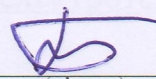


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

I. С. Білюк

« 15 » 06 2026 р.

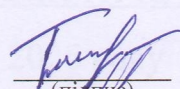
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

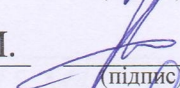
освітня програма Електромеханіка та електротехнології
(назва освітньої програми)

на тему: «Вдосконалення електромеханічної системи привода стрічкового переміщувача»

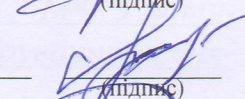
Виконав: студент VI курсу, групи 4317ст3
Пашинін Сергій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

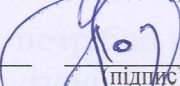
Керівник ст. викл. каф. автоматики, доц. НУК Фоменко А.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Нормоконтроль викладач каф. автоматики, Савченко О.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

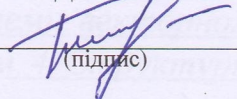

(підпис)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н., доц. Новогрецький С.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

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

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2026 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 «Електромеханіка та електротехнології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

О.Г. Васильєв
«12» 06 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

Пашинін Сергій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Вдосконалення електромеханічної системи привода стрічкового перевантажувача»

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «22» квітня 2026 року
№ 286-УЧ..

2. Строк подання студентом роботи 15 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Двигун змінного струму типу АИР 315 М4 з потужністю 200 кВт. Напруга живлення 380 В. векторна система керування асинхронним двигуном. Час перехідного процесу не більш 6с

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Опис об'єкту автоматизації 2 Аналіз об'єкту модернізації 3 Опис комплектного електропривода ALTIVAR 4 Побудова математичної моделі векторної системи керування асинхронного двигуна 5 Охорона праці

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

1 Загальний вид автоматизованого мобільного завантажувача 2 Схема керування діючої системи 3 Функціональна схема системи векторного керування асинхронним двигуном з коротко-замкнутим ротором 4 Структурна схема системи з керуванням по потокозчепленню ротора 5 Результати дослідження динаміки системи керування

6. Консультанти розділів роботи

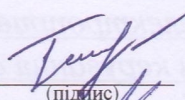
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви- дав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 10 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

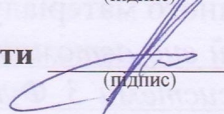
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Опис об'єкту автоматизації</i>	<i>13.02.26</i>	
2	<i>Аналіз об'єкту модернізації</i>	<i>07.03.26</i>	
3	<i>Опис комплектного електропривода ALTIVAR</i>	<i>04.04.26</i>	
4	<i>Побудова математичної моделі векторної системи керування асинхронного двигуна</i>	<i>02.05.26</i>	
5	<i>Охорона праці</i>	<i>15.05.26</i>	
6	<i>Графічна частина</i>	<i>06.06.26</i>	

Студент


(підпис)

Пашинін С.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Фоменко А.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 75 с., 5 р., 18 рис., 1 табл., 1 дод., 15 джерел.

Ключові слова: асинхронний електропривод, головний рух, перехідна характеристика, стрічковий перевантажувач, векторна система керування керування.

Мета роботи – підвищення ефективності електромеханічної системи привода стрічкового перевантажувача шляхом заміни існуючої системи керування на більш сучасну.

У першому розділі наведено технічні характеристики і опис стрічкового перевантажувача. Проведено аналіз загальних принципів реалізації системи керування приводами стрічкового перевантажувача та системі керування електроприводом. У розділі 2 наведено аналіз оберту модернізації. Виконано аналіз силової частини, розроблена функціональної схеми системи керування стрічкового перевантажувача та проведений аналіз електричної принципової схеми системи керування стрічковим перевантажувачем. Розділ 3 містить опис комплектного електропривода ALTIVAR його опис та технічні характеристики. Виконано вибір ALTIVAR. Розділ 4 містить Побудову математичної моделі векторної системи керування асинхронного двигуна. Виконано побудова математичної моделі асинхронного двигуна при керуванні вектором потокозчеплення ротора, За результатами дослідження розроблено структурна схема системи керування, отримані перехідні характеристики та проведений їх аналіз. В розділі 5 розглянуті питання з охорони праці. Додатки містять слайди мультимедійної презентації (додаток А).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ОПИС ОБ'ЄКТУ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	8
1.1. Технічні характеристики і опис стрічкового перевантажувача	8
1.2. Загальні принципи реалізації системи керування приводами стрічкового перевантажувача	12
1.3. Система керування електроприводом стрічкового перевантажувача	13
2. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ.....	22
2.1. Аналіз силової частини	22
2.2. Розробка функціональної схеми системи керування стрічкового перевантажувача.....	23
2.3. Аналіз електричної принципової схеми системи керування стрічковим перевантажувачем	24
3. ОПИС КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ALTIVAR	28
3.1. Функції які виконує ALTIVAR	31
3.2. Вибір ALTIVAR	33
3.3. Технічні характеристики ALTIVAR 28 –33N4.....	37
4. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВЕКТОРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУ- ВАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА	48
4.1. Побудова математичної моделі асинхронного двигуна при керуванні вектором потокозчеплення ротора	48
4.2. Результати моделювання системи векторного керування асинхронним приводом	65
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	71
5.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників впливаючих на людину при роботі зі стрічковим перевантажувачем	71
5.2. Розрахунок освітленості виробничого приміщення	74
5.3. Розробка заходів по забезпеченню безпечної експлуатації стрічкового перевантажувача.....	76

ВИСНОВОК.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81
ДОДАТКИ А.....	83

ВСТУП

Перетворювачі змінного струму займають важливе місце серед регульованих перетворювачів електричної енергії. Сфера застосування перетворювачів досить широка. Розвивається і удосконалюється техніка управління ними.

Силова частина і система управління є головними складовими перетворювача. Процеси, що відбуваються в них, невід'ємними один від одного і взаємообумовлені.

Основні вимоги по поліпшенню технічних характеристик перетворювачів змінного струму - підвищення надійності, поліпшення енергетичних показників, зменшення спотворень в живлячій мережі, поліпшення динамічних властивостей - не можуть бути виконані без дослідження питань теорії систем управління.

У числі важливих науково-технічних проблем, безпосередньо пов'язаних з розробкою систем управління перетворювачами змінного струму і вимагаючих дослідження, можна назвати дослідження взаємного впливу перетворювачів і живлячої мережі; розробку теорії оптимальної структури системи управління; дослідження роботи систем управління в умовах перешкод і підвищення їх перешкодостійкості; дослідження і створення технічних засобів, що дозволяють будувати надійні і точні системи управління.

Розвиток цифрових систем управління, а також мікроелектроніки привело до пошуку принципово нових способів управління статичними перетворювачами, що дозволяють підвищити точність, перешкодостійкість і надійність систем управління.

1 ОПИС ОБ'ЄКТУ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Технічні характеристики і опис стрічкового перевантажувача

Найбільш поширеними механізмами безперервного транспорту є завантажувачі різних типів, конструкція яких визначається головним чином характером переміщуваних вантажів, вагою і швидкістю їх руху. Сипкі вантажі переміщуються стрічковими конвеєрами, штучні - пластинчастими, роликовими і підвісними. На кораблях завантажувачі знайшли застосування у рибодобувній галузі, на тра-льщиках їх встановлюють для транспортування сировини з одного трюму до іншого для подальшої обробки або заморозки. Серед завантажувачів промислових підприємств частіше за інших можна зустріти стрічкові і підвісні ланцюгові завантажувачі: перші - на металургійних заводах, гірських розробках, паливоподачах електростанцій, в будівельній і харчовій промисловості, другі - на машинобудівних заводах, а також в хімічних, фарбувальних і інших цехах.

Стрічкові завантажувачі широко використовуються в металургійній, гірничодобувній і інших видах промисловості. Їх використовують для транспортування насипних і штучних вантажів, як на невеликі відстані, так і на великі відстані. Простота і надійність їх конструкції забезпечує їх роботу в перебігу довгого часу. Стрічкові завантажувачі можна використовувати як в закритих, так і на відкритих ділянках, що пояснює їх широке використання в промисловості. Завантажувачі відносяться до машин безперервного типу дії і характеризуються безперервним переміщенням вантажів по заданій трасі без зупинки для завантаження або розвантаження. Завдяки безперервності переміщення вантажу, відсутності зупинок для завантаження і розвантаження і поєднанню робочого і зворотного рухів вантажонесучого елементу машини безперервної дії мають високу продуктивність, що дуже важливе для сучасних підприємств з великими вантажопотоками.

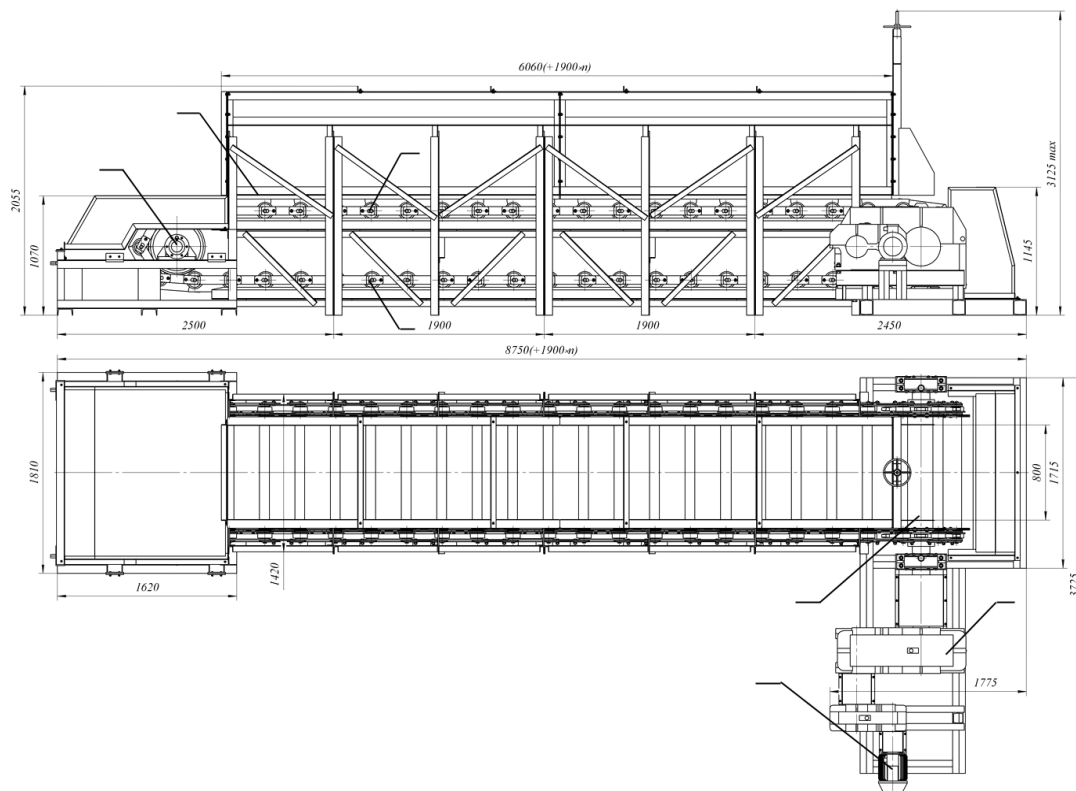


Рисунок 1.1- Загальний вигляд стрічкового конвеєра забезпечуючи завантаження 10 залізничних вагонів в хвилину

Стрічковий завантажувач (рисунок 1.1) має станину 1, на кінцях якої встановлено два барабани: передній 2 - приводний і задній 3 - натяжний. Вертикально замкнута стрічка 4 огинає ці кінцеві барабани і по всій довжині підтримується опорними роликами, званими роликоопорами, - верхніми 5 і нижніми 6, укріпленими на станині 1. Інколи замість роликів застосовують настил. Приводний барабан 2 отримує обертання від приводу 7 через редуктор 8 і наводить в рух стрічку уздовж траси конвеєра.

Стрічка завантажується через одну або декілька завантажувальних воронок, розміщених на завантажувачі. Вантаж, що транспортується, переміщується на верхній (вантажонесучий, робочий) гілці стрічки, а нижня гілка є поворотною (зворотною). Можливо також транспортування вантажів одночасно на верхній і нижній гілках стрічки у різних напрямках.

Вантаж вивантажується на передньому барабані 7 або в проміжних пунктах конвеєра за допомогою розвантажувальних пристроїв: плужкових або барабанних

розвантажувачів. Зовнішня поверхня стрічки очищується від часток вантажу, що прилипли до неї, очисним пристроєм, встановленим у переднього барабана 7.

Стрічкові завантажувачі застосовують для переміщення в горизонтальному і полого похилому напрямках всіляких насипних і штучних вантажів, а також для міжопераційного транспортування виробів при потоковому виробництві. Вони набули широкого поширення у всіх галузях промисловості і є основними агрегатами механізації транспорту в ливарних цехах (подача і розподіл землі і прибирання відходів), на топливopодачах електростанцій, підземного і наземного транспорту вугілля і породи у вуглевидобувній промисловості, руди, коксу і флюсів в металургії, будівельних матеріалів і корисних копалини в кар'єрах, зерна в зерносховищах, піску і каменя на будівництві каналів і гідроелектростанцій і ін.

Стрічкові завантажувачі служать складовими частинами таких складних машин, як роторні екскаватори, перевантажувальні і відвальні мости, навантажувально-розвантажувальні машини і тому подібне. Великого поширення стрічкові завантажувачі набули завдяки можливості здобуття високої продуктивності (до 30000 т/ч), великій довжині транспортування (до 3-4 км. в одному завантажувачі і до 100 км. в системі з декількох завантажувачів), простоти конструкції і експлуатації і високої надійності роботи.

По розташуванню на місцевості стрічкові завантажувачі розділяють на стаціонарних і рухливих (що розглядаються в цій главі), пересувних і переносних, переставних (для кар'єрів відкритих розробок) і надводних, плаваючих на понтонах.

По конструкції і призначенню розрізняють стрічкові завантажувачі загального призначення (ГОСТ 22644-77-ГОСТ 22647-77) і спеціальні: підземні, для харчової, мукомельно-круп'яної і комбікормової промисловості і потокового виробництва в приладобудівній, радіотехнічній і легкій промисловості.

За типом стрічки завантажувачі бувають з прогумованою, сталевою цілісно прокатною і дротяною стрічкою. Найбільшого поширення набули завантажувачі з прогумованою стрічкою. По конструкції прогумованої стрічки, опорних ходових пристроїв і передачі тягового зусилля розрізняють стрічкові завантажувачі, в яких

стрічка є вантажонесучим і тяговим елементом (основний тип), стрічково-канатні і стрічково-ланцюгові, в яких стрічка служить лише вантажонесучим елементом, а тяговим елементом є два канати або один ланцюг.

Завантажувачі з різними видами стрічок можуть мати по контуру однакові траси, проте радіуси поворотів і кути нахилу p для кожного виду стрічок будуть різними. Кут нахилу конвеєра до горизонту залежить від коефіцієнта тертя вантажу, що транспортується, об стрічку при русі (а отже, від матеріалу і характеру поверхні стрічки), форми профілю стрічки (плоска або жолобчаста), кута природного укосу насипного вантажу, способу завантаження і швидкості руху стрічки.

Для забезпечення стійкого нерухомого положення вантажу на стрічці без його подовжнього сповзання вниз кут нахилу конвеєра має бути приблизно на $10-15^\circ$ менше кута тертя вантажу об стрічку у спокої. Такий запас необхідний тому, що із-за провисання стрічки кут її підйому в роликпопор виходить більшим, ніж загальний геометричний кут нахилу конвеєра. Крім того, стрічка на роликпопорах струшується із-за неминучого биття роликів, що сприяє сповзанню вантажу вниз. Струшування буде тим інтенсивніше, чим більше швидкість стрічки і грубіше виготовлені опорні ролики. Безперервне рівномірне завантаження забезпечує більший кут нахилу, чим періодичне завантаження з перервами потоку вантажу.

Технічні характеристики перевантажувача приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1- Технічні характеристики перевантажувача

Показники	Одиниця виміру	Величина
Ширина стрічки	мм.	800
Довжина конвеєра: Номінальна, між центрами барабанів Між центрами барабанів по горизонталі	мм	6360 6060
Швидкість руху стрічки	м/сек.	2
Продуктивність	т/час	5
Висота підйому	мм	0

Регулювання швидкості руху стрічки	Частотне регулювання	
Виконання електроустаткування	Загальнопромислове	
Система управління конвеєром	Імпульсно-фазова	
Електродвигун: тип потужність, кВт	Асинхронний кВт	2,5

1.2 Загальні принципи реалізації системи керування приводом перевантажувача

Принципова схема електроприводу окремих ліній перевантажувача (рисунок 1.2), швидкості руху яких мають бути строго однакові.

Така необхідність виникає в потоковому виробництві, коли різні вироби після необхідних технологічних операцій на окремих лініях повинні зустрічатися на складальній ділянці в строгій відповідності один з одним. Схема дозволяє одночасно пускати і зупиняти декілька завантажувальних ліній і регулювати їх швидкість руху.

Погоджений рух досягається включенням двигунів за схемою синхронного валу із загальним перетворювачем частоти (ПЧ). Регулювання швидкості двигунів Д1 і Д2 здійснюється зміною швидкості ПЧ за допомогою редуктора Р із змінним передавальним відношенням.

Дозвіл на пуск завантажувачів дається операторами, що стежать за роботою завантажувачів на найбільш відповідальних ділянках. Натиснення на кнопки готовності SB3 і SB4 викликає запалення сигнальних ламп ЛС1 і ЛС2 і спрацьовування реле К1 і К2. Останні готують ланцюг пускового реле К3. При натисненні на кнопку SB5 "Пуск" спрацьовує К3, яке включає контактор К4. Відбувається однофазна синхронізація положення ПЧ, Д1 і Д2. Через витримки часу маятникові реле, вбудовані в контактори К4 і К5, послідовно включається К5, відключається К4 і включається К6. Здійснюється реостатний пуск двигуна перетворювача частоти за принципом часу (реле часу К10, К11, К12).

Перевагою даної схеми є те що, швидкість руху електродвигунів однакова, простота і дешевизна конструктивного виконання.

До недоліків схеми релейно-контакторного управління електроприводами з використанням пуско-регулюючих резисторів (ящиків опорів) для управління трифазним асинхронним двигуном з фазним ротором має наступні недоліки, що наводять до істотних експлуатаційних витрат. Втрати енергії в резисторах складають 20-30% від загальної споживаної потужності;

У зв'язку із ступінчастим характером регулювання мають місце поштовхи моменту двигуна, що негативно позначаються на механічному устаткуванні і, відповідно, швидкість пересування також носить нерівномірний характер.

Оскільки елементи ящиків опорів працюють при високій температурі і в умовах трясіння, викликаній поштовхами швидкості, має місце досить частий вихід їх з роботи.

Дозвіл на пуск завантажувачів дається операторами, що стежать за роботою завантажувачів на найбільш відповідальних ділянках. Натиснення на кнопки готовності SB3 і SB4 викликає запалення сигнальних ламп ЛС1 і ЛС2 і спрацьовування реле К1 і К2. Останні готують ланцюг пускового реле К3. При натисненні на кнопку SB5 "Пуск" спрацьовує К3, яке включає контактор К4. Відбувається однофазна синхронізація положення ПЧ, Д1 і Д2. Через витримки часу маятникові реле, вбудовані в контактори К4 і К5, послідовно включається К5, відключається К4 і включається К6. Здійснюється реостатний пуск двигуна перетворювача частоти за принципом часу (реле часу К10, К11, К12).

Релейно-контакторна апаратура, що працює дуже інтенсивно (до 600 включень в годину) вимагає постійного догляду, і має низьку надійність, що наводить до простоїв устаткування.

1.3 Система керування електроприводом стрічкового перевантажувача

З аналізу попередніх розділів виходить, що основними засобами регулювання швидкості магістральних завантажувачів при пуску (за умови вживання

асинхронних двигунів з фазним ротором) є реостатне регулювання або система асинхронний вентиляний каскад. Реостатне регулювання забезпечується вживанням вибухобезпечних рідинних реостатів (ВЖР), або ящиків опору безпечних (ЯСВ). Спосіб відрізняється низькою економічністю, недостатньою експлуатаційною надійністю засобів регулювання. Він не дозволяє підтримувати тривалі рівні малих швидкостей. Розвитком цього способу управління завантажувальними лініями є вживання регулювальників тиристорів роторного струму з узагальненою реостатною схемою, включаючи силові ключі тиристорів для шунтування окремих опорів (розробка фірми “Estel Pluss AS” м. Таллінн).

