

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

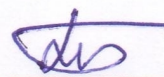
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри


(підпис)

I. С. Білюк

« 16 » 06 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код та назва спеціальності)

освітня програма Електротехніка та електротехнології

(назва освітньої програми)

на тему: «Автоматизація вантажного підйомника складського приміщення»

Виконав: студент IV курсу, групи 4317ст3

Комаров Єгор Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник

ст. викл. каф. автоматики, доц. НУК Фоменко А.М.

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

Нормоконтроль

доц. каф. автоматики, к.т.н., доц., Васильєв О.Г.

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

Рецензент

доц. ка ф. СЕЕС, к.т.н., доц. Новоргецький С.М.

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

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

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2025 року

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра автоматики
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)
Освітня програма «Електротехніка та електротехнології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, к.т.н. доцент

I.C. Білюк

«1» 02 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

Комаров Єгор Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автоматизація вантажного підйомника складського приміщення»

керівник роботи Фоменко Андрій Миколайович, старший викладач, доцент НУК.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 23 » квітня 2025 року
№ 957уч.

2. Строк подання студентом роботи 15.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Двигун змінного струму з потужністю 4,5 кВт і числом обертів 1000 об/хв. Напруга живлення 380 В. Час перехідного процесу не більш 0.15с. Комплектний електропривод фірми Siemens «Micromaster».

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Загальні відомості про вантажні підйомники. 2 Вибір автоматизованого електроприводу, 3 «Micromaster» – комплектний електропривод для автоматизації керування приводом вантажного підйомника складських приміщень. 4 Аналіз динаміки електроприводу вантажного підйомника 5 Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1 Загальний вигляд вантажного підйомника, 2 Загальний вигляд лебідки підйомного механізму, 3 Функціональна схема асинхронного електроприводу 4 Структурна схема асинхронного електроприводу для дослідження динамік, 5 Графіки перехідних процесів електроприводу підйомника

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви- дав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 01.02.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальні відомості про вантажні підйомники.	03.02.25	
2	Вибір автоматизованого електроприводу.	19.02.25	
3	«Micromaster» – комплектний електропривод для автоматизації керування приво-дом вантажного підйомника складських приміщень.	18.03.25	
4	Аналіз динаміки електроприводу вантажного підйомника	22.04.25	
5	Охорона праці.	27.05.25	
6	Графічна частина	30.05.25	

Студент


(підпис)

Комаров Є.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Фоменко А.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 60 с., 5 р., 13 рис., 11 джерел.

Ключові слова: електропривод змінного струму, привод подач, перехідна характеристика, вантажного підйомника складських приміщень, система керування.

Мета роботи – підвищення показників якості системи привода вантажного підйомника складських приміщень. Ціль роботи – розробка автоматичної системи керування приводом вантажного підйомника складських приміщень.

Розглянуто загальний вигляд та кінематику вантажного підйомника складських приміщень. Приведений опис існуючої системи керування. Виявлено основні недоліки, а також запропоновані шляхи вдосконалення даного процесу.

Виконано огляд існуючих схем керування й сформульовані технічні вимоги до нової проекрованої системи. Розроблено схему математичної моделі системи керування.

Для забезпечення високих показників автоматизації керування була обрана система частотного керування асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором, що дозволяє реалізувати задані режими роботи вантажного підйомника.

У роботі також проведено моделювання проекрованої системи, результатом якого є показники стійкості та динамічні показники. Також отримані перехідні характеристики при різних типах роботи привода. Аналіз результатів моделювання показав, що така система повністю задовольняє вимогам технологічного процесу, підтримує постійну швидкість обертання і відробляє задачі вантажного підйомника складських приміщень.

На ряду з цим у роботі розглянуті питання охорони праці.

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Загальні відомості про вантажні підйомники	8
1.1. Класифікація підйомників і вимоги до них.....	8
1.2. Конструкції основних вузлів підйомника	10
1.3. Апаратура автоматичного керування підйомниками.....	15
2. Вибір автоматизованого електроприводу.....	18
2.1. Загальні відомості	18
2.2. Вимоги до регульованого електропривода підйомників.....	19
2.3. Загальний опис автоматизованого електроприводу	20
3. “Micromaster” – комплектний електропривод для автоматизації керування приводом вантажного підйомника складських приміщень	24
3.1. Функції, які виконує комплектний електропривод “Micromaster” ..	27
3.2. Вибір комплектного електропривода “Micromaster”	28
3.2.1. Вибір “Micromaster”	28
3.2.2. Технічні характеристики “Micromaster -420”	31
4. Аналіз динаміки електроприводу вантажного підйомника.....	35
4.1. Розробка структурної схеми електропривода підйомника	35
4.2. Побудова графіків перехідних процесів	46
5. Охорона праці	52
5.1. Аналіз небезпеки і шкідливих факторів що впливають на людину при роботі в цеху.....	52
5.2. Розрахунок захисного заземлення проектованої електроустановки.....	53
Висновки.....	59
Перелік посилань	60
Додаток.....	61

ВСТУП

У зв'язку з інтенсивним будівництвом складських приміщень підвищеної поверховості істотно зростає роль вантажних підйомників масового застосування. Існуючі підйомники складських приміщень до 4 поверхів обладнуються лебідкою з канатоведучим шківом (далі КВШ), черв'ячним редуктором і пружинним механічним гальмом, електроприводом змінного струму з одно- та двошвидкісним асинхронним короткозамкненим двигуном з релейно-контакторним керуванням і регулюванням. Такі електроприводи й пристрої автоматичного керування й регулювання мають великі габарити й масу, велику питому витрату електроенергії, вимагають значних витрат часу й засобів на ремонт. У більш високих будівлях застосовують удосконалені вантажні підйомники, обладнані безредукторною лебідкою з КВШ із пружинним механічним гальмом, тихохідним електроприводом постійного струму з напівпровідниковим автоматичним керуванням і безконтактними пристроями. Такі підйомники забезпечують високу продуктивність, низьку питому витрату електроенергії, високий рівень комфортності, безпеки й надійності.

Разом з тим підйомники з безредукторним тихохідним електроприводом постійного струму мають високу первісну вартість і мають потребу у висококваліфікованому обслуговуючому персоналі. Роботи з удосконалювання електроустаткування проводяться в наступних напрямках:

- 1) розробка нових типів асинхронних електродвигунів підйому на базі електродвигунів серії 4А;
- 2) удосконалювання релейно-контакторних пристроїв автоматичного керування й регулювання шляхом поліпшення їхньої якості, надійності, використання нових принципів дії;
- 3) дослідження й розробка систем керування підйомниками на базі безконтактних дискретних інтегральних мікросхем;

4) дослідження й розробка тиристорного регульованого електропривода змінного струму з асинхронним одношвидкісним короткозамкненим електродвигуном;

5) розробка вдосконалених підйомних лебідок з вмонтованим електродвигуном із зовнішнім ротором;

6) дослідження надійності електроустаткування підйомників.

Експлуатаційними документами нормативний строк експлуатації для підйомників установлюється 25 років. Після закінчення цього строку всі підйомники повинні пройти експертне обстеження. У результаті обстеження експерт може прийняти рішення, на підставі висновку технічного огляду, про часткову модернізацію встаткування підйомників для продовження терміну служби. Із практики проведення експертних обстежень механізмами найбільш підданого зношуванню є низьковольтний комплектний пристрій (НКП) оснащений рележно-контакторною системою керування та лебідка, обладнана двошвидкісним асинхронним електродвигуном.

У даному дипломній роботі буде розглянуте питання модернізації двошвидкісного асинхронного електропривода на асинхронний електропривод із регулюванням напруги для вантажного підйомника вантажопідйомністю 400 кг. швидкістю руху 0,71 м/с. Вимоги ДНАОП 0.00-1.02-99 «Правил будови і безпечної експлуатації вантажних підйомників», далі ПББЕЛ, досить тверді:

середнє прискорення (уповільнення) руху кабіни в експлуатаційних режимах повинно бути не більше – $2,0 \text{ м/с}^2$;

максимальна величина сповільнення руху кабіни від спрацьовування вимикача безпеки повинна бути, не більше – $9,81 \text{ м/с}^2$;

відхилення робочої швидкості руху кабіни від номінальної, у межах 15%;

точність зупинки кабіни в експлуатаційних режимах, у межах 35 мм;

ривок швидкості при перехідних процесах не повинен перевищувати 10 м/с^3 .

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВАНТАЖНІ ПІДЙОМНИКИ

1.1 Класифікація підйомників і вимоги до них

Підйомник являє собою стаціонарний підйомник перериваної дії з вертикальним рухом кабіни або платформи по твердих напрямних, установлюється в обгородженій з усіх боків шахті, обладнаної на посадкових (навантажувальних) площадках дверима, що закриваються.

По призначенню підйомники підрозділяються на пасажирські, вантажопасажирські, лікарняні, вантажні із провідником і без провідника, малі вантажні.

Залежно від робочої швидкості руху кабіни розрізняють наступні категорії підйомників:

- а) тихохідні (до 0,5 м/с);
- б) швидкохідні (до 1,0 м/с);
- в) швидкісні (до 2,5 м/с);
- г) високошвидкісні (понад 2,5 м/с).

Залежно від типу привода підйомника розділяють на електричні й гідравлічні. Найбільше поширення одержали підйомники з електроприводом. У тихохідних і швидкохідних підйомниках звичайно застосовують електропривод змінного струму, у підйомниках швидкісних і високошвидкісних - електропривод постійного струму.

До електроустаткування підйомника масового застосування висувають наступні вимоги:

1) функціональні (або виробничі): безпека обслуговування пасажирів; забезпечення заданої продуктивності, заданої точності зупинки на рівні поверхової площадки (відхилення не більше 35 мм), електричної зносостійкості (не менш 106 циклів «включення — відключення») і ресурсу роботи (20 тис. год.);

2) комфортності: забезпечення припустимого рівня шуму й вібрації

(відповідно до гігієнічних норм); припустиме максимальне прискорення кабіни при пуску або зупинці підйомника в нормальних умовах— 2 м/с^2 ; припустимий максимальний ривок швидкості— 10 м/с^2 ; максимальне прискорення при аварійній зупинці — $9,8 \text{ м/с}^2$;

3) економічні: мінімальна первісна вартість електроустаткування й мінімальні експлуатаційні витрати на нього.

Очевидно, що наведені вимоги в деякому змісті суперечливі. Так, задану (найбільшу) продуктивність підйомника можна одержати або використовуючи швидкісний підйомник, або застосовуючи кілька підйомників з меншою швидкістю руху, або застосовуючи регульований електропривод. Однак у всіх зазначених випадках необхідно збільшувати первісні витрати, що суперечить вимозі економічності. Тому економічність варто розуміти як вимога мінімуму всіх експлуатаційних витрат, що в ряді випадків викликає збільшення первісних витрат, застосування наднадійних напівпровідникових безконтактних елементів.

Виконання вимог по підвищенню економічності й надійності сприяє використанню в підйомниках масового застосування систем керування на дискретних інтегральних мікросхемах і регульованого тиристорного асинхронного електропривода. Тому, незважаючи на деяке збільшення первісних витрат на електроустаткування, безконтактні системи керування підйомниками й електроприводом приводять до значного зменшення експлуатаційних витрат за рахунок різкого збільшення показників надійності.

Застосування систем керування підйомниками на інтегральних мікросхемах і регульованого тиристорного асинхронного електропривода не тільки сприяє досягненню високої продуктивності підйомника за рахунок забезпечення оптимальної тахограми руху кабіни, високої економічної ефективності й високого рівня надійності підйомників, але й підвищує показник комфортності в порівнянні з підйомниками з релейно-контакторним керуванням електроприводом. Так, безконтактні елементи працюють абсолютно безшумно, а тиристорне регулювання асинхронного електродвигуна при пуску, зупинці й у режимі зниженої швидкості при ревізії шахти не приводить до

підвищення рівня шуму. Такі показники комфортності, як обмежені прискорення й ривок швидкості, реалізуються за допомогою регульованого електропривода, що працює зі зворотним зв'язком по швидкості по заданій програмі.

Безпеку обслуговування пасажирів забезпечують спеціальні запобіжні пристрої, що обмежують швидкість руху кабіни при обриві канатів, а також блокування, що перешкоджає пуску кабіни при відкритих дверях шахти або кабіни, при перепідйомі або переспуску кабіни щодо припустимого рівня посадкової площадки й деякі інші, у тому числі протипожежні.

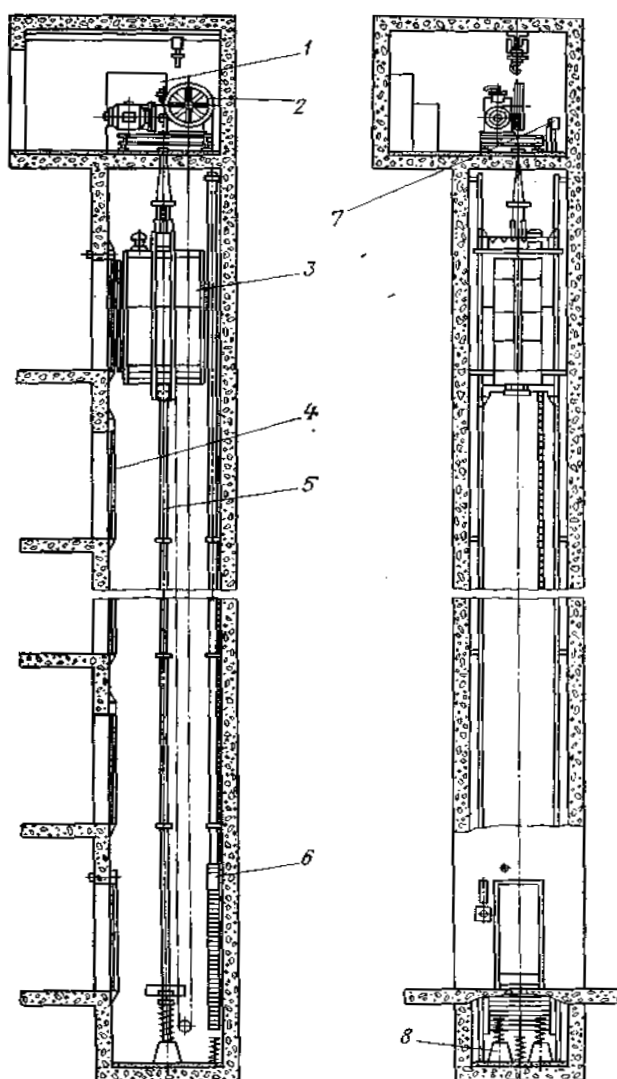


Рисунок 1.1 – загальний вигляд підйомника.

1.2 Конструкції основних вузлів підйомника

Основними вузлами будь-якого підйомника є: станція керування, піднімальний механізм — лебідка, кабіна, двері шахти, напрямні, противага, обмежник швидкості, буфера. Рух кабіни й противаги здійснюється піднімальним механізмом - лебідкою.

Лебідка пасажирського підйомника складається з: асинхронного короткозамкненого електродвигуна, гальмового пристрою, канатоведучого шків, редуктора, рами й амортизатора.

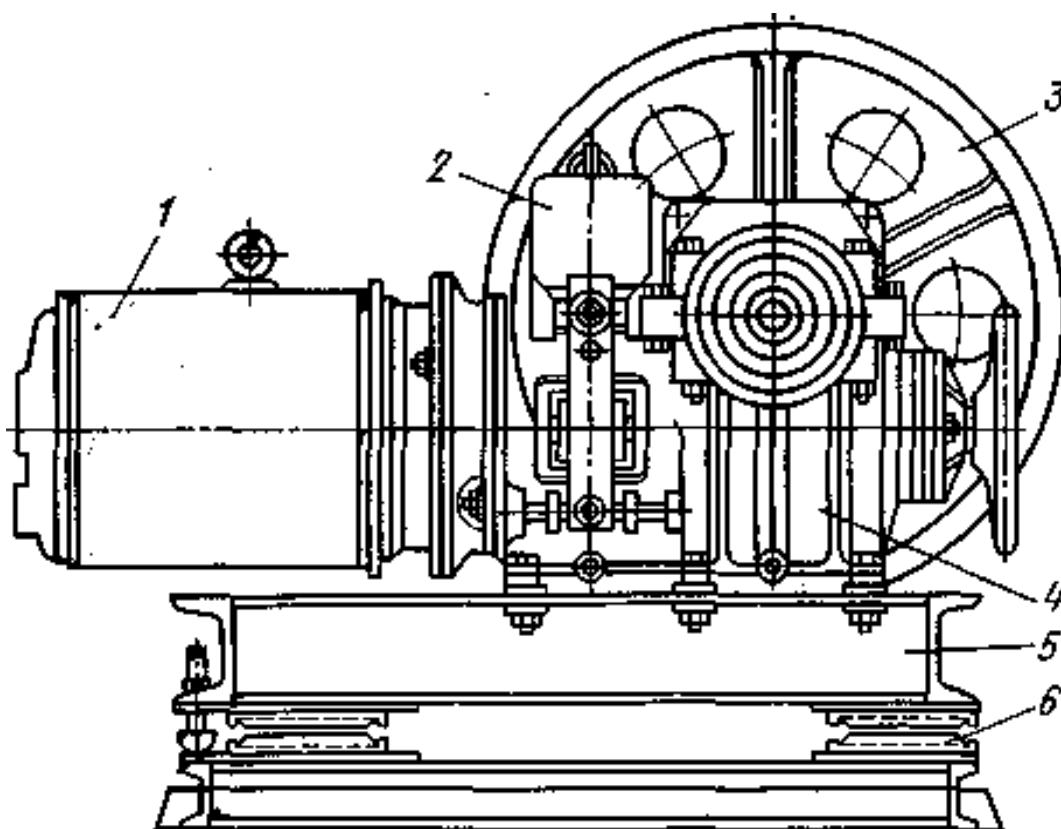


Рисунок 1.2 - Загальний вигляд лебідки підйомного механізму

Редуктор.

