

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри автоматики та
телекомунікацій

_____ Валерій ПОЦЕПАЄВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«___» _____ 2024 р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка системи автоматичного керування асинхронним
електроприводом шахтного підйомника з векторним керуванням швидкістю»

Виконав студент 4 курсу, групи АКТ-20
(шифр групи)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

_____ Глинського Сергія Сергійовича
(Прізвище, Ім'я та По-батькові) (підпис)

Керівник в.о. зав. каф. АТ, к.т.н., доц. _____ Валерій ПОЦЕПАЄВ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент зав. каф. ЕІ, к.т.н., доц. _____ Олександр КОЛЛАРОВ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль:

Дар'я ЖУКОВСЬКА

23.06.2024 р.

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

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2024 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра

Тема: «Розробка системи автоматичного керування асинхронним електроприводом шахтного підйомника з векторним керуванням швидкістю»

Виконавець, студент

гр. АКТ–20 _____ Сергій ГЛИНСЬКИЙ
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник _____ Валерій ПОЦЕПАЄВ
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти: _____ Валерій ПОЦЕПАЄВ
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ Ганна ТЕЛИЧКО
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтроль _____ Дар'я ЖУКОВСЬКА
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Луцьк – 2024 р.

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра Автоматика та телекомунікації
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування
(шифр і назва)
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри АТ
Валерій ПОЦЕПАЄВ

«_____» _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Глинському Сергію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Розробка системи автоматичного керування асинхронним електроприводом шахтного підйомника з векторним керуванням швидкістю»

керівник проекту (роботи) к.т.н., доцент Поцєпаєв В.В.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 25.04.2024 року № 164

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз систем автоматичного керування шахтними підйомниками 2. Проектування системи автоматичного керування шахтним підйомником. 3 Теоретичний синтез системи автоматичного керування шахтним підйомником

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) функціональна схема автоматизованого електроприводу, функціональна схема блоку управління логічного та вихідних реле, навантажувальні діаграма роботи двигуна, структурна схема логічного автомата, функціональна структура управління, модель КСУ, часові діаграми, алгоритми програми.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2	Поцєпаєв В.В., в.о. зав. каф. АТ		
3	Теличко Г.О., доц. каф. АТ		
нормоконтроль	Жуковська Д.О., асист. каф. АТ	-	23.06.2024 р.

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз систем автоматичного керування шахтними підйомниками	05.05.2024	
2	Проектування системи автоматичного керування шахтним підйомником	14. 05.2024	
3	Теоретичний синтез системи автоматичного керування шахтним підйомником	25. 05.2024	
4	Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві	06.06.2024	
	Оформлення і захист	15.06.2024-23.06.2024	

Студент _____ Сергій ГЛИНСЬКИЙ
(підпис) (прізвище та ініціали)Керівник роботи _____ Валерій ПОЦЕПАЄВ
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Глинський Сергій Сергійович. Розробка системи автоматичного керування асинхронним електроприводом шахтного підйомника з векторним керуванням швидкістю / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – ДВНЗ «ДонНТУ», Луцьк, 2024.

Пояснювальна записка: 109 стор., 52 рис., 7 табл., 22 посилання.

У випускній кваліфікаційній роботі розроблено ефективну та надійну систему автоматичного керування асинхронним електроприводом шахтного підйомника з векторним керуванням швидкістю. Основні результати та досягнення дослідження включають: аналіз сучасних методів векторного керування, розробка математичної моделі, синтез алгоритму керування, комп'ютерне моделювання та симуляція, експериментальна перевірка.

Розроблена система автоматичного керування значно покращує продуктивність, енергоефективність та безпеку роботи шахтного підйомника, що має важливе значення для гірничої промисловості. Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення технологій автоматизації та управління в цій галузі.