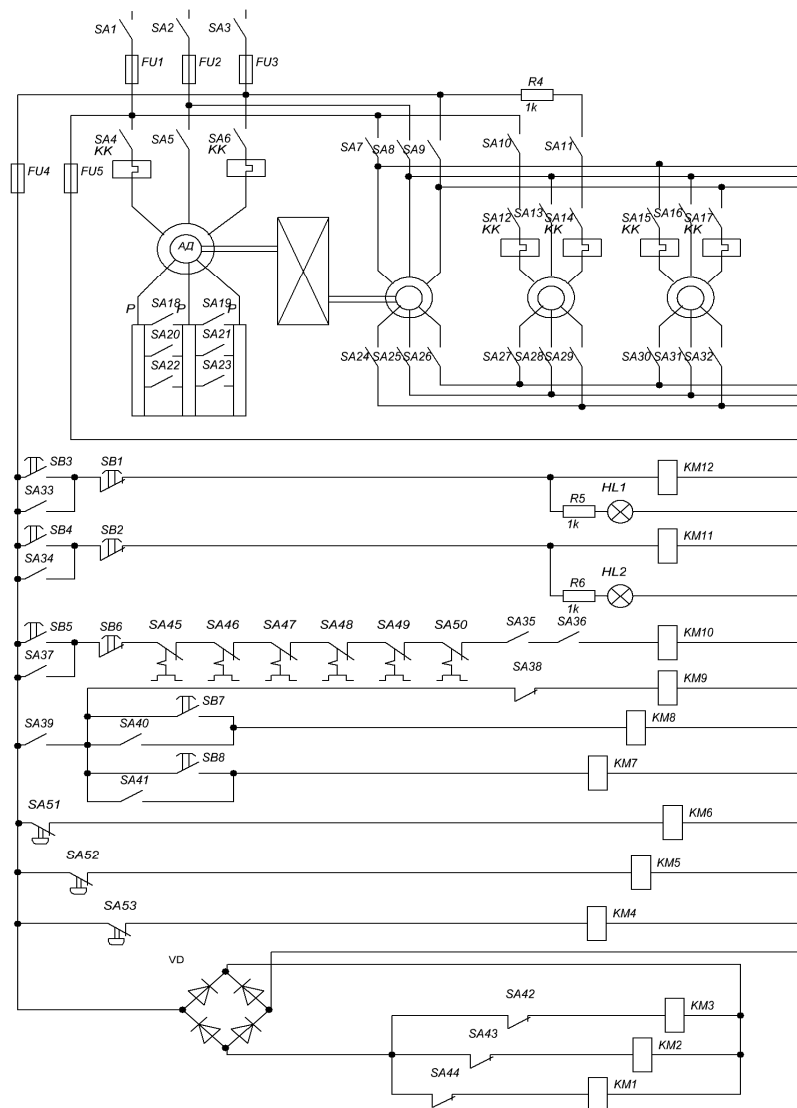


Рисунок 1.2 - Схема електроприводу завантажувальних ліній з погодженим рухом

Пристрої призначені для безконтактного плавного пуску асинхронних двигунів з фазним ротором. Основне вживання пристроїв - запуск високовольтних асинхронних двигунів потужністю 200.1600кВт для стрічкових завантажувачів:

транспортування руди на гірничо-збагачувальних комбінатах різного профілю;

транспортування палива на теплових електростанціях;

транспортування сипких вантажів на значні відстані.

Пристрої плавного пуску (УПТ) працюють також в режимі багаторухового приводу з одним ведучим і декількома веденими агрегатами - для особливо довгих завантажувачів. Можлива також тривала робота на зниженій швидкості.

Система частотного управління асинхронним двигуном.

Одна з можливих схем автоматичного управління асинхронним двигуном з короткозамкнутим ротором, керованим за допомогою перетворювача тиристора частоти з автономним інвертором струму, представлена на рис.1.3 У ній силова частина перетворювача поєднується із спрощеною схемою блоку регулювання, що формує необхідний зв'язок між струмом і ковзанням в статичних і динамічних режимах. Блок побудований за принципом підлеглого регулювання.

Вхідними сигналами блоку регулювання є: задаюча напруга U_3 визначає частоту автономного інвертора струму (АІТ), напругу негативного зворотного зв'язку по випрямленому струму U_i , що знімається з датчика струму (ДС), і напруга U_ω негативному зворотному зв'язку по кутовій швидкості асинхронного двигуна, що знімається з датчика швидкості (ДШ). Блок регулювання складається з чотирьох операційних підсилювачів, виконаних на інтегральних мікросхемах.

Регулювання випрямленого струму (отже, струму статора двигуна) здійснюється за допомогою регулювальника струму (РС), що впливає через систему управління випрямлячем (СУВ) на кут включення тиристорів керованого випрямляча (УВ). Регулювальник струму (РС) зібраний на операційному підсилювачі за схемою пі-регулювальника. На його вхід через резистори R10 і R12 подаються сигнали негативного зворотного зв'язку по струму U_i і задаючий сигнал U_3 пропорційний модулю ковзання двигуна. Регулювальник РТ забезпечує в статичних

режимах точну відповідність струму статора задаючому сигналу U_3T незалежно від вихідної частоти АІТ.

За допомогою регулювальника ковзання (РК) (працює подібно П - регулювальникові швидкості в системі постійного струму) виробляються віднімання із задаючої напруги U_3 сигналу U_ω , пропорційного кутовій швидкості ротора, і посилення різницевого сигналу, тобто виробляється сигнал, пропорційний ковзанню двигуна.

Оскільки струм в ланці випрямленої напруги не міняє свого знаку незалежно від режиму роботи двигуна, а ковзання свій знак змінює, то знак задаючої напруги U_3 повинен зберігатися незмінним незалежно від знаку ковзання.

Операція виділення модуля напруги $|U_\beta|$ виробляється за допомогою діодів VD7 і VD7 і інвертора знаку, зібраного на підсилювачі (І).

На вході регулювальника частоти (РЧ) виробляється підсумовування сигналів ковзання з виходу РС і кутової швидкості з датчика ДШ, а напруга U_f з виходу РЧ подається на систему управління автономним інвертором (СУІ), що управляє вихідною частотою АІТ. Таким чином, регулювальники струму РС і частоти РЧ підпорядковані регулювальникові ковзання РК, Але вихідний сигнал РС не є задаючим сигналом для регулювальника РЧ, зокрема, тому, що на цього регулювальника вводиться не негативний, а позитивний зворотний зв'язок по кутовій швидкості.

Стабілітрон VD9 призначений для обмеження ковзання (якщо для подачі U_3 на вхід РС не використовується задатчик інтенсивності), а отже, значення струму в перехідних і аварійних режимах.

Параметри регулювальника частоти РЧ вибрані так, що із збільшенням навантаження на валу двигуна на робочій ділянці його механічної характеристики частота на виході АІТ залишається постійною унаслідок того, що зменшення сигналу кутової швидкості компенсується відповідним збільшенням сигналу ковзання. Пропорційно збільшенню сигналу ковзання зростає струм двигуна.

Коефіцієнт пропорційності підібраний таким, аби жорсткість механічної характеристики була такою ж, як в природному характеристики двигуна. При пода-

льшому збільшенні моменту навантаження відкривається стабілітрон VD9, після чого ковзання, струм і момент двигуна залишаються постійними, а частота на виході АІТ і кутова швидкість двигуна знижуються, що відповідає вертикальній ділянці механічної характеристики.

Стабілітрон VD9 призначений для обмеження ковзання (якщо для подачі U_3 на вхід РС не використовується задатчик інтенсивності), а отже, значення струму в перехідних і аварійних режимах.

Параметри регулювальника частоти РЧ вибрані так, що із збільшенням навантаження на валу двигуна на робочій ділянці його механічної характеристики частота на виході АІТ залишається постійною унаслідок того, що зменшення сигналу кутової швидкості компенсується відповідним збільшенням сигналу ковзання. Пропорційно збільшенню сигналу ковзання зростає струм двигуна.

Коефіцієнт пропорційності підібраний таким, аби жорсткість механічної характеристики була такою ж, як в природному характеристики двигуна. При подальшому збільшенні моменту навантаження відкривається стабілітрон VD9, після чого ковзання, струм і момент двигуна залишаються постійними, а частота на виході АІТ і кутова швидкість двигуна знижуються, що відповідає вертикальній ділянці механічної характеристики.

Аналогічно при подачі стрибком задаючої напруги U_3 з відкривається стабілітрон VD9, і в перший момент напруга $U_\beta = U_{\beta_{ma}}$ та оскільки $\omega_0 = 0$. Із збільшенням кутової швидкості відбувається частотний пуск двигуна при постійному ковзанні і відповідних йому постійних струмі статора і моменті двигуна. Після закінчення пуску напруга U_ω , що поступає з боку датчика кутової швидкості, стає близьким до задаючого U_3 . Стабілітрон VD9 закривається, і кутова швидкість приводу встановлюється відповідно до задаючого сигналу.

Темп пуску визначається заданими значеннями максимального ковзання, струму і моменту, що розвивається двигуном, а також статичним моментом і не залежить від U_3 .

Гальмування двигуна здійснюється відключенням напруги U_3 . При цьому гальмування відбувається з віддачею енергії в мережу.

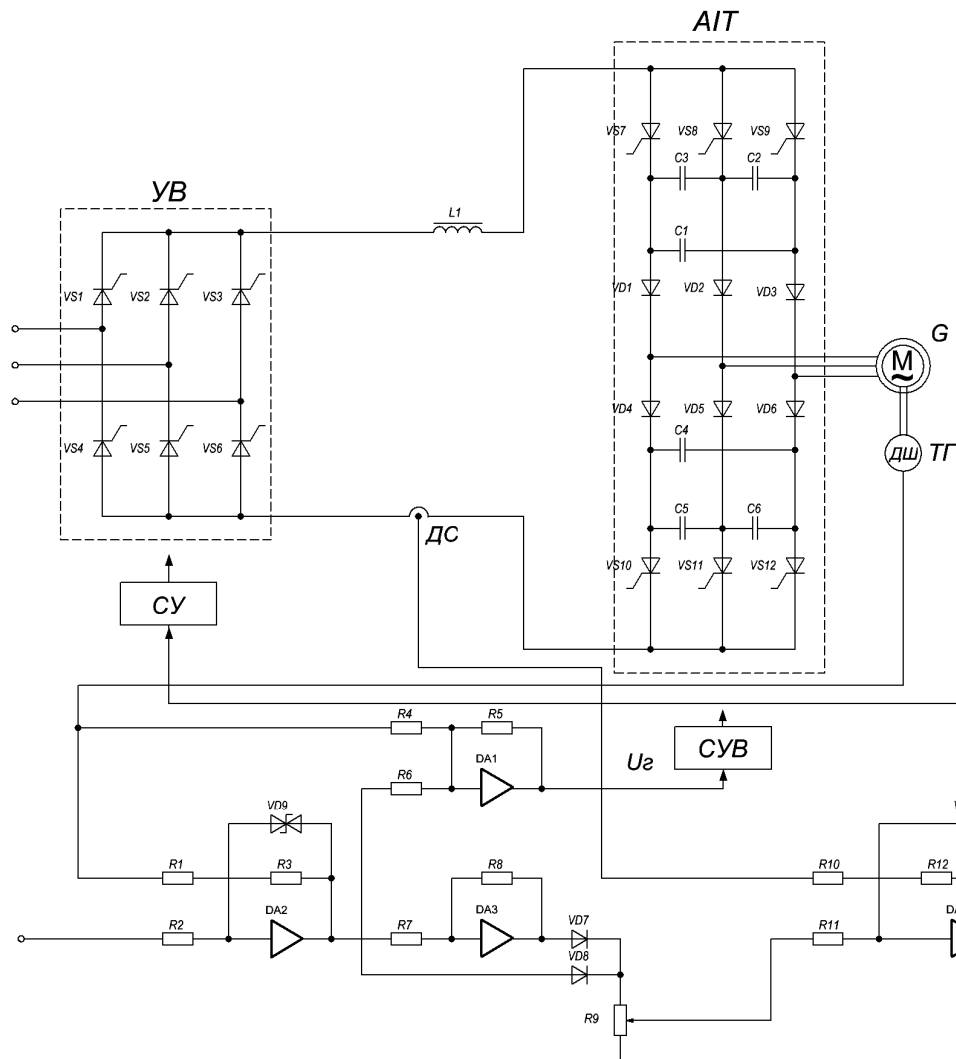


Рисунок 1.3 - Схема автоматичного управління асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором, керованим перетворювачем тиристора з автономним інвертором струму.

В цьому випадку відкривається стабілітрон VD9, але вже при іншому знаку сигналу ковзання в порівнянні з пуском, і на вході РЧ сигнал ковзання тепер віднімається з сигналу кутової швидкості, частота на виході ЛІТ зменшується, і двигун переходить в генераторний режим (ковзання стало негативним).

У міру зниження кутової швидкості знижується частота, відбувається частотне гальмування, як і пуск, при незмінних значеннях струму, моменту двигуна і ковзання.

При реверсуванні двигуна (зміна полярності U_3) спочатку здійснюється гальмування до повної зупинки з подальшим безконтактним перемиканням чергу-

вання фаз на виході АІТ, здійснюваним за допомогою системи управління інвертором, після чого двигун розганяється у зворотний бік.

Стабілітрони VD10, встановлені в ланцюзі зворотного зв'язку регулювальника струму, обмежують максимальний рівень сигналу управління випрямлячем U_a , тобто максимальні значення ЕДС у випрямному і інверторному режимах його роботи.

Управління тиристора асинхронним двигуном з коротко замкнутим ротором.

Для управління асинхронним двигуном можуть використовуватися тиристири у поєднанні з релейно-контакторними апаратами. Тиристири застосовуються як силові елементи і включаються в ланцюг статора, релейно-контакторные апарати включаються в ланцюг управління.

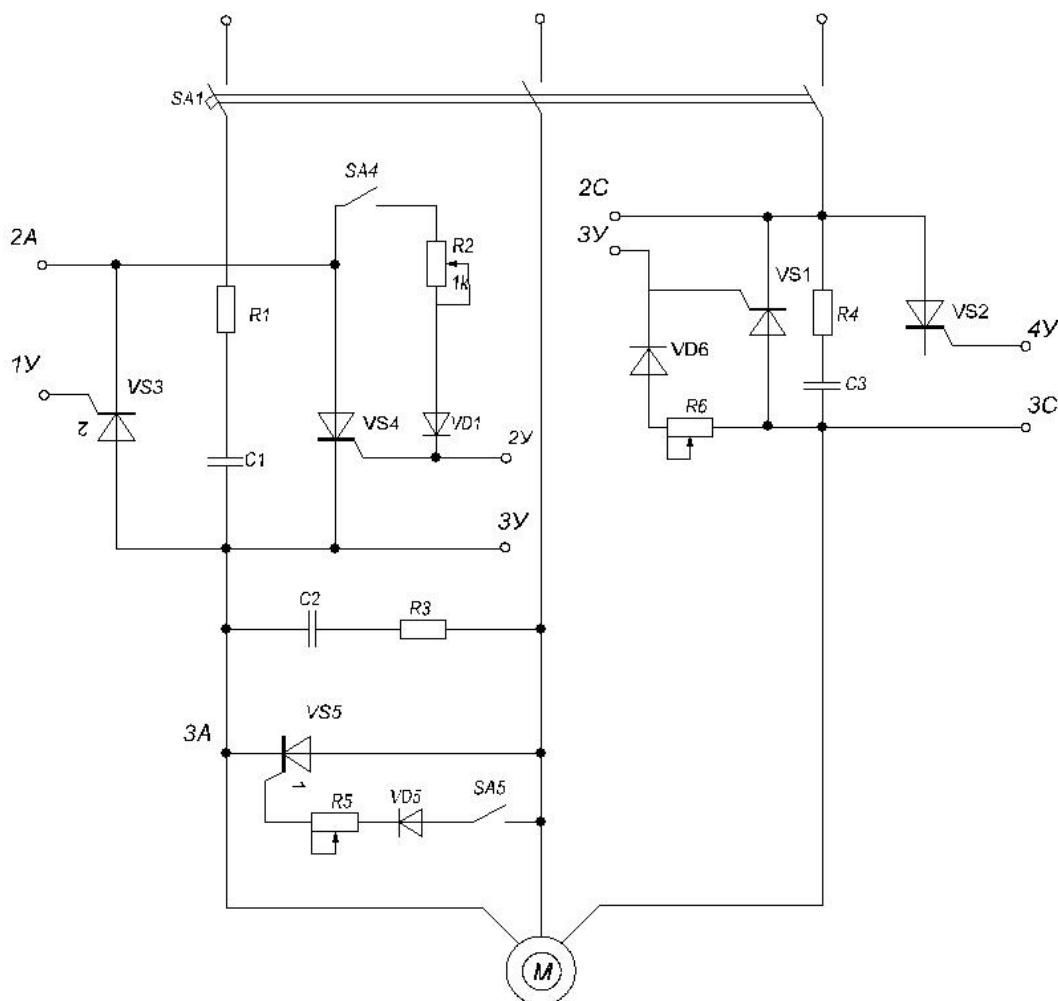


Рисунок 1.4 а - Силове коло

Використовуючи тиристори як силові комутатори, можна на статор при пуску подавати напругу від нуля до номінального значення, обмежувати струми і моменти двигуна, здійснювати ефективне гальмування або кроковий режим роботи. Така схема приведена на рисунку 1.4

Використовуючи тиристори як силові комутатори, можна на статор при пуску подавати напругу від нуля до номінального значення, обмежувати струми і моменти двигуна, здійснювати ефективне гальмування або кроковий режим роботи. Така схема приведена на рисунку 1.4

Силова частина схеми складається з групи тиристорів VS1... VS4, включених зустрічно-паралельно у фази А і С. Між фазами А і У включений короткозамикаючий тиристор VS5. Схема складається з силового ланцюга (рисунок 1.4, а), ланцюги управління (рисунок 1.4, б) і блоку управління тиристорами - БУ (рисунок 1.4, в).

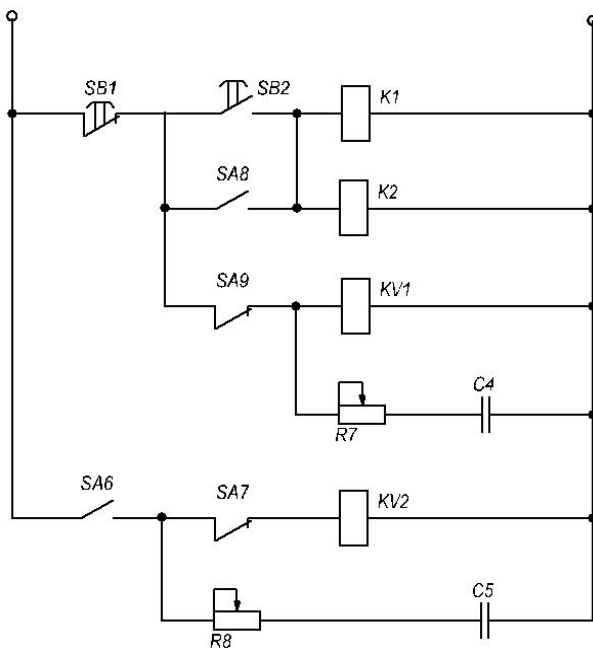


Рисунок 1.4 б - Коло управління

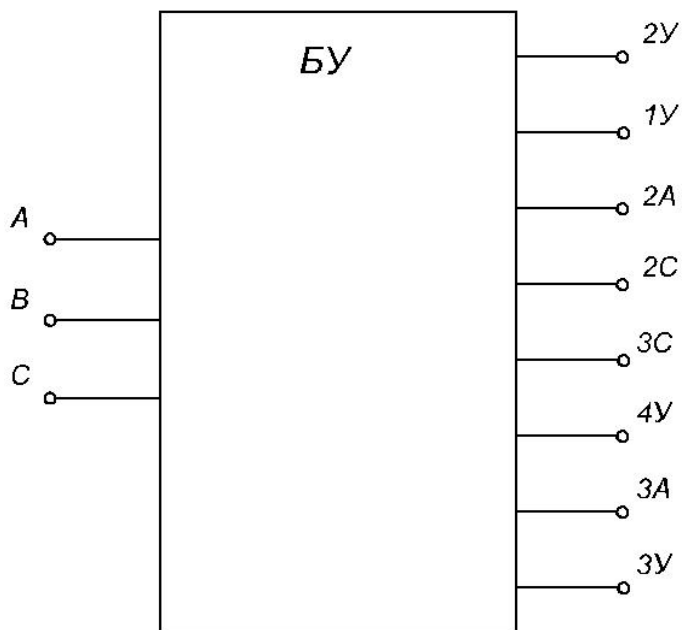


Рисунок - 1.4 в - Блок управління тиристорами

Для пуску двигуна включається автоматичний вимикач SA1, натискується кнопка SB2 "Пуск", внаслідок чого включаються контактори K1 і K2. На електроди тиристорів VS1, що управляють... VS4 подаються імпульси, зрушені на 60° відносно живлячої напруги. До статора двигуна прикладається знижена напруга, що призводить до зниження пускового струму і пускового моменту.

Розмикаючий контакт KM1 відключає реле KV1 з витримкою часу, яка визначається резистором R7 і конденсатором C4. Розмикаючими контактами реле KV1 шунтуються відповідні резистори в блоці управління, і на статор подається повна напруга мережі.

Для гальмування натискується кнопка SB1 "Стоп". Схема управління втрачає живлення, відключаються тиристири VS1... VS4. Це наводить до того, що на період гальмування включається реле KV2 за рахунок енергії, запасеної конденсатором C5, і своїми контактами включає тиристири VS2. і VS5. Через фази A і B статора проходить постійний струм, який регулюється резисторами R1 і R3. Забезпечується ефективне динамічне гальмування.

2 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ

2.1 Аналіз силової частини

Старі релейно-контакторні схеми систем управління електроприводів завантажувальних ліній з погодженим рухом істотно застаріли, оскільки у неї невисока продуктивність і швидкість роботи, точність позиціювання, крім того, за такими схемами повинен вироблятися постійний контроль її контактно - релейної групи і працездатності.

Завданням кваліфікаційної роботи є розробка перетворювача, що забезпечує живлення обмотки збудження двигуна змінного струму, потужність, що віддається в навантаження $P_d = 2,5 \text{ кВт}$, номінальна випрямлена напруга $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$, напруга живлячої мережі $U_c = 380 \text{ В}$.

Індуктивність навантаження рівна $L_d = 0.25 \text{ Гн}$. Перетворювач повинен забезпечувати мінімальні низькочастотні пульсації випрямленої напруги, а також містити захист від перегріву силових вентилів.

На підставі вище викладеного в кваліфікаційній роботі необхідно вирішити наступні завдання:

Провести аналіз існуючих схемо-технічних рішень управління електроприводом конвеєрної лінії;

Розробити структурну і функціональну схеми модернізації системи управління електроприводу конвеєра;

Виконати обґрунтований розрахунок основних вузлів і агрегатів системи управління завантажувальної лінії;

По отриманих теоретичних результатах виконати модельне дослідження в програмному продукті Multisim силової частини електроприводу завантажувальної лінії;

За отриманими теоретичними і експериментальними даними зробити висновки за результатами пропонованої автоматизації.