Редуктори серії РГЛ складаються з корпусу, кришки, черв'ячного вала, двох радіально-упорних і радіальних підшипників. Радіально-упорний і радіальний підшипники поміщені в спеціальні стакани які кріпляться гайкою. Між радіально-упорними підшипниками встановлені дистанційні кільця, які забезпечують мінімальний (не більше 0,02—0,05 мм залежно від розмірів підшипника й класу його точності) осьовий зазор черв'ячного вала. Для за-

побігання осьових зсувів радіально-упорних підшипників щодо черв'ячного вала служать спеціальні стопорні шайби й гайка. Зсув радіально-упорних підшипників щодо стакану запобігає спеціальна розрізна гайка. Для виключення витоків масла з корпусу редуктора через підшипникові вузли в стакан встановлюються армовані манжетні ущільнювачі. Контрольний штифт служить для точного з'єднання кришки й корпусу редуктора.

Венець черв'ячного колеса кріпиться до вихідного валу болтами. Вал встановлюється в корпусі на конічних роликів підшипниках і фіксується в корпусі кришками фланця. Точність установки середньої площини чорного колеса щодо осі черв'ячного вала досягається за допомогою спеціальних прокладок між фланцями й корпусом. У корпусі редуктора є отвір з патрубками для зливу масла.

Канатоведучі шківи.

Лебідку підйомника виготовляють із канатоведучім шківом, до якого пред'являють ряд вимог; у їхньому числі особливо важливим є надійне забезпечення тягового зусилля в певних межах, що виключає проковзування канатів по шківі в робочих режимах. Тягове зусилля не повинне бути надто великим, тому що це може викликати затягування кабіни або противаги й привести до аварії.

Канатоведучі шківи (обіди шківів) виготовляють із сірого чавуну марки СЧ 45 або зі сталевих лиття марки 55Л.

Електродвигуни.

Підйомник зі швидкістю руху кабіни до 1,4 м/с приводиться в рух трифазним одношвидкісним асинхронним електродвигуном з короткозамкненим ротором типу 4АС112МА6У3.

Гальма.

Лебідка обладнається гальмовим пристроєм з короткоходовим електромагнітом типу МП-201, що являє собою колодкове електромагнітне гальмо замкнутого типу. Він призначений для зупинки й утримання кабіни й противаги при вимиканні електродвигуна.

Основною вимогою до гальма є забезпечення стабільного гальмового

моменту. Гальмо лебідки повинно установлюватися на приводному валу, що має жорсткий кінематичний зв'язок з канатоведучім шківом.

Гальмо складається із двох сталевих важелів, шарнірно прикріплених нижніми кінцями до рами лебідки. У середині кожного важеля є отвір для кріплення колодок. Колодки з важелем з'єднуються шарнірно й мають фіксатор. У верхній частині важеля є отвір з фаскою на внутрішній стороні. Із зовнішньої сторони важеля в цей отвір вставлена опорна втулка, на яку одним кінцем опирається замикаюча пружина гальма. Другий кінець пружини опирається на фасонну шайбу. У шайбу й втулку вставлена шпилька.

На корпусі редуктора крім важелів установлений кронштейн. Шпилька вкручена одним кінцем у кронштейн, на іншому її кінці наварені гайка й контргайка. Гальмовий момент регулюється обертанням цих гайок завдяки зусиллю, створюваному пружиною. У верхній частині кожного важеля є натискний гвинт, за допомогою якого регулюється зазор між колодкою й гальмовим шківом (при виключеному гальмі). На кронштейні шарнірно встановлені двоплечі важелів. Розташування кожного з них таке, що одним плечем він упирається в натискний гвинт, іншим — у шток електромагніта. На кришці електромагніта встановлені два качани між якими поміщений важіль. До диска якоря електромагніта прикріплений упор.

При знеструмленій котушці електромагніта під дією пружин відбувається поворот важелів на деякий кут убік гальмового шківа. У зв'язку із цим колодки шарнірно закріплені на важелях, притискаються до гальмового шківа, загальмовуючи лебідку. Тому що шпильки й шайби пов'язані із кронштейном для гальма, то рух важелів під зусиллям замикаючих пружин може бути спрямовано тільки й сторону гальмового шківа, що забезпечує постійне натискання на нього гальмових колодок. Торкнувшись гальмового шківа, колодки з, повертаючись на осі в потрібному напрямку, і при подальшому натисканні включають у роботу всю робочу поверхню накладки. Коли гальмо замкнено, гвинт упирається в одне із плечей важеля, повертаючи його навколо своєї осі. Друге плече важеля при повороті впливає на шток електромагніта, піднімаючи якір.

Розгальмовування відбувається при подачі струму в котушку електромагніта в результаті чого якір притягається до сердечника котушки, шток натискає на кінці двоплечих важелів які повертаються навколо своїх осей. Повертаючись, кожний із двоплечих важелів натискає вільним плечем на регулювальний гвинт і повертає важіль на деякий кут, відводячи колодки від гальмового шківів. Верхні кінці важелів розходяться в сторони від гальмового шківів, стискаючи пружини. Тягове зусилля електромагніта розраховане на те, щоб перебороти зусилля пружин й опір від тертя в шарнірах.

Гальмові колодки працюють таким чином, щоб вони не могли повернутися навколо своєї осі під дією власної сили ваги й стикнутися одним кінцем з обертовим гальмовим шківом. Для цього у важелі передбачено отвір, куди вставляється фіксатор, що складається із двох циліндричних упорів і пружини. Попередньо підгорнута пружина упорів прагне виштовхнути їх з отвору. Упори під дією пружини впираються торцями в «щічки» колодок. Виникаюче тертя втримує колодку від повороту.

Гальмо підйомника повинно забезпечувати втримання неврівноваженого вантажу й необхідну точність зупинки кабіни. Обиране гальмо перевіряється за умовою

$$\xi = M_T / M_d \geq [\xi],$$

де M_T — гальмовий момент; M_d — момент на валу гальмового шківів від неврівноваженого вантажу; $[\xi]$ — припустимий коефіцієнт запасу гальмового моменту.

Накладки колодкових гальм виконують із фрикційних матеріалів, наприклад з вальцованої стрічки. Вона відрізняється достатньою зносостійкістю й стабільністю коефіцієнта тертя, добре працює в парі із чавунним або сталевим шківом, твердість поверхні якого не нижче HB 250.

Фрикційні накладки кріплять до колодок латунними або алюмінієвими заклепками. Щоб охоронити шків від зношування, головку заклепки «утоплюють» у накладці не менш чим на половину її товщини, при цьому центр заклепки щоб уникнути викрашування повинен відстояти від краю накладки

не менш чим на 15 мм. Відстань між заклепками 80-100 мм. Фрикційні накладки можуть також з'єднуватися з металевою колодкою за допомогою термостійких клеїв. У цьому випадку більш повно використовується фрикційний матеріал і скорочуються експлуатаційні витрати.

Всі елементи лебідки: редуктор з канатоведучим шківом, електродвигун, гальмо, встановлюються на загальній сталевій зварений або литий чавунній плиті (рамі).

Однієї з мір, що забезпечують зниження вібрації лебідки, а також обмеження коливань звукового діапазону, що поширюються по елементах конструкції будинку, є амортизаційний пристрій. Він складається з гумових елементів стиску, встановлюваних безпосередньо між рамою лебідки й підрамником, закріпленим на перекритті.

Кабіна підйомника призначена для розміщення в ній пасажирів і вантажів.

Основною частиною кабін є металевий каркас, що сприймає навантаження. Він складається з горизонтальних верхніх і нижніх швелерів, зв'язаних між собою вертикальними стійками. Стійки кріпляться до верхніх і нижніх швелерів болтами за допомогою косинок. Каркас підвішується до канатів: за допомогою підвіски. Захоплювачі, як правило, розташовуються у середині швелерів верхньої або нижньої балки. Розташування захоплювачів у верхній балці забезпечує зручність їхнього обслуговування. На каркасі встановлюються поперехове відведення й башмаки. Останні забезпечують рух кабін у певному напрямку, вони рухаються по напрямних, встановлених у шахті. Башмаки не повинні допускати зсуву кабін у площині напрямних більш ніж на 2 мм убік і по глибині шахти більш ніж по 1 мм на сторону. Застосовуються башмаки ковзання. При зношуванні вкладиша башмака перший може бути легко замінений. На верхній площині вкладиша є отвори з різьбленням для установки апарата, що змазує.

Пол пасажирського підйомника покривають лінолеумом або іншим рівноцінним матеріалом.

Для запобігання аварійного руху кабін вниз із великою швидкістю

служать захоплювачі, призначені для зупинки кабіни й утримання її в напрямних. При збільшенні швидкості руху кабіни вниз вони приводяться в дію від обмежника швидкості.

Двері. Відповідно до Правил пристрою й експлуатації підйомників кабіна пасажирського підйомника повинна бути обладнана дверима, які можуть бути розсувними й розстібними, що відкривають і зачиняють вручну або за допомогою привода.

У вітчизняному й закордонному пасажирському й вантажопасажирському підйомниках найпоширеніші двостулкові двері кабіни з автоматичним приводом.

Привод дверей розташовується на даху кабіни. Для зменшення вібрації, що виникає при роботі привода, його встановлюють на гумові амортизатори.

Всі підйомники забезпечуються напрямними, які повинні бути міцними й досить твердими, щоб утримувати кабіну й противагу в певнім положенні при завантаженні або розвантаженні, при зсуві центра ваги кабіни, а також утримувати кабіну або противагу при наявності захоплювачів у випадку обриву несучих канатів. Для напрямних використовуються прокатні сталеві профілі, які кріпляться до стінок огороження шахти або до металевого каркаса за допомогою кронштейнів або заставних пристроїв.

Противага підйомника призначена для зрівноважування кабіни й частини корисного вантажу, а також для запобігання проковзування канатів у струмках шківів.

Підйомник обладнають низьковольтним комплектним пристроєм (НКП), що являє собою комплектний пристрій, призначений для дистанційного автоматичного керування підйомником.

1.3 Апаратура автоматичного керування підйомниками

Види застосовуваних апаратів.

У пристроях автоматичного керування широко застосовують електромеханічну, гідравлічну, пневматичну й електронну апаратури, при цьому

найбільше поширення одержала електромеханічна апаратура. Вона являє собою електротехнічні пристрої, призначені для стабілізації або регулювання електричних, механічних й інших навантажень, східчастої й плавної комутації.

Прикладом східчастої комутації є: включення, відключення або перемикавання електричних ланцюгів; включення або відключення гальмового електромагніта.

Стабілізують або регулюють різні величини й параметри автоматичних пристроїв підйомників електричні регулятори й стабілізатори, які можуть бути виконані на реле, логічних елементах, підсилювачах, тиристорних перетворювачах. Регулятори й стабілізатори, побудовані на базі контактних апаратів працюють як дискретні, тобто їх вихідні електричні величини змінюються стрибкоподібно.

Застосування безконтактних апаратів дозволяє створювати регулятори й стабілізатори, що працюють як при стрибкоподібних, так і при плавних змінах електричних сигналів. Найбільш поширеними безконтактними пристроями є дискретні й аналогові інтегральні мікросхеми, логічні елементи, операційні, диференціальні, лінійні й інші підсилювачі. Велике застосування знаходять транзисторні, тиристорні й магнітні підсилювачі, тиристорні оптрони; пропорційні, пропорційно-інтегральні й пропорційно-інтегрально-диференціальні напівпровідникові регулятори; асинхронні й синхронні тахогенератори; індуктивні й фотоелектричні датчики положення й т.д.

Напівпровідникові безконтактні пристрої.

Безконтактні пристрої незамінні в регульованому електроприводі й у сучасних системах керування підйомниками. Вони надійніше контактних і вимагають менших витрат на експлуатацію, а також мають значно менші розміри й масу.

Безконтактні пристрої на відміну від контактних мають комутуючий орган, що представляє собою елемент або групу елементів з нелінійним електричним опором, що змінюється в досить широких межах, для якого характерні два режими - комутаційний і підсилювальний. У першому випадку при

невеликій зміні вхідного сигналу опір комутуючого органа змінюється стрибкоподібно, внаслідок чого й вихідний сигнал змінюється стрибкоподібно; у другому випадку плавній зміні вхідного сигналу відповідає плавна зміна вихідного сигналу.

Безконтактні пристрої мають наступні переваги перед контактними: відсутність іскровідтворення при комутації; більша частота включень або спрацьовувань; відсутність механічного зношування; можливість виконання функцій які неможливо здійснити контактними пристроями.

На основі безконтактних елементів можуть бути створені найрізноманітніші пристрої, блоки й вузли автоматичного керування й регулювання.

Для безконтактної комутації й регулювання силових ланцюгів електропривода й систем автоматичного керування використовують тиристорні перетворювачі, елементами яких є діоди, транзистори, оптрони, тиристори.

У регульованому електроприводі ліфта для одержання сигналу фактичної швидкості необхідний датчик швидкості. Як датчик швидкості застосовуємо малу електричну машину - тахогенератор (синхронний тахогенератор Д-1ММ), який має наступні характеристики:

- коефіцієнт підсилення при холостому ході, $V/(об/хв)$ - 0,008;
- частота, Гц – 0...100;
- максимальна частота обертання, об/хв – 3000.

2 Вибір автоматизованого електроприводу

2.1 Загальні відомості

Залежно від роду струму приводного електродвигуна регульований електропривод підйомників буває змінного струму з асинхронним електродвигуном і постійним струмом із двигуном постійного струму. Регульований електропривод змінного струму з асинхронним двигуном називається тиристорним асинхронним електроприводом внаслідок застосування силових керованих вентилів (тиристорів). Такий електропривод у силу особливостей асинхронного двигуна виконується тільки редукторним, тобто двигун і механізм підйому підйомника зв'язані редуктором (як правило, черв'ячним). Це пояснюється, зокрема, тим, що тихохідний асинхронний двигун має більш складну схему обмотки, низькі енергетичні показники, більші масу й розміри, значно переважаючи ті ж параметри відповідного двигуна постійного струму.

Регульований електропривод постійного струму із двигуном незалежного збудження застосовується тільки на високошвидкісних підйомниках зі швидкістю руху кабіни понад 2 м/с. Розрізняють електроприводи: регульований постійного струму з електромашинним перетворювачем; системи генератор-двигун (Г-Д) з напівпровідниковим керованим перетворювачем; системи тиристорний перетворювач-двигун (ТП-Д).

Перевагами електропривода ТП-Д у порівнянні з електроприводом Г-Д є високий КПД у результаті використання статичного напівпровідникового перетворювача, більше високі швидкодія й надійність, менші експлуатаційні витрати й т.д. Разом з тим застосування тиристорного електропривода приводить до ускладнення схеми керування, зменшенню коефіцієнта потужності, появі радіоперешкод, впливу вищих гармонік напруги й струму на живильну мережу. Використання регульованого електропривода постійного струму (особливо безредукторного) у підйомниках масового застосування недоцільно через його високу вартість (двигун постійного струму в кілька

разів дорожче відповідного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором).

Характерною рисою регульованого електропривода є наявність замкнутих контурів регулювання, що забезпечують реалізацію оптимальних законів руху підйомника. Система регулювання електропривода підйомника може бути одно- й багатоконтурною. В останньому випадку застосовують системи з послідовною корекцією, або, інакше, системи підлеглого регулювання. У кожному разі основним є контур регулювання швидкості руху кабіни (або частоти обертання двигуна). Іншою особливістю регульованого електропривода, пов'язаною з передачею руху від електродвигуна до механізму за допомогою шківа тертя (де не виключається прослизання), є дискретний вплив на систему регулювання у функції шляху руху кабіни. Такі впливи здійснюються двічі протягом одного рейса: у момент початку ввіключення кабіни й досягнення кабіною заданого поверху. Істотною особливістю тиристорного асинхронного електропривода є те, що об'єктом регулювання є асинхронний електродвигун, що представляє собою нелінійну динамічну ланку, описувану більш складними залежностями, чим двигун постійного струму. Застосування дешевого й широко розповсюдженого асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором у регульованому тиристорному асинхронному електроприводі підйомників обумовлює його високі техніко-економічні показники.

2.2 Вимоги до регульованого електропривода підйомників

До регульованого тиристорного електропривода підйомників масового застосування при швидкості руху кабіни не більше 2 м/с крім вимог забезпечення заданої продуктивності, необхідної надійності й мінімуму витрат висувають наступні вимоги:

- 1) забезпечення оптимального руху кабіни підйомника при робочих прискореннях не більше $1,5 \text{ м/с}^2$ і ривках швидкості не більше 10 м/с^3 ;
- 2) точність зупинки кабіни на рівні поверхової площадки повинна бути в межах $\pm 35 \text{ мм}$;

3) піднімальний двигун повинен допускати без небезпечного перегріву розрахункове число 120 включень у годину. У випадку асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором його механічні характеристики повинні забезпечувати формування оптимальних діаграм руху кабіни, а сам двигун повинен мати момент інерції ротора не більше $4 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{Н} \cdot \text{м}$;

4) забезпечення стійкої зниженої швидкості руху кабіни (3-6 разів меншої від номінального значення) для виконання ревізії шахти; у випадку асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором у процесі ревізії двигун не повинен перегріватися понад припустиму температуру.

