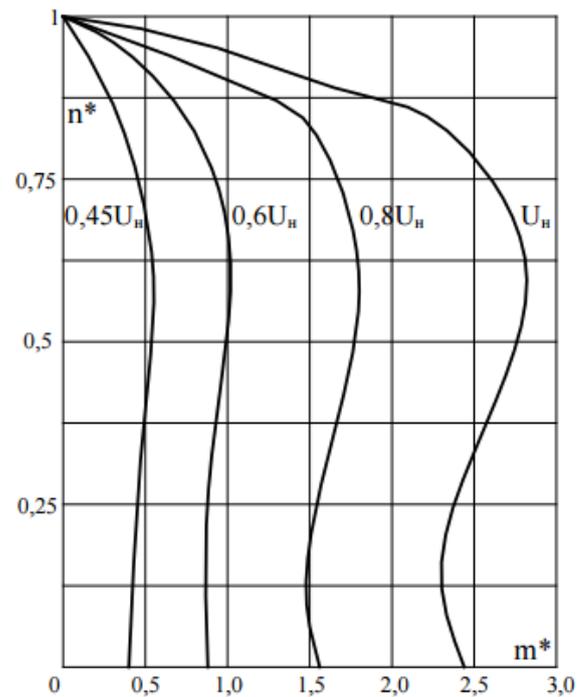


Fig. 1.2 Characteristics of the "speed-torque" of the engine 2.2 kW (750 rpm) when the voltage changes

When the supply voltage decreases, the torque decreases and the operating speed decreases at constant load (slip increases). In proportion to the growth of sliding losses increase $PS = P_2 \cdot S$ P_2 - power on the motor shaft, kW; S - slip. In addition, at low speeds, the opening angle of the thyristors increases, which leads to the presence of higher harmonic voltage components. The engine heats up and the efficiency of the whole system drops. It is necessary to forcibly cool the drive motor. Such systems are characterized by increased energy consumption and low efficiency.

1.1.3 Voltage and frequency regulated systems (VVVF)

These systems consist of an induction motor connected to an inverter that allows you to continuously adjust both voltage and frequency. With this type of

drive, the motor can provide a specified torque at any speed compatible with the frequency of the inverter. These systems are used in gear and gearless elevators. They provide high speed, smooth acceleration and high stopping accuracy. These systems have a small starting current, usually $I_{\text{пуск}} 1,5 I_{\text{ном}}$. The inverter emits from the full current only the active component, which generates torque. It should be noted that the power supply of an induction motor from a static inverter is carried out by non-sinusoidal voltages, which leads to an increase in losses of approximately 10-15% due to the presence of higher harmonic components. At the same time the engine cannot provide rated power and will work with smaller loading. The presence of voltage and current harmonics leads to fluctuations in torque and increased losses, deterioration of cooling when operating at low speeds, leads to the need to reduce power. The electric drive with adjustable speed is built by the closed system with feedback. This system monitors changes in elevator speed by tracking engine speed. It then compares the actual speed with the specified "reference" value and accelerates or decelerates the engine depending on the corresponding values of these signals. To determine the speed of the elevator at any time, a graph is constructed that describes the value of the speed at which the elevator should move (Fig. 1.3, curve 1). This does not mean that the elevator is moving at this speed. The actual value of the speed is recorded by a feedback device (Fig. 1.3, curve 2). Ideally, both graphics should match. In any speed-controlled elevator drive, there is a unit called a "reference value setter". Its function is to compare the "reference speed" with the speed of the engine (and hence the elevator) at any point in the cycle and ensure the smoothness of the speed curve (Fig. 1.3).