Ключові слова: ГІРНИЧА ПРОМИСЛОВІСТЬ, ШАХТНІ ПІДЙОМНИКИ, ЕЛЕКТРОПРИВОД, ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ, БЕЗПЕКА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, НАДІЙНІСТЬ, САУ, МОДЕЛЮВАННЯ, АЛГОРИТМ, MATLAB/SIMULINK.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ШАХТНИМИ ПІДЙОМНИКАМИ.....	13
1.1 Призначення систем керування автоматикою шахтного підйомника	13
1.2 Огляд технічних рішень, сучасних автоматизованих систем керування.....	20
1.3 Аналіз переваг і недоліків наявних систем керування.....	24
1.4 Визначення набору функціонально-системних вимог.....	29
Висновки до розділу 1.....	30
2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ШАХТНИМ ПІДЙОМНИКОМ.....	32
2.1 Постановка задачі керування приводом шахтного підйомника за заданою циклограмою.....	32
2.2 Розробка структурної та функціональної схеми.....	37
2.3 Вибір базових елементів системи та обґрунтування вибору.....	41
2.4 Розробка електричної принципової схеми.....	55
2.5 Розроблення та опис блок-схеми алгоритму роботи програми.....	66
Висновки до розділу 2.....	71
3 ТЕОРЕТИЧНИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ШАХТНИМ ПІДЙОМНИКОМ.....	72
3.1 Розробка математичної моделі САК.....	72
3.2 Розробка структурної схеми САК.....	75
3.3 Синтез алгоритмів керування.....	79
3.4 Моделювання системи керування та аналіз показників якості регулювання.....	88
Висновки до розділу 3.....	91
ВИСНОВКИ.....	93

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	95
ДОДАТОК А – Охорона праці.....	98

ВСТУП

Актуальність наукового дослідження. В умовах сучасної гірничої промисловості важливо забезпечити безпеку та ефективність роботи шахтних підйомників. Асинхронні електроприводи з векторним керуванням швидкістю є актуальними через наступні причини:

1. **Безпека:** Точне керування швидкістю та позиціонуванням підйомника знижує ризик аварій.
2. **Енергоефективність:** Оптимізація споживання енергії зменшує втрати та покращує загальну ефективність.
3. **Надійність:** Підвищена довговічність та безперебійна робота обладнання.
4. **Технологічна інтеграція:** Сучасні методи керування легко інтегруються з іншими автоматизованими системами шахти.
5. **Економічні вигоди:** Зниження експлуатаційних витрат завдяки оптимізації роботи підйомника.

Метою дослідження є розробка ефективної та надійної системи автоматичного керування асинхронним електроприводом шахтного підйомника з векторним керуванням швидкістю. Це передбачає вирішення наступних **задач**:

1. **Аналіз сучасних методів векторного керування:** Оцінка існуючих підходів до векторного керування асинхронними електроприводами.
2. **Розробка математичної моделі:** Створення моделі, яка описує динаміку роботи електропривода в умовах шахтного підйомника.
3. **Синтез алгоритму керування:** Розробка алгоритму, що забезпечує оптимальне керування швидкістю та позиціонуванням підйомника.
4. **Комп'ютерне моделювання та симуляція:** Верифікація розробленої системи за допомогою комп'ютерних моделей і симуляцій.
5. **Експериментальна перевірка:** Випробування створеної системи на

реальному обладнанні для оцінки її ефективності та надійності.

Об'єктом дослідження є асинхронний електропривод шахтного підйомника з системою автоматичного керування, що використовує векторне керування швидкістю:

1. Асинхронний електродвигун: Основний компонент, що забезпечує рух підйомника.
2. Система векторного керування: Комплекс алгоритмів та програмного забезпечення для точного керування швидкістю і позиціонуванням електродвигуна.
3. Приводний механізм підйомника: Механічні компоненти, що передають рух від електродвигуна до кабіни підйомника.
4. Система автоматичного керування: Сукупність датчиків, контролерів і програмного забезпечення, що забезпечують автоматичне керування роботою підйомника.
5. Елементи зворотного зв'язку: Датчики та системи, що збирають інформацію про поточний стан підйомника та електропривода для корекції роботи системи керування.

Предметом дослідження є методи та алгоритми векторного керування швидкістю асинхронного електропривода шахтного підйомника, а також ефективність їх впровадження в системах автоматичного керування.