При розробці тиристорного електропривода змінного струму відповідно до перерахованих вимог варто враховувати функціональну придатність, надійність й економічну доцільність. Із проведених раніше досліджень встановлено, що необхідні показники надійності електропривода можуть бути отримані при застосуванні напівпровідникових апаратів керування асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором і з ізоляцією класу F. Основним комутуючим і регулюючим апаратом в електроприводі є трифазний реверсивний тиристорний регулятор напруги. Пристрій керування комплектується з аналогових і дискретних інтегральних мікросхем, оптронів тиристорів, транзисторів, резисторів, конденсаторів й інших елементів. Напівпровідниковий пристрій, що має більше просту схему й менше число елементів, більш надійно й економічно доцільно. Тому при оптимізації схеми тиристорного електропривода змінного струму і його основних пристроїв необхідно враховувати наступні критерії: 1) їхню функціональну придатність; 2) мінімум елементів і простоту схем.

2.3 Загальний опис автоматизованого електроприводу

Основне завдання при розробці або модернізації електричних схем підйомників - одержання більш високих технічних, експлуатаційних й економічних показників у порівнянні аналогічними показниками експлуатованих моделей. Вона може бути вирішена такими способами:

- 1) застосуванням нових вузлів, деталей і матеріалів, що володіють кращими якісними показниками;
- 2) уніфікацією вузлів, блоків, що дозволяє розширити виробництво уніфікованих виробів і скоротити час їхнього відновлення;
- 3) підвищенням експлуатаційної надійності й безпеки роботи електричних схем і підйомника в цілому;
- 4) зміною конструкції вузлів, що дозволяють застосовувати більше прогресивну технологію при багатосерійному виробництві.

Очевидно, що всі перераховані показники одночасно не можуть бути поліпшені. Однак підвищення надійності й безпеки роботи підйомника є для розроблювача обов'язковою умовою й повинне забезпечуватися без значних витрат.

Найбільше відповідає всім перерахованим вимогам пристрій керування підйомниками серії УЛ «АЕИГ.656353.036» з керуванням напругою асинхронного короткозамкненого двигуна.

Привод забезпечує: максимальну кількість поверхів – 30; максимальну кількість підйомників у групі - 6.

Передбачено наступні варіанти роботи системи керування: одиночна збірка по наказах і по викликах униз (для житлових будівель); одиночна збірка по наказах і по викликах, як униз так і нагору (для адміністративних будівлі); групова (у т.ч. парна) збірка по наказах і по викликах униз (для житлових будівель); групова (у т.ч. парна) збірка по наказах і по викликах, як униз так і нагору (для адміністративних будівлі).

Система керування взаємодіє з наступним електроустаткуванням: кнопки викликів; кнопки наказів; службові кнопки управління поста наказів; спеціальний перемикач із замком; кнопки керування в режимі "Ревізія"; блокувальні вимикачі дверей шахти; блокувальні контакти вимикачів дверей кабіни; вимикачі приводу дверей, що фіксують відкритий і закритий стан дверей (пасажирські підйомники); вимикач реверса дверей (пасажирські підйомники); вимикач "15кг" (наявність пасажирів), "90%" й "110%" завантаження (пасажирські підйомники); блокувальні вимикачі (ловителів, натягу кана-

тів, обмежника швидкості, переспуски й перепідйому) ; ключ блокувальний режиму ревізії (КБР); датчик точної зупинки; датчики вповільнення; датчики положення верхнього й нижнього поверху; датчик протипожежного захисту; датчик сейсмічного захисту; електродвигун головного приводу; електродвигун приводу дверей (пасажирські підйомники); електродвигун вентилятора (у випадку установки); електромагнітне гальмо; перетворювач частоти; індикація.

Пристрій УЛ працює в наступних режимах: керування з машинного приміщення на великій швидкості; керування з машинного приміщення на малій швидкості; навантаження (тільки пасажирські підйомники); нормальна робота; пожежна небезпека.

Переклад підйомники в будь-який режим здійснюється тумблерами режимів, установленими в станції керування УЛ.

Для переходу в режим "ревізія", додатково, необхідно вилучити ключ (КБР) з поста ревізії.

У режим "пожежна небезпека" підйомник переходить автоматично з режимів "нормальна робота" й "навантаження" при надходженні відповідного сигналу із системи пожежної охорони будівлі.

Конструктивно УЛ являє собою шафу з габаритними розмірами 1600х650х250мм (з підставкою).

До складу пристрою входять: клемник; автоматичні вимикачі; трансформатор; діоди, резистори, ємності, світлодіоди: запобіжники; кнопки, тумблери; плати ПТЗ-3,ПУТА-3,ПКТС-2,ПСК-3,ПУ-3, Плата діодів.

Плата температурного захисту А1 ((ПТЗ-3) ФАИД.469135.038) призначена для контролю за температурою двигуна головного приводу, формування постійної напруги +24 В, захисту ланцюгів керування від перевантажень і короткого замикання, контролю одночасного відкриття більш ніж однієї двері шахти й забезпечення телефонного зв'язку.

Плата контролю трифазної мережі А2 ((ПКТС-2) ФАИД.469135.014) призначена для контролю припустимого рівня й правильності чередування

фазних напруг у трифазних ланцюгах змінного струму з лінійною напругою 380 В.

Плата керування АЗ (ПУ-3) ФАИД.469135.035 є центральним програмним пристроєм системи й служить для відпрацьовування всіх алгоритмів як одиночної, так і групової (парної) роботи підйомника.

Плата керування гальмом А4 ((ПУТА-3) ФАИД.469135.036) призначена для керування електромагнітним гальмом і для включення вентилятора двигуна головного приводу.

У даній мікропроцесорній станції використовується матричний метод підключення зовнішніх пристроїв. З'єднання в матрицю дозволяє значно скоротити число проводів від станції керування до зовнішніх пристроїв підйомника.

Схема електричних з'єднань підйомника містить у собі дві матриці МО й М1. Матриця МО має 8 рядків й 22 стовпця й організована таким чином, що комбінація одного з рядків (маркування 501...508) з одним із стовпців (маркування 601...608) становить певну контактну пару, що підключається до зовнішніх пристроїв у шахті й кабіні підйомника. Комбінації однієї з тих же рядків (маркування 501...508) з одним з індикаційних стовпців (маркування 651...664) приєднується до інформаційних пристроїв.

Таким чином на підставі приведенного аналізу, для підвищення показників надійності роботи вантажного підйомника складських приміщень обираємо стандартну систему керування підйомниками, але з заміною системи керування електроприводом. В якості автоматизованого електропривода вантажного підйомника обираємо комплектний електропривод.

3. «MICROMASTER» – КОМПЛЕКТНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ ВАНТАЖНОГО ПІДЙОМНИКА СКЛАДСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ.

Контроль швидкості обертання редуктора підйому будемо виконувати за допомогою комплектного електропривода фірми Siemens «Micromaster».

Частотні перетворювачі на базі силових модулів IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) розраховані на струми до декількох кА і частоти комутації до 30 кГц і вище.

Існує два основних типи частотних перетворювачів — з безпосереднім зв'язком (частота на виході змінюється від 0-33 Гц) і з проміжним контуром (частота на виході змінюється від нуля до декількох тисяч герців). Для зміни швидкості обертання найбільше часто використовують принцип зміни частоти й амплітуди напруги. При регулюванні частоти вниз можна підібрати таке співвідношення f і U , при якому буде підтримуватися максимальний момент двигуна. При регулюванні частоти нагору має місце зниження магнітного потоку, тобто зменшення амплітуди напруги [18].

Велику роль в економії електроенергії й збільшенні ресурсу двигуна має правильний вибір режиму управління двигуном, що сильно залежить від типу навантаження. Залежність між швидкістю обертання й моментом опору неоднакова.

Багато навантажень мають постійний момент у всьому діапазоні швидкості обертання. У деяких споживана потужність залежить від куба швидкості обертання і, отже, теоретично зниження швидкості обертання на 10 % приносить економію 30 % від вихідної споживаної потужності. Найбільш точне й ефективне управління забезпечує режим частотного управління.

Для зупинки чи для уповільнення двигуна крім механічних способів існують і електричні. Найпростіший — це спосіб, коли з двигуна знімають живлення, і він зупиняється по інерції. У цьому випадку час зупинки залежить від багатьох факторів і не піддається регулюванню. Для управління часом

гальмування застосовують генераторний метод. Він полягає в тому, що частотний перетворювач зменшує вихідну частоту до необхідного значення (енергія повертається в первинну мережу). При великому моменті або при швидкій зупинці, щоб уникнути перегріву й виходу з ладу внутрішнього контуру використовують зовнішній навантажувальний опір, що є недоліком даного режиму. При динамічному гальмуванні з однієї – двох фаз знімають перемінну напругу і подають постійну — при цьому способі не потрібен зовнішній опір. Але ефективність гальмування складає 30 - 40 % у порівнянні з генераторним способом і час гальмування не регулюється. У частотних перетворювачах використовують комбінований метод, що включає в себе всі переваги вищеописаних методів [19].

Велика кількість перетворювачів «Micromaster», вироблених фірмою Siemens, дозволяють виконувати керування двигунами з однофазною та трифазною напругою живлення й потужністю від 7,5 кВт до 250 кВт.

На сьогоднішній день фірма Siemens входить у число найбільших світових виробників електротехнічного устаткування й засобів автоматизації. Вона пропонує широкий спектр продукції: системи автоматизації підприємств; телекомунікації; енергетика; медицина; транспорт; освітлення.

Завдяки сучасним алгоритмам частотного управління і великим функціональним можливостям, перетворювачі «Micromaster» допомагають реалізувати одно- і багатодвигунові частотно-регульовані електроприводи для механізмів із будь-яким характером навантаження. Наявність ручного й автоматичного режимів управління від ПК, панелі оператора дозволяють вмонтувати електропривод в автоматизовані системи будь-якої складності.

Асинхронні частотно-регульовані приводи (АЧРП) забезпечують плавне регулювання швидкості обертання стандартних промислових асинхронних електродвигунів потужністю від 7,5 до 250 кВт у широкому діапазоні частот (від 0,1 до 120 Гц). Застосування АЧРП дозволяє оптимізувати режим роботи (продуктивність) промислової установки чи агрегату відповідно до виробничого завдання поточних параметрів технологічного процесу. При цьому економія електроенергії досягається за рахунок роботи електропри-

вода установки (агрегату) на знижених оборотах у тих випадках, коли виробнича програма чи процес не вимагають постійної роботи механізму, що приводиться з максимальною продуктивністю [19].

Фірма Siemens випускає різні типи «Micromaster».

Перетворювачі частоти серії «Micromaster-410» застосовуються для зміни й регулювання швидкості обертання низьковольтних двигунів змінного струму з навантаженням постійного типу (конвеєри, привода автоматичних дверей і т.д.) або вентиляторного типу (відцентрові насоси, вентилятори й т.д.)

Перетворювачі частоти серії «Combimaster-411» та «Micromaster-411» застосовуються для регулювання обертів двигуна в тих же випадках, що й серія «Micromaster» і представляють оригінальне рішення у вигляді компактного модуля: комбінація перетворювача частоти від Siemens і низьковольтного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором від Siemens. Перетворювачі частоти серії «Micromaster-411» розроблені з урахуванням можливості монтажу на двигуни різних виробників: українських, російських і закордонних.

Перетворювач «Micromaster-420» може використатися для рішення численних завдань, що вимагають застосування приводів зі змінюваними швидкостями обертання. Найбільше він підходить для використання в насосах, вентиляторах і підйомно-транспортній техніці

Перетворювачі частоти серії «Micromaster-440» з Vector Control Sensorless (спосіб векторного регулювання без датчиків), застосовуються для зміни й регулювання швидкості обертання низьковольтних двигунів змінного струму з навантаженням постійного або вентиляторного типу, для процесів з високою динамікою й підвищеними вимогами до стартового моменту й перевантаження [19].

Перетворювачі «Micromaster-430» є трифазними перетворювачами частоти для регулювання швидкості обертання двигунів змінного струму.

Перетворювачі «Micromaster-430» по своїм функціям і налаштуванням у першу чергу призначаються для використання з насосами, вентилятора-

ми, промисловими механізмами, в яких основним керуючим параметром виступає швидкість обертання. Перетворювачі оснащуються мікропроцесорним керуванням і відрізняються найсучаснішою технологією IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor = біполярний транзистор з ізольованим керуючим електродом). Завдяки цьому вони надійні й універсальні. Спеціальна методика широтно-імпульсної модуляції з регульованою частотою імпульсів забезпечує безшумність роботи двигуна. Численні функції захисту чудово захищають перетворювач і двигун.

3.1. Функції, які виконує комплектний електропривод «Micromaster»

«Micromaster» - надійний комплектний електропривод, призначений для всіх типів трифазних асинхронних двигунів великої потужності. Він втілює в собі новітні технології й інноваційні функції, що відповідають найбільш частим застосуванням.

Перетворювач «Micromaster» має конфігурації, орієнтовані на конкретні типи загальнопромислових механізмів, що містять невелике число базових параметрів. Вони набудовуються за бажанням за допомогою термінала програмування, що дозволяє створювати додаткові функції.

Перетворювач перекидає діапазон потужностей від 7,5 до 250 кВт для єдиної гами напруг від 380 до 480 В.

Багатофункціональність перетворювача не заважає йому залишатися простим у налаштуванні. Введення параметрів двигуна й автопідстроювання достатні для одержання збільшеного моменту і відмінної якості регулювання навіть на дуже низьких швидкостях обертання ($<0,5$ Гц).

Основними функціями комплектного електропривода є: пуск і регулювання швидкості двигуна; прискорення, зупинка; захист двигуна й перетворювача і т.д.

До сервісного обслуговування входять: прикладні спеціалізовані карти; прикладні програми; автопідстроювання до двигуна; автоматичне підст-

роювання частоти модуляції; енергозберігаючий режим; автоматичний повторний пуск; підхоплення на ходу; переключення двигунів і блоків параметрів; двох- і трипровідне керування; автоматичний задатчик; фіксовані установки швидкості; переключення темпів розгону-гальмування; адаптація темпів розгону-гальмування; пропуск частотних вікон; покрокова робота; управління зупинкою двигуна; управління гальмом; обмеження моменту двигуна; ПІД-регулювання технологічних перемінних.

Для електродвигунів із природною вентиляцією, охолодження зв'язане з їхньою швидкістю обертання. Це приводить до необхідності зниження навантаження при швидкостях, менших номінальної швидкості. Для настроювання теплового захисту двигуна бажано мати інформацію від виготовлювача про значення теплової постійної часу.

3.2. Вибір комплектного електропривода «Micromaster»

3.2.1. Вибір «Micromaster»

Сьогодні для регульованого електропривода перемінного струму компанія Siemens пропонує:

Системи автоматизації: системи автоматизації «Simatic»; мікросистеми «LOGO», «S7-200»; системи керування «Simotion»; системи ЧПК «Sinumerik»; системи керування «Simadyn»; системи керування процесами «PCS7»; система керування виробництвом «Simatic IT»; промислові мережі «Simatic NET»; системи людино-машинного інтерфейсу «Simatic HMI»; автоматизація на базі ПК.

Приводна техніка: низьковольтні двигуни змінного струму менше 200 кВт; низьковольтні двигуни змінного струму більше 200 кВт; високовольтні двигуни змінного струму; генератори; двигуни постійного струму; децентралізовані перетворювачі; високовольтні перетворювачі; перетворювачі змінного струму «Micromaster», «Sinamics G110»; верстатні перетворювачі «Simodrive» і серводвигуни; промислові приводи «Masterdrives», «Sinamic

S120»; перетворювачі змінного струму великої потужності «Masterdrives», «Sinamic G150/G130»; перетворювачі постійного струму; інженерне програмне забезпечення; плавний пуск.

У номенклатурі сучасної техніки, що випускається ведучими електротехнічними фірмами, група перетворювачів частоти з проміжною ланкою постійного струму й автономним інвертором напруги із широтно-імпульсною модуляцією вихідної напруги є найбільш масовою. Частотно-регульований електропривод з асинхронними й синхронними двигунами на їхній основі займає ведучі позиції в автоматизації виробництва. При цьому велика частина впроваджуваних приводів приходить на діапазон потужностей від одного до кількох сотень кВт. За прогнозами фахівців ринок регульованих електроприводів цього року зросте до 1,5 млрд. USD, причому понад 70 % продажів складуть приводи потужністю від 0,75 до 75 кВт [20].

1 жовтня 1997 року в рамках фірми Siemens було створено Департамент «Техніка автоматизації й приводи». У сферу компетенції цього департаменту увійшли такі напрямки, як техніка автоматизації, приводи, комутаційна електротехніка.

Зараз фірма Siemens пропонує сімейство комплектних приводів «Micromaster», що включає в себе серії: «Micromaster-410» - потужністю від 0,12 до 0,75 кВт; «Micromaster-411» - потужністю від 0,12 до 0,75 кВт; «Micromaster-420» - потужністю від 0,12 до 11 кВт; «Micromaster-430» - потужністю від 7,5 до 250 кВт; «Micromaster-440» - потужністю від 0,12 до 250 кВт.