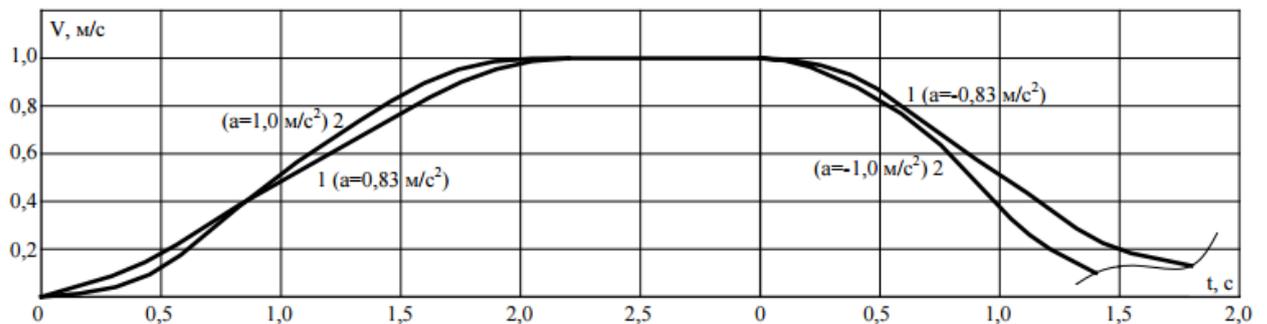


Figure 1.3 Dependence of elevator speed on time when passing through the floor of elevators with a nominal speed of up to 1.0 m / s: 1 - set "reference" speed; 2 - the actual speed when lifting cargo (elevator up to 400 kg).

It is desirable that the radius of the velocity curve be large on the segments "zero speed - acceleration", "acceleration - constant limit speed", "constant speed limit - deceleration", "deceleration - traction speed". This shape of the curve is shown in Fig.1.3, where all transitions are smooth. The larger the radius of these transitions, the smaller the jerks and the easier the movement. The limit case occurs when the curves of two consecutive transitions intersect, when the form "S" or inverted "S" is formed.

1.2 Choosing the optimal electric drive for a passenger elevator

The most common way to start induction motors is directly from the mains (direct start). This technology is often suitable for a wide range of mechanisms. However, it has limitations that prevent it from being applied in some cases:

- a surge of current during start-up may interfere with the operation of other devices connected to the same power line;
- mechanical shock load during start-up, which is unacceptable for the device or may have a detrimental effect on the comfort and safety of the user;
- it is impossible to control acceleration and braking;

• it is impossible to adjust the speed. Therefore, the most optimal electric drive in this case is a system with adjustable voltage and frequency, which includes soft-start devices (SMP) and frequency converters (RF) are able to solve the above problems. Initially, starting rheostats, mechanical drives and rotating devices were used to start electric motors and control their speed. Later, soft starters (RF) and frequency converters (frequency converters) came to the forefront as modern, cost-effective, reliable devices that ensure the smooth operation of equipment for industrial purposes. Any inverter or PPP is an energy converter that modulates the electrical energy that powers the engine. PPP are used exclusively with induction motors. They are voltage regulators. Inverters provide smooth acceleration and deceleration and provide speed optimally exactly according to the operating mode. Control of the electric motor provides automation of all its work, including start, braking, reverse and change of speed of rotation of the electric motor. Automatic start ensures smooth activation of starting resistors, the ability to adjust the current within the required limits, which reduces the number of errors that occur during start-up, and increases the performance of the system as a whole. The same goes for reverse and braking. Frequency control eliminates one of the significant disadvantages of electric motors with a short-circuited rotor - a constant speed of the rotor of the motor, regardless of the load. Frequency control makes it possible to control the speed of the motor according to the nature of the load. This, in turn, avoids complex transients in electrical networks, ensuring the operation of equipment in the most economical mode. Frequency control of the electric motor is effectively used in industrial enterprises, energy, utilities and other areas. This is due to the fact that frequency control allows you to automate production processes, economically consume electricity and other resources involved in production to improve the quality of products, as well as increase the reliability of the system as a whole. Frequency control also improves the functionality and durability of the technological system. This is ensured by reducing inrush currents, eliminating overloads of system elements and the gradual production of hours of equipment. Frequency converters with built-in PID controllers (proportional-integral-differential controllers) are used for frequency control, which provide precise control of the set technological parameters. Frequency converters combine a high technical level of implementation of the functionality of technological requirements, reliability and relatively low cost. On the basis of frequency

converters it is possible to create flexible systems of the electric drive and regulation of technological parameters. Frequency converters are easily integrated into existing systems almost without stopping the controlled process, easily modified and adapted in accordance with all aspects of their application. Available power range and different control system options allow you to choose solutions for many control tasks. Frequency converters have a standard interface and unified input and output signals for the possibility of their inclusion in higher-level external control systems and the connection of remote control devices and information display.