1. Методи векторного керування: Різні підходи до векторного керування асинхронними електроприводами.
2. Алгоритми керування швидкістю: Розробка та оптимізація алгоритмів, які забезпечують точне та ефективне керування швидкістю електропривода.
3. Системи зворотного зв'язку: Використання датчиків та механізмів зворотного зв'язку для корекції параметрів роботи електропривода в режимі реального часу.
4. Моделювання та симуляція: Використання комп'ютерних моделей для оцінки та оптимізації розроблених методів керування.

5. Ефективність впровадження: Оцінка впливу розроблених методів та алгоритмів на загальну ефективність, надійність та безпеку роботи шахтного підйомника.

Ступінь наукової розробленості. Дослідження в галузі автоматичного керування асинхронними електроприводами та застосування векторного керування мають значну історію та добре розроблену теоретичну базу. Однак, специфічні аспекти, пов'язані з керуванням шахтними підйомниками, потребують подальших досліджень та удосконалення. Основні аспекти наукової розробленості включають:

1. Теоретичні основи векторного керування: Векторне керування асинхронними електроприводами детально описане в науковій літературі, включаючи теоретичні моделі та методи оптимізації керування.

2. Математичне моделювання: Існує значна кількість математичних моделей, які описують динаміку роботи асинхронних електроприводів з векторним керуванням. Ці моделі використовуються для розробки та тестування алгоритмів керування.

3. Алгоритми керування: Розроблені різні алгоритми векторного керування, що забезпечують високу точність та ефективність роботи електроприводів. Багато з них вже впроваджені у промисловість і показали свою ефективність.

4. Комп'ютерне моделювання: Сучасні інструменти комп'ютерного моделювання дозволяють проводити детальні симуляції роботи систем автоматичного керування, що забезпечує можливість оптимізації та вдосконалення алгоритмів перед їх впровадженням на практиці.

5. Практичні впровадження: Є численні приклади успішного впровадження векторного керування в різних галузях промисловості, включаючи гірничу. Проте специфічні аспекти керування шахтними підйомниками залишаються предметом подальших досліджень.

Незважаючи на значний прогрес у цій галузі, специфічні вимоги та умови роботи шахтних підйомників вимагають адаптації та подальшого розвитку

існуючих методів та алгоритмів векторного керування.

Методи дослідження . Для досягнення мети дослідження та вирішення поставлених завдань були використані наступні методи:

1. Аналіз літератури: Вивчення наукових праць, статей, дисертацій та інших джерел, присвячених векторному керуванню асинхронними електроприводами та автоматичному керуванню шахтними підйомниками.
2. Математичне моделювання: Розробка та аналіз математичних моделей, що описують динаміку асинхронного електропривода та його керування.
3. Комп'ютерне моделювання та симуляція: Використання програмних засобів, таких як MATLAB/Simulink, для створення комп'ютерних моделей системи керування та проведення числових експериментів.
4. Розробка алгоритмів керування: Створення та оптимізація алгоритмів векторного керування швидкістю асинхронного електропривода.
5. Експериментальні дослідження: Проведення лабораторних та натурних експериментів для перевірки ефективності та надійності розроблених методів та алгоритмів.
6. Аналіз даних: Збір, обробка та аналіз результатів експериментальних досліджень для оцінки ефективності системи керування.
7. Теоретичний аналіз: Використання методів теоретичної механіки, теорії автоматичного керування та теорії електроприводів для аналізу та обґрунтування отриманих результатів.

Структура і обсяг випускної кваліфікаційної роботи: вступ, три розділи, висновки, список використаних джерел (22 посилання) на 109 сторінках, один додаток, 52 рисунки, 7 таблиць.

1 АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ШАХТНИМИ ПІДЙОМНИКАМИ

1.1 Призначення систем керування автоматикою вантажного ліфта шахтного підйому

Ліфт є підйомним пристроєм, який використовується для вертикального переміщення людей і вантажів. Вони поділяються на пасажирські, вантажопасажирські, лікарняні та вантажні [1]. Залежно від швидкості руху кабіни, ліфти класифікуються на тихохідні (до 0,71 м/с), швидкохідні (від 1 до 1,6 м/с), швидкісні (від 2 до 4 м/с) та високошвидкісні (4-10 м/с). Вантажопідйомність пасажирських ліфтів становить від 320 до 1600 кг, а вантажних - від 160 до 5000 кг. При швидкості до 1,6 м/с електродвигун з'єднується з канатоведучим шківом через редуктор, а при більшій швидкості використовуються безредукторні електроприводи [2].