Основні зусилля розроблювачів були спрямовані на розширення споживчих властивостей і збільшення надійності нового покоління перетворювачів за рахунок удосконалювання апаратних і програмних засобів.

Забезпечення високих масогабаритних, енергетичних і експлуатаційних показників нового сімейства досягнуто, насамперед, за рахунок:

- застосування вискооефективного охолодження при малогабаритних радіаторах; упровадження прогресивних конструктивних рішень, спрямованих на зменшення відстані між ПЧ і двигуном. Новітні моделі випускаються не тільки в традиційному виконанні з охолодни-

ми радіаторами, але і без них для установки ПЧ на корпусі механізму чи в герметичній шафі. Ще одна новинка – комплектні перетворювачі, тобто ПЧ у захисному кожусі з вбудованим вимикачем, мережним чи вихідним контактором, мережним дроселем, а також елементами локального управління - потенціометром, і перемикачем напрямку обертання. Дане рішення в порівнянні з бортовими перетворювачами (ПЧ, убудованими в клемну коробку двигуна) не має обмежень по потужності і значно спрощує процес введення в експлуатацію. Крім того, в умовах зростаючого попиту на постачання апаратно-програмних комплексів систем частотного регулювання комплектні ПЧ є ідеальною основою для їхньої побудови [20].

Нове покоління перетворювачів «Micromaster» володіють більш новішими програмними засобами, які відрізняються наступними характеристиками:

- розширені функціональні й сервісні можливості орієнтовані на конкретний тип загальнопромислового механізму. Кожна програма поєднує ряд прикладних функцій, визначає настроювання параметрів і призначення аналогових і дискретних входів-виходів, набагато спрощуючи процес настроювання й введення в експлуатацію електропривода. Можливості базового блоку можуть бути значно розширені при використанні карт розширення входів-виходів;
- прекрасні статичні й динамічні характеристики електроприводів завдяки реалізації поліпшених алгоритмів частотного управління. У модифікаціях перетворювачів «Micromaster» із частотним управлінням з датчиком швидкості динамічні можливості такі, що їх успішно можна використовувати у швидкодіючих високоточних електроприводах;
- розширені діалогові можливості, забезпечувані інтелектуальними пультами управління й програмування перетворювачів;
- універсальні можливості по керуванню ПЧ від комп'ютерів і промислових контролерів, обумовлені наявністю убудованих послідо-

вних інтерфейсів «BOP-2» і «PROFIBUS», а також комунікаційних карт, що підтримують стандартні протоколи зв'язку [20].

Таким чином, комплектні привода «Micromaster» відрізняються:

- компактністю і надійністю, завдяки застосуванню найсучаснішої елементної бази;
- багатофункціональністю, яка забезпечується великим числом прикладних програм і спеціалізованих карт;
- різноманіттю конструктивних варіантів виконання;
- розширеними діалоговими і комунікаційними можливостями.

Розглянув моделі перетворювачів типу «Micromaster», вибираємо перетворювач відповідно необхідної потужності та габаритних розмірів «Micromaster-420». По своїм технічним характеристикам і виконуваним функціям він підходить для управління обраним нами електродвигуном потужністю 4,5 кВт і числом обертів 1000 об/хв.

3.2.2. Технічні характеристики «Micromaster-420»

Перетворювач «Micromaster-420» може використатися для рішення численних завдань, що вимагають застосування приводів зі змінюваними швидкостями обертання. Його гнучкість забезпечує широкий спектр застосувань. Перетворювач «Micromaster-420» відрізняється високою продуктивністю й комфортабельним використанням. У перетворювачі збільшена кількість цифрових і аналогових входів/виходів, Так само до перетворювача поставляється базова панель оператора «BOP-2» з функцією вибору режимів ручний/автоматичний [21].

Конструкція «Micromaster-420» має модульну конструкцію. Пульт керування й комунікаційних модулів можуть бути замінені без застосування якогось-небудь інструмента.

Основні особливості:

- просте введення в експлуатацію; особливо гнучка конфігурація завдяки модульній конструкції; шість вільно параметруємих, потенційно розв'язаних цифрових входів; два аналогових входи (від 0 до 10 В, 0 мА до 20 мА), можуть на вибір бути використані в якості 7-го й 8-го цифрових входів; два параметричних аналогових виходи (від 0 мА до 20 мА); три параметричних релейних виходи (DC 30В/5А, омичне навантаження, AC 250В/2А, індуктивне навантаження); безшумна робота двигуна завдяки високій частоті імпульсів; захист двигуна й перетворювача; реалізовано режим керування каскадним запуском трьох додаткових двигунів; режим енергозбереження.

Міжнародні норми:

- перетворювачу «Micromaster-420» привласнений знак відповідності нормам електромагнітної сумісності й правилам для низької напруги; c-tick;

Приналежності (огляд):

- LC-фільтр; дросель комутації мережі; вихідний дросель; захисний кожух; базова панель оператора «Basic Operator Panel 2» («BOP-2») для параметрування перетворювача; комунікаційний модуль «PROFIBUS-DP»; комунікаційний модуль «DeviceNet»; комунікаційний модуль «CANopen»; модуль зв'язку з персональним комп'ютером (ПК); монтажний комплект для установки панелі оператора у двері шафи керування; РС – програми запуску в експлуатацію в середовищі Windows 95/98 і NT/2000.

Механічні параметри:

- модульне виконання; робоча температура -10 °С... +40 °С; компактний корпус завдяки високій питомій потужності; просте підключення мережних кабелів і кабелів двигунів для оптимальної електромагнітної сумісності; знімна панель оператора; керуюча клемна колодка без гвинтів.

Силові параметри:

- новітня технологія IGBT; цифрове мікропроцесорне керування; пряме керування потоком двигуна (FCC), для поліпшення динамічних характеристик і оптимального керування двигуном; U/f-керування лінійне; U/f-керування квадратичне; параметрична крива залежності U/f; режим енергозбереження (зупинка, при роботі на малих частотах); «підхоплення на ходу»; компенсація ковзання; функція вибору режимів: ручний/автоматичний; автоматичний повторний запуск при проваллі мережі або порушеннях режиму роботи; каскадний запуск (керування через вихідні реле включенням і відключенням додаткових (до 3-х) двигунів); високоякісний PID контролер (з автонастроюванням) для простого керування виробничими процесами; параметричний час розгону й гальмування в межах 0 ... 650 с; згладжування кривої пуску; швидкодіюче струмообмеження (FCL) для безаварійної роботи; швидкодіюче опитування цифрових входів; точне введення заданого значення завдяки 10-бітному аналоговому входу; комбіноване гальмування, для контрольованої швидкої зупинки; 4 частоти пропущення проти резонансу; «Y» - конденсатор, який можна демонтувати, для використання в мережі з ізольованою нейтраллю ІТ (при використанні перетворювача в мережах з ізольованою нейтраллю «Y» конденсатор віддаляється). Потрібна установка вихідного дроселя [21].

Захисні параметри:

- перевантажувальна здатність; VT (змінне навантаження).

Режими:

4 кВт ... 11 кВт 1,4 · номінальний вихідний струм протягом 3 с.
 1,1 · номінальний вихідний струм протягом 60 сек.,

- захист від перенапруги й зниженої напруги; захист від перегріву перетворювача; захист двигуна за допомогою підключення терморезистора; захисне заземлення; захист від короткого замикання; тепловий захист двигуна i^2t ; захист від блокування двигуна; захист від

зміни параметрів; захист від перекидання. Загальні технічні характеристики електропривода «Micromaster-430» представлені в додатку А.

Фільтр ЕМС класу В.

Фільтри класу виробництва фірми FaSchaffner. Для виконання вимог по ЕМС потрібно використати екранований кабель із довжиною від 25 до 50 м. Із цим фільтром ЕМС перетворювач відповідає нормам випромінювання EN 55011, клас В [21].

Струми витоку.

Струм витоку для перетворювачів у середньому близько 30 мА. На практиці це значення коливається від 10 до 50 мА. Конкретне значення струму витоку залежить від умов експлуатації й довжини кабелю. Робота перетворювача із пристроями, які мають рівень спрацьовування на струм витоку до 30 мА не гарантується. Однак пристрої спрацьовування, що мають поріг, 300 мА можуть використатися з перетворювачами.

Вхідний дросель.

Дросель застосовується для зменшення піків напруги. Додатково, вхідний дросель зменшує вплив вищих гармонік з мережі на перетворювач і назад. Якщо мережний імпеданс $< 1\%$, то необхідно використати дросель комутації мережі, щоб понизити кидки струму.

LC-фільтр.

Фільтр LC обмежує крутість наростання напруги і ємнісних струмів перезаряду, які з'являються, як правило, при роботі перетворювача. Тому можливо використати істотно більш довгі екрановані кабелі двигуна при роботі з LC-фільтром і термін служби двигуна досягає тих же значень, як при роботі безпосередньо від мережі.

4 АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВАНТАЖНОГО ПІДЙОМНИКА

4.1 Розробка структурної схеми електропривода підйомника

Характерною тенденцією автоматизованого електроприводу є все більш широке застосування асинхронних двигунів (АД). Ці двигуни технічно простіші і надійніші в експлуатації, можуть тривало працювати при підвищених швидкостях і температурах, в агресивних і вибухонебезпечних середовищах, для їх виготовлення потрібно менше кольорових металів, вони мають менші масу, габарити і вартість. Розширюються можливості і систем керування асинхронних електроприводів за рахунок створення керованих перетворювачів напруги і частоти, а також мікропроцесорних пристроїв з високою швидкодією і великим об'ємом пам'яті.

Зміна напруги на статорі АД викликає зміну його електромагнітного моменту і, у результаті, кутовій швидкості двигуна. У розімкненій системі асинхронного електроприводу ефективність такого регулювання швидкості обмежена малим діапазоном стійких режимів роботи двигуна. Розширити функціональні можливості асинхронного електроприводу можна в замкнених системах, використовуючи залежно від технічних вимог різні види зворотних зв'язків, наприклад за швидкістю, напрузі і струму статора АД.

На рис. 4.1 приведена функціональна схема такої системи регулювання швидкості АД. Тут зміна значення першої гармоніки діючої напруги U_1 на статорі АД з частотою живлячої мережі здійснюється зміною кута регулювання α перетворювача тиристора напруги (ТПН) на базі тиристорів, включених по зустрічно-паралельній схемі в кожен фазу статора АД. Кут α формується в системі імпульсно-фазового керування (СІФК) ТПН і змінюється залежно від напруги керування u_{PT} на виході регулятора струму (РТ). Напруга зсуву u_{CM} в СІФК задає кут $\alpha = \alpha_{max}$, при якому забезпечуються мінімальна вихідна напруга ТПН і момент пуску АД в режимі його холостого ходу. На вході РТ підсумовується напруга u_{PC} регулятора швидкості (РС) і негативного зворотного зв'язку по струму u_{OT} з відсіченням, реалізованим на основі трансформаторів струму T_a , T_b , T_c , випрямного моста (ВМ), потенціометра

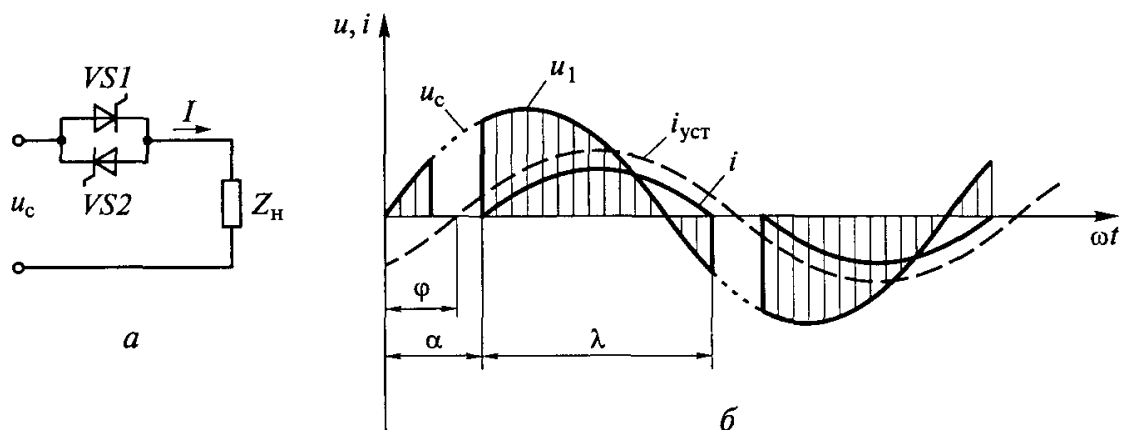


Рисунок - 4.2. Однофазна схема заміщення (а) і діаграми напруги і струмів для однієї фази ТПН (б)

Для симетричного навантаження, коли результуючі опори обмоток статора і ротора всіх фаз АД однакові, тобто $Z_{HA} = Z_{HB} = Z_{HC} = Z_H$, режим роботи ТПН визначається відповідно до однофазної схеми заміщення, показаної на рис. 4.2, а. Якщо в цій схемі умовно замкнати тиристори VS1 і VS2, то при активно-індуктивному навантаженні $Z_H = \sqrt{R_H^2 + (\omega L_H)^2}$ сталий струм в даному ланцюзі

$$i_{уст} = \frac{U_m}{Z_H} \sin(\omega t - \varphi),$$

де U_m — амплітудне значення напруги мережі; α — кут відставання струму від напруги мережі u_c , $\alpha = \omega L_H / R_H$ (рис. 4.2, б). Такий струм протікатиме в навантаженні, якщо VS1 і VS2 відкривати в кожен напівперіод точно в моменти часу, відповідні куту $\alpha = \varphi$. Якщо $\alpha > \varphi$, то струм і напруга навантаження визначатимуться наступними виразами [10]:

$$i = \frac{U_m}{Z_H} [\sin(\omega t - \varphi) - \sin(\alpha - \varphi) e^{-(\omega t - \alpha)/\text{tg} \varphi}];$$

$$u = U_m \sin \omega t \text{ при } \alpha \leq \omega t \leq \alpha + \lambda;$$

$$i = 0 \text{ и } u = 0 \text{ при } \alpha + \lambda - \pi < \omega t < \alpha.$$

Кут провідності тиристорів λ залежить від α і φ і може бути визначений для $i = 0$ при $\omega t = \alpha$ і $\omega t = \alpha + \lambda$ з рівняння $\sin(\alpha + \lambda - \varphi) = \sin(\alpha - \varphi) e^{-\lambda/\text{tg}(\varphi)}$.

Звідси максимальне значення кута провідності рівне π при $\alpha = \varphi$, а мінімальне рівне 0 при $\alpha = \pi$. При збільшенні кута α від φ до π середнє за напівперіод значення напруги навантаження змінюватиметься від найбільшого значення $2U_m/\pi$ до нуля. У загальному випадку відношення амплітуди першої гармоніки напруги навантаження U_{m1} до номінальної напруги мережі $U_{ном}$ є функцією змінних α і φ (рис. 4.3, а).

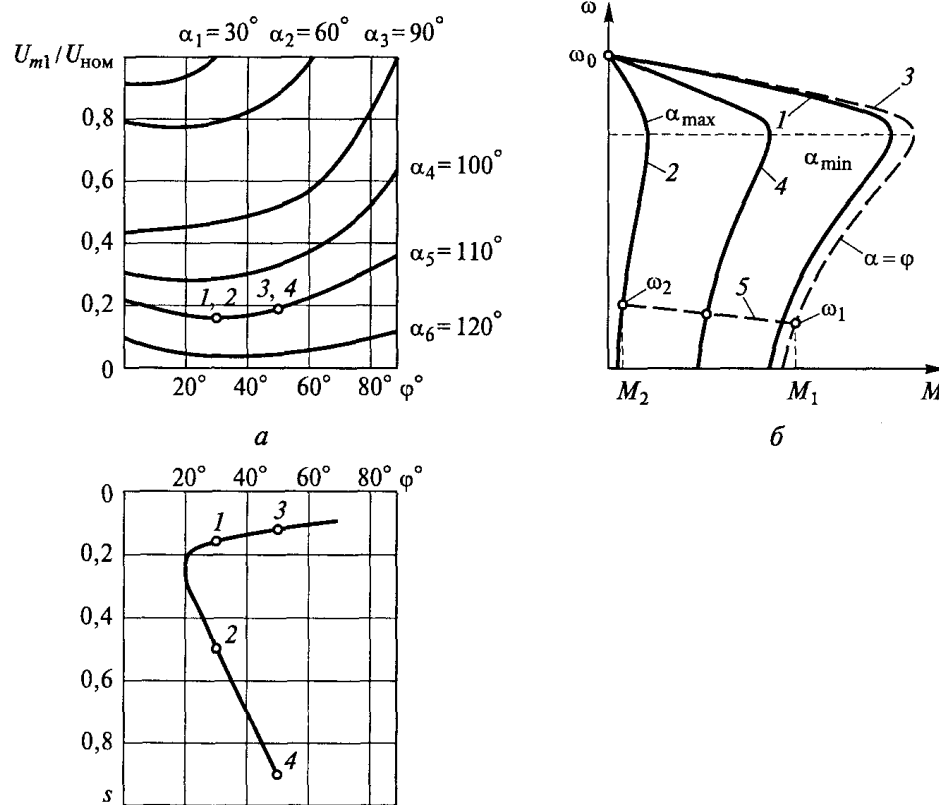


Рисунок - 4.3. Залежності вихідної напруги ТПН від його кутів керування і навантаження (а), механічні характеристики АД (б) і залежність кута навантаження від ковзання АД (в)

Механічні характеристики АД в розімкненій системі для різних значень кутів регулювання ТПН приведені на рис. 4.3, б. Граничні характеристики 1 і 2 відповідають мінімальним $\alpha_{min} = \varphi_{min}$ і максимальному α_{max} значенням кута регулювання, механічна характеристика 3 — умові $\alpha = \varphi$, а характеристика 4 — проміжному значенню $\alpha_{min} < \alpha < \alpha_{max}$. При постійності ковзання АД його електромагнітний момент пропорційний $(U_{m1}/U_{ном})^2$. Оскільки індуктивна складова результуючого навантаження Z_H ТПН залежить від ковзання двигуна s , то і кут φ є функцією ковзання. Залежність $\varphi(s)$ (рис. 4.3, в) взаємоз-

в'язана з механічною характеристикою АД, і при постійності кута α і навантаження на валу двигуна є однакові значення φ при різних значеннях ковзання (точки 1, 2 і 3, 4 на рис. 4.3, а, в).