Advantages of using frequency converters:

- Smooth regulation of motor speed allows you to avoid the use of flywheels, variators, gearboxes, chokes and other mechanical and electrical equipment and control equipment, which greatly simplifies the controlled mechanical (technological) system, increases its reliability and reduces operating costs.
- Frequency start of the controlled electric motor provides its smooth without high starting currents and mechanical blows, and also dispersal that reduces loading on the motor and the transferring mechanisms connected with it, increases their service life. At the same time there is a possibility under conditions of start of decrease in power of drive motors of the loaded mechanisms.
- Built-in controlled PID controller allows you to implement speed control systems for controlled engines and related processes.
- Frequency converter complete with programmable microprocessor controller can be used to create multifunctional control systems for electric drives, including redundancy of mechanical units.
- The use of feedback from the system to the frequency converter helps to maintain high-quality motor speed or adjustable process parameters under variable loads and other disturbances.
- A frequency converter complete with asynchronous motor can be used to replace DC electric drives.
- The use of adjustable frequency drive allows you to save electricity by eliminating its unnecessary costs that occur with other control methods such as, from the technological flows of throttling, with hydraulic couplings and other mechanical control devices. Key features:
 - Frequency converters allow you to adjust the frequency of the three-phase supply voltage of the controlled motor in the range from zero to 400 Hz.
 - Acceleration and braking of the engine is carried out smoothly, if necessary according to the linear law from time. Acceleration time and (or) braking time from 0.01 s to 50 minutes
 - Reverse of the engine, if necessary with smooth braking and smooth acceleration to the set speed of the opposite direction.
 - Overclocking frequency converters can provide up to 150% increase in starting and dynamic torques.

- The inverters provide electronic self-protection and protection of motors against overload, overheating, leakage to earth and interruptions of power lines of the adjustable motors.
- Depending on the type of motor load, the required volt-frequency output characteristics can be generated in the inverters.
- The most advanced converters implement vector control that allows you to work with full motor torque in the zero frequency range, maintain speed at variable load without feedback sensors, accurately control the torque on the motor shaft.

1.3 The main functions of PPP and IF

1.3.1 Adjustable acceleration

The increase in engine speed is regulated using a linear or S-shaped acceleration characteristic. This characteristic is usually customizable, so it is possible to choose the time of increase in speed according to the specific application.

1.3.2 Speed control

The frequency converter itself is not at the same time a speed regulator. In the simplest inverters, the control principle is based on the electrical characteristics of the motor using power control in the system without feedback, known as "open circuit". Motor speed is determined by an input value (voltage or current) known as a setpoint or setpoint. For a specific setpoint, the speed can vary depending on the interference (changes in voltage, load, temperature). The speed control range is determined in relation to the rated speed.

1.3.3 Adjusting the speed of the elevator car

The speed regulator is a drive control device (Fig. 1.4). It includes a power-enhanced control circuit and a feedback loop known as a "closed loop". The engine speed is determined by the set value. The value of the setpoint is constantly compared with the feedback signal, which is the value of the motor speed. This signal can come from both the tachogenerator and the pulse sensor mounted on the end of the motor shaft. If a deviation caused by a change in speed is detected, the values (voltage and / or frequency) applied to the motor are automatically corrected to return the speed to its original value.

1.3.4 Controlled deceleration by the elevator car

When the engine is switched off, it brakes under the action of the moment of resistance of the mechanism (stop by run-out). PPP and IF can be used to control deceleration on a linear or S-like characteristic, which usually does not depend on

the acceleration rate curve. The deceleration rate can be adjusted to provide the required braking time from the current speed to the intermediate speed or to a complete stop:

- If deceleration is required faster than stopping by running, the engine must develop braking torque, which is added to the moment of resistance of the mechanism. This is known as electric braking, which can be achieved both by recovering energy into the mains and by scattering it on the braking resistor.
- if the required deceleration is longer than the run-out stop, the engine must develop more torque than the resistance of the mechanism and continue to rotate the load until it stops.