Основними компонентами пасажирських і вантажних ліфтів є підйомна лебідка, канати, кабіна, противага, механічне гальмо та апаратура управління. Сучасні ліфти оснащені системою підвісу з противагою та врівноважуючим канатом. Кабіна переміщається вздовж вертикальних напрямних, підвішена на канатах, які огинають канатоведучий та напрямний шків приводної електричної лебідки. На кінцях каната закріплена противага, що рухається по напрямних. Маса противаги дорівнює сумі маси кабіни та 42-50% маси вантажу або половині найбільш ймовірного навантаження кабіни.

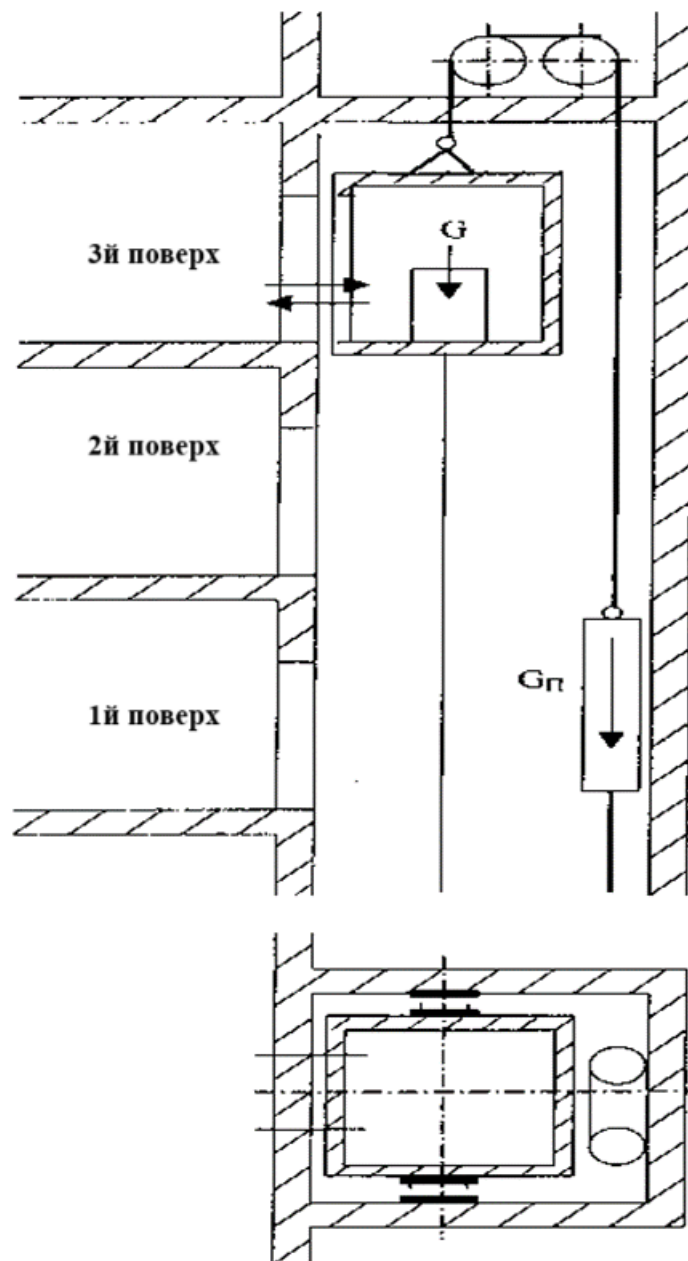


Рисунок 1.1 – Схема ліфта

Для забезпечення високої продуктивності та якості транспортування пасажирів і вантажів електропривод ліфта повинен відповідати таким вимогам:

- можливість роботи двигуна в реверсивному режимі;
- плавний запуск і зупинка, при цьому прискорення та уповільнення, а також їх похідні (ривок) повинні залишатися в межах встановлених норм;
- мінімізація часу перехідних процесів;

- точна зупинка кабіни на рівні підлоги кожного поверху;
- у режимі ревізії швидкість кабіни ліфта не повинна перевищувати 0,36 м/с.