Синтез регуляторів швидкості і струму в замкнутій системі регулювання швидкості АД доцільно починати з умов статички.

Статичні регулювальні характеристики окремих елементів електроприводу, схема якого приведена на рисунку 4.1, дані на рисунку 4.4. Вони є залежностями вихідної напруги регулятора швидкості u_{PT} від напруги u_{3c} на виході ЗВ (система координат u_{3c} , u_{PT}), вихідної напруги регулятора струму u_{PT} від напруги u_{PC} (система координат u_{PC} , u_{PT}) і кута регулювання ТПН α від напруги u_{PT} (система координат u_{PT} , α).

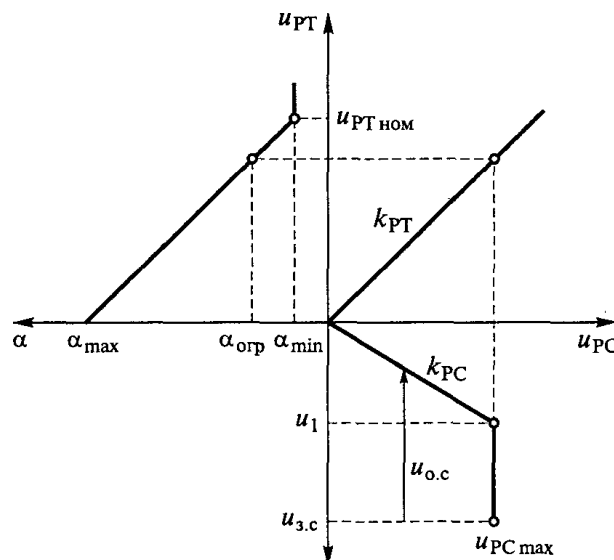


Рисунок - 4.4. Регулювальні характеристики елементів системи керування електроприводом

При лінійних регулювальних характеристиках РС, РТ, СІФК і дій зворотних зв'язків за швидкістю і струму АД кут регулювання ТПН

$$\alpha = k_{\alpha} \{ u_{cm} - k_{PT} [k_{PC} (u_{3c} - k_{oc} \omega) - k_{от} (I_1 - I_{отс})] \}, \quad (4.1)$$

де k_{α} — передавальний коефіцієнт СІФК; k_{PT} , k_{PC} , k_{oc} , $k_{от}$ — коефіцієнти посилення РТ, РС і зворотних зв'язків за швидкістю і струму.

Якщо в замкнутій системі регулювання швидкості задається механічна характеристика двигуна з бажаною жорсткістю $\beta_{жел}$, то коефіцієнт посилен-

ня РС без урахування дії струмового відсічення може бути визначений виходячи з (4.1) як

$$k_{PC} = \frac{\alpha_{\max} - \varphi_1}{k_{\alpha} k_{PT} k_{o.c} (\omega_2 - \omega_1)}, \quad (4.2)$$

де ω_1 — задана швидкість двигуна на його механічній характеристиці 1 (див. рис. 4.3, б) при $\alpha = \varphi_1$; ω_2 — швидкість на граничній характеристиці 2 при $\alpha = \alpha_{\max}$ ($\omega_2 = \omega_1 + (M_1 - M_2)/\beta_{\text{жел}}$).

Підстановка (4.2) в (4.1) дозволяє визначити напругу $u_{зс}$ Іля швидкості, що задається:

$$u_{з.с} = k_{o.c} \frac{\alpha_{\max} \omega_1 - \varphi_1 \omega_2 + k_{\alpha} u_{см} (\omega_2 - \omega_1)}{\alpha_{\max} - \varphi_1}. \quad (4.3)$$

Напруга насичення РС $u_{\text{нас}} = u_{PC\text{max}}$ визначає значення $\alpha_{\min}$, відповідне граничному по максимальному моменту механічній характеристиці 3 (див. рис. 4.3, б). Проміжні точки механічної характеристики 5 для замкнутої системи регулювання швидкості при отриманих по (4.2), (4.3) значеннях k_{PC} і $k_{зс}$ визначаються за допомогою механічних характеристик розімкненої системи електроприводу для ряду значень α в діапазоні від $\alpha_{\min}$ до $\alpha_{\max}$. По вибраному значенню α за допомогою регулювальних характеристик СІФК, РТ і РС (див. рис. 4.4) визначаються напруга u_y на вході РС і швидкість $\omega = (u_{зс} - u_y)/k_{oc}$. Потім набутого значення ω визначається на механічній характеристиці 4, відповідною даному куту α (рисунок 4.3, б).

При $I > I_{отс}$ починає діяти негативний зворотний зв'язок по струму статора, підтримуючи його на рівні $I_{отс}$ за рахунок зниження вихідної напруги ТПН (електромеханічні характеристики 1, 2, 3, 4 рисунок 4.5, а). Лінія 1 на рис. 4.5, б відображає вид механічної характеристики двигуна при $I_{отс} = \text{const}$. Точки перетину цієї лінії з механічними характеристиками електроприводу при різній нарузі завдання швидкості $u_{зс1}$, $u_{зс2}$, $u_{зс3}$, $u_{зс4}$ відповідають точкам перетину лінії постійності $I_{отс}$ з електромеханічними характеристиками АД при тих же завданнях швидкості (рисунок 4.5, а).

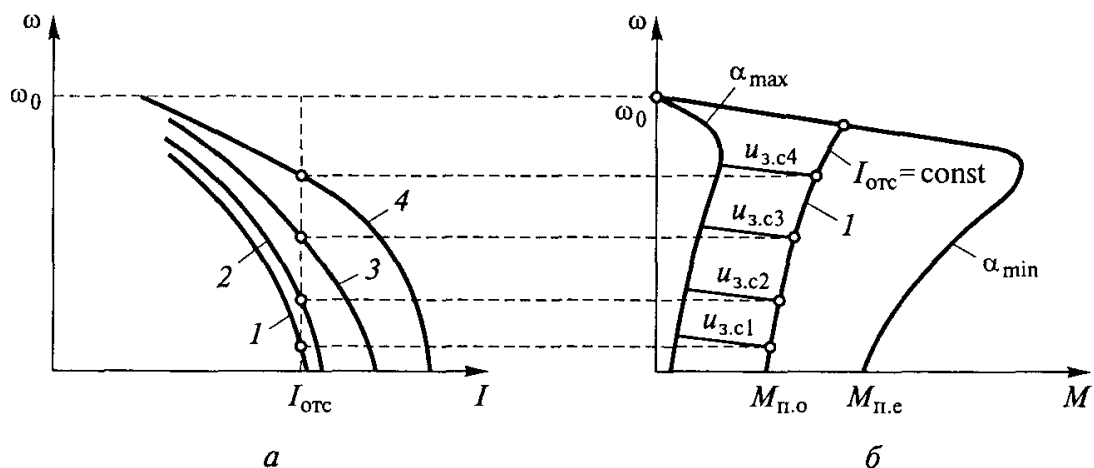


Рисунок 4.5 - Електромеханічні (а) і механічні (б) характеристики АД при $I > I_{отс}$

Як видно на рисунку 4.5, б, пусковий момент АД $M_{п0}$, відповідне режиму струмообмеження двигуна, менше пускового моменту $M_{пс}$ для механічної характеристики АД. Визначити швидкість АД $\omega_{огр}$, при якій починає діяти зворотний зв'язок по струму, можна на підставі регулювальних характеристик СІФК перетворювача (рисунок 4.4).

При $\omega < \omega_{огр}$ і $I > I_{отс}$ кут відкриття тиристорів відповідно до схеми на рис. 4.1 і статичними характеристиками на рис. 4.4

$$\alpha = \alpha_{\max} - k_{\alpha} k_{PT} (u_{PC \max} - k_{o.T} \Delta I) = \alpha_{огр} + k_{\alpha} k_{PT} k_{o.T} \Delta I.$$

Тут $\alpha_{огр} = \alpha_{\max} - k_{PT} u_{PC \max}$; $\Delta I = \Delta \alpha / (k_{\alpha} k_{PT} k_{o.T})$, ΔI — відхилення струму статора від заданого струму $I_{отс}$. Відносна помилка стабілізації $I_{отс}$, визначується як $\Delta I / I_{отс} = \Delta \alpha / (k_{\alpha} k_{PT} u_{отс})$, при $k_{\alpha} k_{PT} \gg 1$ дуже мала, і при постійності заданого значення $I_{отс}$ момент АД в режимі струмообмеження

$$M_{огр} = M_{п} I_{огр}^2 / I_{ном}^2,$$

де $M_{п}$ — пусковий момент АД при номінальній напрузі живлення АД. Значення k_{PT} може бути визначене по заданому бажаному статизму струмового відсічення $(\Delta I / I_{отс})_{жел}$:

$$k_{PT} = \frac{\Delta \alpha}{k_{\alpha} u_{отс} (\Delta I / I_{отс})_{жел}}.$$

Получені за умовами статички значення k_{PC} і k_{PT} потім повинні бути перевірені за умовами динаміки електроприводу.

У загальному випадку $k_{пн}$ є функцією кутів α , φ і ковзання двигуна s . Кут φ помітно міняється від ковзання лише при $s < s_K$ (s_K — критичне ковзання), а в діапазоні $s_K < s < 1$, в якому в основному і здійснюється регулювання швидкості АД, зміни φ незначні. Тоді при лінійній залежності $\alpha = f(u_{PT})$ (див. рис. 4.4) може бути цілком лінеаризована і залежність $U_1 = f(u_{PT})$ з коефіцієнтом передачі [10]:

$$k_{п.н} = \Delta U_1 / \Delta u_{PT} = U_{1ном} / u_{PT.ном},$$

де $U_{1ном}$ і $u_{PT.ном}$ — відповідно номінальні значення першої гармоніки вхідної напруги ТПН і напруги керування перетворювачем.

Постійна часу ланцюга фазового керування ТПН для приведенного на рис. 4.1 варіанту його силової частини визначається максимальним часом запізнювання $\tau_{\Sigma} \approx T_{пн} = 0,033$ с [10].

Асинхронний двигун навіть при спрощеному його математичному описі (без урахування впливу електромагнітних перехідних процесів в ланцюгах статора і ротора) і зміні лише напруги живлення статора залишається нелінійним динамічним об'єктом, оскільки його електромагнітний момент залежить і від напруги живлення, і від швидкості двигуна, тобто $M = f(U_1, \omega)$.

Приймемо, що для механічної характеристики АД (рис. 4.6) при напрузі живлення U_{11} точка сталого режиму характеризується координатами $U_{1y} = U_{11}$, ω_y , M_y . Якщо додати приріст ΔU_1 напрузі живлення АД в околиці цієї точки, то виникнуть прирости моменту ΔM і швидкості $\Delta \omega$.

$$\begin{aligned} M &= M_y + \Delta M = M_y + \left. \frac{\partial M}{\partial \omega} \right|_{U_1=U_{1y}; \omega=\omega_y} \cdot \Delta \omega + \left. \frac{\partial M}{\partial U_1} \right|_{U_1=U_{1y}; \omega=\omega_y} \cdot \Delta U_1 = \\ &= M_y + k_{\omega} \Delta \omega + k_U \Delta U_1 = M_y + \Delta M_{\omega} + \Delta M_U. \end{aligned}$$

Тут $\Delta M_{\omega} = k_{\omega} \Delta \omega$ і $\Delta M_U = k_U \Delta U_1$ — прирости моменту двигуна, викликані відповідно приростом його швидкості і напруги живлення; $k_{\omega} = -\partial M / \partial \omega$ — коефіцієнт зміни моменту двигуна при відхиленні його швидкості при U_1

$= \text{const}$, $\Delta U_1 = 0$; $k_u = \partial M / \partial U$ — коефіцієнт чутливості моменту АД до напруги живлення статора при $\omega = \text{const}$, $\Delta \omega = 0$.

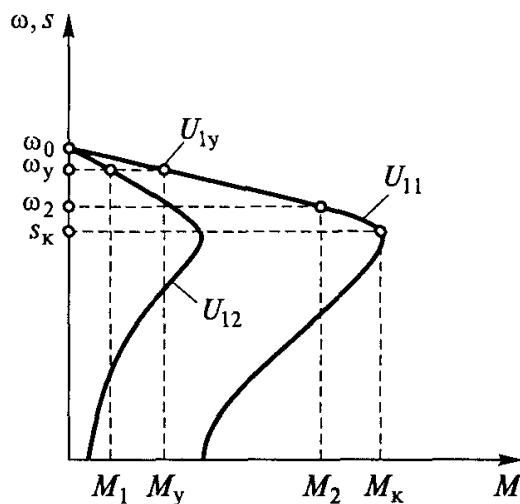


Рисунок 4.6 - Механічні характеристики АД

Фізичний сенс коефіцієнта k_ω можна показати на прикладі механічної характеристики АД при $U_{1y} = U_{11} = \text{const}$ (рисунок. 4.6). Тут при зміні швидкості $\Delta \omega = \omega_y - \omega_2$ має місце зміна моменту $\Delta M_\omega = M_y - M_2$, і, отже, $k_\omega = \partial M / \partial \omega \approx \Delta M_\omega / \Delta \omega = (M_y - M_2) / (\omega_y - \omega_2)$ визначає жорсткість β механічної характеристики АД в області сталої швидкості. При $0 < s < s_k$ коефіцієнт $k_\omega < 0$, тобто зворотний зв'язок за швидкістю АД в даному діапазоні ковзань є негативним. При $s_k < s$ коефіцієнт $k_\omega > 0$ і режим роботи АД стає нестійким. Із зменшенням жорсткості механічної характеристики АД у міру зниження напруги живлення статора зменшується і коефіцієнт k_ω . При роботі двигуна на стійкій ділянці його природної механічної характеристики коефіцієнт k_ω найбільший і визначається модулем жорсткості цієї характеристики:

$$k_\omega = \beta = 2M_k / \omega_{0\text{ном}} s_k.$$

Залежність коефіцієнта k_u швидкості АД ясна з його механічних характеристик при різній нарузі живлення U_{1y} і U_{12} (див. рис. 4.6). Тут при постійності швидкості $\omega_y = \text{const}$, $\Delta \omega = 0$ і зміні напруги $\Delta U_1 = U_{1y} - U_{12}$ має місце зміна моменту $\Delta M_u = M_y - M_1$, і, отже, $k_u = \partial M / \partial U \approx \Delta M_u / \Delta U_1 = (M_y - M_2) / (U_{1y} - U_{12})$. При синхронній швидкості АД зміна напруги на його статорі не приводить до зміни електромагнітного моменту АД і при $\omega_y = \omega_0$ коефі-

цієнт $k_U = 0$. Максимальне значення $k_{U_{\max}}$ має місце при номінальній напрузі на статорі $U_{1\text{ном}}$ і критичному ковзанні двигуна s_k . Оскільки електромагнітний момент АД пропорційний квадрату прикладеної до обмотки статора напруги, то з урахуванням перевантажувальної здатності АД по моменту $\lambda_m = M_k/M_{\text{ном}}$ для його механічної характеристики критичний момент двигуна може бути визначений як $M_k = \lambda_m (U_1/U_{1\text{ном}})^2 M_{\text{ном}}$. Тоді для критичного ковзання АД

$$k_U = \frac{\partial M_k}{\partial U_1} = 2\lambda_m U_1 \left(\frac{M_{\text{ном}}}{U_{1\text{ном}}^2} \right),$$

і при номінальній напрузі $U_1 = U_{1\text{ном}}$

$$k_{U_{\max 1}} = 2\lambda_m \frac{M_{\text{ном}}}{U_{1\text{ном}}}.$$

Якщо скористатися основним рівнянням руху електроприводу

$$M - M_c = J d\omega/dt$$

і підставити в нього замість M праву частину рівняння (4.4), а замість M_c — M_U , то при роботі двигуна на стійкій ділянці механічної характеристики, тобто при $0 < s < s_k$:

$$\Delta M = k_U \Delta U_1 - k_\omega \Delta \omega = J p \Delta \omega.$$

Тоді передавальна функція АД між приростом швидкості і дією, що управляє, при $\Delta M_c = 0$:

$$W_U(p) = \Delta \omega / \Delta U_1 = k_U / (Jp + k_\omega) = k_d / (T_m p + 1),$$

де k_d — передавальний коефіцієнт АД, $k_d = k_U/k_\omega$; T_m — електромеханічна постійна часу двигуна ($T_m = J/k_\omega = J/\beta$).