2.2 Розробка функціональної схеми системи керування перевантажувачем

Як основний пристрій управління вибираємо керований мостовий перетворювач тиристора. Основним функціональним завданням якого є управління асинхронним електроприводом.

Для забезпечення нормальної роботи системи управління, що розробляється, складемо загальну функціональну схему всього комплексу, яка представлена на рисунку 2.1 Напруга мережі поступає на трансформатор (ТР), де зменшується до необхідного рівня живлення керованого мостового перетворювача тиристора (КМПП). Унаслідок чого забезпечується обертання асинхронного двигуна (АД), на вал якого закріплений за допомогою механічного зв'язку тахогенератор (ТГ) промовець у вигляді елемента зворотного зв'язку за швидкістю. Отримані сигнали зворотного зв'язку за швидкістю, струму і напрузі через блок зворотних зв'язків (БЗЗ) подається в систему управління (СУ) що дозволяє регулювати роботу КМПП. Система управління насичується від додаткового джерела живлення (ДЖ).

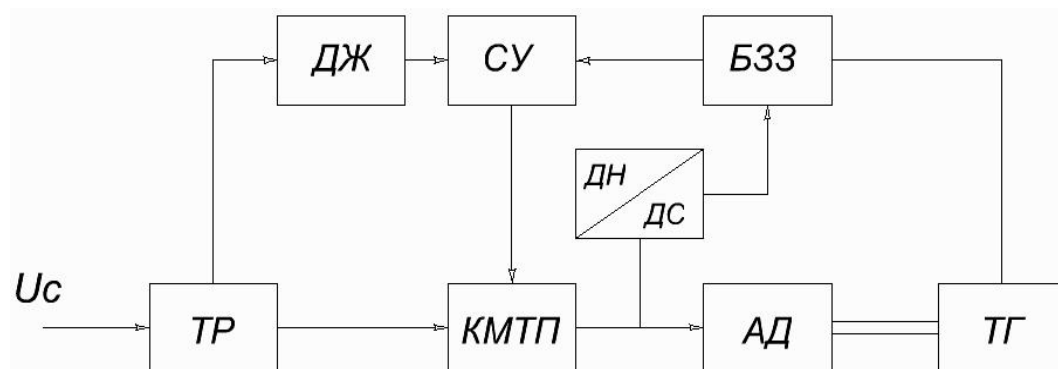
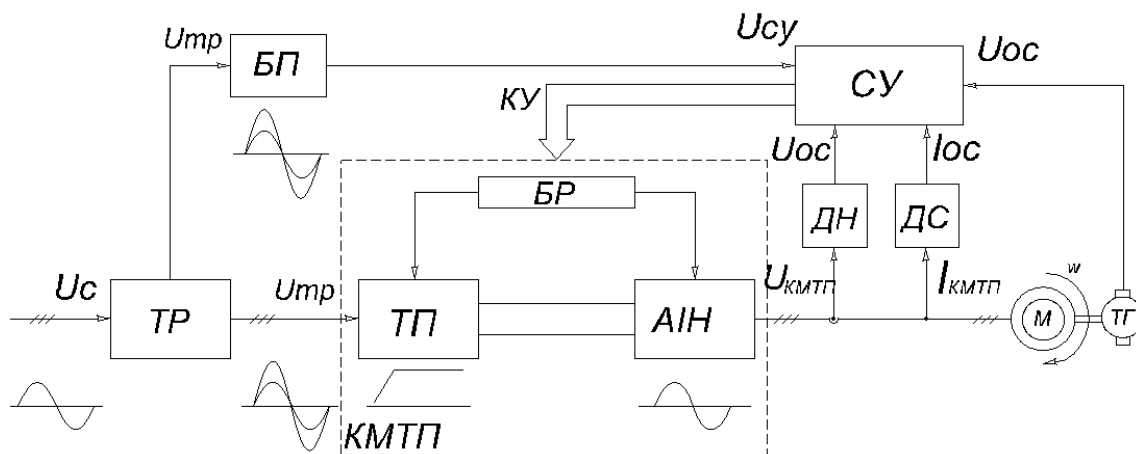


Рисунок 2.1 – Загальна функціональна схема системи управління мобільного стрічкового перевантажувача.

На підставі розробленої структурної схеми рисунку 2.1 була складена функціональна схема яка представлена на рисунку 2.2.

Трьохфазна сіткова напруга U_c поступає на трансформатор (ТР) і зменшується до необхідного рівня. Отримана на виході U_{tr} подається на керований мостовий тиристорний перетворювач (КМТП) який складеться з тиристорного

Зміну швидкості обертання привода М з частотою ω зніметься тахогенератором (ТГ) і реалізує зворотній зв'язок по швидкості.



2.3 Аналіз електричної принципової схеми системи керування стрічковим завантажувачем

Розроблений пристрій дозволяє регулювати змінну напругу трифазної мережі, навантаження якої сполучене зіркою. Розроблений трифазний регулятор напруги складається з трьох однакових однофазних регулювальників. Кожна фаза працює незалежно від інших. Для регулювальника були використані симетричні тиристори з гальванічною розв'язкою імпульсним трансформатором з коефіцієнтом трансформації 1. Система управління побудована на цифрових мікрос-

хемах і дозволяє змінювати напругу на навантаженні в межах 50 - 220 В. Регулятор розрахований на струм навантаження 20 А.

Розглянемо принцип дії системи управління (рисунк 2.3), яка побудована на цифрових мікросхемах.

У регулювальнику використаний імпульсний метод регулювання комутуючими елементами - симетричними тиристорами. Час фазового регулювання визначає число розрядів в лічильнику вузла управління і період мережевої напруги.

Цифровий код регулювання з виходу DD5 поступає на вхід трьох однакових за схемою вузлів управління - каналів А, В і С. Фазова інформація, необхідна для роботи кожного каналу, поступає від трифазної мережі живлення навантаження. Кожен канал виробляє сигнал управління своїм симістором. Для живлення ланцюгів каналів служить окреме джерело стабілізованої напруги 5 В

Синусоїдальна фазна напруга через резистор R1 поступає до вузла синхронізації, виконаному на здвоєному оптроні U1. При позитивній півхвилі струм протікає через світлодіод оптрона U1.1 і транзистор цього оптрона відкритий, тому на входах логічного елементу DD1.1 низький рівень сигналу. При негативній півхвилі відкритий транзистор оптрона U1.2 і на входах елементу DD1.1 також низький рівень.

Але в моменти, коли мережева напруга переходить через нуль, обидва світлодіода вимкнені, транзистори оптронів закриті, а на входах елементу DD1.1 на короткі відрізки часу з'являється рівень логічної одиниці. На виході цього елементу формуються прямокутні синхроімпульси в моменти, коли фазна мережева напруга дорівнює нулю.

Синхроімпульси поступають одночасно на вхід дозволу запису PE лічильника DD2, на один з входів RS-триггера, зібраного на елементах DD3.1, DD3.2, і на вхід генератора імпульсів, що управляє (на один з входів елементу DD1.3). Коли на вхід PE лічильника DD2 приходить напруга низького рівня, то код, зафіксований раніше по паралельних входах D1, - D4 лічильника, завантажується в

нього незалежно від сигналів на тактових входах, тобто операція паралельного завантаження асинхронна.

У вихідному положенні на виході ≥ 15 лічильника високий рівень. Якщо рахунок досяг максимуму, то з приходом наступного негативного тактового перепаду на вхід +1 лічильника на його виході з'явиться рівень логічного нуля. Таким чином, на входи RS-триггера DD3.1, DD3.2 поступають імпульси низького рівня: синхроімпульс з логічного елементу DD1.1 і вихідний імпульс лічильника DD2, зміщений по відношенню до синхроімпульса на якийсь час, визначуване цифровим кодом на паралельних входах D1 - D4 лічильника.

На виході RS-триггера з'являється сигнал високого рівня, що вирішує проходження імпульсів генератора на вихід елементу збігу DD4.1 Цей елемент формує пачки коротких імпульсів, які через імпульсний трансформатор Т1 поступають на перехід симістора каналу, що управляє, і відкривають його. Імпульсний трансформатор дозволяє гальванічно розв'язати ланцюги каналу від мережі.

Генератор імпульсів виконаний на логічних елементах DD1.2 - DD1.4 Частоту f_z імпульсів генератора вибирають відповідно до залежності:

$$f_z = 2 \cdot F_c \cdot (2^n - 1), \quad (2.1)$$

де F_c - частота живлячої мережі, Гц;

n - число розрядів лічильника.

Налагодження регулювальника потужності полягає в установці необхідної частоти генератора.

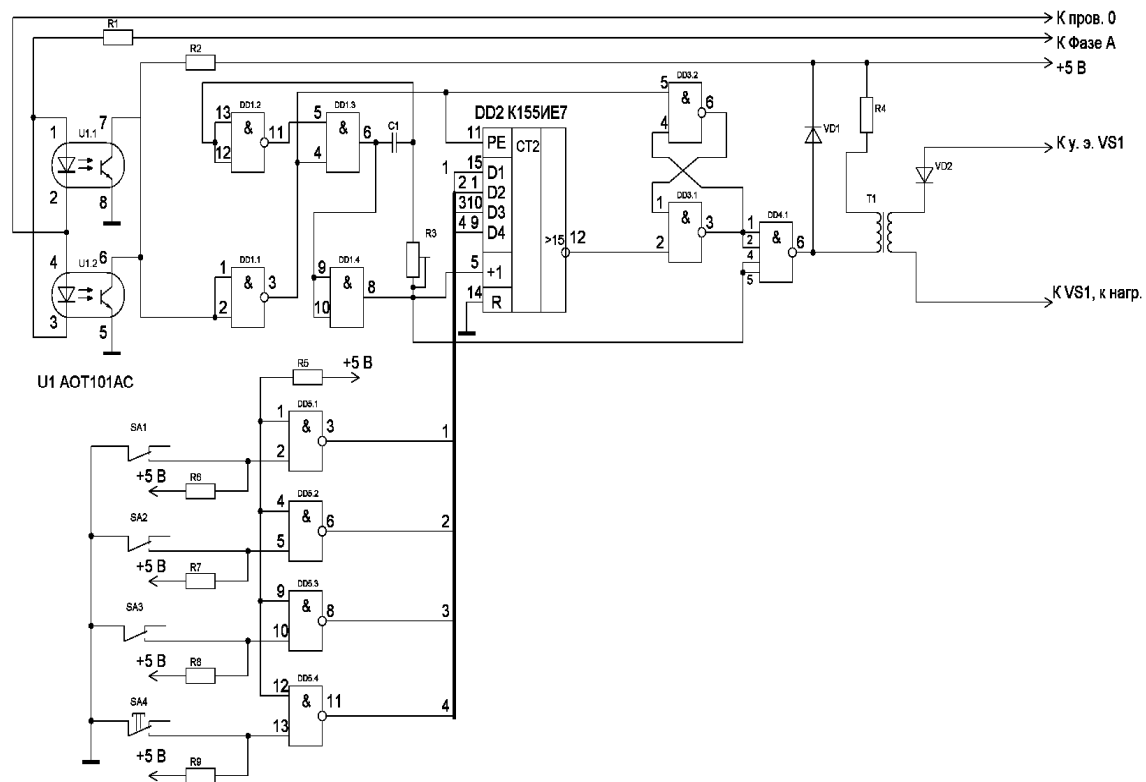


Рисунок 2.3 - Схема системи управління

3 ОПИС КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ALTIVAR

Частотні перетворювачі на базі силових модулів IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) розраховані на струми до декількох кілоампер 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 вгору має місце зниження магнітного потоку, тобто зменшення амплітуди напруги.

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 векторного управління без датчиків зворотного зв'язку (SVC).



Рисунок 3.1 – Перетворювачі частоти типу Altivar:
(Altivar 68; Altivar 58; Altivar 66)

Для зупинки чи для уповільнення двигуна крім механічних способів існують і електричні. Найпростіший — це вибіг, 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 тім, 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 потрібно 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.

Широка ланка частотних перетворювачів Altivar, вироблених компанією “Шнейдер Електрик” (рисунок 3.1), дозволяють вирішити проблеми керування двигунами з однофазною або трифазною напругою живлення й потужністю 0,18-630 кВт.

Сьогодні Schneider Electric входить у число найбільших світових виробників електротехнічного устаткування й засобів автоматизації. Володіє відомими торговими марками.

“Schneider Electric Україна” пропонує широкий спектр продукції для:

- передачі і розподілу електроенергії;
- управління в промислових процесах;
- автоматизації технологічних процесів.

Асинхронні частотно-регульовані приводи (АЧРП) забезпечують плавне регулювання швидкості обертання стандартних промислових асинхронних електродвигунів потужністю від 0,37 до 630 кВт у широкому діапазоні частот (від 0,1 до 500 Гц). Застосування АЧРП дозволяє оптимізувати режим роботи (продуктивність) промислової установки чи агрегату відповідно до виробничого завдання і/чи поточними параметрами технологічного процесу. При цьому економія електроенергії досягається за рахунок роботи електропривода установки (агрегату) на знижених оборотах у тих випадках, коли виробнича програма чи процес не вимагають постійної роботи механізму, що приводиться з максимальною продуктивністю.

“Schneider Electric” випускає різні типи Altivar:

Altivar™68	250-630кВт
Altivar™66	2,2-220 кВт
Altivar™28	0,37-15кВт
Altivar™08	0,37- 75кВт

АЧРП забезпечують не тільки економію електроенергії, але і заощадження ресурсу при плавному пуску й зупинки механізмів.

Пристрої АЧРП сімейства Altivar™ володіють рядом додаткових можливостей і переваг , включаючи:

- автоматичне регулювання оборотів по сигналу датчика тиску, витрати, чи температури іншого параметру процесу;
- програмувальний графік (цикл) зміни оборотів;
- програмувальний темп і графік прискорення/гальмування;

- захист електродвигуна від перевантажень;
- координовану роботу декількох АЧРП для управління виробничими лініями й ділянками;
- зв'язок із комп'ютерами й іншими засобами автоматизації виробництва;
- можливість прямого підключення до промислової мережі Ethernet.
-

3.1 Функції які виконує ALTIVAR

Altivar 68 надійний і компактний перетворювач частоти, призначений для всіх типів трифазних асинхронних двигунів великої потужності. Він втілює в собі новітні технології й інноваційні функції, що відповідають найбільш частим застосуванням.

Перетворювач Altivar 68 має макроконфігурації, орієнтовані на конкретні типи загально промислових механізмів, що містять невелике число базових параметрів. Вони набудовуються за бажанням за допомогою терміналу програмування, що дозволяє створювати додаткові функції.

Перетворювач перекидає діапазон потужностей від 75 до 500 кВт для застосувань із збільшеним моментом і від 90 до 630 кВт для використання моментом для єдиної гами напруг від 400 до 500 В.

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

Основними функціями перетворювача частоти є:

- пуск і регулювання швидкості двигуна,
- прискорення, уповільнення, зупинка,
- захист двигуна й перетворювача і т.д.

Для електродвигунів із природною вентиляцією, охолодження зв'язане з їхньою швидкістю обертання. Це приводить до необхідності зниження навантаження при швидкостях, менших номінальній швидкості. Для налаштування теп-

лового захисту двигуна бажано мати інформацію від виготовлювача про значення теплової постійної часу .

Нове покоління перетворювачів частоти Altivar— це новітні технології виконання і управління в електроприводах перемінного струму.

Завдяки сучасним алгоритмам векторного управління і великих функціональних можливостей, перетворювачі Altivar допоможуть Вам реалізувати одно- і багатодвигунні частотно-регульовані електроприводи для механізмів із будь-яким характером навантаження. Наявність ручного й автоматичного режимів управління від ПК, ПЛК, панелі оператора дозволяє вмонтувати електропривід в автоматизовані системи будь-якої складності.

У нашому розпорядженні:

- прикладні спеціалізовані карти;
- прикладні макропрограми;
- автопідстроювання до двигуна;
- автоматичне підстроювання частоти модуляції;
- енергозберігаючий режим;
- автоматичний повторний пуск;
- підхоплення на ходу;
- переключення двигунів і блоків параметрів;
- двох- і трипровідне управління;
- автоматичний задатчик;
- фіксовані установки швидкості;
- S- і U- образні криві розгону-гальмування;
- переключення темпів розгону-гальмування;
- адаптація темпів розгону-гальмування;
- пропуск частотних вікон;
- покрокова робота;
- управління зупинкою двигуна;
- управління гальмом;
- обмеження моменту двигуна;

- ПІ(Д)- регулювання технологічних перемінних;
- регулювання швидкості за допомогою ТГ і ЦД; регулювання.

3.2 Вибір ALTIVAR

Зараз для регульованого електропривода перемінного струму компанія “Schneider Electric” пропонує:

- сімейство перетворювачів частоти потужністю до 630 кВт;
- пристрою плавного пуску й гальмування потужністю до 800 кВт;
- сервоприводи на базі вентильних двигунів для систем ЧПУ потужністю до 130 кВт.

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 кіловатів. 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.

У 2000 році в рамках проведеною компанією Шнейдер Електрик широко-масштабної програми відновлення продукції завершується створення нового сімейства перетворювачів Altivar, що включає серії:

- Altivar 08 - потужністю від 0,18 до 0,75 кВт;
- Altivar 28 - потужністю від 0,37 до 15 кВт;
- Altivar 58 - потужністю від 0,37 до 55 кВт;
- Altivar 68 - потужністю від 75 до 500 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:

- використання для вирівнювача і проміжної ланки постійного струму діодів і електролітичних конденсаторів із поліпшеними характеристиками, а для автономних інверторів - більш зроблених інтелектуальних модулів IPM (наприклад, IPM серії SKIP у перетворювачах Altivar 58);

- застосування високоефективного 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 охолодними 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 що задає, і перемикачем напрямку обертання. Дане рішення в порівнянні з бортовими перетворювачами (ПЧ, вбудованими 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.

Нове покоління перетворювачів Altivar володіють більш новітніми програмними засобами, які відрізняються наступними характеристиками:

- розширені функціональні й сервісні можливості. Перетворювачі ATV 58 і ATV 68 по праву можна назвати багатфункціональними, оскільки поряд з використанням великого числа прикладних функцій у них реалізовані макропрограми (макроконфігурації), орієнтовані на конкретний тип загальпромислового механізму. Кожна макропрограма поєднує ряд прикладних функцій, визначає налаштування параметрів і призначення аналогових і дискретних входів-виходів, набага-

то спрощуючи процес налаштування й введення в експлуатацію електропривода. Можливості базового блоку можуть бути значно розширені при використанні карт розширення входів-виходів. Крім цього, для перетворювачів ATV 58 розроблені спеціальні прикладні карти для переключення насосів, двигунів і груп параметрів. Так, прикладна карта переключення насосів дозволяє керувати групою насосів (до п'яти штук), забезпечуючи постійний тиск у магістралі, діагностику й оптимізацію роботи насосної чи компресорної установки. Таким чином, перетворювачі ATV 58 дозволяють створювати локальні об'єктно-орієнтовані електроприводи за допомогою мікропроцесорних засобів самого ПЧ без використання промислових логічних контролерів.

- Прекрасні статичні й динамічні характеристики електроприводів завдяки реалізації поліпшених алгоритмів векторного управління. У модифікаціях перетворювачів ATV 58F і ATV 68F із векторним управлінням потоком із датчиком швидкості динамічні можливості такі, що їх успішно можна використовувати у швидкодіючих високоточних електроприводах.

- Розширені діалогові можливості, забезпечувані інтелектуальними пультами управління й програмування перетворювачів ATV 58 і ATV 68. Енергонезалежна пам'ять цих пультів дозволяє зберігати до 8 користувальницьких конфігурацій.

- Універсальні можливості по керуванню ПЧ від комп'ютерів і промислових контролерів, обумовлені наявністю убудованих послідовних інтерфейсів RS 232 C і RS 485, а також комунікаційних карт, що підтримують стандартні протоколи зв'язку. Спеціально для перетворювачів ATV 58 і ATV 28 розроблена панель оператора Magelis, що дозволяє здійснювати контроль за роботою до 8 перетворювачів по багатоточечному інтерфейсі RS 485 зі спрощеним протоколом Modbus.

Таким чином, нову серію перетворювачів Altivar відрізняють:

- компактність і надійність, завдяки застосуванню найсучаснішої елементної бази;

- багатифункціональність, забезпечувана великим числом прикладних макропрограм і спеціалізованих карт;

- різноманіття конструктивних варіантів виконання;

- розширені діалогові і комунікаційні можливості;

Так як нам потрібно керувати електродвигуном потужністю 200 кВт і вимагаються невеликі габаритні розміри – вибираємо Altivar68.

Існують різні можливості по комплектації Altivar68. Вибираємо ATV.28-33N4. По своїх технічних характеристиках і виконуваних функціях він підходить для управління обраного нами електродвигуна потужністю 200 кВт і числом обертів 1500 об/хв.

3.3 Технічні характеристики ALTIVAR 28 –33N4

Характеристики привода

Діапазон вихідної частоти Гц - 0 - 300:

- Стабільність частоти: $\pm 0,01 \%$ при 50 Гц;

- Дозвіл: 0,01 Гц.

Діапазон швидкості:

- 100 (у конфігурації зі збільшеним моментом).

Статична точність

У розімкнутій системі (без карти імпульсного датчика зворотного зв'язку по швидкості):

- 30% номінального ковзання при швидкості $>10 \%$ номінальної швидкості двигуна;

- 50% номінального ковзання при швидкості $<5 \%$ номінальної швидкості двигуна.

У замкнутій системі (із датчиком зворотного зв'язку) :

- $\pm 0,01 \%$ верхньої швидкості.