Конкретні значення швидкості при експлуатації, прискорення (уповільнення), ривка, точності зупинки залежать від типу ліфта (підйомника) та особливостей роботи. Продуктивність ліфта Π (число пасажирів, що перевозяться на годину) пов'язано як з технічними параметрами ліфта, так і режимом його роботи.

$$\Pi = \frac{3600 \cdot \gamma \cdot E_k}{2H/V + \Sigma t}, \quad (1.1)$$

де: E_k – номінальна вантажопідйомність кабіни, тобто. кількість пасажирів (маса одного пасажирів приймається 80кг); H – висота підйому м; V – швидкість кабіни, м/с; γ – коефіцієнт завантаження кабіни (для ліфтів 6-10 поверхових будівель $\gamma=0,6...0,8$; Σt – час, витрачений на всіх зупинках на відчинення та закривання дверей, вхід та вихід пасажирів, розгін та гальмування кабіни.

З формули випливає, що продуктивність залежить від місткості кабіни, швидкості, прискорення (уповільнення). Для ліфтів із великими кабінами збільшується час на стоянку. Швидкість ліфта може не досягти номінального значення при її величині більше 2м/с, якщо ліфт зупинятиметься на кожній зупинці. Тому швидкість вибирається з конкретних умов роботи ліфта. Прискорення та ривок визначається виходячи з комфортності для пасажирів, а точність зупинки від призначення ліфта, умов їх розвантаження та завантаження [3].

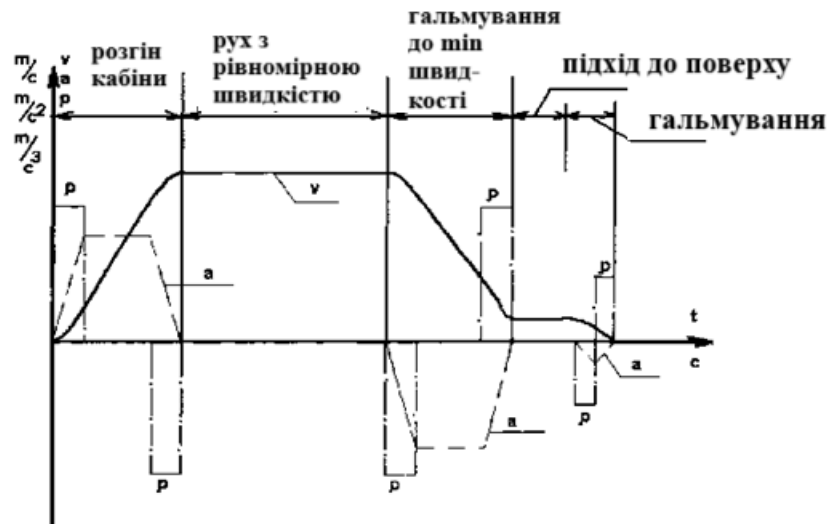


Рисунок 1.2 – Оптимальні залежності $V(t)$, при пуску та гальмуванні електроприводу ліфта

Прискорення (гальмування) в залежності від типу ліфта приймається в межах від 1 м/с^2 – для лікарняних ліфтів до $2,5\text{ м/с}^2$ для швидкісних та високошвидкісних ліфтів. Для швидкохідних ліфтів прискорення приймається $1,5\text{ м/с}^2$; для тихохідних $\leq 0,75\text{ м/с}^2$. Ривок обмежується значеннями $3\text{--}10\text{ м/с}^3$. Обмеження ривка на швидкісних пасажирських ліфтах створює відчуття плавності перехідного процесу, що зменшує неприємний вплив максимального прискорення.

Для отримання максимальної продуктивності оптимальна тахограма руху за умови обмеження прискорення та ривка представлена на рис. 1.3. Точність зупинки для різних типів ліфтів повинна бути не гіршою за наступні значення: ліфти швидкісні, лікарняні та вантажні, завантажені за допомогою підлогового транспорту $10\text{--}20\text{ мм}$; ліфти решта $35\text{--}50\text{ мм}$; вантажні витяги з вагонетками на рейковому ходу $5\text{--}10\text{ мм}$; клетові шахтні витяги $50\text{--}200\text{ мм}$.