1.3.5 Changing the direction of rotation

Most modern drives support this feature as standard. The order of alternation of the voltage phases that supply the motor is changed automatically by changing the polarity of the frequency reference signal or by giving a command to the logic input, or by a command transmitted over the communication network.

1.3.6 Protection of the electric drive

Modern drives usually provide protection against excess temperature for themselves and their engines. The microprocessor uses current measurements and speed data (if the ventilation of the motor depends on its speed) to calculate the increase in motor temperature and sends an alarm or a stop signal in case of excessive temperature rise. Drives, especially frequency converters, are also often protected by:

- from short circuit between phases and between phases and ground;
- from overvoltage and voltage dips;
- from phase imbalance;
- from work on one phase.

1.4 Electric drive of the passenger elevator according to the TP-AD system

Both asynchronous motors and direct current motors are used for the electromechanical system of elevators. But the ability to regulate the speed of induction motors until recently was limited, so in the elevator construction of elevators were installed mainly DC motors with autonomous converters and machines. G-D and TP-D systems allow to fulfill rather rigid requirements concerning accuracy of a stop and maintenance of the set law of movement in transient processes [5, 15]. The TP-D system has been widely used until recently (Figure 1.5). The use of virtually inertial TP in the electromechanical elevator system allows you to most accurately respond to the law of motion during the transition process. Replacing gearboxes and flywheels with a static converter reduces system heating, noise reduces repair and maintenance costs. The advantages of the TP-D system include a large gain. In this regard, the introduction of the latest energy-saving technologies in the modernization of elevator equipment is becoming an urgent task. Systematic analysis of information of

construction, installation and design organizations allows us to conclude that as a basic program for energy saving in elevators should be considered the introduction of frequency-controlled electric drives, the main element of which is a frequency converter. The use of a frequency-controlled electric drive of the passenger elevator significantly increases comfort while moving the cabin, provides high stopping accuracy and quiet operation, increases the durability of mechanical equipment, and reduces energy consumption by an average of 50%. The use of inverter-AD increases the comfort during the movement of the elevator car and the durability of mechanical equipment by obtaining smooth transients without additional jerks, which, in turn, reduces operating costs for overhaul of equipment by significantly reducing dynamic loads in kinematic circuit elements. Reduction of the consumed electric power is reached thanks to considerable reduction of rotating fly masses of the winch of the elevator that excludes unproductive losses in transitional start-up and brake modes. Smooth transient modes can reduce the dynamic loads in the elements of the kinematic electric drive of the elevator, which increases the service life of the gearbox, traction rope, rope pulley, brake system, electric motor, counterweight suspension elements.