Перевантажувальний перехідний момент:

- 180% номінального моменту двигуна (типове значення $\pm 10\%$) у конфігурації зі збільшеним моментом.

Максимальний перехідний струм

При 400 і 500 В:

- 150% номінального струму зі збільшеним моментом протягом 60 с. і далі 120% в установленному режимі;

- 120% номінального струму з перемінним моментом протягом 60 с. і далі 100 % в установленному режимі.

При 460 В:

- 150% номінального струму протягом 60 сек. і далі 100 % в установленному режимі.

Обмеження струму залежить від температури радіатора. У випадку використання перетворювача вище його теплової здатності він автоматично зменшить частоту комутації і, при необхідності, обмеження перехідного струму.

Гальмовий момент:

- До 30% номінального моменту двигуна без блоку гальмування (типове значення);

- До 150% з одним чи декількома додатковими блоками гальмування.

Закон управління U/f

- векторне управління потоком без датчика зворотного зв'язку; постійний чи перемінний момент із конфігуруємою функцією енергозбереження.

Електричні характеристики

Трифазне живлення (Напруга частота)

- 400 В $\pm 15\%$, 50/60 Гц $\pm 5\%$

Максимальна вихідна напруга

- Максимальна напруга дорівнює напрузі живлення

Рівень шуму перетворювача дБА ATV 28 • 23N4 • 33N4 :

- 72 дБА

КПД

- 97,5% (включаючи втрати в мережному дроселі), при 50 Гц із номінальним навантаженням

Наявність внутрішніх джерел

- 1 вихід $+10\text{ В} \pm 20\%$, максимального струму споживання 10 мА; захищений від коротких замикань.

- 1 вихід $+24\text{ В} \pm 25\%$ програмувальний як джерело живлення для логічних входів (максимальний струм споживання 150 мА) чи для логічного виходу; захищений від коротких замикань.

Аналогові входи AI

AIV 1

- аналоговий вхід по напрузі: 0 -10 В

- Повний опір: 100 кОм

- Точність: $\pm 0,6\%$ повної шкали (10 В)

- Лінійність характеристики: $< 0,15\%$ потенціометром, що задає, 1 кОм

- Дозвіл: 10 біт ($\sim 10\text{ мВ}$)

- Програмувальні обмеження і застосування

- Запізнювання 5 мсек.

AIC 1

- аналоговий вхід по струму: 0-20 мА

- Максимальне навантаження: 250 Ом

- Точність: $\pm 0,9\%$ повної шкали 20 мА

- Дозвіл: 10 біт ($\sim 20\text{ мкА}$)

- Стабільність: $\pm 0,2\%$ при зміні температури $10\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Контроль струму нуля

- Програмувальні обмеження і застосування

- Запізнювання 5 мсек.

Електричний нуль джерела

Електричний нуль джерела може бути ізольований, але його потенціал стосовно землі не повинний бути $> 35\text{ В}$

Аналогові виходи

АОІ

- 1 аналоговий вихід по струму: 0-20 мА з програмувальними обмеженням і застосуванням

- Максимальне навантаження: 600 Ом
- Дозвіл: 10 біт
- Точність:
- частота, струм, напруга: $\pm 1,5\%$;
- момент, що здається чи активна потужність: $\pm 5\%$
- Запізнювання 5 мсек.

Вхід термістора РТС

- Максимум для 6 термісторів РТС, включених послідовно (підключення за допомогою екранованого проводу, прокладеного окремо від кабелю двигуна).
Номінальне значення опору $< 1,5$ кОм

- Опір відключення: 3 кОм, опір повернення у вихідний стан: 1,8 кОм
- Захист від короткого замикання: < 50 Ом
- Обмірюваний струм: близько 1 мА

Логічні входи DI

- 4 біполярних входи: позитивна чи негативна логіка
- Програмувальне використання
- Мінімальна тривалість для спрацьовування: 10 мсек
- Споживання: близько 8 мА при 24 В
- Стан 1, якщо більше 15 В; стан 0, якщо менше 4 В

Загальна точка

- Загальна для всіх логічних входів на базовій карті. Рівень може змінюватися до 35 В стосовно землі 0 В

Допоміжне живлення

- Дозволяє живлення ланцюга управління і додаткові карти за допомогою зовнішнього джерела

+ 24 В в випадку відключення силового живлення

- Споживання: близько 0,5 А
- Окремо за допомогою діода від внутрішнього живлення

Релейний вихід

- Програмувальний релейний вихід
- Напруга переключення: 250 В перемінного струму, чи 30 В постійного струму
- Потужність переключення: 125 ВА максимум, 150 Вт
- Максимальний встановлений струм: 3 А
- Мінімальний струм, що комутується, (нове реле): при 24 В постійного струму, 3 мА

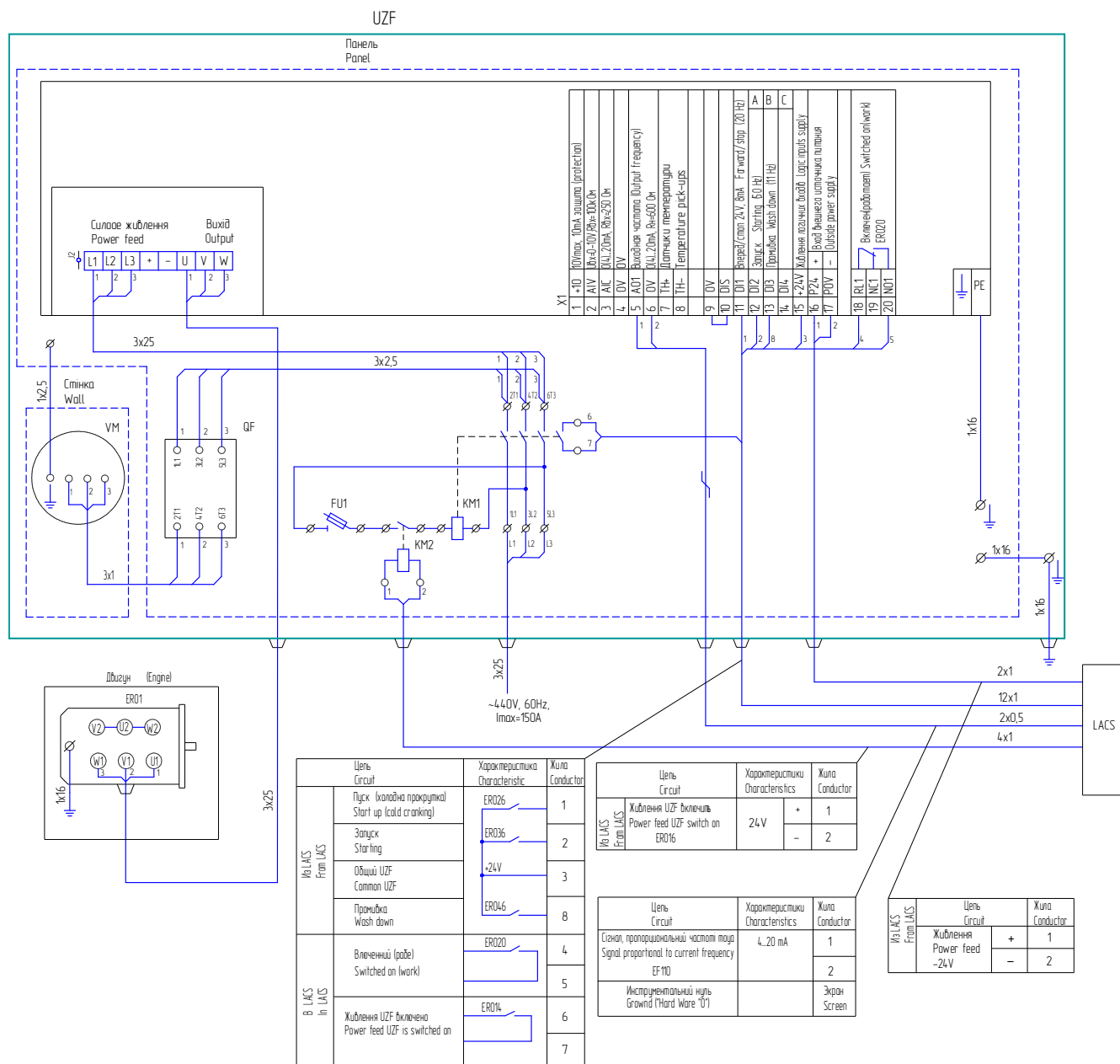


Рисунок 3.2 – Схема підключення Altivar 68

4 ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВЕКТОРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Щоб оцінити показники якості реалізовані пристроєм для автоматизації системи керування привода Altivar28 проведемо побудову й розрахунок математичної моделі векторної системи керування асинхронним двигуном.

4.1 Побудова математичної моделі асинхронного двигуна при керуванні вектором потокозчеплення ротора

При дослідженні перехідних процесів у трифазних асинхронних електродвигунах доцільно прийняти наступні допущення, що дозволяють спростити вираження основних параметрів і координат електродвигуна:

- сили обмоток, що намагнічують, двигуна розподілені синусоїдально уздовж окружності повітряного зазору;
- втрати в сталі статора і ротора відсутні;
- обмотки статора і ротора строго симетричні зі зрушенням осей обмоток на 120° ;
- насичення магнітного ланцюга відсутнє.

Рівняння рівноваги напруг для обмоток трьох фаз статора мають вид [5]:

$$\left. \begin{aligned} u_{1a} &= i_{1a} \cdot R_1 + \frac{d}{dt} \psi_{1a} \\ u_{1b} &= i_{1b} \cdot R_1 + \frac{d}{dt} \psi_{1b} \\ u_{1c} &= i_{1c} \cdot R_1 + \frac{d}{dt} \psi_{1c} \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

відповідно для обмоток трьох фаз ротора:

$$\left. \begin{aligned} u'_{2a} &= i'_{2a} \cdot R'_2 + \frac{d}{dt} \psi_{2a} \\ u'_{2b} &= i'_{2b} \cdot R'_2 + \frac{d}{dt} \psi_{2b} \\ u'_{2c} &= i'_{2c} \cdot R'_2 + \frac{d}{dt} \psi_{2c} \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

Рівняння (4.3) містить гармонійні коефіцієнти, що створює значних труднощів при дослідженні перехідних процесів. Для того щоб виключити гармонійні коефіцієнти, використовують перетворення координат. З цією метою реальні перемінні статора і ротора замінюються їхніми проекціями на взаємно перпендикулярні осі координат, що обертаються з довільною швидкістю ω_k . Таке перетворення координат відповідає приведенню трифазного електродвигуна до еквівалентного двофазного.

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_{1a} \\ \dot{i}_{1b} \\ \dot{i}_{1c} \\ \dot{i}_{2a} \\ \dot{i}_{2b} \\ \dot{i}_{2c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 & 0 & 0 \\ 0 & L_1 & 0 \\ 0 & 0 & L_1 \\ L_{12} \cdot \cos \theta_2 & L_{12} \cdot \cos \left(\theta_2 - 2 \cdot \frac{\pi}{3} \right) & L_{12} \cdot \cos \left(\theta_2 - 4 \cdot \frac{\pi}{3} \right) \\ L_{12} \cdot \cos \left(\theta_2 - 4 \cdot \frac{\pi}{3} \right) & L_{12} \cdot \cos \theta_2 & L_{12} \cdot \cos \left(\theta_2 - 2 \cdot \frac{\pi}{3} \right) \\ L_{12} \cdot \cos \left(\theta_2 - 2 \cdot \frac{\pi}{3} \right) & L_{12} \cdot \cos \left(\theta_2 - 4 \cdot \frac{\pi}{3} \right) & L_{12} \cdot \cos \theta_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{i}_{1a} \\ \dot{i}_{1b} \\ \dot{i}_{1c} \\ \dot{i}'_{2a} \\ \dot{i}'_{2b} \\ \dot{i}'_{2c} \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

де $L_1 = L_{1\sigma} + L_m$, $L'_2 = L'_{2\sigma} + L_m$ — повні еквівалентні індуктивності фаз статора і ротора, що складаються з індуктивностей від полів розсіювання ($L_{1\sigma}$, $L'_{2\sigma}$) і головний потоки ($L_m = 3/2L_{12}$), L_{12} — максимальна взаємна індуктивність між будь-якою обмоткою статора і будь-якою обмоткою ротора яка має місце при збігу їхніх осей; θ_2 — поточний кут між осями обмоток фаз ротора і статора.

При математичному описі трифазних асинхронних електродвигунів зручно оперувати не миттєвими значеннями координат, а їхній результуючими вектора-

ми. Якщо, наприклад, миттєві значення струмів рівні i_a, i_b, i_c то результуючий вектор струму визначається рівнянням [29]:

$$i = \frac{2}{3} \cdot (a^0 \cdot i_a + a \cdot i_b + a^2 \cdot i_c) = \frac{2}{3} \cdot (i_a + a \cdot i_b + a^2 \cdot i_c) \quad (4.4)$$

де $a^0 = e^{j0} = 1$; $a = e^{j2\pi/3}$; $a^2 = e^{j4\pi/3}$.

Аналогічно визначаються результуючі вектори напруги і потокоцеплення:

$$u = \frac{2}{3} \cdot (u_a + a \cdot u_b + a^2 \cdot u_c) \quad \psi = \frac{2}{3} \cdot (\psi_a + a \cdot \psi_b + a^2 \cdot \psi_c) \quad (4.5)$$

Використовуючи вираження результуючих векторів, рівняння (4.1) можна записати у виді одного диференціального рівняння у векторній формі. Для цього перше рівняння з (4.1) збільшується на $2/3 a^0$, друге на $2/3 a$, третє на $2/3 a^2$. Підсумовуючи отримані добутки, одержимо:

$$\frac{2}{3} \cdot (u_{1a} + a \cdot u_{1b} + a^2 \cdot u_{1c}) = \frac{2}{3} \cdot (i_{1a} + i_{1b} + i_{1c}) \cdot R_1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{d}{dt} (\psi_a + a \cdot \psi_b + a^2 \cdot \psi_c) \quad (4.6)$$

чи у векторній формі

$$u_1 = i_1 \cdot R_1 + \frac{d}{dt} \psi_1 \quad (4.7)$$

Аналогічно векторне рівняння напруг ротора:

$$u'_2 = i'_2 \cdot R'_2 + \frac{d}{dt} \psi_2 \quad (4.8)$$

У цих рівняннях вектори записані відповідно в системах координат статора й ротора. Для спільного рішення рівнянь їх необхідно привести до однієї системи координат.

При дослідженні перехідних процесів в електродвигунах перемінного струму застосовують різні ортогональні системи координат, що відрізняються кутовою швидкістю обертання координатних осей ω_k , наприклад системи, осі яких нерухомі щодо ротора, чи нерухомі щодо статора, чи обертаються із синхронною швидкістю.

Рівняння асинхронного електродвигуна в системі координат, що обертається з довільною швидкістю ω_k , мають вид:

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= i_1 \cdot R_1 + \frac{d}{dt} \psi_1 + j\omega_k \cdot \psi_2 \\ u'_2 &= i'_2 \cdot R'_2 + \frac{d}{dt} \psi_2 + j(\omega_k - p_p \cdot \omega) \cdot \psi_1 \end{aligned} \right\} \quad (4.9)$$

де ω — кутова швидкість обертання ротора;

p_p — число пар полюсів [29].

Потокозчеплення зв'язані зі струмами через індуктивності:

$$\left. \begin{aligned} \psi_1 &= i_1 \cdot L_1 + i'_2 \cdot L_m \\ \psi_2 &= i_1 \cdot L_m + i'_2 \cdot L_2 \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

Звідси можливо одержати значення струму ротора:

$$i'_2 = \frac{1}{L'_2} \cdot \psi_2 - \frac{L_m}{L'_2} \cdot i_1 \quad (4.11)$$

Підставивши його в друге рівняння системи (4.10), і виконавши необхідні перетворення з обліком того, що для електродвигуна з короткозамкнутим ротором $u'_2 = 0$, а $L_m/L'_2 = k_2$ одержимо

$$\cdot \quad (4.12)$$

Підставивши в рівняння

$$u_1 = i_1 \cdot R_1 + \frac{d}{dt} \psi_1 + j\omega_k \cdot \psi_2 \quad (4.13)$$

значення потокозчеплення статора $\psi_1 = i_1 \cdot L_1 + i'_2 \cdot L_m$ і виконавши необхідні перетворення з урахуванням рівнянь (4.11) і (4.12) одержимо

$$\frac{d}{dt} i_1 = -\frac{R_1 + (k_2)^2 \cdot R'_2}{L''_2} \cdot i_1 - j\omega_k \cdot i_1 + \frac{k_2 \cdot R'_2}{L'_2 \cdot L''_1} \cdot \psi_2 - j p_i \cdot \omega \cdot \frac{k_2}{L''_1} \cdot \psi_2 + \frac{1}{L''_1} \cdot u_1, \quad (4.14)$$

де $L''_1 = L_1 - (L_m^2/L'_2) = L_{1\sigma} + L_{2\sigma}$.

Виразивши результуючі вектори через їх речовинні і мнимі частини, а також з огляду на формули (4.10) ортогональних перетворень, можна записати рівняння (4.11) і (4.12) у системі координат, що обертається зі швидкістю ω_k , рівної кутової швидкості обертання вектора потокозчеплення ротора $\omega_{\psi 2}$ приведеної до дво полюсного електродвигуна, у наступному виді [5]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} |\psi_2| + \frac{R'_2}{L'_2} \cdot |\psi_2| &= k_2 \cdot R'_2 \cdot i_{1a} \\ (\omega'_{\psi 2} - p_i \cdot \omega) \cdot |\psi_2| &= k_2 \cdot R'_2 \cdot i_{1b} \\ \frac{d}{dt} i_{1a} + \frac{R_1 + (k_2)^2 \cdot R'_2}{L''_1} \cdot i_{1a} &= \omega'_{\psi 2} \cdot i_{1b} + \frac{k_2 \cdot R'_2}{L'_2 \cdot L''_1} \cdot |\psi_2| + \frac{1}{L''_1} \cdot u_{1a} \\ \frac{d}{dt} i_{1b} + \frac{R_1 + (k_2)^2 \cdot R'_2}{L''_1} \cdot i_{1b} &= -\omega'_{\psi 2} \cdot i_{1a} + p_i \cdot \omega \cdot \left(\frac{k_2}{L''_1} \cdot |\psi_2| \right) + \frac{1}{L''_1} \cdot u_{1b} \end{aligned} \right\} \quad (4.15)$$

де $|\psi_2| = \psi_{2\alpha}$, $\psi_{2\beta} = 0$, тому що вектор потокозчеплення ротора сполучений з дійсною віссю координатної системи.

Електромагнітний момент двигуна може бути визначений по формулі:

$$M = \frac{3}{2} \cdot p_i \cdot k_2 \cdot |\psi_2| \cdot i_{1b} \quad (4.16)$$

Додавши до рівнянь (4.15) і (4.16) рівняння рівноваги моментів електропривода

$$M - M_c = J \cdot \frac{d}{dt} \omega \quad (4.17)$$

одержимо систему рівнянь, що цілком характеризує перехідні процеси в електроприводі при векторному керуванні.

З аналізу рівнянь (4.15) і (4.16) можна установити однозначні залежності модуля вектора потокозчеплення ротора $|\psi_2|$ від струму $i_{1\alpha}$, моменту двигуна від

струму $i_{1\beta}$, а також струмів $i_{1\alpha}$ і $i_{1\beta}$ від напруг $u_{1\alpha}$ і $u_{1\beta}$, якщо компенсувати наступні складові в правих частинах рівнянь (4.15) (попередньо помноживши їх на L''_1):

$$L''_1 \cdot \omega'_{\psi 2} \cdot i_{1b} - \frac{k_2 \cdot R'_2}{L'_2} \cdot |\psi_2| - L''_1 \cdot \omega'_{\psi 2} \cdot i_{1a} \quad (4.18)$$

і зневажити внутрішнім зворотним зв'язком по ЕРС двигуна, що враховується членом $r_p \omega_k \psi$, аналогічно тому, як це робиться в електроприводі постійного струму.

У системі управління ця компенсація технічно реалізується шляхом застосування блоку компенсації (БК), у який вводяться координати $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$, $|\psi_2|$, ω і виробляються відповідні алгебраїчні перетворення.

Кутова швидкість $\omega_{\psi 2}$ дорівнює кутовій швидкості ω'_0 . Однак для простоти виконання алгебраїчних перетворень можна вважати, що $\omega_k = \omega_{\psi 2} \approx r_p \cdot \omega$

З урахуванням компенсації складових правої частини рівняння (4.15) записуються в наступному простому виді [5]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{L'_2}{R'_2} \cdot \frac{d}{dt} |\psi_2| + |\psi_2| &= k_2 \cdot L'_2 \cdot i_{1a} \\ \frac{L''_1}{R_1 + (k_2)^2 \cdot R'_2} \cdot \left(\frac{d}{dt} i_{1a} \right) + i_{1a} &= \frac{1}{R_1 + (k_2)^2 \cdot R'_2} \cdot u_{1a} \\ \frac{L''_1}{R_1 + (k_2)^2 \cdot R'_2} \cdot \left(\frac{d}{dt} i_{1b} \right) + i_{1b} &= \frac{1}{R_1 + (k_2)^2 \cdot R'_2} \cdot u_{1b} \end{aligned} \right\} \quad (4.19)$$

Перетворення складових напруги статора $u_{1\alpha}$, і $u_{1\beta}$ (представлених в осях, жорстко зв'язаних з вектором потокозчеплення ротора) у складові u_{1x} и u_{1y} , нерухомих осей здійснюється відповідно до формули

$$\begin{aligned} u_{1x} &= u_{1a} \cdot \cos \theta - u_{1b} \cdot \sin \theta \\ u_{1y} &= u_{1a} \cdot \sin \theta + u_{1b} \cdot \cos \theta \end{aligned} \quad (4.20)$$

Позначивши $R_1 + k_2^2 \cdot R'_2 = R_\Sigma$, $(L''_1/R_\Sigma) = T_{эл1}$, $(L'_2/R'_2) = T_{эл2}$ і переходячи до операторної форми рівнянь (4.16), (4.19), одержимо (4.21) передатні функції,

що характеризують динамічні процеси в асинхронному електродвигуні при векторному керуванні:

$$\begin{aligned}
 \frac{|\psi_2| \cdot (p)}{i_{1a} \cdot (p)} &= \frac{k_2 \cdot L'_2}{T_{эл2} \cdot p + 1} \\
 \frac{i_{1a} \cdot (p)}{u_{1a} \cdot (p)} &= \frac{\frac{1}{R_\Sigma}}{T_{эл1} \cdot p + 1} \\
 \frac{i_{1b} \cdot (p)}{u_{1b} \cdot (p)} &= \frac{\frac{1}{R_\Sigma}}{T_{эл1} \cdot p + 1} \\
 M(p) &= \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot k_2 \cdot |\psi_2| \cdot (p) \cdot i_{1b} \cdot (p) \\
 \frac{\omega(p)}{M(p) - M_c \cdot (p)} &= \frac{1}{Jp}
 \end{aligned} \tag{4.21}$$

Структурна схема математичної моделі асинхронного двигуна складена по рівняннях (4.21) показана на рисунку (4.1).