Передавальна функція АД між приростом швидкості і зміною статичного навантаження при $\Delta U_1 = 0$:

$$W_M(p) = \Delta \omega / \Delta M_c = 1 / (Jp + k_\omega) = 1 / (k_\omega (T_m p + 1)).$$

Структурна схема електроприводу з регульованою напругою на статорі АД (рисунок 4.1), лінеаризована в межах робочої ділянки механічної характеристики двигуна при струмі статора меншому $I_{\text{отс}}$, представлена на

рисунок 4.7. Тут спільно з передавальними функціями ТПН і АД приведені передавальні функції П-регулятора струму:

$$W_{PT}(p) = \Delta u_{PT} / \Delta u_{PC} = k_{PT},$$

ПІ-регулятор швидкості

$$W_{PC}(p) = \Delta u_{PC} / \Delta u_y = k_{PC} + 1 / (T_{PC} p)$$

і ланцюги зворотного зв'язку за швидкістю

$$W_{o.c}(p) = \Delta u_{o.c} / \Delta \omega = k_{o.c}.$$

Якщо прийняти за малу постійну часу T_{μ} постійну $T_{пн} \ll T_{м}$, то при на-
строюванні електроприводу на технічний оптимум постійна інтегрування і
передавальний коефіцієнт пропорційної частини регулятора РС визначають-
ся так:

$$T_{PC} = k_{o.c} k_{PT} k_{п.н} k_{д} a_{\mu} T_{п.н}; \quad k_{PC} = T_{м} / T_{PC}.$$

За бажання звести до мінімуму вплив електромагнітних постійних часу
ланцюгів статора і ротора АД, не врахованих у визначенні $T_{п}$, корисно
прийняти $a_{\mu} = 3 \dots 5$ [10].

Відповідно до структурної схеми на рис. 4.7 при ПІ-регуляторі швидко-
сті регульовальна характеристика системи ТПН — АД визначиться як $\omega =$
 $u_{зс} / k_{ос}$, а механічні характеристики електроприводу для всього діапазону
зміни сигналу керування швидкістю при струмі статора $I < I_{отс}$ повинні мати
абсолютну жорсткість. Проте реально за рахунок обмеження вихідної на-
пруги ТРН на рівні номінального значення напруги АД, а також зниження
коефіцієнта передачі k_u аж до нуля при малих навантаженнях і коефіцієнта
 k_{ω} в області навантажень, близьких критичному моменту АД, жорсткість ме-
ханічних характеристик поблизу граничних характеристик буде помітно
менше.

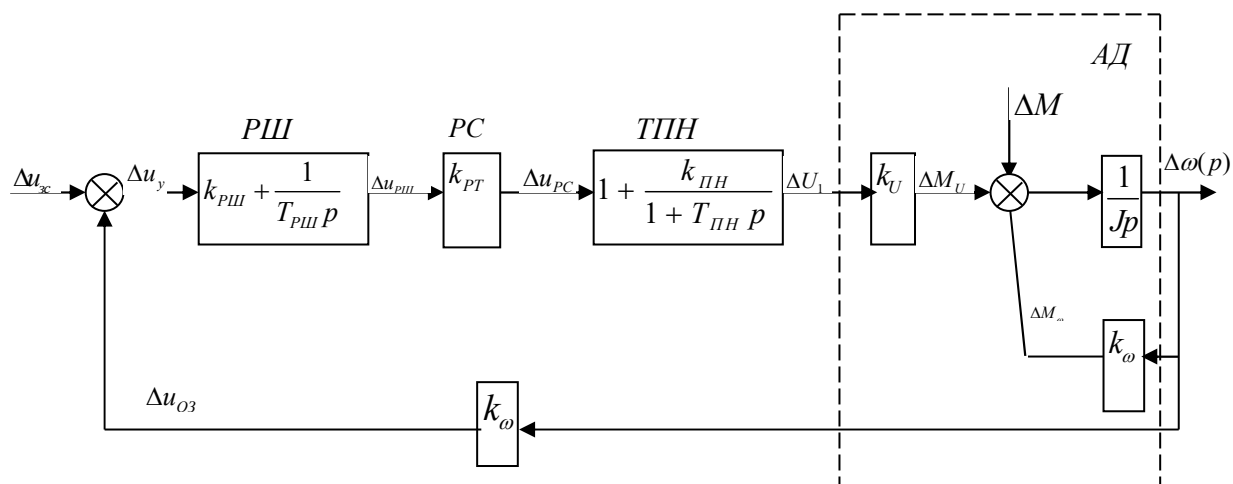


Рисунок 4.7 - Структурна схема асинхронного електроприводу з регулюванням напруги на статорі

Оскільки зменшення швидкості АД пов'язано із зменшенням напруги на обмотках його статора, а допустимий за умовами нагріву двигуна момент $M_{доп}$ при цьому зменшується в оберненопропорційній залежності від ковзання, то область застосування замкнутих систем асинхронного електроприводу з дією лише на напругу статора обмежена механізмами, у яких момент навантаження при зниженні швидкості помітно зменшується, наприклад, механізмами з навантаженням вентилятора.

4.2 Побудова графіків перехідних процесів

Для оцінки показників якості керування, за результатами побудови математичних моделей, проведемо моделювання. Побудова характеристик виконується за допомогою пакета «MatLab 7».

Для аналізу динаміки будемо використовувати лінеаризовану структурну схему (рисунок 4.7).

В базовому варіанті електроприводу підйомника використовується двошвидкісний двигун серії AC72 потужністю 3,5 кВт. Замінімо його асинхронним короткозамкненим двигуном 4AC112MA6Y3, який має наступні характеристики [11]:

Номинальна потужність	$P_{\text{НОМ}} = 4,5 \text{ кВт}$
Синхронна частота обертання:	$n = 1000 \text{ об/хв}$
Номинальне ковзання:	$s_{\text{НОМ}} = 0,073$
Критичне ковзання:	$s_k = 0,682$
Кратність критичного моменту:	$\lambda_k = 2,1$
Кратність максимального моменту:	$\lambda_m = 1,6$
Момент інерції валу двигуна:	$J_{\text{ДВ}} = 0,017 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$
Приведений до валу двигуна момент інерції :	$J_{\text{мех}} = 1,82 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$
Розрахуємо значення коефіцієнтів структурної схеми.	
Номинальна частота холостого ходу обертання двигуна:	

$$\omega_{0\text{НОМ}} := n \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \qquad \omega_{0\text{НОМ}} = 104.72 \text{ с}^{-1}$$

Номинальна частота обертання двигуна:

$$\omega_{\text{НОМ}} := (1 - s_{\text{НОМ}}) \cdot \omega_{0\text{НОМ}} \qquad \omega_{\text{НОМ}} = 97.075 \text{ с}^{-1}$$

Номинальний момент на валу АД:

$$M_{\text{НОМ}} := 9.570 \frac{P_{\text{НОМ}}}{n \cdot (1 - s_{\text{НОМ}})} \qquad M_{\text{НОМ}} = 46.456 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Критичний момент на валу АД:

$$M_k := \lambda_k \cdot M_{\text{НОМ}} \qquad M_k = 97.558 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики АД:

$$k_{\omega} := \frac{2 \cdot M_k}{\omega_{0\text{НОМ}} \cdot s_k} \qquad k_{\omega} = 2.732 \frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{\text{с}}$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості:

$$k_{0.с} = u_{3.с.НОМ} / \omega_{\text{НОМ}} = 1/97,075 = 0,001 \text{ В}\cdot\text{с}.$$

Механічна постійна часу двигуна:

$$T_m = (J_{\text{ДВ}} + J_{\text{мех}}) / \beta = 0,672 \text{ с}.$$

Коефіцієнта швидкості АД:

$$k_U := 2\lambda_M \cdot \frac{M_{\text{НОМ}}}{U_{1\text{НОМ}}}$$

$$k_U = 0.676 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{В}}$$

Передавальний коефіцієнт АД:

$$k_d := \frac{k_U}{k_\omega}$$

$$k_d = 0.247 \frac{1}{\text{В} \cdot \text{с}}$$

Параметри перетворювача напруги [10]:

$$T_{\text{ПН}} := 0.033 \text{ с}$$

$$k_{\text{ПН}} := 22$$

Коефіцієнт підсилення регулятора струму [10]:

$$k_{\text{РТ}} := 9$$

Інтегральна постійна і коефіцієнт передачі пропорційної частини регулятора швидкості при налаштуванні електроприводу на модульний оптимум:

$$T_{\text{РС}} := k_{\text{ос}} \cdot k_{\text{РТ}} \cdot k_{\text{ПН}} \cdot k_d \cdot a_\mu \cdot T_{\text{ПН}}$$

$$T_{\text{РС}} = 0.067 \text{ с}$$

$$k_{\text{РС}} := \frac{T_M}{T_{\text{РС}}}$$

$$k_{\text{РС}} = 10.097$$

де $a_\mu = 4$ [10].

Знаючи всі параметри математичної моделі двигуна, а також системи керування зробимо її моделювання з метою оцінки показників якості керування.

За результатами розрахунку отримані перехідні процеси при пуску насоса і стрибкоподібній зміні навантаження. Графіки перехідних процесів показані на рисунках 4.8 – 4.11.

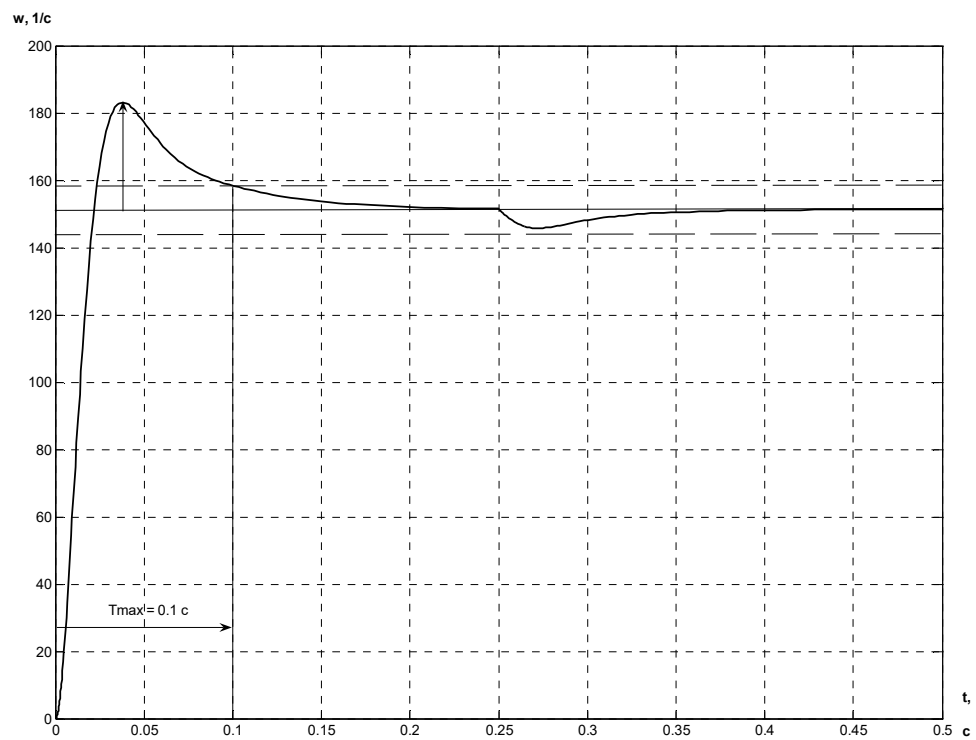


Рисунок 4.8 – Перехідний процес при стрибкоподібній зміні навантаження 50% $M_{ном}$

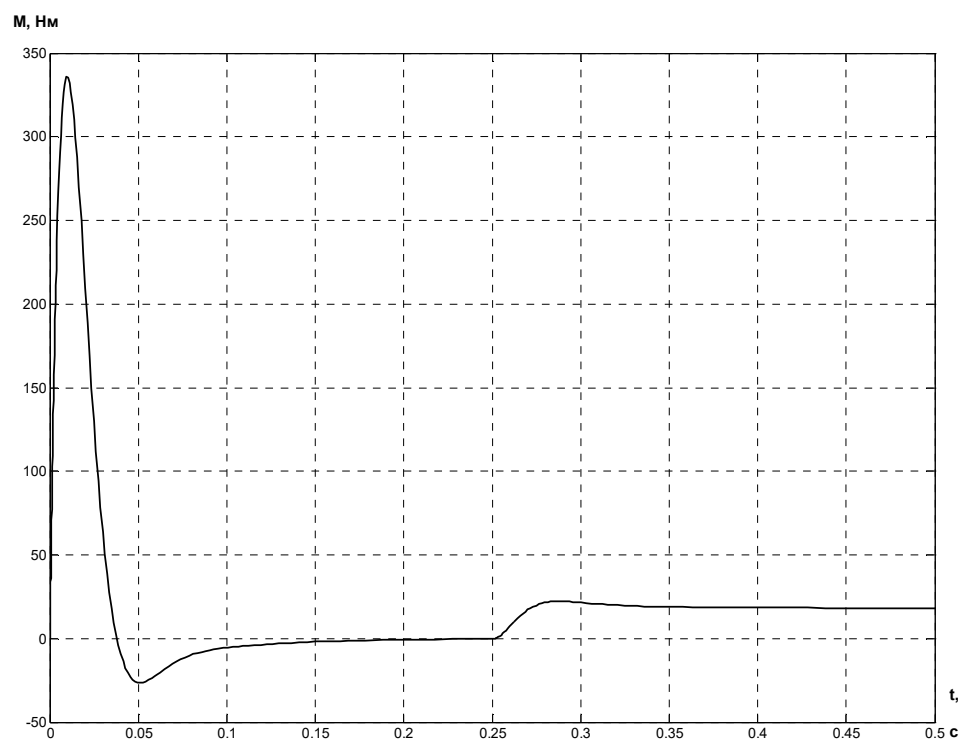


Рисунок 4.9 – Перехідний процес струму при стрибкоподібній зміні навантаження 50% $M_{ном}$

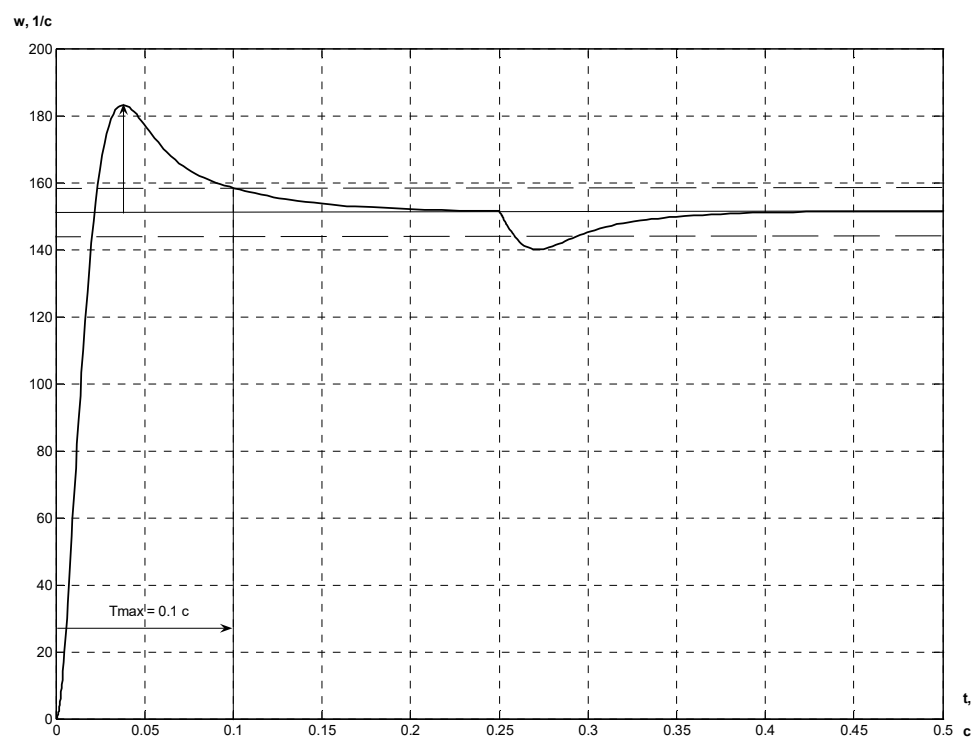


Рисунок 4.10 – Перехідний процес при стрибкоподібній зміні навантаження 100% $M_{ном}$

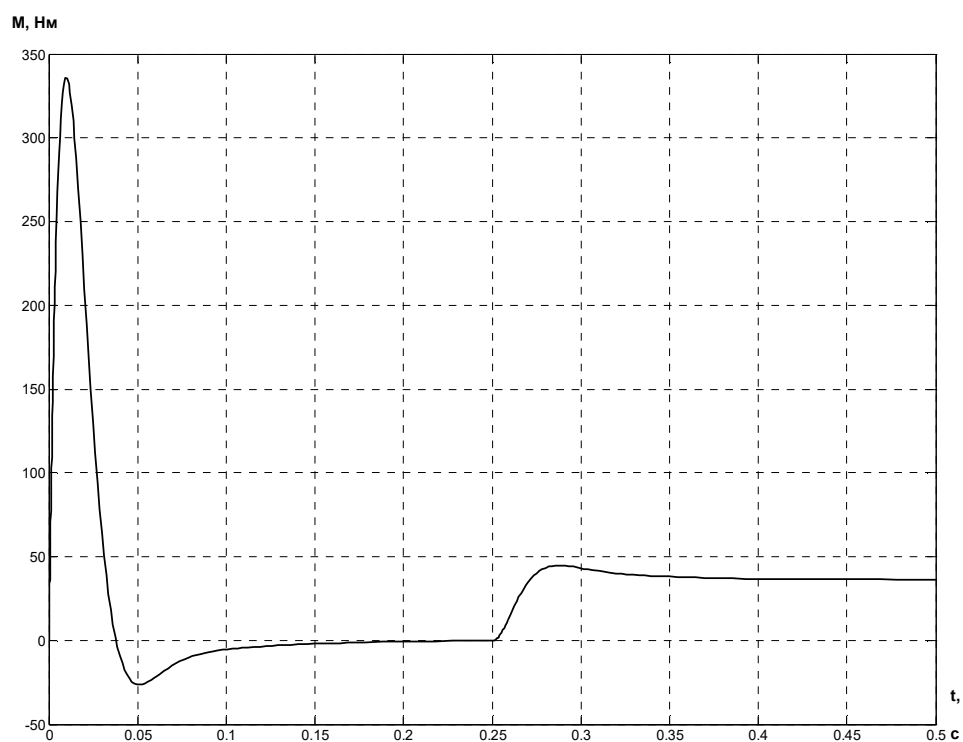


Рисунок 4.11 – Перехідний процес струму при стрибкоподібній зміні навантаження 100% $M_{ном}$

З графіків рисунок 4.8 - 4.11 видно, що спроектована система здатна відпрацьовувати будь-які зміни при роботі привода і забезпечувати постійну швидкість обертання за весь період роботи механізму. З отриманих характеристик можна зробити висновок, що система забезпечує показники якості керування нічим не гірше, а по динаміці навіть краще, ніж існуюча система керування двигуном. Таким чином, можна робити заміну існуючої системи на спроектовану.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при роботі в цеху

праці – система правових, соціально – економічних, організаційно – технічних, санітарно – гігієнічних і лікувально – профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Задачами охорони праці є безпека праці, попередження травматизму і професійних захворювань і отруєнь, пожеж і вибухів на виробництві, правової охорони праці, інженерній психології й організації праці.