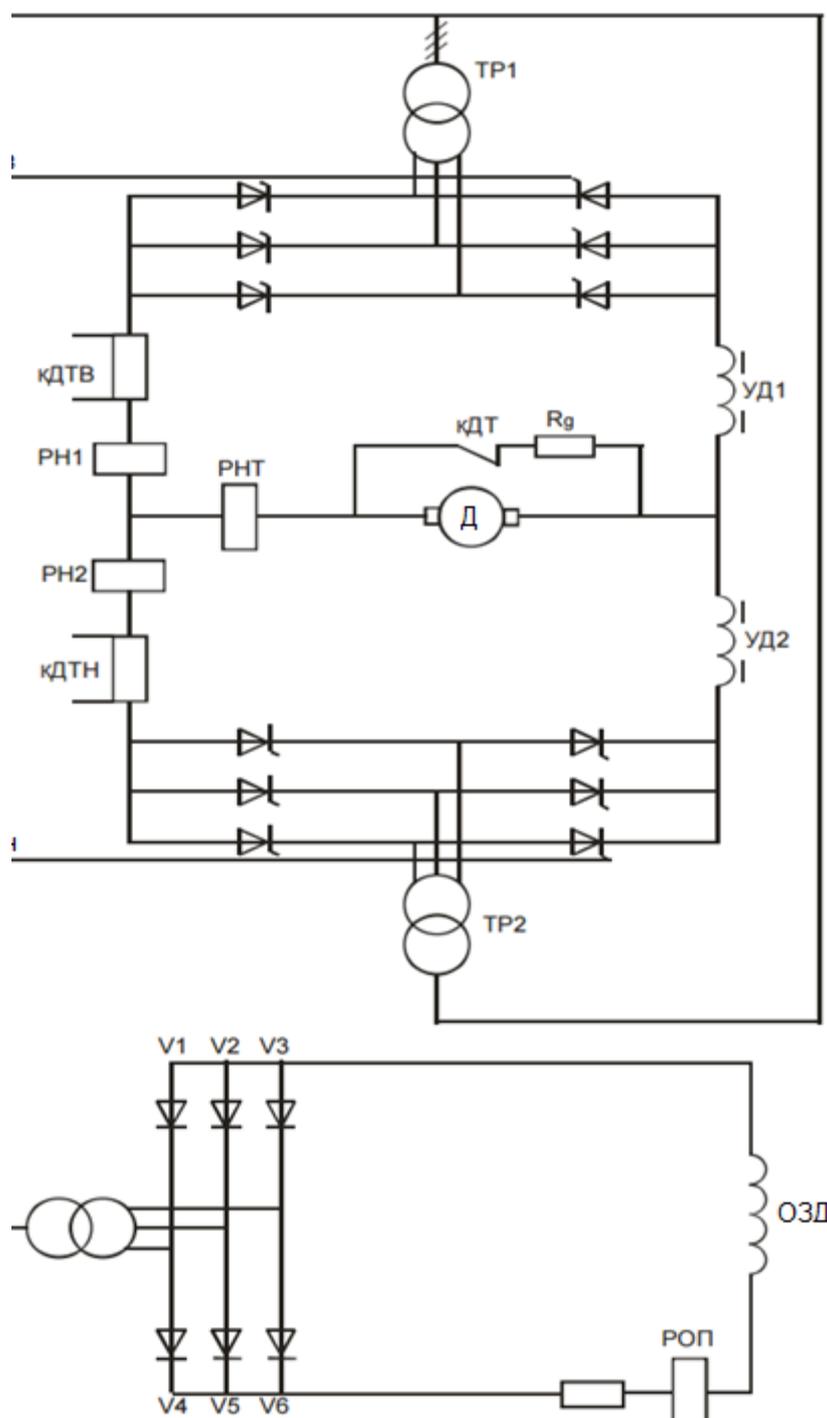


Figure 1.5 Scheme of the power part of the electric drive of the elevator system TP-AD

1.5 General information about frequency-controlled electric drive

Until recently, the development of frequency-controlled electric drive was constrained by the high cost of frequency converters and their large size. The development of power circuits with IGBT transistors, as well as the development of high-performance microprocessor control systems has allowed various companies in the EU, USA and Japan to create modern frequency converters at an

affordable cost [6, 17]. From the available literature [1-3, 14-17] it is known that the speed control of actuators can be carried out using various devices: mechanical variators, hydraulic couplings, additionally inserted into the stator or rotor resistors (federal, manganin and constantan), electromechanical and electromechanical frequency converters, static frequency converters. The use of most of these devices does not provide high quality speed control, has low economic and operational performance, requires high costs during installation and operation. Today, static frequency converters are the most advanced asynchronous drive control devices. The basic principle of the frequency method of speed control of an induction motor is that you can change the speed of the shaft of an induction drive motor by changing the frequency f_1 of the supply voltage, according to the expression:

$$\omega_0 = (2\pi \times f_1) / p \quad (1.1)$$

changing the frequency of the power supply network; by changing the number of pole pairs p . This method provides smooth, without jerks and peaks, speed control in a wide range, and mechanical characteristics have high rigidity. Speed control in this case is not accompanied by an increase in the slip of the induction motor, so the power loss during control is negligible. To obtain high energy performance of an asynchronous electric drive - power factor, efficiency factor, overload capacity - it is necessary to change the supply voltage simultaneously with the frequency [4, 18]. The law of change of supply voltage depends on the nature of the load moment M_c [18]. At a constant load moment $M_c = \text{const}$, the voltage on the stator must be regulated in proportion to the frequency:

$$U_1 / f_1 = \text{const.} \quad (1.2)$$

For the fan nature of the load moment we have:

$$U_1 / (f_1^2) = \text{const.} \quad (1.3)$$

At the moment of loading, inversely proportional to the speed:

$$U_1 / \sqrt{f_1} = \text{const.} \quad (1.4)$$

Therefore, for smooth stepless control of the speed of rotation of the shaft of the drive induction motor, the frequency converter must provide simultaneous control of frequency and voltage on the stator of the induction motor.

1.6 Scalar and vector control asynchronous motor

When scalar management, according to a certain law, changes the amplitude and frequency of the voltage applied to the voltage. The change in the frequency of the supply voltage leads to a deviation from the calculated values of the maximum

and launchers of the engine, efficiency, power factor. Therefore, to maintain the necessary operating characteristics of the engine, it is necessary to change the frequency simultaneously to change and the voltage amplitude. In existing frequency converters in scalar management, most often [16-18] is maintained by a constant ratio of maximum moment of MMAS engine until the resistance to the shaft of MO.

That is, when changing the frequency of the voltage amplitude varies in such a way that the ratio of the maximum moment of the engine to the current time of the load remains unchanged. This relation is called the engine's reloading ability [4, 15].

With the sustainability of the reloading capacity, the nominal coefficient of power and engine efficiency on the entire range of rotation frequency control practically does not change.

The main feature when adjusting the AD is that it is necessary to change the voltage U at the stator both in the function of the moment of static MO resistance and in accordance with the change in frequency. Thus, with a scalar control method, the dependence of the supply voltage from frequency is determined by the nature of the load on the shaft of an electric motor. In this case, for a constant moment of load, an $U / F = \text{const}$ ratio is always supported, and, in essence, the maximum moment of engine is ensured.

At the same time at small frequencies, ranging from some frequency value, the maximum moment of the engine begins to fall. To compensate for this and to increase the launcher, an increase in the voltage level is used. Using the dependence of the maximum torque from the voltage and frequency, it is possible to construct a graph for U from F for any type of load.

An important advantage of the scalar method is the ability to simultaneously control the group of electric motors. Scalar control is sufficient for most of the practical cases of use of a frequency-regulated electric drive with a range of motor rotation speed to 1:40.

Vector control allows you to significantly increase the control range, adjustment accuracy, increase the speed of the electric drive. This method provides direct control of the engine torque.

The rotating moment is determined by the stator current, which creates an excitatory magnetic field. In direct control, the moment it is necessary to change in addition to the amplitude and phase of the stator current, that is, a vector of current.

This is due to the term "vector control". To control the current vector, and, consequently, the position of the stator magnetic stream relative to the rotating rotor needs to know the exact position of the rotor at any time.

The task is solved either by means of a remote sensor of the rotor position, or by determining the position of the rotor by computing by other parameters of the engine. As these parameters, currents and voltages of stator windings are used. A less expensive is a frequency-adjustable electric drive with a vector control without a feedback sensor, but vector control requires a large volume and high computing speed from the frequency converter [4, 15].

In addition, for direct control of the moment at small, close to zero speeds of rotation, the robot-regulated electric drive without feedback is impossible. The vector control with the speed sensor provides a range of adjustment to 1: 1000 and above, the accuracy of speed control - hundredth percent particles, accuracy at the time unit. In the synchronous frequency-regulated drive, the same control methods are used as in asynchronous.

Mechanical characteristics of an asynchronous engine with frequency speed adjustment for various control objects have the form presented in Fig. 1.6.