Параметри зображених на схемі ланок:

$$R_\Sigma = R_1 + k_2^2 \cdot R'_2 = 2,4127 + 0,9442^2 \cdot 1,6394 = 3,8742 \text{ Ом},$$

$$T_{эл1} = L_1'' / R_\Sigma = 0,0198 / 3,8742 = 0,00511 \text{ с.},$$

$$T_{эл2} = L_2' / R_2' = 0,2294 / 1,6394 = 0,1399 \text{ с.},$$

$$\text{де } k_2 = L_m / L_2' = 0,2166 / 0,2294 = 0,9442,$$

$$\text{а } L''_1 = L_1 - (L_m^2 / L_2') = 0,2243 - (0,2166^2 / 0,2294) = 0,0198 \text{ Гн}$$

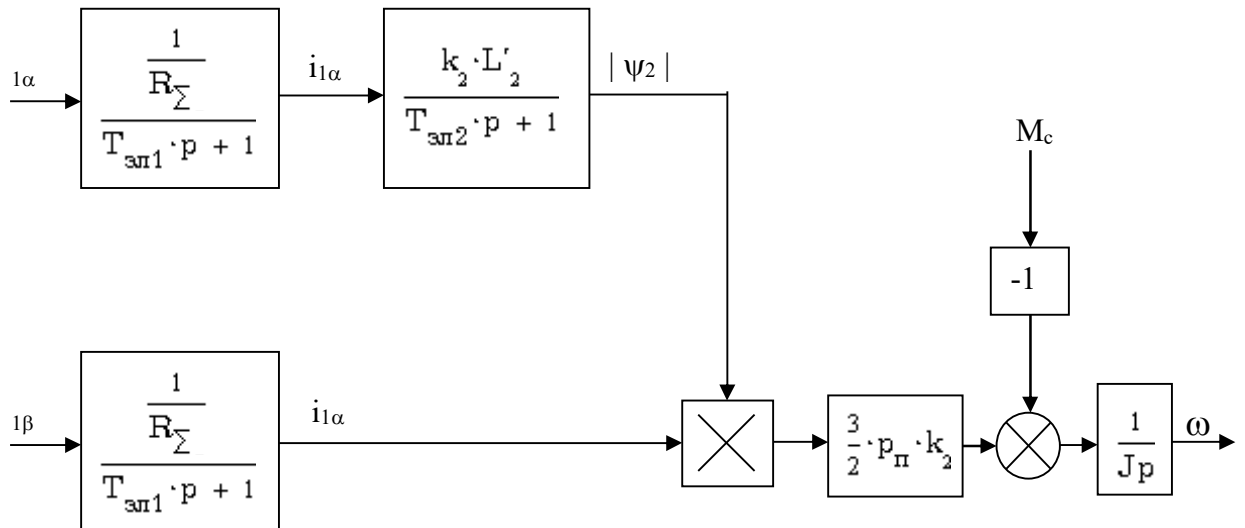


Рисунок 4.1 – Математична модель асинхронного двигуна при керуванні вектором потокозчеплення ротора

У незмінну частину системи також входять перетворювач частоти й блоки виміру і перетворення координат, динамічні властивості яких можуть бути спрощено, враховані введенням еквівалентної інерційної ланки з передатною функцією

$$W_{пр}(p) = k_{пр} / (T_{пр}p + 1), \quad (4.22)$$

де $k_{пр}$ — еквівалентний передатний коефіцієнт перетворювача; $T_{пр}$ — еквівалентна постійна часу перетворювача. Параметри перетворювача частоти:

$$k_{пр} = 1000, T_{пр} = 0,0005 \text{ сек} \quad [19].$$

Підставивши в систему диференціальних рівнянь (4.21) рівняння (4.22) запишемо систему рівнянь, що описує незмінну частину розрахованої системи управління:

$$\left. \begin{aligned} \frac{|\psi_2| \cdot (p)}{i_{1a} \cdot (p)} &= \frac{k_2 \cdot L'_2}{T_{эл2} \cdot p + 1} \\ \frac{i_{1a} \cdot (p)}{u_{1a} \cdot (p)} &= \frac{k_{пр}}{T_{пр} \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{R_\Sigma} \cdot \frac{1}{T_{эл1} \cdot p + 1} \\ \frac{i_{1b} \cdot (p)}{u_{1b} \cdot (p)} &= \frac{k_{пр}}{T_{пр} \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{R_\Sigma} \cdot \frac{1}{T_{эл1} \cdot p + 1} \\ M(p) &= \frac{3}{2} \cdot p_\pi \cdot k_2 \cdot |\psi_2| \cdot (p) \cdot i_{1b} \cdot (p) \\ \frac{\omega(p)}{M(p) - M_c \cdot (p)} &= \frac{1}{Jp} \end{aligned} \right\} \quad (4.23)$$

Спираючись на систему диференціальних рівнянь (4.23) розглянемо структуру, що дозволяє здійснити управління модулем потокозчеплення ротора і кутовою швидкістю ротора.

Система векторного управління з опорним вектором потокозчеплення ротора будується у виді двоканальної системи управління і містить канал управління кутовою швидкістю ротора і канал управління потокозчепленням ротора. Система побудована за принципом підлеглого регулювання.

Потокозчеплення ротора безпосередньо не залежить від складової $u_{1\alpha}$, тому канал управління $|\psi_2|$ можна будувати двоконтурним – із внутрішнім контуром управління по струму статора $i_{1\alpha}$ і з зовнішнім по модулю і потокозчеплення ротора.

Канал управління кутовою швидкістю ротора також може містити два контури управління – внутрішній, по струму статора $i_{1\beta}$ і зовнішній, по кутовій швидкості ротора.

Структурна схема системи управління представлена на рисунку (4.2).

У системі регулювання швидкості асинхронного електродвигуна з підлеглим зворотним зв'язком по струму $i_{1\beta}$ застосовується локальна система стабілізації потокозчеплення ротора, у якій застосований підлеглий зворотний зв'язок по струму $i_{1\alpha}$. Використанням компенсаційних зв'язків, що на структурній схемі не показані, системі стабілізації потокозчеплення ротора забезпечується умова автономності. Ця умова дає можливість виконати синтез регуляторів потоку (РП) і струму $i_{1\alpha}$ (РС1) з передатними функціями $W_{p.p}(p)$ і $W_{p.t1}(p)$ незалежно від координат системи стабілізації швидкості. Аналогічна умова автономності застосовна і при синтезі регуляторів швидкості (РШ) і струму $i_{1\beta}$ (РС2) з передатними функціями $W_{p.c}(p)$ і $W_{p.t2}(p)$.

Контури регулювання струмів $i_{1\alpha}$ і $i_{1\beta}$ є однаковими. Малої некомпенсированої постійної часу є постійна $T_{пр}$. Регулятори РТ1 і РТ2 доцільно вибирати пропорційно-інтегральними.

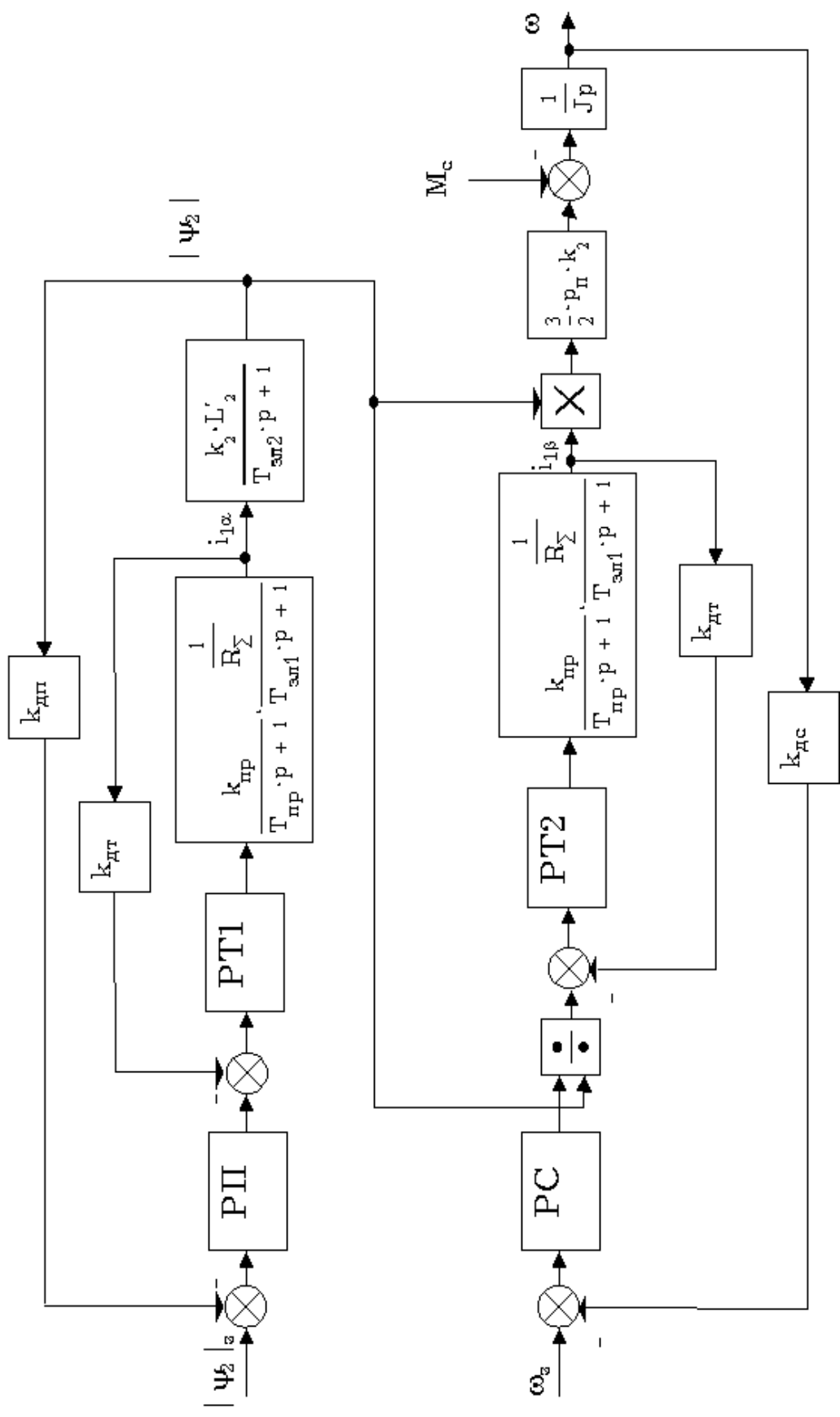


Рисунок 4.2 – Структурна схема системи з управлінням по потокозчепленню ротора

системі векторного управління виконується аналогічно тому як це робиться в системах управління електроприводом постійного струму при двозонному регулюванні швидкості. Послідовно з РС установлюється блок розподілу, що компенсує вплив вузла добутку при формуванні електромагнітного моменту. Тим самим забезпечується сталість передатного коефіцієнта розімкнутої по швидкості системи при зміні потокозчеплення ротора.

Зробимо настроювання регуляторів на оптимум по модулі [5]. Розглянемо спочатку контур управління струмом намагнічування статора $i_{1\alpha}$, визначимо передатну функцію регулятора струму $W_{рт}(p)$. Передатна функція розімкнутого контуру буде мати вид:

$$W(p) = W_{рт}(p)W_n(p), \quad (4.24)$$

де

$$W_{нч}(p) = \frac{k_{пр}}{T_{пр} \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{R_{\Sigma} \cdot T_{эл1} \cdot p + 1} \quad (4.25)$$

У розглянутому контурі передатна функція об'єкта регулювання має вид

$$W_o(p) = \frac{1}{R_{\Sigma} \cdot T_{эл1} \cdot p + 1} \quad (4.26)$$

тому для реалізації настроювання на оптимум по модулі необхідно використовувати пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор з передатною функцією

$$W_p(p) = \beta_p \cdot \frac{\tau_p \cdot p + 1}{\tau_p \cdot p} \quad (4.27)$$

вибираючи передатний коефіцієнт регулятора по формулі

$$\beta_p = \frac{T_{эл1}}{2 \cdot T_{пр} \cdot \frac{1}{R_{\Sigma}} \cdot k_{пр} \cdot k_{дт}} \quad (4.28)$$

а постійну часу $\tau_p = T_{эл1}$, можна одержати передатну функцію розімкнутого контуру у виді:

$$W_t = \frac{1}{2 \cdot T_{пр} \cdot p \cdot (T_{пр} \cdot p + 1)} \quad (4.29)$$

Передатна функція замкнутого контуру відповідно до вираження

$$W_z(p) = W(p) / \{ [1 + W(p)] W_{o.c}(p) \} \quad (4.30)$$

виходить у виді

$$W_{tz} = \frac{\frac{1}{k_{дг}}}{2 \cdot T_{пр} \cdot p \cdot (T_{пр} \cdot p + 1) + 1} = \frac{\frac{1}{k_{дг}}}{2 \cdot (T_{пр})^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T_{пр} \cdot p + 1} \quad (4.31)$$

Таким чином, вибір регулятора відповідно до вищевикладеного приводить до того, що розглянутий контур описується передатною функцією коливальної ланки з коефіцієнтом демпфірування $\xi = \sqrt{2}/2$ [28].

Тепер розглянемо настроювання регулятора потоку, передатна функція $W_{п}(p)$ представляє розімкнутий контур управління по потоці.

$$W_{п}(p) = W_{рп}(p) \cdot W_{нчп}(p), \quad (4.32)$$

де

$$W_{нчп}(p) = W_{tz}(p) \cdot \frac{k_2 \cdot L'_2}{T_{эл2} \cdot p + 1} \quad (4.33)$$

передатна функція незмінної частини по контурі управління потокозчепленням.

Розглядаючи замкнутий внутрішній контур $W_{tz}(p)$ як ланку з еквівалентною малою постійною часу, параметри регулятора потрібно вибирати так, щоб виключити вплив на динаміку зовнішнього контуру еквівалентної постійної часу T_{1e} . При розрахунку параметрів регулятора зовнішнього контуру внутрішній замкнутий контур відповідно до викладеного вище можна замінити аперіодичною ланкою з передатною функцією

$$W_{tz}(p) \approx 1/kic / (T_{1э} \cdot p + 1). \quad (4.34)$$

При настроюванні внутрішнього контуру на ОМ приймають $T_{1\omega} = 2T_{\text{пр}}$. Тобто передатна функція $W_{\text{тз}}(p)$ буде мати вид:

$$W_{\text{тз}}(p) = 1/k_{\text{дт}}/(2 \cdot T_{\text{пр}} \cdot p + 1). \quad (4.35)$$

У даному випадку $2 \cdot T_{\text{пр}}$ – мала некомпенсуєма постійна часу.

Для настроювання контуру на оптимум по модулі передатна функція регулятора потоку буде мати вид:

$$W_{\text{рп}}(p) = \beta_p \cdot \frac{\tau_p \cdot p + 1}{\tau_p \cdot p}, \quad (4.36)$$

де

$$\beta_p = \frac{T_{\text{эл2}}}{2 \cdot 2 \cdot T_{\text{пр}} \cdot \frac{1}{k_{\text{дт}}} \cdot k_{\text{дп}} \cdot k_2 \cdot L_2'} \quad (4.37)$$

$$\text{а } \tau_p = T_{\text{эл2}}.$$

Якщо вибрати регулятор із зазначеними параметрами, то передатна функція розімкнутого контуру управління поточкозчепленням ротора буде мати вид:

$$W_f = \frac{1}{4 \cdot T_{\text{пр}} \cdot p \cdot (2 \cdot T_{\text{пр}} \cdot p + 1)} \quad (4.38)$$

А передатну функцію замкнутого каналу управління поточкозчепленням ротора асинхронного двигуна запишемо у виді:

$$W_{\text{фз}} = \frac{\frac{1}{k_{\text{дп}}}}{4 \cdot T_{\text{пр}} \cdot p \cdot (2 \cdot T_{\text{пр}} \cdot p + 1) + 1} = \frac{\frac{1}{k_{\text{дп}}}}{8 \cdot (T_{\text{пр}})^2 \cdot p^2 + 4 \cdot T_{\text{пр}} \cdot p + 1} \quad (4.39)$$

Розглянемо канал управління швидкістю двигуна. Контур струму цього каналу також настроєний на оптимум по модулі, а так як незмінні частини конту-

рів управління струмами $i_{1\beta}$ і $i_{1\alpha}$ - ідентичні, то і передатна функції регуляторів будуть виглядати однаково:

$$W_{pT2}(p) = \frac{T_{эл1}}{2 \cdot T_{пр} \cdot \frac{1}{R_{\Sigma}} \cdot k_{пр} \cdot k_{дт}} \cdot \frac{T_{эл1} \cdot p + 1}{T_{эл1} \cdot p} \quad (4.40)$$

Відповідно передатна функція замкнутого контуру управління струмом $i_{1\beta}$ має вид:

$$W_{t3} = \frac{\frac{1}{k_{дт}}}{2 \cdot T_{пр} \cdot p \cdot (T_{пр} \cdot p + 1) + 1} = \frac{\frac{1}{k_{дт}}}{2 \cdot (T_{пр})^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T_{пр} \cdot p + 1} \quad (4.41)$$

Відповідно до вищевикладеного передатну функцію замкнутого контуру можна представити у виді:

$$W_{t3}(p) = 1/k_{дт} / (2 \cdot T_{пр} \cdot p + 1). \quad (4.42)$$

У контурі управління швидкістю двигуна передатну функцію

$$W_{нс}(p) = W_{t3}(p) \cdot (3/2) \cdot p_{п} \cdot k_2 (1/Jp) \quad (4.43)$$

можна розглядати як передатну функцію незмінної частини зовнішнього контуру, замкнутого через власний регулятор РС, з передатною функцією $W_{дс}(p)$. Запишемо передатну функцію розімкнутого контуру:

$$W_c(p) = W_{pc}(p) \cdot \frac{\frac{1}{k_{дт}}}{2 \cdot T_{пр} + 1} \cdot \frac{3 \cdot p_{п} \cdot k_2}{2 \cdot J \cdot p} \quad (4.44)$$

Тому що розглянута система є стабілізуючи, то щоб уникнути статичної помилки по швидкості в контурі з об'єктом у виді інтегруючої ланки, замість пропорційного регулятора потрібно застосувати Пі-регулятор [5]. Вибираючи β_p відповідно до звичайного настроювання, але при цьому поклавши

$$\tau_p = 4T_{э2} \quad (\text{де } T_{э2} = 2 \cdot T_{пр}), \quad (4.45)$$

можна одержати передатну функцію розімкнутого контуру, набудованого на симетричний оптимум (СО):

$$W_c(p) = \frac{(8 \cdot T_{\text{пр}} + 1)}{32 \cdot T_{\text{пр}}^2 \cdot p^2 \cdot (2 \cdot T_{\text{пр}} + 1)} \quad (4.46)$$

Передатна функція використовуваного регулятора швидкості:

$$W_{\text{рс}}(p) = \frac{J}{4 \cdot T_{\text{пр}} \cdot \frac{3}{2} \cdot p_{\text{н}} \cdot k_2 \cdot \frac{1}{k_{\text{дт}}} \cdot k_{\text{дс}}} \cdot \frac{8 \cdot T_{\text{пр}} \cdot p + 1}{8 \cdot T_{\text{пр}} \cdot p} \quad (4.47)$$

Застосування такого регулятора забезпечить підвищення астатизму каналу, це приводить до того, що статична помилка дорівнює нулю, однак при налаштуванні на симетричний оптимум перерегулювання при реакції системи на східчастий вхідний вплив складе 43 %, що неприпустимо, тому, для зменшення перерегулювання застосуємо задатчик інтенсивності з передатною функцією [28]:

$$W_{\text{зи}} = \frac{1}{8 \cdot T_{\text{пр}} \cdot p + 1} \quad (4.48)$$

Застосування такого задатчика приведе до зменшення перерегулювання і до незначного збільшення часу перехідного процесу.

Структурна схема отриманої математичної моделі показана на рисунку 4.3.

Зробимо підстановку коефіцієнтів в отримані формули для передатних функцій регуляторів.