Схема управління ліфтами повинна відповідати таким вимогам:

1. Забезпечувати різні режими роботи:

- нормальний режим: керування з кабінки, виклик кабінки на будь-який поверх, виконання попутних викликів під час руху вгору та вниз;

- режим ревізії: рух зі швидкістю трохи більше 0,36 м/с;
 - управління з машинного залу.
2. Виключати самозапуск ліфта після відновлення живлення.
 3. Запобігати запуску ліфта при відкритих дверях кабіни та шахти.
 4. Забезпечувати безпечну роботу ліфта та зупинку у випадку будь-яких аварійних ситуацій.
 5. У разі спрацювання пожежної сигналізації автоматично опускати кабіну на перший поверх і відчиняти двері.

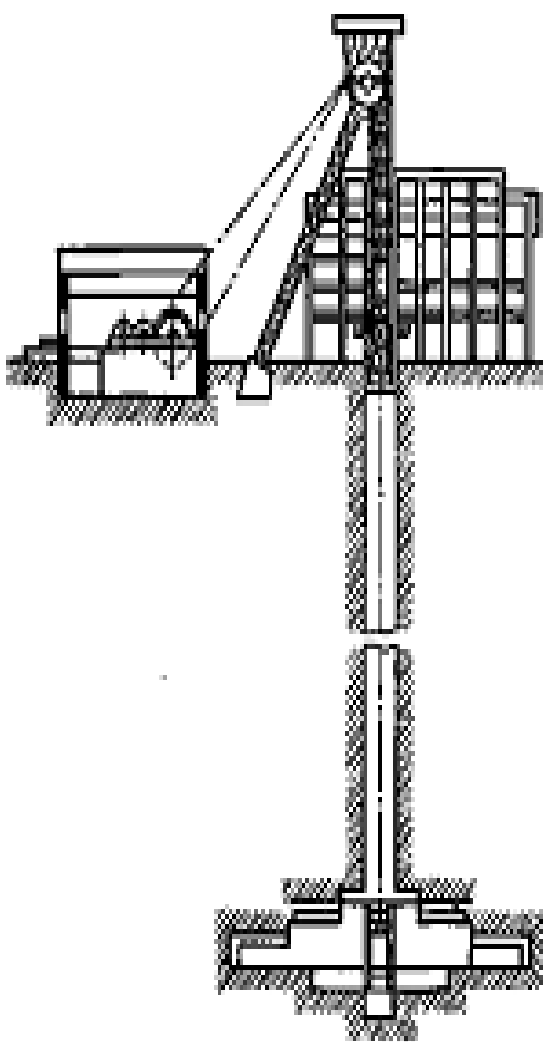


Рисунок 1.3 – Шахтна установка

Шахтні підйомники служать для підйому на поверхню видобутих у шахті корисних копалин, спуску та підйому людей, обладнання та матеріалів.

Основними підйомниками є ті, що транспортують корисні копалини, а другорядними – призначені для підйому та спуску людей, вантажів та матеріалів [4].

Головні шахтні витяги як вантажонесучі судини забезпечуються скіпами, ківшами, цебрами, а допоміжні — клітьми (кабінами). При клітинному підйомі кліть навантажується вагонетками, що вкочуються. Шахтна установка складається з:

- 1) ствола шахти із укріпленими на ньому напрямними при вертикальному підйомі або рейками при похилому підйомі;
- 2) навколоствольних споруд, що складаються із завантажувальних бункерів та камер для перекидання вагонеток та скіпів та з приймального майданчика для клітьового підйому та
- 3) надшахтних споруд, що складаються з копра, що піднімаються над стволом, і приймального бункера. При клітьовому підйомі для вкочування в кліть вагонеток споруджується надшахтна будівля з майданчиками та відкатними шляхами [5].

По висоті підйому шахтні підйомники характеризуються малою глибиною. 300 м, середньою - від 300 до 800, великою глибиною - від 800 до 1600 і надглибокою - понад 1600 м.

Підйомні механізми застосовуються барабанні та зі шківми тертя (канатоведучими шківми). Максимальна різниця статичних натягу канатів від 2,5 до 50 тс (25 до 500 кН).