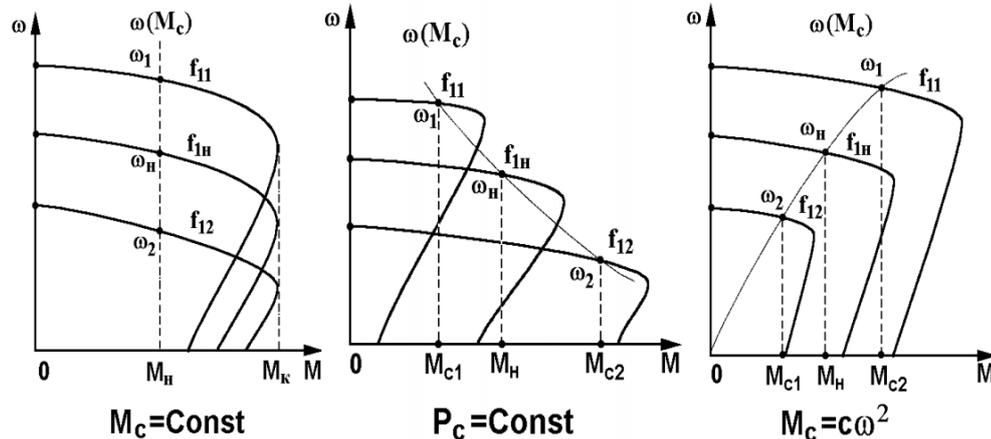


Figure 1.6 Mechanical characteristics of asynchronous motor

The control part of the PF is performed on digital microprocessors and provides control of power electronic keys, as well as a solution of a large number of auxiliary tasks (control, diagnosis, protection).

In this case, at the output of the frequency converter forms a three-phase (or single-phase) variable voltage of the pulmonary frequency and amplitude (and exhibits = VAR, f BAX = VAR).

Consequently, with the control objects with a constant moment of static load $M C = \text{SONST}$, the power source voltage should vary in proportion to its frequency $U / F = \text{const}$ in control objects that require speed adjustment with PC sustainability $PC = \text{SONST}$ control law : $U / \sqrt{f} = \text{const}$, with a ventilation load, the control law corresponds to $U / F^2 = \text{SONST}$. For these considerations, the method of regulation was most widely used for mechanisms $MZ = \text{SONST}$, although in principle, the use of functional converters allows you to realize any of these laws [1, 4, 16].

Until recently, the electric drives were built exclusively on the basis of direct current engines. It was a lack of reliable frequency transducers. In this case, the thyristor converter engine (TP-DU) has such disadvantages as: - limitation of the growth rate of anchor current, an elevated moment of inertia of the electric drive, which leads to a decrease in the speed of automatic regulation; high massamarity indicators; labor intensity in service.

The listed disadvantages are due to the presence of the collector and, accordingly, switching processes and can be excluded in the construction of an electric drive based on an asynchronous short-circuited engine.

At present, there is a sufficient experience of industrial use of electric drives on the system of PF-DR in the range of capacities 35 ... 100 kW.

Thus, the PF system has a regulation range to 1: 1000 and above, the accuracy of speed control - hundredth percent particles and accuracy at the moment - the unit percent can provide the necessary synchronization of the rates of drive electric motors in elevators of different purposes [1, 2].

The use of an adjustable electric drive provides high energy efficiency, promotes energy saving and allows you to receive new high quality indicators of the electromechanical system as a whole. Significant energy savings are provided by regulating any technological parameter [2].

Frequency converter consists of unmanaged power diode rectifier B, autonomous inverter (current or voltage), pulse control system (PWM), automatic adjustment system, throttle LV and CV condenser filter. Regulation of the output frequency of FI and voltage of the UV carried out in the inverter at the expense of high-frequency pulse control.

Latitude pulse control is characterized by a modulation period, inside which the winding of the stator of the electric motor is connected in turn to the positive and removable poles of the rectifier.