Регулятор потоку:

$$W_{\text{рп}}(p) = \frac{T_{\text{эл2}}}{2 \cdot 2 \cdot T_{\text{пр}} \cdot \frac{1}{k_{\text{дт}}} \cdot k_{\text{дп}} \cdot k_2 \cdot L'_2} \cdot \frac{T_{\text{эл2}} \cdot p + 1}{T_{\text{эл2}} \cdot p} =$$

$$\frac{0.1399}{4 \cdot 0.0005 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.9442 \cdot 0.2294} \cdot \frac{0.1399 \cdot p + 1}{0.1399 \cdot p} = 323.013 \cdot \frac{0.1399 \cdot p + 1}{0.1399 \cdot p}$$

Регулятор швидкості:

Параметри системи управління й двигуна відомі, відповідно можна провести моделювання системи, однак моделювання буде вироблятися не за схемою, представленою на рисунку 4.3, а за схемою, представленою на рисунку 4.4, побудованою по рівняннях (4.15, 4.16), тому що на цій схемі показані компенсаційні зв'язки, що здійснюють розв'язку каналів управління, а також врахований внутрішній зворотний зв'язок по ЕДС двигуна. Коефіцієнти показані на цій схемі мають значення:

$$a_{\omega i} = k_2 p_{\pi} / L_{\pi} = 0,9442 \cdot 2 / 0,0198 = 95,37 \text{ Гн}^{-1},$$

$$a_{\psi i} = k_2 R_2 / (L_{\pi} L_2) = 0,9442 \cdot 1,6394 / (0,0198 \cdot 0,2294) = 340,79 \text{ Ом/Гн}^2,$$

$$a_{i\psi} = k_2 R_2 = 0,9442 \cdot 1,6394 = 1,5479 \text{ Ом}.$$

Моделювання розглянутої системи управління проведено нижче в розділі 4.2.

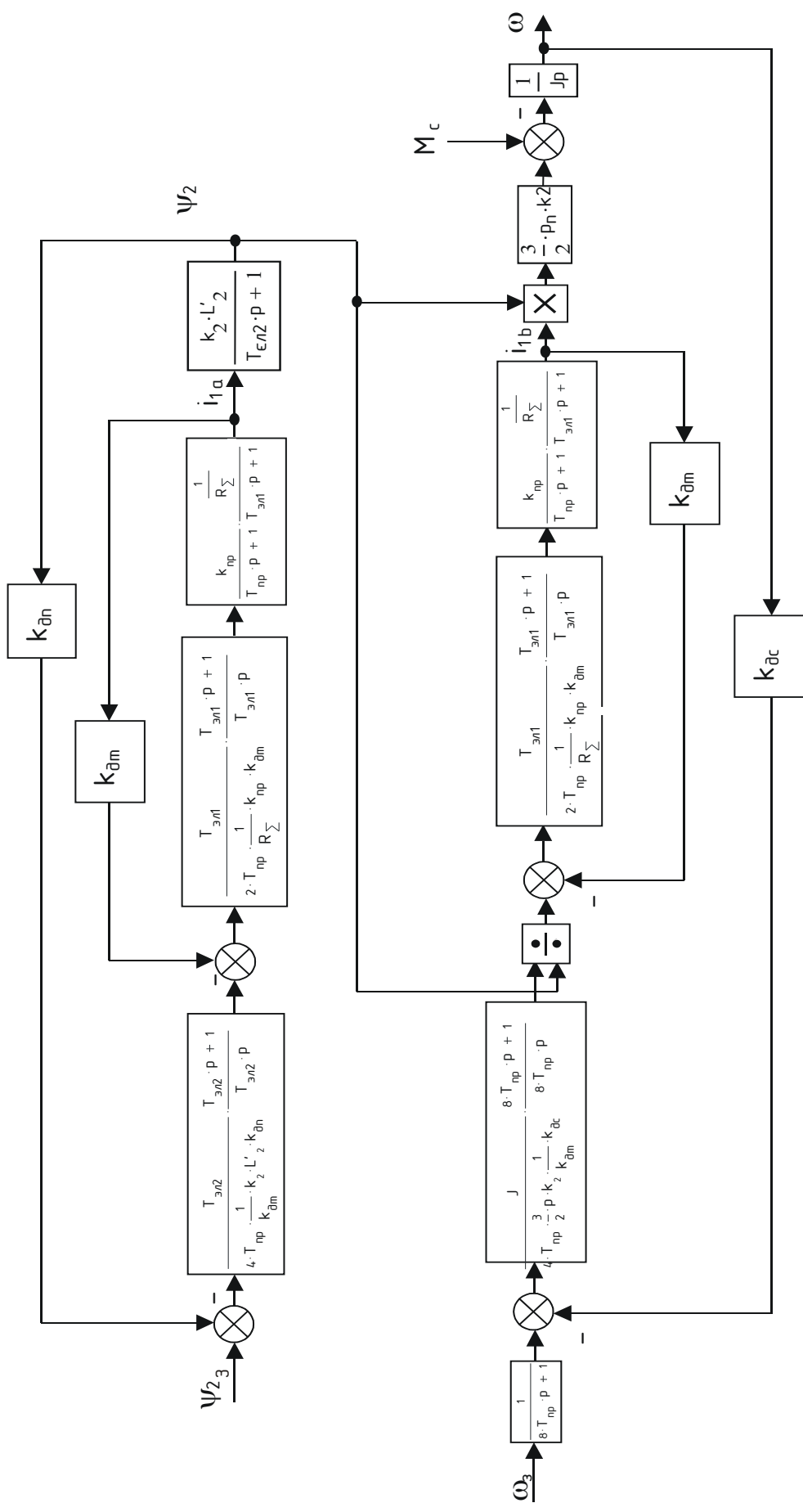


Рисунок 4.3 – Структурна схема математичної моделі системи управління асинхронним двигуном.

$$W_{pc}(p) = \frac{J}{4 \cdot T_{пр} \cdot \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot k_2 \cdot \frac{1}{k_{дт}} \cdot k_{дс}} \cdot \frac{8 \cdot T_{пр} \cdot p + 1}{8 \cdot T_{пр} \cdot p \cdot p} =$$

$$= \frac{0.0087}{4 \cdot 0.0005 \cdot \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 0.9442 \cdot 1 \cdot 1} \cdot \frac{8 \cdot 0.0005 \cdot p + 1}{8 \cdot 0.0005 \cdot p} = 1.5357 \cdot \frac{0.004 \cdot p + 1}{0.004 \cdot p}$$

Задатчик інтенсивності для каналу швидкості:

$$W_{зи} = \frac{1}{8 \cdot T_{пр} + 1} = \frac{1}{8 \cdot 0.0005 + 1} = \frac{1}{0.004 + 1}$$

4.2. Результати моделювання системи векторного керування асинхронним приводом

Для оцінки показників якості керування, за результатами побудови математичних моделей, проведемо моделювання. Побудова характеристик виконується за допомогою математичної обробки «MathCAD 11 Enterprise» а також програми «VisSim 5.0F4».

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 холостому пуску, пуску під навантаженням і при стрибкоподібній зміні навантаження. Пуску і вихід на потрібну швидкість проходить повільно за допомогою, щоб не перевантажувати трансформатори. Графіки показані на рисунках 4.4. – 4.9.

На рисунку 4.4 показан перехідний процес при холостому пуску, як видно з графіка час перехідного процесу $T_{max} = 4,8$ с (входження в ± 5 % від усталого значення), перерегулювання $\sigma_{max} = 0$. Зменшувати час перехідного процесу не потрібно, щоб не було занадто великих стрибків струму.

Перехідний процес на рисунку 4.5 – перехідний процес при пуску в навантаженому стані, $T_{max} = 10,6$ с, перерегулювання $\sigma_{max} = 0$. Бачимо, що при пуску під навантаженням час зростає на 5,8 с.

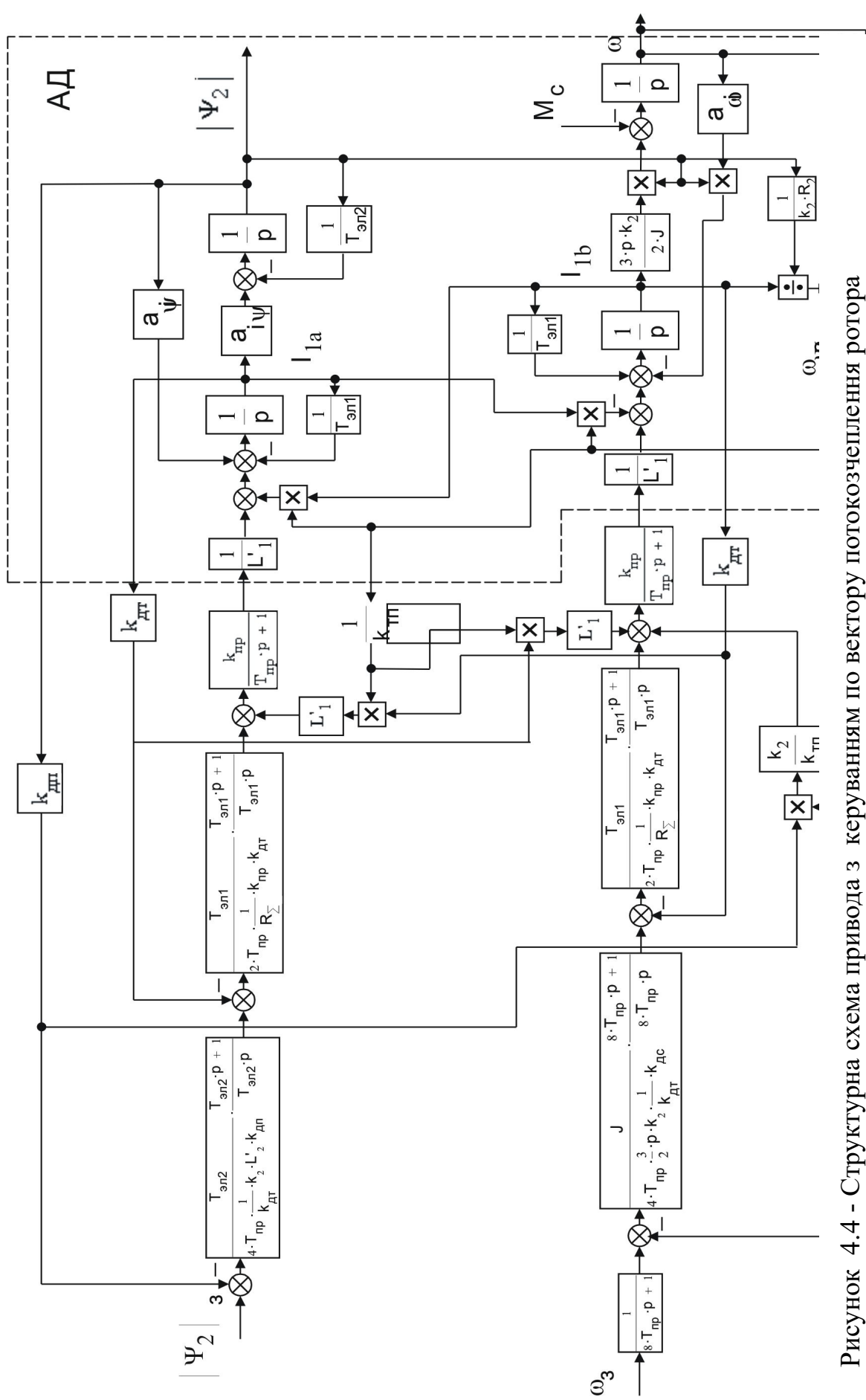


Рисунок 4.4 - Структурна схема привода з керуванням по вектору потокозчеплення ротора