Робота людини повинна проходити в умовах, що сприяють розвитку всіх його можливостей і забезпечують високу продуктивність праці.

До шкідливих і небезпечних факторів відносяться ті фактори, вплив яких на працюючого у визначених умовах приводить до захворювань, зниженню працездатності а також до травм або інших раптових погіршень здоров'я. Зведення до мінімуму ймовірності захворювань працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній ефективності праці є першочерговим завданням охорони праці.

Закон України "Про охорону праці", дія якого поширюється на всі підприємства, незалежно від форм власності і принципів господарювання, закріплює право громадян на охорону праці і здоров'я. У законодавстві відображені правила організації охорони праці на підприємствах, сказано про планування і фінансування заходів щодо охорони праці; правила техніки безпеки і виробничої санітарії; правила і норми по спеціальній охороні праці жінок, молоді і людей зі зниженою працездатністю; правила, що регулюють діяльність державного нагляду і цивільного контролю в сфері охорони праці, а також правові норми, у яких передбачається відповідальність за порушення законодавства "Про охорону праці".

Тиристорний перетворювач знаходиться на деякому видаленні від верстата. Керування електроприводом здійснюється оператором з пульта керування.

Двигун перемінного струму закріплений на фундаменті і є стаціонарною установкою, що живиться від тиристорного перетворювача.

Небезпека одержання травми існує безупинно під час роботи верстата, у зв'язку з наявністю частин верстата, що рухаються. Наслідку можливого впливу цієї небезпеки на обслуговуючий персонал – механічні травми, при одержанні яких можлива часткова або повна втрата працездатності, смертельний результат.

До розпечених предметів і матеріалів відносять різець і заготівлю, що у процесі різання можуть досягати температури 500 °С. При впливі цих факторів на людину можливе одержання опіків і механічних травм, а також, як наслідок, тимчасова втрата працездатності.

До основних небезпечних і шкідливих виробничих факторів при роботі в цеху відносять: небезпека поразки електричним струмом; вплив виробничих вібрацій на людину; шум на виробництві; неправильне виробниче висвітлення; небезпека виникнення пожеж

5.2 Розрахунок захисного заземлення проектованої електроустановки

Згідно з правилами повинні бути передбачені наступні заходи щодо забезпечення електробезпечності електроустановки: режим контролю мережі живлення; захист від випадкового проникнення до струмоведучих частин електроустановки; контроль і профілактика ушкоджень ізоляції; заземлення; захисне відключення; застосування захисних засобів; організаційні і технічні заходи.

Живлення тиристорного перетворювача здійснюється від розподільної шини 380 В через розподільний трансформатор, розподільна шина розташована уздовж стіни на висоті 3 м на ізоляторах. Ошиновка підключена до масляного вимикача, з іншої сторони до якого прикріплені проводи, що жи-

влять тиристорний перетворювач. Кабель покладений у підземний бетонований кабельний канал, накритий зверху рифленими аркушами заліза. Краї каналів закріплені металевими заземленими куточками.

Тиристорний перетворювач поміщений у металеву шафу, у якому також розміщений роздільний трансформатор. Двері шафи й огороження оснащені блокуванням, що забезпечує відключення масляного вимикача при відкриванні дверей огороження або шафи. Для зняття блокування крім закриття дверей необхідно натиснути кнопку "Пуск".

Підведення живлення до електродвигуна здійснюється за допомогою кабелю, покладеного в підземний кабельний канал.

Кабелю для живлення тиристорного перетворювача і двигуна – броньовані для захисту від можливих механічних ушкоджень.

Контроль ізоляції ланцюга 380 В здійснюється періодично при відключеній установці. При цьому вимірюється опір ізоляції окремих ділянок мережі, трансформаторів, електричних апаратів, двигуна. Вимірюються опір кожної фази щодо землі захисним апаратом.

Нормальним опором ізоляції кабелю нижче 1000 В вважається 0.5 МОм, виміри виробляються мегомметром на напругу 1000 В.

Контроль ізоляції мережі між двигуном і тиристорним перетворювачем, а також мережі напругою 380 В здійснюється постійно, тому що ушкодження і пробій ізоляції приводить до виникнення підвищеної небезпеки поразки людини електричним струмом. Контроль здійснюється приладом постійного контролю ізоляції (ПКІ). Відлік опору ізоляції роблять по шкалі приладу. При зниженні опору ізоляції до гранично припустимого рівня 0.25 МОм прилад подає звуковий і світловий сигнали.

Опір ізоляції двигуна і тиристорного перетворювача складають 0.5 МОм у нормальному стані, трансформатора – 1.5 МОм, і вимірюється мегомметром на 500 В и 1000 В.

Захисне відключення забезпечує відключення установки при виникненні аварійних режимів.

Контроль напруги на корпусі трансформатора, перетворювача, двигуна здійснюється за допомогою схеми, що реагує на напругу корпуса щодо землі. У схемах цього типу датчиком служить реле напруги РЗ, включене між корпусом і допоміжним заземлювачем. Схема здійснює захист від коротких замикань на землю і придатна в мережах з ізольованої і заземленої нейтраллю. Достоїнством схеми є її простота. Недоліки – необхідність застосовувати допоміжний заземлювач, неселективність при загальному заземленні і відсутність самоконтролю.

Для захисту перетворювача від режиму короткого замикання в кабельній лінії, що живить двигун, у КТЕУ застосований автоматичний вимикач, що розриває ланцюг при замиканні кожної з ліній на землю або між собою.

При спрацьовуванні кожної з перерахованих захистів забезпечена світлова сигналізація, що свідчить про несправності тієї або іншої частини установки.

У приміщенні, де експлуатується проектована установка, використовуються штучні заземлення: вертикальні забиті сталеві труби діаметром 60 мм і довжиною 2.5м; горизонтальні укріплені сталеві смуги площею перетину $S_{зрз} = 50 \text{ мм}^2$.

Опір заземлюючого пристрою не більш 4 Ом.

Електродвигун, тиристорний перетворювач, трансформатор заземлені. Для цього відповідні болти заземлення підключені до контуру заземлення мідним проводом зрізом не менш 2.5 мм^2 . Опір вертикального заземлювача (труби) визначимо по формулі:

$$R_1 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot L}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot Z + L}{4 \cdot Z - L} \right),$$

де Z – глибина розміщення труби; $L = 2,5 \text{ м}$ – довжина заземлителя;

$d = 0,04 \text{ м}$ – зовнішній діаметр; $\rho = 70 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – питомий опір ґрунту;

$Z_0 = 0,5 \text{ м}$ – глибина розміщення труби від поверхні землі ($z_0 \geq 0,5 \text{ м}$).

$$Z = \left(Z_0 + \frac{L}{2} \right) = \left(0,5 + \frac{2,5}{2} \right) = 1,75 \text{ м},$$

$$R1 = \frac{70}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,04} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,75 + 2,5}{4 \cdot 1,75 - 2,5} \right) = 23 \text{ Ом.}$$

Так як $R1 > R_{\text{дон}} = 4 \text{ Ом}$, то необхідно прийняти декілька заземлителів, які розташовуються паралельно.

Необхідна кількість заземлителів визначається по формулі:

$$n = \frac{R1}{\eta_B \cdot R_{\text{дон}}},$$

де $\eta_B = 1$ – коефіцієнт металевого заземлювача.

$$\text{Тоді } n = \frac{23}{1 \cdot 4} = 5,75 \text{ шт.}$$

Округляємо отримане число до цілого $n = 6$

Опір проходження струму від труб $R_{\text{сис}}$ визначається слідуючим співвідношенням:

$$R_{\text{сис}} = \frac{R1}{n \cdot \eta_1}$$

де $n = 6$ – кількість заземлителів;

$\eta_1 = 0,64$ – коефіцієнт впливу металевих заземлителів;

Тоді:

$$R_{\text{сис}} = \frac{23}{6 \cdot 0,64} = 5,99 \text{ Ом.}$$

Зв'язок вертикальних заземлителів виконується з'єднальними металевими смугами. Опір проходження струму від смуги визначається по формулі:

$$R_{\Pi} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L_{\Pi}} \cdot \ln \frac{2 \cdot L_{\Pi}^2}{B \cdot h},$$

де L_{Π} – довжина смуги;

$$L_{\Pi} = 1,05 \cdot a \cdot n = 1,05 \cdot (1 \div 3) \cdot l_{\text{зн}} \cdot n = 1,05 \cdot 2,5 \cdot 6 = 15,75$$

$d = 0,06 \text{ м}$ – ширина смуги;

$$h = Z_0 + \frac{d}{2} = 0,5 + \frac{0,03}{2} = 0,515 \text{ м.}$$

Тоді:

$$R_{II} = \frac{70}{2 \cdot 3,14 \cdot 15,75} \cdot \ln \frac{2 \cdot 15,75^2}{0,06 \cdot 0,515} = 3,234 \text{ Ом},$$

$$R_I = \frac{R_{II}}{\eta_2} = 7,8 \text{ Ом}.$$

де $\eta_2 = 0,41$ – коефіцієнт полоси

Фактичний опір заземлюючого приладу, який вміщує вертикальні заземлители і з'єднуючі смуги, визначається як загальний опір при їх паралельному з'єднанні по формулі 6.6:

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_{\text{сис}} \cdot R_{\text{п}}}{R_{\text{сис}} + R_{\text{п}}}$$

або

$$R_{IAU} = \frac{5,99 \cdot 7,8}{5,99 + 7,8} = 3,38 \text{ Ом}.$$

Таким чином у результаті виконаного розрахунку отримане значення загального опору:

$$R_{IAU} = 3,38 < R_{AII} = 4 \text{ Ом},$$

що відповідає нормативним вимогам проектного застосування захисного заземлення.

Захисне заземлення повинно проходити перевірку контролюючу величину опору:

– після виконання монтажних робіт та здачі в експлуатацію; не пізніше одного року після включення в експлуатацію.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі було розглянуто систему керування приводом вантажного підйомника складських приміщень.

Аналіз існуючої системи керування виявив, що система має ряд недоліків, які не дають змоги отримати найвищі показники якості роботи підйомника. Система керування не забезпечує необхідні показники якості керування, асинхронний двигун з фазним ротором, який застосовується, призводить до підвищених масогабаритних розмірів, завишені вартісні показники і знижені показники надійності приводної установки. Отже, було запропоновано, замінити існуючу систему електропривода на систему з асинхронним двигуном із короткозамкненим ротором. Використання якого як більш простого, надійного і дешевого значно підвищить зазначені показники системи керування.

В даній роботі розглянута система частотного керування асинхронним двигуном, що дозволяє застосувати в автоматизованому приводі вантажного підйомника пристрій для автоматизації керування електропривода «Micromaster-420», що випускається фірмою Siemens.

При оцінці показників якості керування проекрованої системи, було проведено моделювання, отримана схема математичної моделі системи. Отримані криві перехідних процесів. Аналіз отриманих даних показав, що застосування проекрованої системи підвищить не тільки надійність показників приводу, але і його швидкодію, що обумовлено меншим моментом інерції ротора асинхронного двигуна.

Були розглянуті питання з охороні праці на виробництві.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки до виконання дипломних проектів / П.К.Луцій, М.Я. Хлопенко, В.М. Корнован, О.Г. Васильєв. – Миколаїв: НУК, 2004 – 60 с.
2. ДНАОП 0.00-1.02-99 Правила будови і безпечної експлуатації ліфтів Київ – 1999
3. Ліфти електричні. Основні параметри та розміри. ГОСТ 8823-85 Москва – 1986
4. Ліфти пасажирські інструкція по експлуатації 0411.00.00.000.ІЕ Могільов 1998
5. Электроборудование лифтов массового применения / П.И. Чутчиков – М.: Машиностроение, 1993 – 168 с., ил.
6. Устройство управления лифтами серии УЛ Руководство по эксплуатации АЕИГ. 656353.036 Могилёв 2004
7. Методиа проведения экспертного обследования лифтов Киев 1999
8. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей / Л.Б. Масандролов – М.: Энергия, 1988 – 96 с
9. Автоматика пассажирских лифтов – М.: Стройиздат 1989. – 271 с.
10. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов: Учебник. – М: «Академия», 2005.
11. Кравчик А.Э., Шлаф М.М. и др. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. – М: Энергоиздат, 1982.