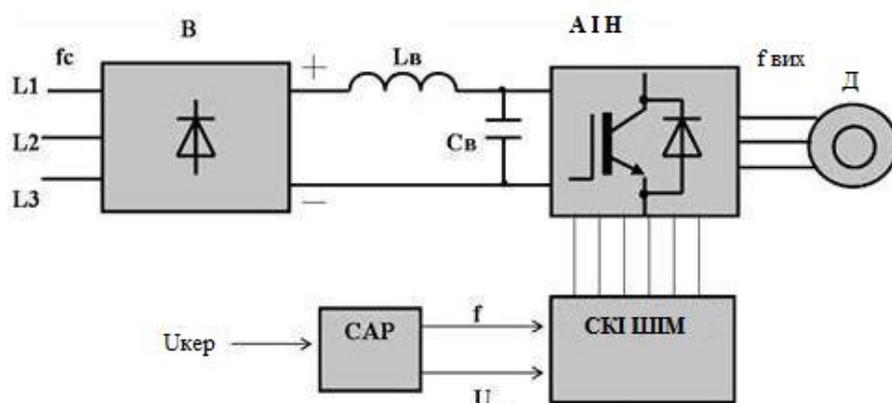


Figure 1.7 Frequency Converter

The duration of these states within the period of PWM is modulated according to a sinusoidal law. At high clock frequencies (usually 2 ... 15 kHz), in windings of an electric motor, due to their filter properties, flowing sinusoidal currents. Consequently, the form of the output voltage curve is a high-frequency two-polar sequence of rectangular pulses (Fig. 1.8).

The pulse frequency is determined by the frequency of PWM, the width of the pulses during the period of the initial frequency of AIN is modulated according to a sinusoidal law. The form of a current curve in the windings of an asynchronous electric motor (output current) is practically sinusoidal.

Adjustment of the output voltage of the inverter can be carried out in two ways: amplitude (AR) by changing the input voltage of UV and pulsed (PWM) by changing the ventilation of V1-V6 ventilation program in $UV = \text{const}$.

In modern frequency converters, the latest control method has been widely distributed and used due to the development of a modern element base (IGBT transistors and microprocessors).

When expensive-pulsed modulation, the shape of the currents in the windings of an asynchronous engine is close to the sinusoidal due to the filtering properties of the windings itself [4, 7, 17].

Such control allows obtaining high efficiency of the converter. This control is equivalent to analog control by frequency and voltage amplitude.

Modern inverters are performed on the basis of full-controlled power semiconductor devices - guiding GTO - thyristors, or bipolar IGBT transistors with an isolated shutter [6].

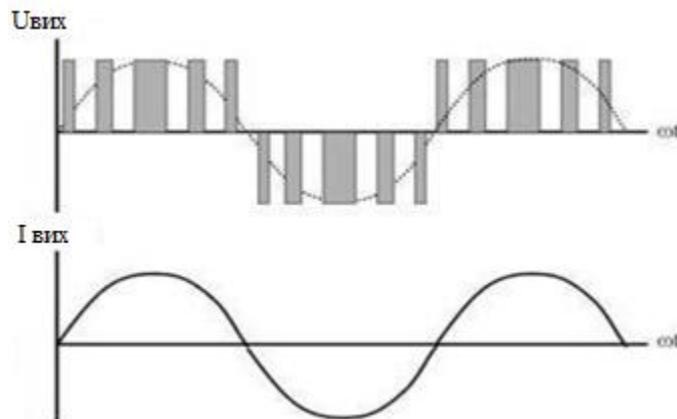


Figure 1.8 Form of curve of output voltage

1.7 Standing the research task

To study dynamic modes, you need to solve the following tasks:

- to analyze the technological process of passenger elevator;
- calculate the moments of static resistance and pre-determine the power of the electric motor;
- justify the choice of the type of current and type of electric drive;
- choose an electric motor and determine the transmitting number of the gearbox;
- calculate the static moments, moments of inertia and coefficient of rigidity of the system of electric drive
- passenger elevator;
- pre-check the engine for heating and productivity;
- compile a structural circuit of the electric drive and calculate its parameters;
- to calculate the static characteristics of the electric drive;
- to build natural characteristics of an asynchronous engine.