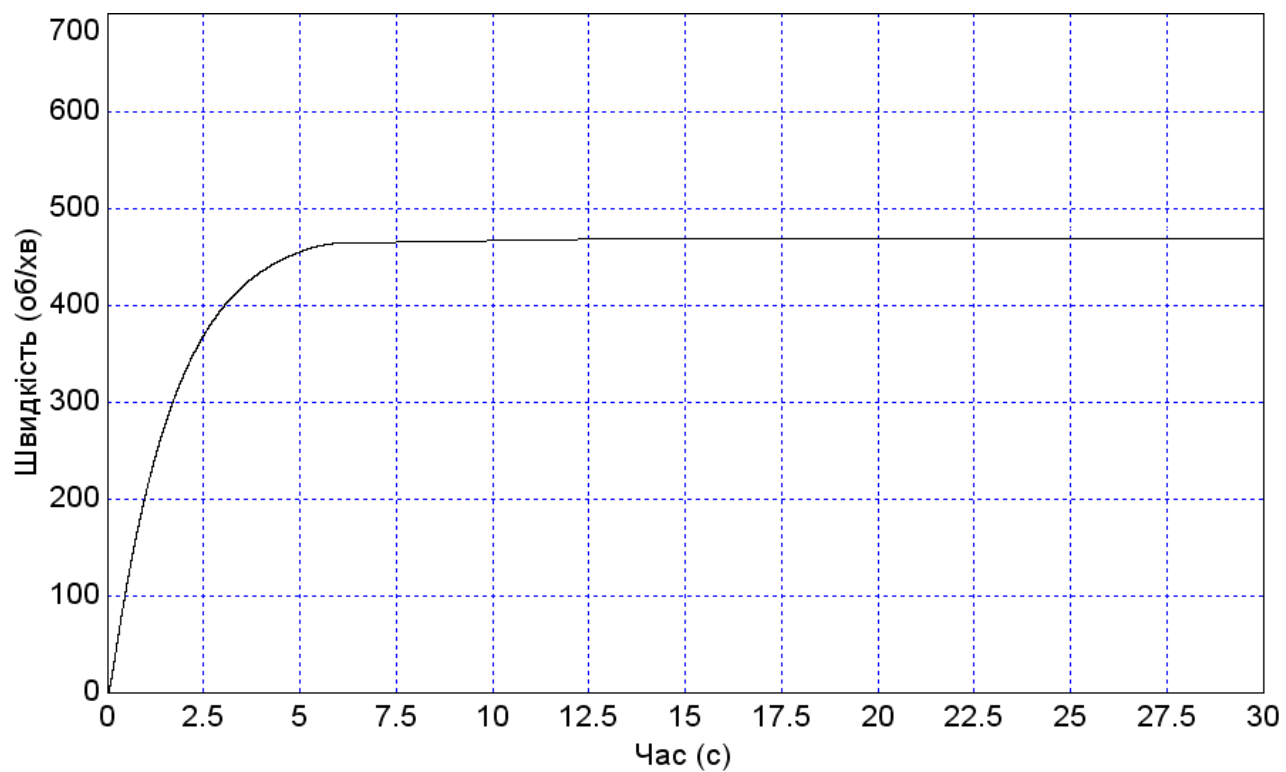


Рисунок 4.4 - Перехідний процес при холостому пуску

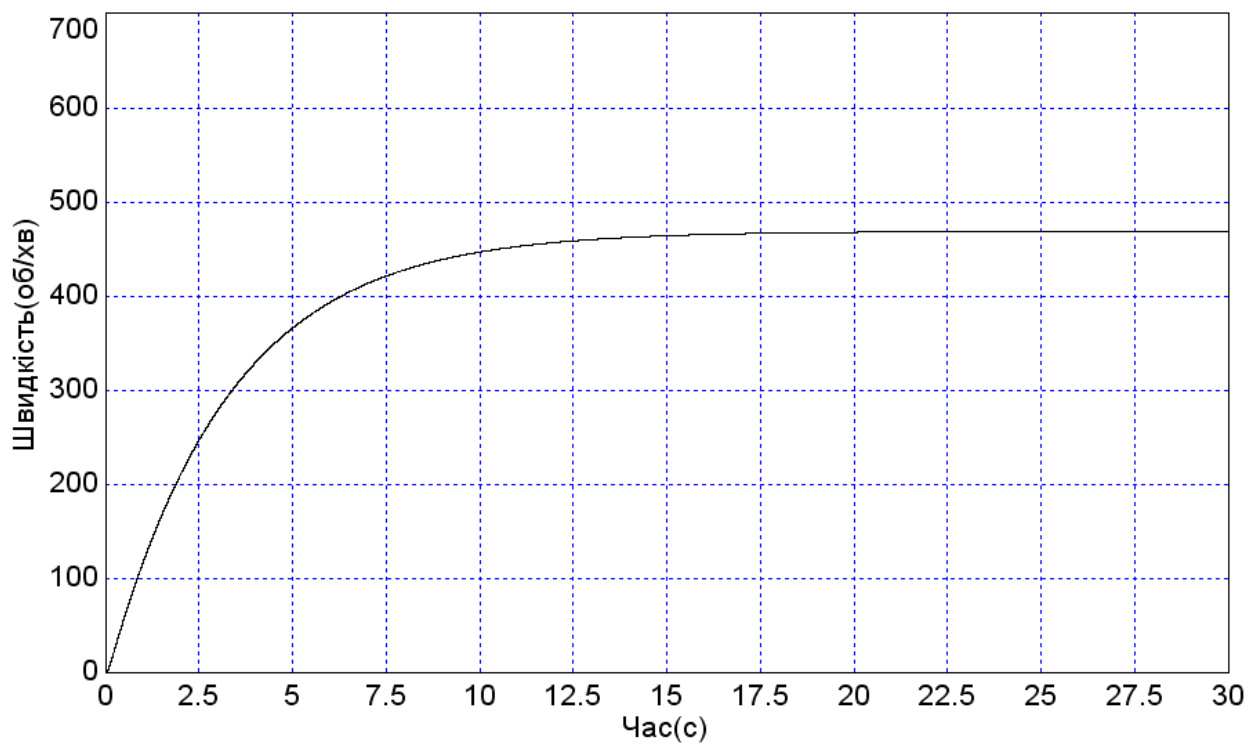


Рисунок 4.5 - Перехідний процес при пуску в навантаженому стані

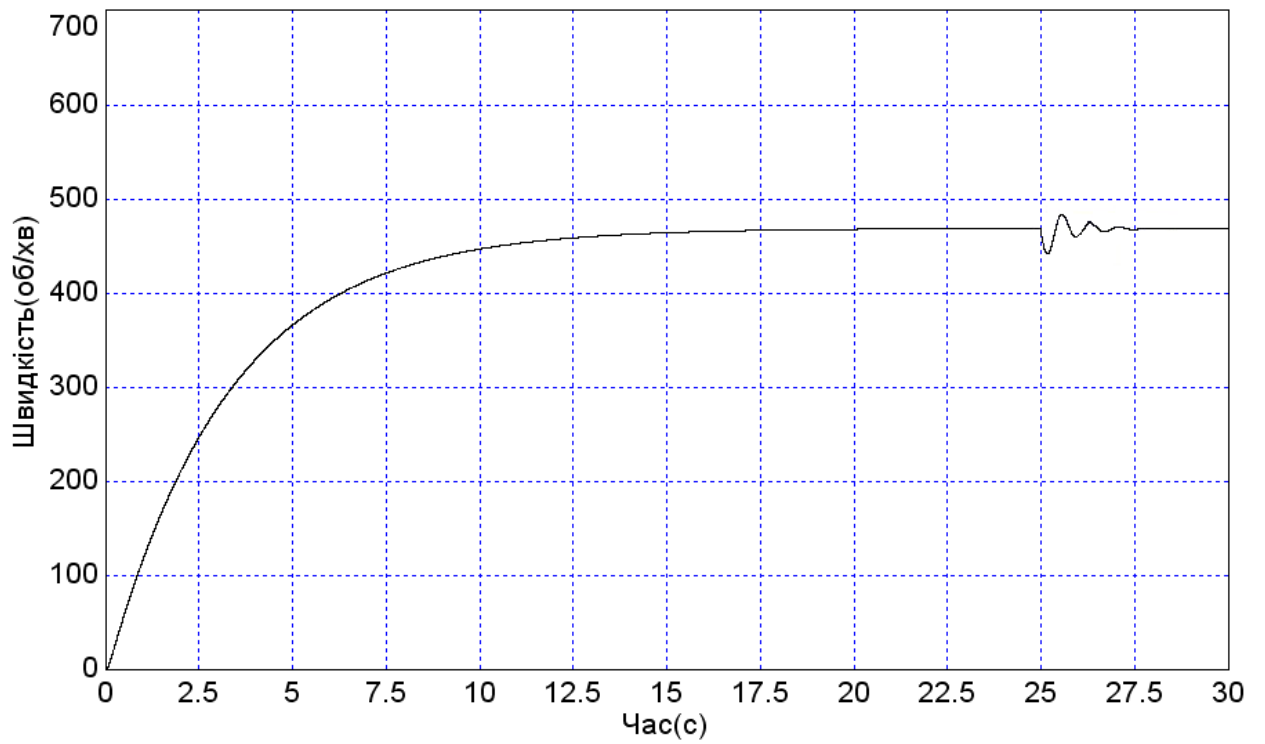


Рисунок 4.6 - Реакція системи на стрибкоподібну зміну навантаження на 20 %

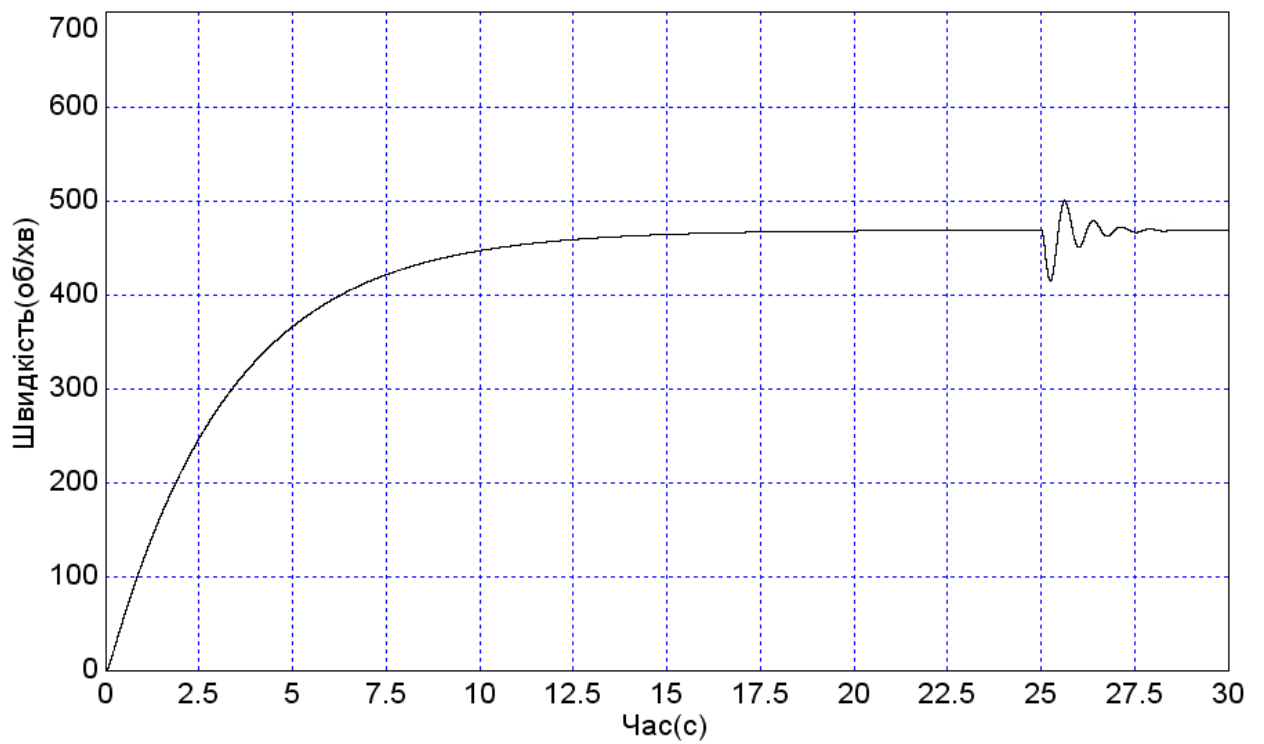


Рисунок 4.7 - Реакція системи на стрибкоподібну зміну навантаження на 40 %

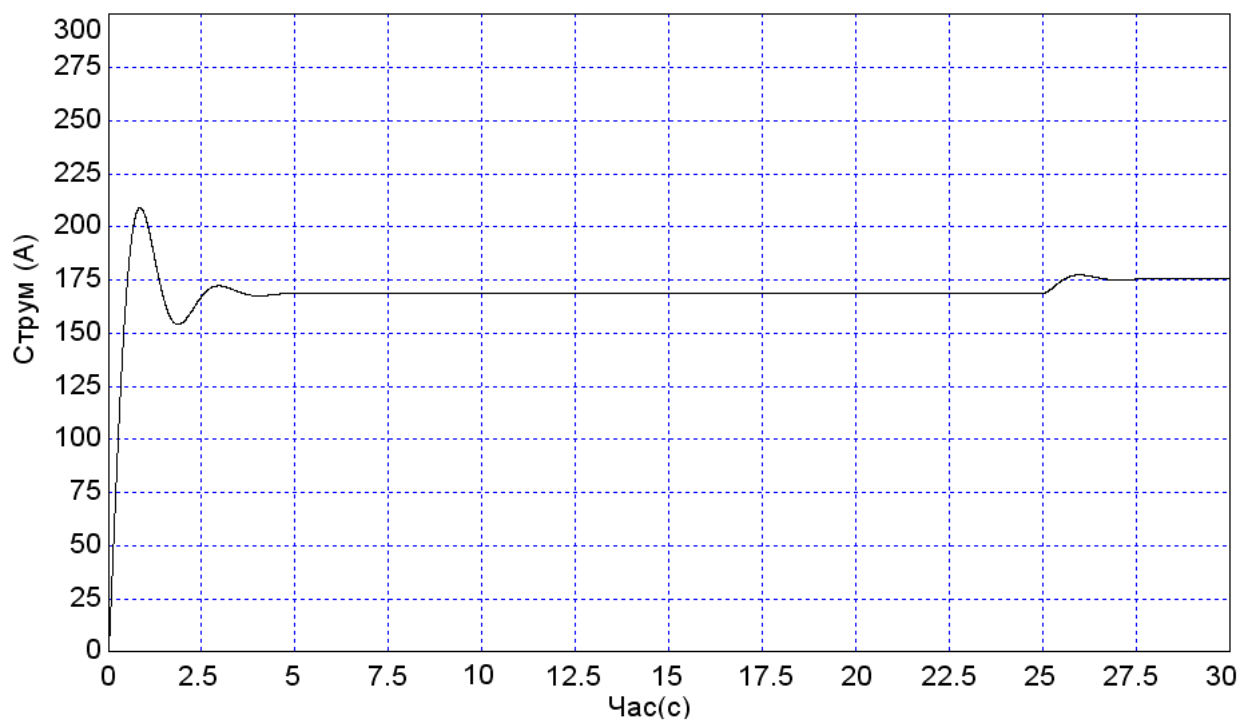


Рисунок 4.8 - Перехідний процес струму при стрибкоподібній зміні навантаження на 20 %

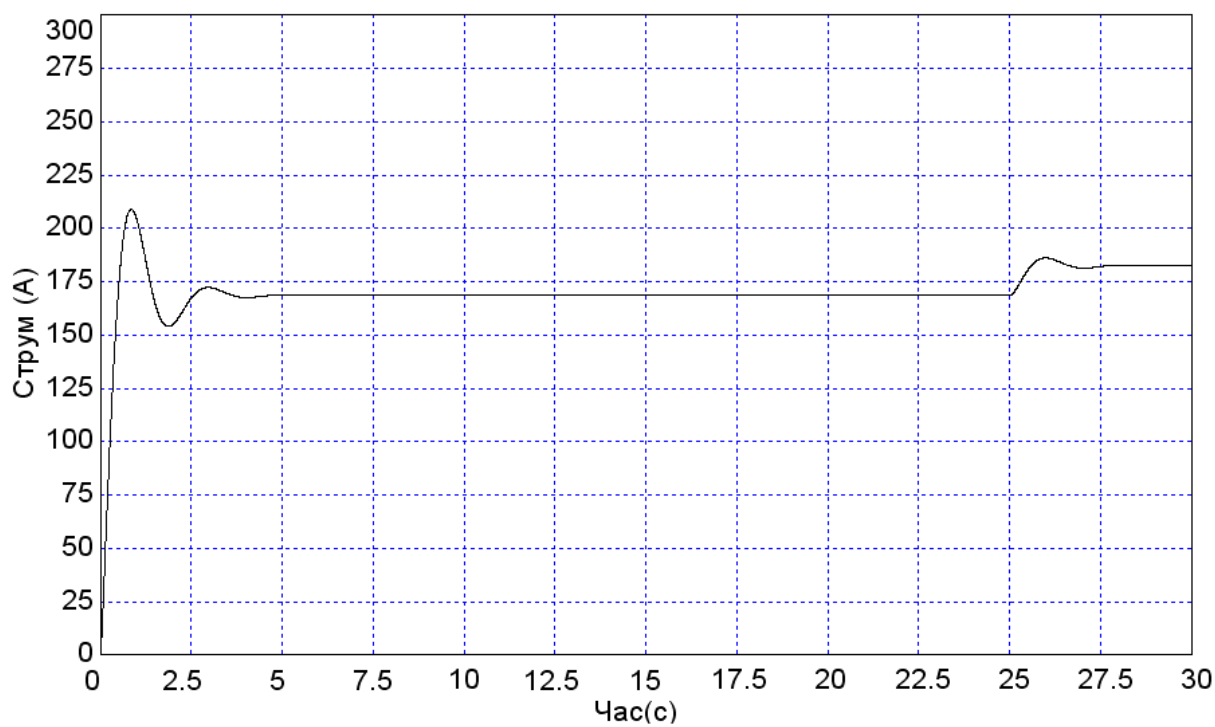


Рисунок 4.9 - Перехідний процес струму при стрибкоподібній зміні навантаження на 40 %

На рисунку 4.6 – стрибкоподібна зміна навантаження на 20 %: $T_{\max} = 0,4$ с, $\sigma_{\max} = 6$ %. На рисунку 4.7 навантаження 40 %, як бачимо частотний перетворювач «шукає швидкість» за 0,8 с ($T_{\max} = 0,8$ с), $\sigma_{\max} = 12$ %.

На рисунку 4.8, перехідний процес струму при стрибкоподібній зміні навантаження на 20 %. З графіку видно, що $T_{\max} = 2,4$ с, $\sigma_{\max} = 24$ % при пуску, $T_{\max} = 0$ с, $\sigma_{\max} = 1,6$ % при зміні навантаження (струм зразу заходить в ± 5 % від усталеного значення і тому перехідний процес вважаємо миттєвим). На рис. 4.9, перехідний процес струму при стрибкоподібній зміні навантаження вже на 40 % – $T_{\max} = 0,4$ с, $\sigma_{\max} = 2$ %.

З отриманих вище характеристик системи можна зробити висновок, що система забезпечує хороші показники якості керування: час перехідного процесу та перерегулювання, та дозволяє знизити навантаження на трансформаторній підстанції при пуску двигуна та збільшити ресурс системи в цілому. З цього випливає наступне: можна робити заміну існуючої системи на спроектовану систему.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників впливаючих на людину при роботі зі стрічковим завантажувачем

Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю певних небезпечних і шкідливих виробничих чинників. Небезпечним виробничим чинником називається такий виробничий чинник, дія якого на працюючого в певних умовах призводить до травми або до іншого раптового різкого погіршення здоров'я.

Шкідливим виробничим чинником називається такий виробничий чинник, дія якого на працюючого в певних умовах приводить до захворювання або зниження працездатності.

Між небезпечним і шкідливим чинником часто не можна провести чіткої межі. Один і той же чинник може привести до нещасного випадку.

До небезпечних і шкідливих виробничих чинників, характерних для стрічкового завантажувача відносяться:

- небезпека ураження електричним струмом;
- небезпека виникнення пожежі;
- дія шуму на організм людини.

До основних причин ураження електричним струмом відносяться такі, як випадковий дотик або наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою; поява напруги на конструктивних металевих частинах устаткування (корпусі, кожусі) в результаті пошкодження ізоляції і інших причин; поява напруги на відключених струмоведучих частинах, на яких працюють люди, в результаті помилкового включення установки; виникнення крокової напруги на поверхні землі в результаті замикання дроту на землю.

Небезпека ураження, оцінюється величиною струму, що проходить через тіло людини, або ж напругою дотику, залежить від ряду чинників: схеми

включення людини в ланцюг, напруга мережі, схеми самого ланцюга, режиму її нейтралі, ступені ізоляції струмоведучих частин від землі, також від величини місткості струмоведучих частин і т.д.

Проходячи через організм електричний струм проводить термічну, електролітичну і біологічну дію.

Термічна дія виражається в опіках окремих ділянок тіла нагріві кровоносних судин і т.п.

Електролітична дія виражається в розкладанні крові і інших органічних рідин, що викликає значні порушення їх фізико-хімічних складів.

Біологічна дія є особливим специфічним процесом, властивим лише живій тканині. Воно виражається в подразненні і збудженні живих тканин організму, що супроводжується мимовільними судорожними скороченнями м'язів, у тому числі м'язів серця і легенів. В результаті можуть виникнути різні порушення в організмі, у тому числі порушення і навіть повне припинення діяльності органів дихання і кровообігу. Подразнююча дія струму на тканини організму може бути прямою, коли струм проходить безпосередньо по цих тканинах і рефлекторним, тобто через центральну нервову систему, коли шлях струму лежить зовні цих тканин.

Результат дії електричного струму залежить від ряду чинників, у тому числі від електричного опору тіла людини, величини і тривалості протікання через нього струму, роду і частоти струму і індивідуальних властивостей людини.

Величина струму, що протікає через тіло людини, є головним чинником, від якого залежить результат ураження: чим більше струм, тим небезпечніша його дія. Людина починає відчувати протікаючий через нього струм промислової частоти (50 Гц) щодо малого значення: 0,6 — 1,5 мА. Цей струм називається пороговим відчутним струмом.

Тривалість протікання струму через тіло людини впливає на результат ураження унаслідок того, що з часом різко зростає струм за рахунок зменшення опору тіла і нагромаджуються негативні наслідки дії струму на організм.

Основними заходами захисту від ураження струмом для стрічкового завантажувача є забезпечення недоступності струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, для випадкового дотику; захисне розділення мережі; усунення небезпеки ураження при появі напруги на корпусі, кожусі і інших частинах установки, що досягається застосуванням подвійної ізоляції, вирівнюванням потенціалу, захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням і др.; вживання захисних засобів; організація безпечної експлуатації установки. В процесі експлуатації стрічкового завантажувача нерідко виникають умови, при яких навіть найдосконаліше їх виконання не забезпечує безпеки працюючого і потрібне застосування спеціальних захисних засобів - переносних приладів і пристосувань.

До захисних засобів відносяться:

- ізолюючі захисні засоби: діелектричні гумові рукавички, інструмент з ізольованими рукоятками, струмошукачі, діелектричні галоші, килимки, ізолюючі підставки;
- огорожуючі захисні засоби: щити, галоші, килимки, ізолюючі накладки, тимчасові захисні заземлення;
- оберігаючі захисні засоби: захисні окуляри спеціальні рукавиці.

Пожежі на промислових підприємствах представляють велику небезпеку для працюючих і можуть заподіяти величезний матеріальний збиток. Пожежа при роботі стрічкового завантажувача може відбутися в результаті прояву теплової і іскрової дії електричного струму в умовах, сприятливих для запалювання горючих матеріалів електроустановки, до яких відносяться тверді і рідкі ізоляційні матеріали. Основними причинами пожеж в електроустановках є перевантаження дротів, коротке замикання, великі перехідні опори в електричних мережах, електрична дуга або іскріння. До заходів попередження виникнення пожеж відносяться вживання плавких запобіжників, автоматичних вимикачів, що здійснюють захисне відключення, а також правильний монтаж мереж, машин і апаратів відповідно до вимог правил пристрою електроустановок.

Шум надає на людину шкідливу фізіологічну дію, яка полягає не тільки в пошкодженні слухового апарату, але і в негативному впливі на нервову систему, викликаючи уповільнення психологічних реакцій. Під впливом виробничого шуму виникають різні професійні захворювання: порушується ритм серцевої діяльності, змінюється кров'яний тиск, погіршується діяльність органів дихання. Спостерігається також ослаблення пам'яті, уваги, гостроти зору. Таким чином, шум може бути причиною травматизму.

Під впливом шуму значно знижується продуктивність праці, причому знижується тим більше, чим складніше трудовий процес і чим більше в ньому елементів розумової праці.

Для зниження шуму при роботі зі стрічковим завантажувачем можуть бути застосовані наступні методи:

- зменшення шуму в джерелі шляхом вдосконалення технологічних процесів і устаткування;
- зміна спрямованості випромінювання;
- раціональне планування цеху;
- акустична обробка приміщення при вживанні звукопоглинальних матеріалів;
- зменшення шуму на шляху його розповсюдження, використовуючи звукоізоляційні матеріали.

5.2. Розрахунок освітленості виробничого приміщення

У приміщенні необхідно організувати змішане освітлення, тобто сполучення природного і штучного освітлення. Природне освітлення створюється бічним освітленням через вікно. Штучне освітлення використовується при недостатньому природному освітленні. У даному приміщенні використовується загальне штучне освітлення.

Розрахунок його здійснюється по методу світлового потоку з урахуванням потоку, відбитого від стін і стелі.

Довжина $A = 24$ м, ширина $B = 12$ м, висота $H = 3,5$ м. Висота робочої поверхні $h_p = 0,8$ м. Для освітлення використовується світильник ЛСП02. Мінімальна освітленість люмінесцентної лампи по нормах $E_{\min}=200$ лк. Коефіцієнт відображення стелі $S_{\pi}=70\%$, стін $S_c=50\%$, робочої поверхні $S_p=10\%$. Напруга мережі 220 В.

Відстань від стелі до робочої поверхні:

$$H_0 = H - h_p = 3,5 - 0,8 = 2,7 \text{ м.} \quad (5.1)$$

Відстань від стелі до світильника:

$$h_c = 0,2 \cdot H_0 = 0,2 \cdot 2,7 = 0,5 \text{ м.} \quad (5.2)$$

Висота підвісу світильника над освітленою поверхнею:

$$h = H_0 - h_c = 2,7 - 0,5 = 2,2 \text{ м.} \quad (5.3)$$

Висота підвісу світильника над підлогою:

$$H_n = h + h_p = 2,2 + 0,8 = 3 \text{ м.} \quad (5.4)$$

Для досягнення найбільшої рівномірності освітлення приймаємо відношення $L / h = 1,5$.

Відстань між центрами світильників:

$$L = 1,5 h = 1,5 \cdot 2,2 = 3,3 \text{ м.} \quad (5.5)$$

Необхідна кількість світильників:

$$N = S / L^2 = (24 \cdot 12) / (3,3)^2 = 26. \quad (5.6)$$

Приймаємо кількість світильників: 28 (4 ряди по 7 світильники).

Індекс приміщення:

$$i = (A \cdot B) / (h (A + B)) = (24 \cdot 12) / (2,2 \cdot (24 + 12)) = 3,6. \quad (5.7)$$

Коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,65$.

Світловий потік однієї лампи:

$$\Phi = (E_{\min} S K_3 Z) / (N \eta) n. \quad (5.8)$$

$$\Phi = (200 \cdot 288 \cdot 1,5 \cdot 1,1) / (28 \cdot 0,65) \cdot 2 = 2611 \text{ лм}$$

Вибираємо (у таблиці) лампу, що має світловий потік 2500 лм: ЛД з потужністю 40 Вт.

Фактична освітленість:

$$E_{\phi} = E_{\min} \Phi_{\text{л}} / \Phi_{\text{р}} = 200 \cdot 2500 / 2611 = 191 \text{ лк.} \quad (5.9)$$

Загальна потужність:

$$P_{\text{общ}} = P_{\text{л}} N_{\text{n}} = 40 \cdot 28 \cdot 2 = 2240 \text{ Вт} = 2,24 \text{ кВт.} \quad (5.10)$$

Отже для оптимальної роботи в приміщенні необхідно встановити 4 ряди по 7 світильники типу ЛД . Загальна потужність усіх світильників складає 2 кВт.

5.3 Розробка заходів по забезпеченню безпечної експлуатації стрічково-го завантажувача

Досвід показує, що для забезпечення безпечної, без аварійної і високопродуктивної роботи електроустановок необхідно разом з досконалим виконанням їх і оснащенням захисними засобами так організувати їх експлуатацію, щоб виключити всяку можливість помилок з боку обслуговуючого персоналу.

Основою організації безпечної експлуатації електроустановок є висока технічна письменність і свідомо дисципліна обслуговуючого персоналу, який зобов'язаний строго дотримувати організаційні і технічні заходи, а також прийоми і черговість виконання експлуатаційних операцій відповідно до Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів і Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів.

Особи, обслуговуючі електроустановки, не повинні мати каліцтв і хвороб, що заважають виробничій роботі. Для персоналу бере безпосередню участь в оперативних перемиканнях і ремонтних роботах в електроустановках, стан здоров'я встановлюється медичним оглядом при прийнятті на роботу, а потім періодично один раз в два роки.

Кожний працівник до призначення його на самостійну роботу по обслуговуванню електроустановок або при переведенні на іншу ділянку роботи зобов'язаний пройти навчання безпечним методам роботи на робочому місці і перевірку знань. Одночасно він зобов'язаний вивчити правила техніки безпеки, правила надання першої допомоги. Кожний працівник до призначення його на самостійну роботу по обслуговуванню електроустановок або при переведенні на іншу ділянку

роботи зобов'язаний пройти навчання безпечним методам роботи на робочому місці і перевірку і т.п. в об'ємі, відповідному вимогам його робочого місця. Перевірка знань Правил техніки безпеки проводиться кваліфікованою комісією після навчання на робочому місці.

Всі роботи по експлуатації діючої установки проводяться при обов'язковому дотриманні наступних умов:

- на роботу повинен бути видано дозвіл уповноваженою на це особою;
- робота повинна проводитися, як правило, не менше ніж двома особами;
- повинні бути виконані організаційні і технологічні заходи, що забезпечують безпеку персоналу.

Під час роботи завантажувача обслуговуючий працівник зобов'язаний:

- стежити, щоб ролики оберталися, стрічка не зміщувалася вбік і рівномірно завантажувалася селітрою;
- контролювати нагрівання підшипників редуктора органолептично або візуально під час зупинення;
- зупиняти конвеєр у випадку перекосу стрічки, з'ясовувати і усувати причини перекосу.

Очищення стрічкового завантажувача необхідно проводити тільки після його зупинки.

Для переходу через завантажувач слід користуватися тільки призначеними для цього містками.

У разі аварії працівники повинні діяти відповідно до ПЛАС, діючого на підприємстві, розробленого відповідно до вимог НПАОП 0.00-4.33-99.

Біля робочих місць повинні бути розміщені таблички, які пояснюють значення засобів сигналізації, що використовуються, і режим керування завантажувачем.

Завантажувачи, призначені для транспортування сипких матеріалів, повинні бути обладнані в місцях виділення пилу місцевими відсмоктувачами, підключеними до вентиляційної системи підприємства.

Місця періодичного змащення завантажувача (підшипники барабанів та шасі, редуктор) повинні бути доступні без зняття захисних пристроїв.

Контроль за експлуатацією завантажувача здійснює працівник, призначений наказом роботодавця відповідальним за безпечну експлуатацію транспортних засобів, який пройшов навчання і перевірку знань з питань охорони праці у порядку, передбаченому НПАОП 0.00-4.12-05.

Не рідше одного разу на тиждень цей працівник повинен перевіряти положення установки завантажувача і прилягання стрічки до роликів на нижній і верхній гілках, знос скребків очисного пристрою, прилягання смуг відбортки навантажувального або перевантажувального пунктів, правильність навантаження стрічки матеріалом.