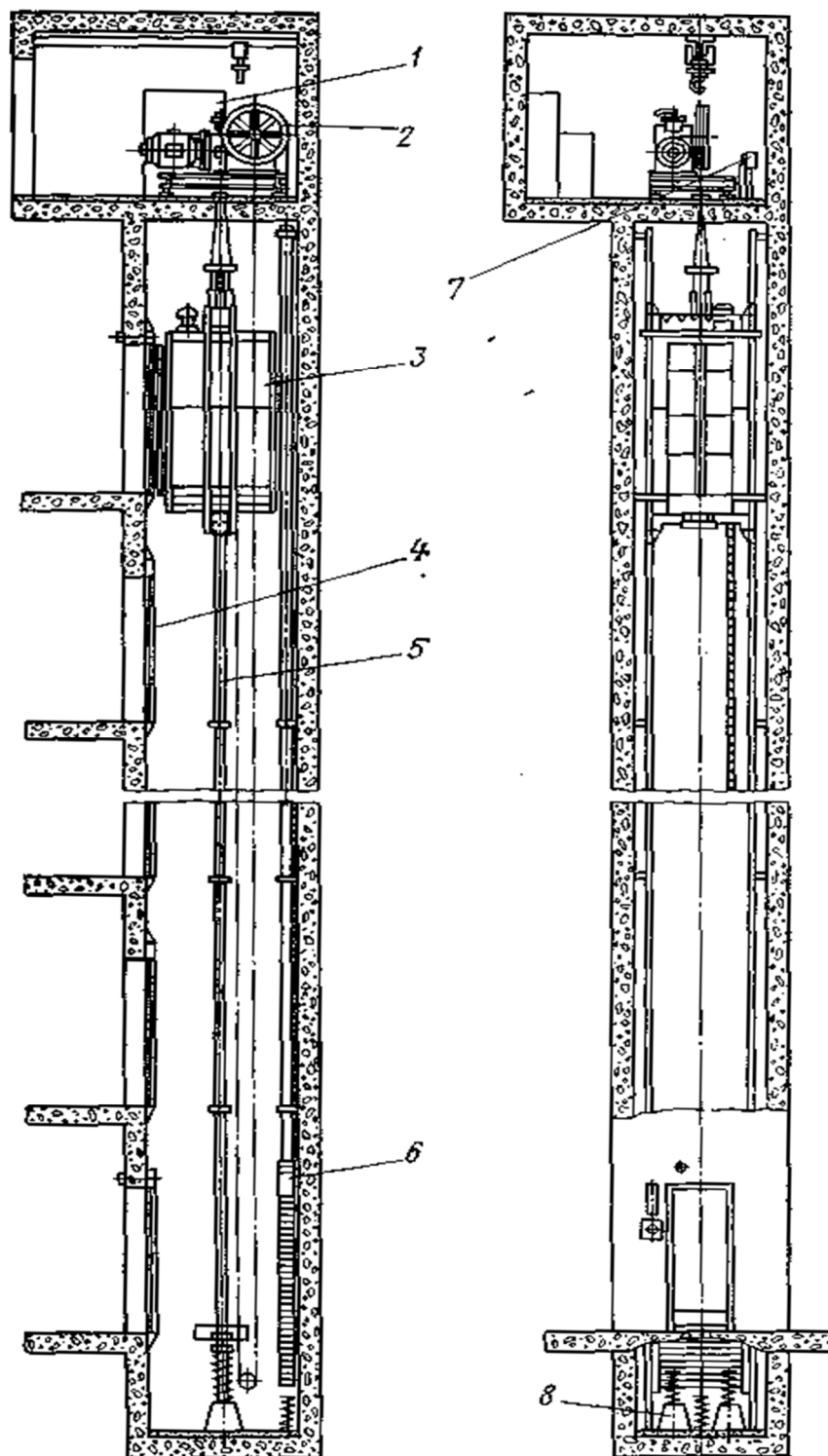


Рисунок 1 – Слайд 1 мультимедійної презентації

ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД ЛЕБІТКИ

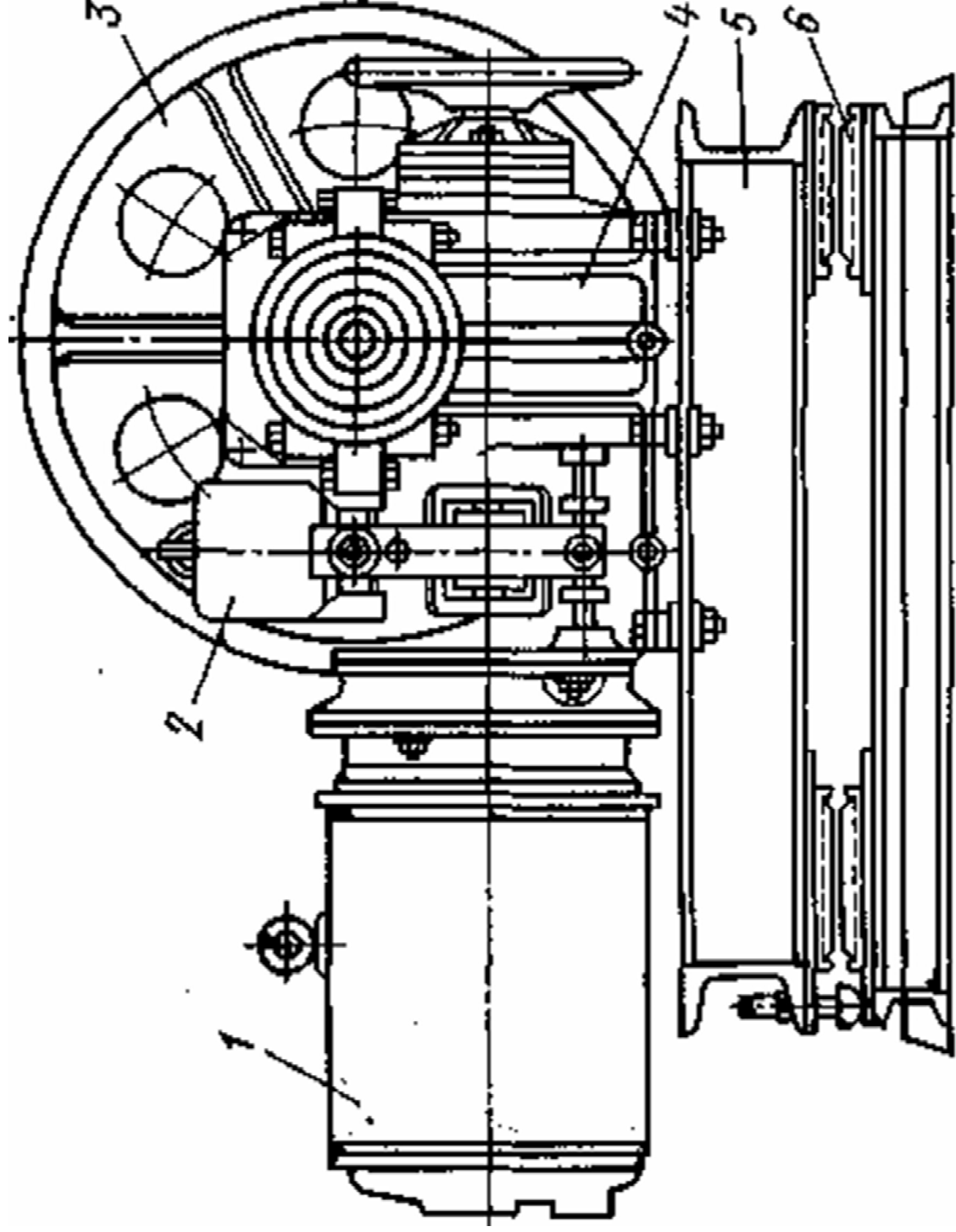


Рисунок 2 – Слайд 2 мультимедійної презентації

ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

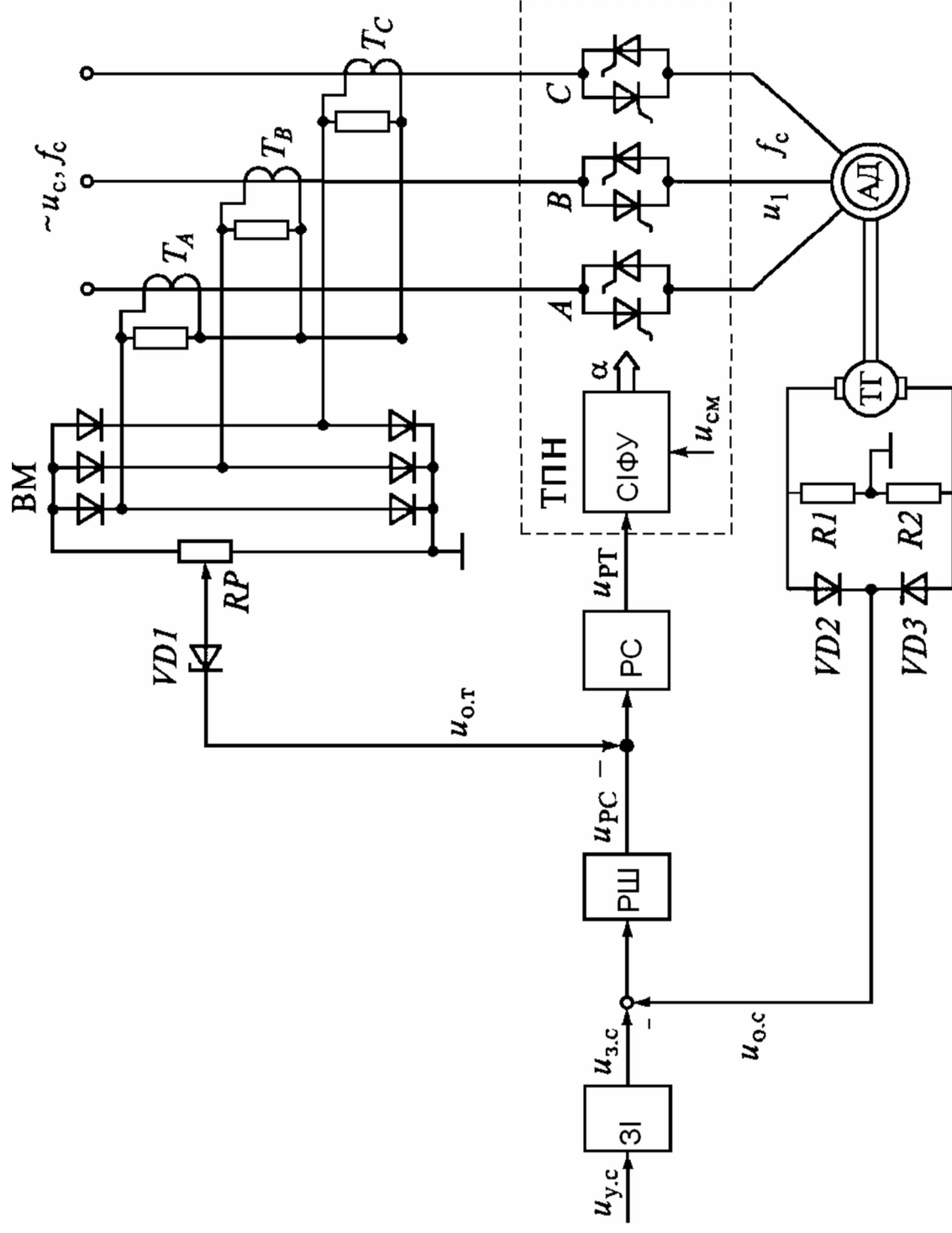


Рисунок 3 – Слайд 3 мультимедійної презентації

СТРУКТУРНА СХЕМА АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

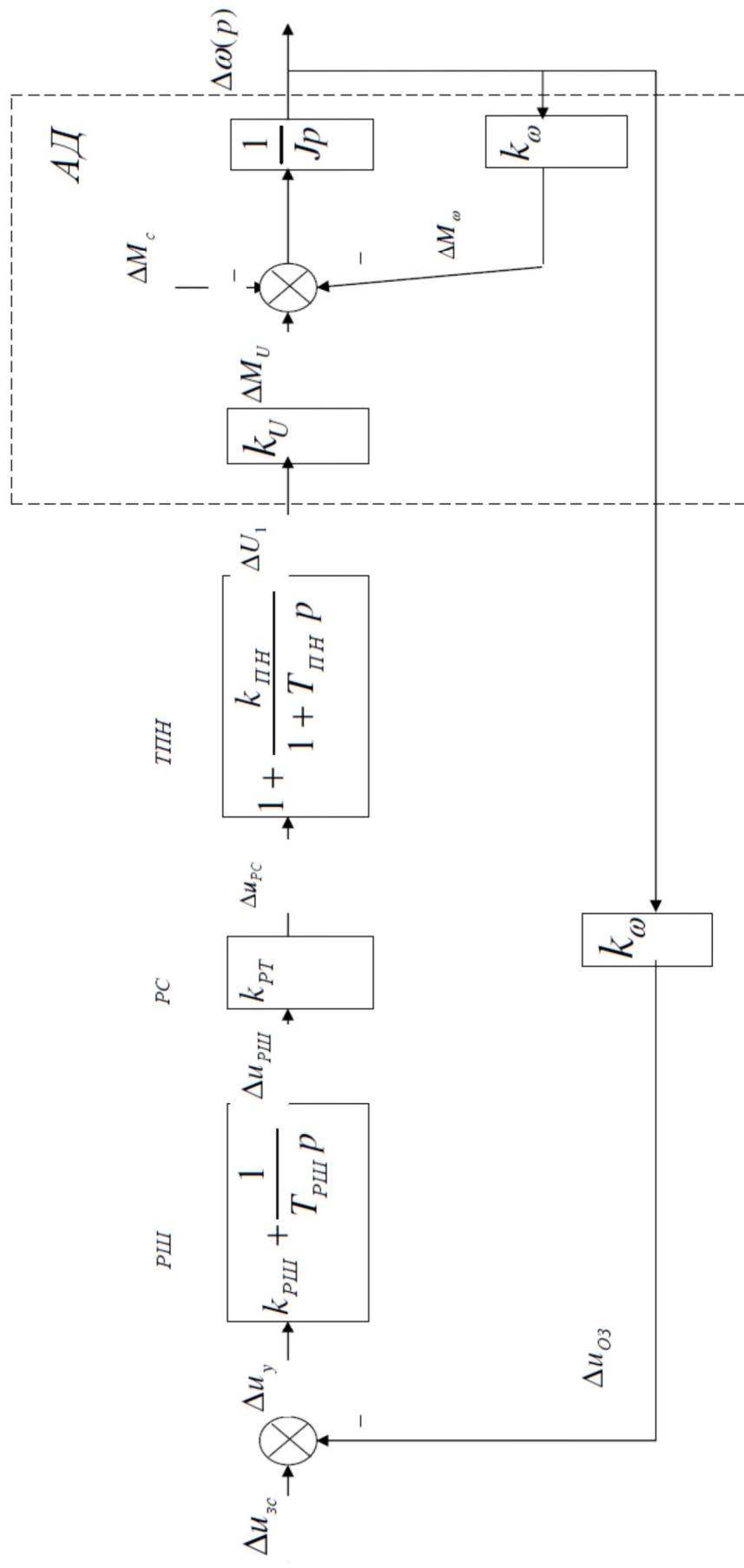
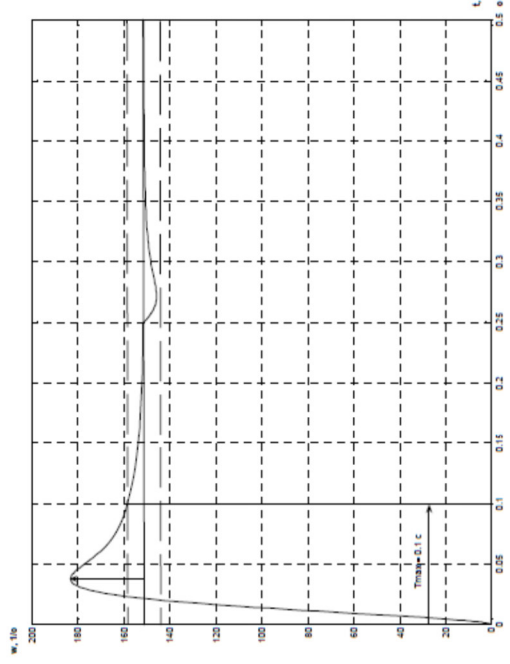
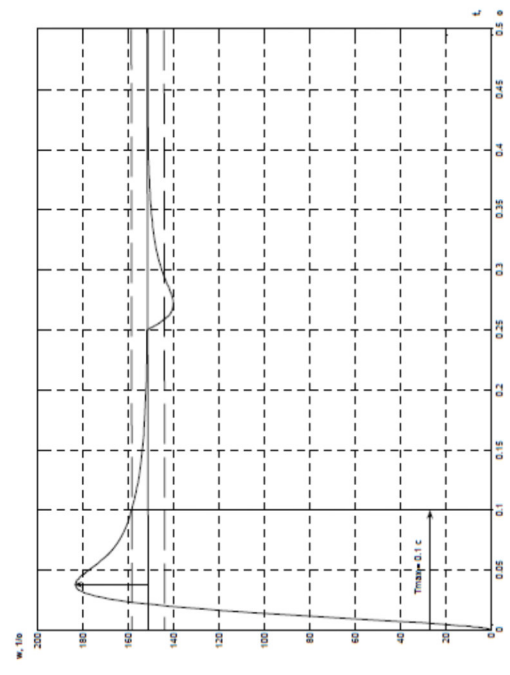


Рисунок 4 – Слайд 4 мультимедійної презентації

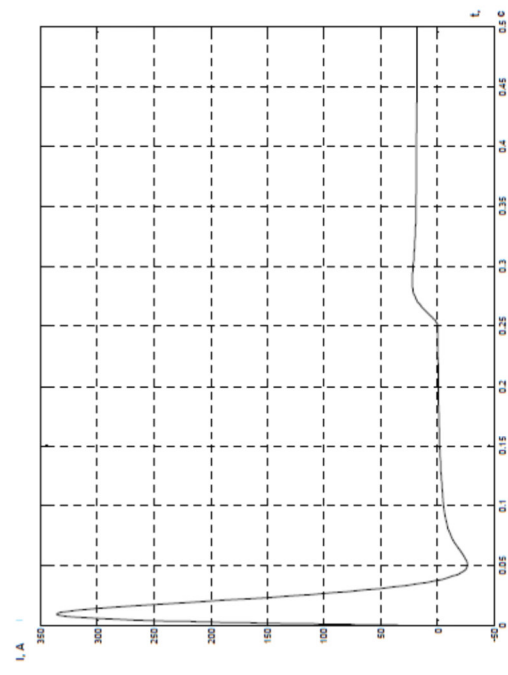
ГРАФІКИ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПІДЙОМНИКА



Перехідний процес при стрибкоподібній зміні навантаження 50% МНОМ

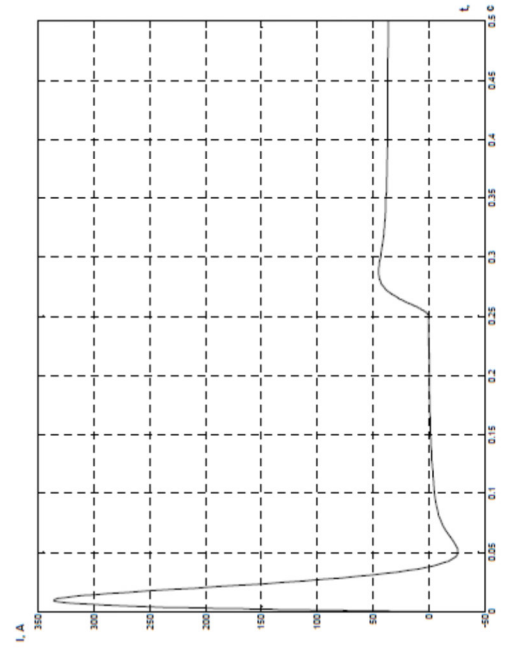


Перехідний процес при стрибкоподібній зміні навантаження 100% МНОМ



Перехідний процес струму при стрибкоподібній

зміні навантаження 50% МНОМ



Перехідний процес струму при стрибкоподібній

зміні навантаження 100% МНОМ