Виявлені у процесі експлуатації і огляду неполадки, а також проведені ремонтні роботи повинні відмічатися у журналі обліку роботи завантажувача згідно з вимогами ГОСТ 20-85.

Після закінчення роботи необхідно виконати послідовно такі дії:

- відключити конвеєр від електромережі;
- очистити стрічку завантажувача, барабани, натяжну і приводну станції, а також приймальні і завантажувальні пристрої від налиплих матеріалів.

На відключених апаратах при роботі людей на лінії повинні вивішуватися попереджувальні плакати "НЕ ВМИКАТИ - ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ!".

Під час планово-попереджувального огляду та випробувань стрічкових завантажувачів, які проводяться в терміни, вказані в інструкціях з експлуатації, проводиться повний огляд, перевірка і ремонт приводної та натяжної станцій завантажувача, очисних і гальмових пристроїв, стрічок, роликового опору і центрувальних приладів, за необхідності замінюється неякісне мастило, перевіряється рівень масла у редукторах і рідини в гідромуфтах, прилягання колодок до гальмового шківа, рухливість гальмової системи, знос гальмових шківів і колодок, надійність затягування болтових з'єднань вузлів приводної та натяжної станцій, стан сполучених муфт, зварних швів барабанів стрічкових конвеєрів.

Поточний ремонт стрічки завантажувача повинен проводитися безпосередньо на завантажувачі відповідно до вимог ГОСТ 20-85 за інструкціями розробників та виробників стрічок методом гарячої або холодної вулканізації за температури навколишнього повітря не нижче 0 град.С.

Під час пуску стрічкового завантажувача після ремонту або аварійної зупинки, який проводиться у присутності працівника, призначеного відповідальним за безпечну експлуатацію транспортних засобів, необхідно проводити замір усіх параметрів, що контролюються, як у неробочому, так і в робочому стані.

Для локалізації і гасіння пожеж приводів стрічкового завантажувача повинні бути передбачені первинні засоби пожежогасіння відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004 і НАПБ Б.03.001-2004, а також (за необхідності) встановлені стаціонарні системи пожежогасіння. Порядок оснащення стаціонарними системами пожежогасіння визначається згідно з вимогами НАПБ Б.06.004-2005.

Не допускається експлуатація завантажувача за відсутності або несправності засобів протипожежного захисту.

Не дозволяється:

- зберігати горючі рідини, змащувальні і обтиральні матеріали поблизу пускових пристроїв;
- перевозити на стрічковому завантажувачі сторонні матеріали і людей;
- ремонтувати електроустаткування, яке перебуває під напругою;

ВИСНОВОК

Основною задачею кваліфікаційної роботи була розробка та заміна системи автоматичного керування електроприводом автоматизованого стрічкового конвеєра.

Відповідно до мети кваліфікаційної роботи була проведена наступна робота:

На підставі порівняльного аналізу існуючих типів систем автоматичного керування електроприводами змінного струму, обрана система векторного автоматичного керування зі зворотними зв'язками по струму і швидкості яка дозволяє забезпечити необхідний режим роботи електропривода з меншими енергетичними витратами і кращими показниками якості перехідного процесу $T_{\max c}$, $\sigma_{\max}$.

Підвищено рівень надійності і термін служби в 1,125 у результаті розробки системи автоматичного керування.

Знижено споживання енергії на 10% завдяки раціональному вибору системи автоматичного керування і низьких утрат. Невеликі габарити перетворювача сприяють зручному компонуванню з електроприводом.

Використання такої системи автоматичного керування дозволяє виконувати вимоги охорони праці і навколишнього середовища.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Groß H., Hamann J., Wiegärtner G. Electrical Feed Drives in Automation: Basics, Computation, Dimensioning. – Munich : Publicis MCD Corporate Publishing, 2001. – 336 p. – ISBN 978-3-895781-48-3.
2. Phoenix Contact. Product Catalogue: Terminal Blocks, Connectors and Electronic Components
3. Crowder R. Electric Drives and Electromechanical Systems: Applications and Control. – Oxford : Elsevier Newnes, 2005. – 292 p. – ISBN 978-0-7506-6740-1.
4. Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Савченко П. І., Синявський О. Ю., Войтюк Д. Г., Лисенко В. П. Електропривод : підручник / за ред. Ю. М. Лавріненка. – К. : Ліра-К, 2009. – 504 с. – ISBN 978-966-96938-8-4.
5. Horowitz P., Hill W. The Art of Electronics. 3rd ed. – Cambridge : Cambridge University Press, 2015. – 1220 p. – ISBN 978-0-521-80926-9.
6. Leonhard W. Control of Electrical Drives. 3rd ed. – Berlin ; Heidelberg : Springer, 2001. – 460 p. – ISBN 978-3-540-41820-7.
7. Mohan N. Electric Drives: An Integrative Approach. – Minneapolis : MNPERE, 2003. – 464 p. – ISBN 0-9715292-5-6.
8. Sams Technical Publishing Engineering Staff. Semiconductor Cross Reference Book. 5th ed. – Indianapolis : Prompt Publications, 2000. – 876 p. – ISBN 978-07906-1139-6.
9. Sedra A. S., Smith K. C. Microelectronic Circuits. 8th ed. – New York : Oxford University Press, 2020. – 1280 p. – ISBN 978-0-19-085464.
10. Franco S. Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits. 4th ed. – New York : McGraw-Hill Education, 2015. – 672 p. – ISBN 978-0-07-802816-8.
11. Floyd T. L. Electronic Devices. 10th ed. – Harlow : Pearson Education, 2018. – 928 p. – ISBN 978-0-13-446136-7.
12. Flanagan W. M. Handbook of Transformer Design and Applications. 2nd ed. – New York : McGraw-Hill, 1993. – 570 p. – ISBN 0-07-021291-0.
13. Волченко Л. Я., Верланова Н. А. Розрахунок техніко-економічних показників та економічне обґрунтування технічних рішень у дипломних проектах : метод. вказівки. – Миколаїв : НКІ, 1987. – 51 с.
14. Правила пожежної безпеки в Україні : наказ МВС України від 30.12.2014 № 1417 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15>.
15. Auszug aus dem Lieferprogramm // Phoenix Contact.

Мультимедійна презентація



Схема керування діючої системи

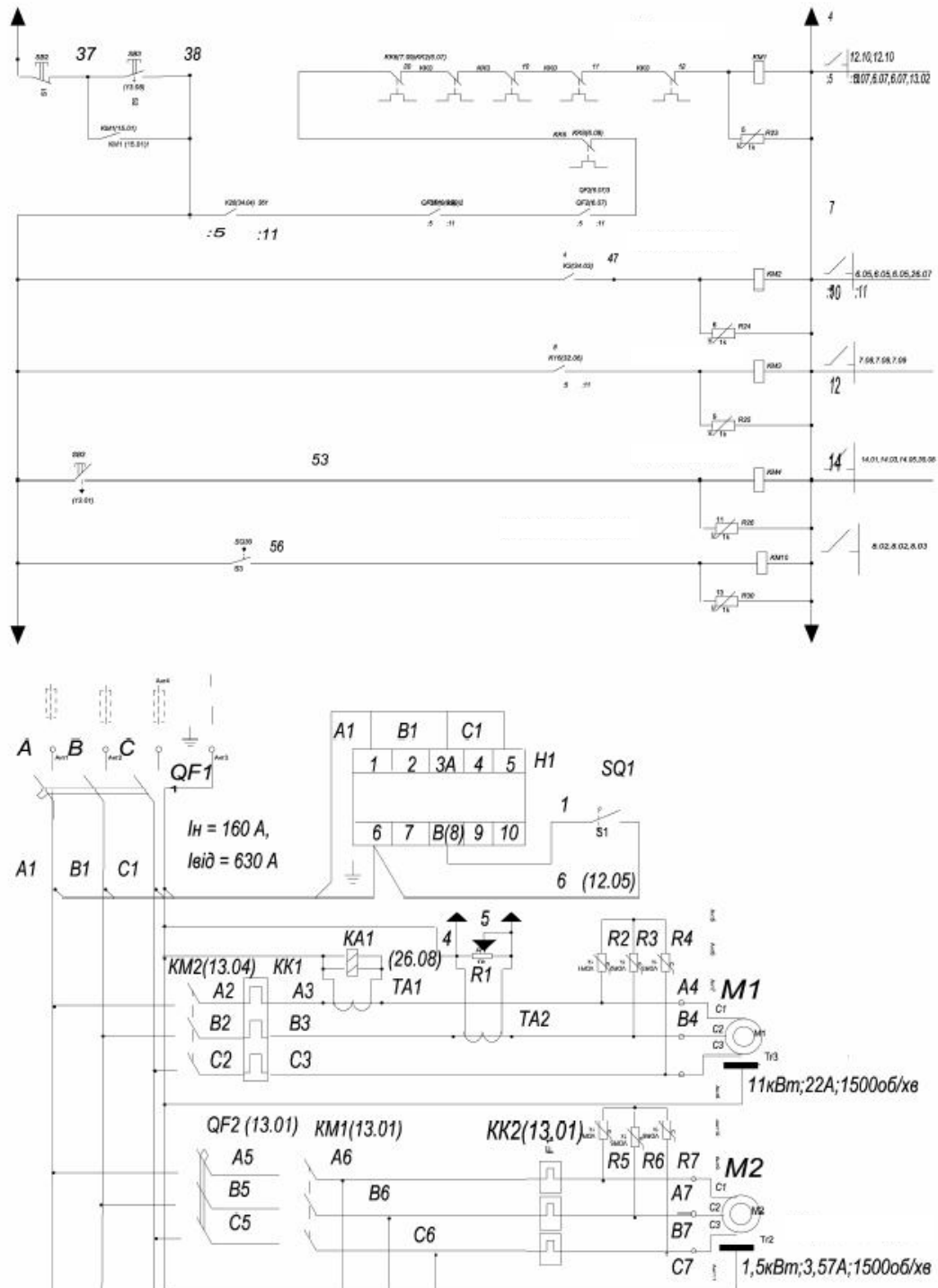


Рисунок А.2 – Слайд 2 мультимедійної презентації

Функціональна схема системи векторного керування асинхронним двигуном з коротко-замкнутим ротором

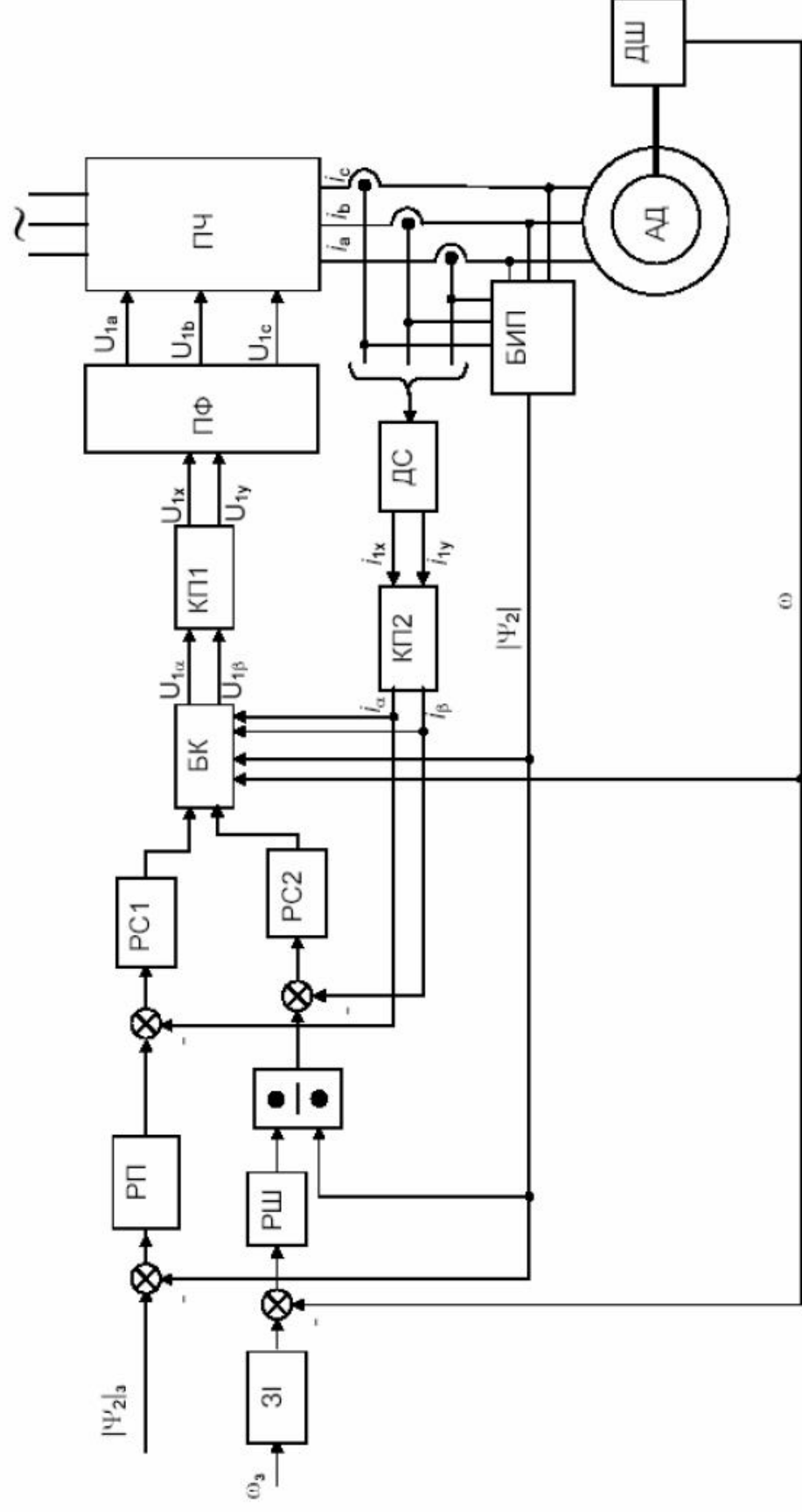


Рисунок А.3 – Слайд 3 мультимедійної презентації

Структурна схема системи з керуванням по потокозчепленню ротора

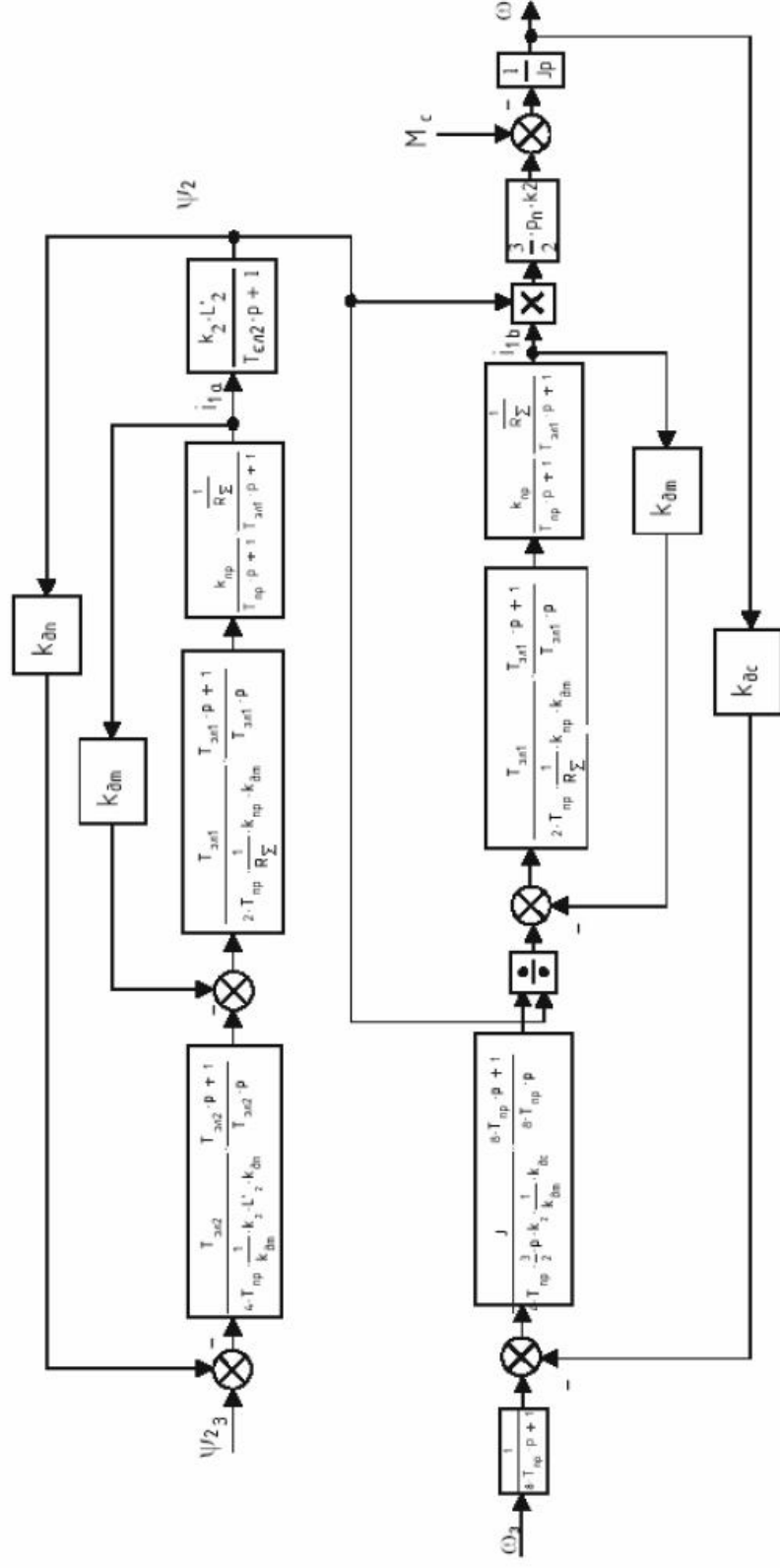


Рисунок А.4 – Слайд 4 мультимедійної презентації

Результати дослідження динаміки системи керування

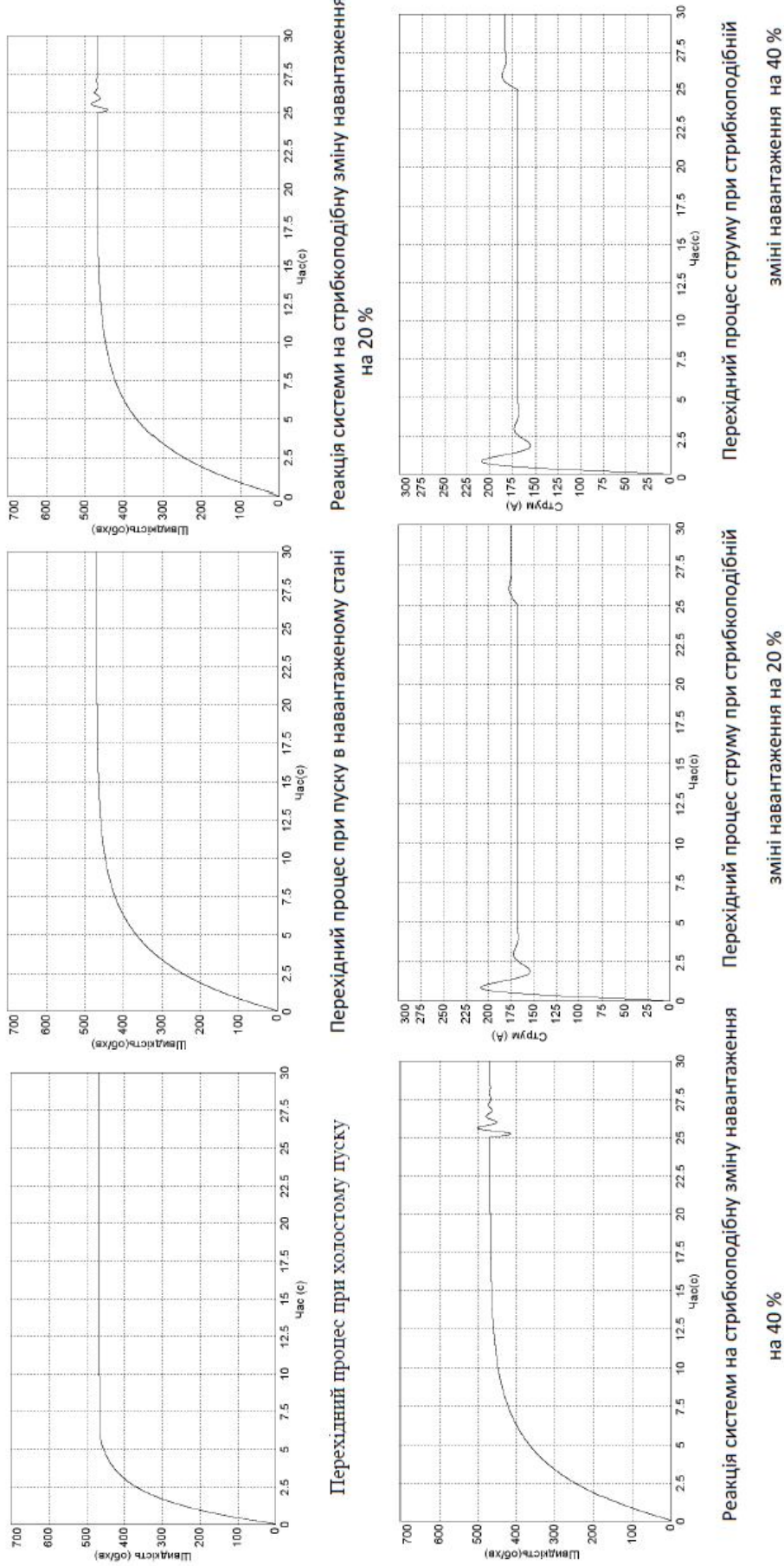


Рисунок А.5 – Слайд 5 мультимедійної презентації