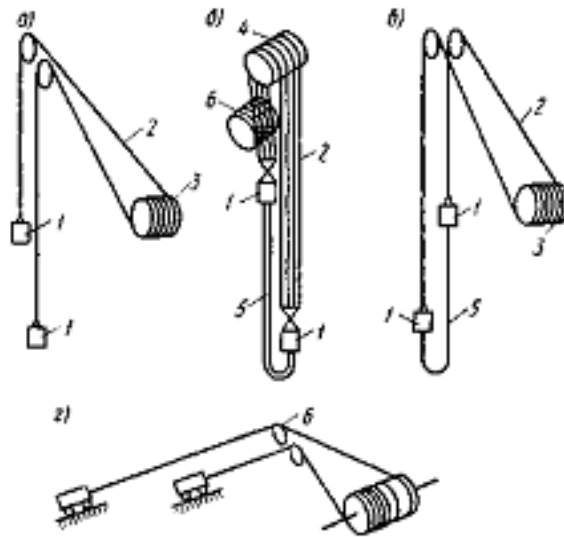


Рисунок 1.4 – Основні схеми шахтних підйомників

а - однобарабанна без врівноважувальних канатів; б - з канатоведущим шківом і врівноважуючими канатами; в - двобарабанна з врівноважуючими канатами; г – двобарабанна для похилих шахт; 1 - кліті, судини; 2 - канати; 3 - барабани; 4 - канатоведучим шків; 5 - врівноважуючі канати; 6 - блок, що відхиляє

Автоматичне дистанційне керування здійснюється за допомогою спеціального апарату завдання та контролю АЗК, що контролює положення судини або кліті та швидкість. За допомогою цього апарату здійснюється програмне регулювання розгону та уповільнення. Апарат АЗК має механічну сполуку з корінним валом. Пульт керування електрично пов'язаний із механічною частиною [6].

Існують способи та пристрої, що дозволяють знизити рівень високочастотних імпульсів, наприклад, моторні фільтри корпорації «Тріол», в яких ємності включені між фазами, тобто. з'єднані «трикутником», вони добре пригнічують високочастотні імпульси між фазами моторного кабелю і не пригнічують імпульси витоків струму на землю. Застосування фільтрів із зіркоподібним з'єднанням вихідних ємностей (фільтри фірми EPCOS), середня точка яких заземлена і підключена до екрану моторного кабелю, також не призводить до позитивних результатів внаслідок того, що потужний генератор

імпульсів, яким є частотний перетворювач, гальванічно пов'язаний з трифазною живильною мережею при роботі приводного електродвигуна між заземлюючою шиною моторного кабелю та нейтраллю мережі з'являється високочастотний потенціал, що призводить до спрацювання пристрою захисного відключення [7].

Технічний результат досягається за допомогою відомих ознак: частотно-регульований електропривод містить асинхронний електродвигун, встановлений у кабіні ліфта і підключений до частотного перетворювача за допомогою гнучкого екранованого кабелю через високочастотний LCR-фільтр із зіркоподібно з'єднаними конденсаторами, а також містить підключений до трифазної мережі через пристрій частотний перетворювач, що складається з силового випрямляча, ємнісного фільтра, виконаного у вигляді однієї пари послідовно з'єднаних електролітичних конденсаторів або у вигляді декількох паралельно з'єднаних подібних пар, і з'єднаних з блоком управління електронних ключів-формуваців вихідної трифазної напруги, і відмітних ознак: середня точка зірок конденсаторів високочастотного фільтра приєднана до середньої точки послідовно з'єднаних конденсаторів ємнісного фільтра перетворювача, екран моторного кабелю підключений до виходу нульової фази пристрою захисного відключення, а вхід нульової фази цього пристрою з'єднаний з шиною заземлення і через резистор величиною 1-10 Ом [7].

1.2 Огляд технічних рішень, сучасних автоматизованих систем керування вантажним ліфтом

Електропривод – це електромеханічна система, яка призначена для приведення в рух робочих частин машин і механізмів, а також для управління їх технологічним процесом. До складу електроприводу входять електродвигун, перетворювальний пристрій, пристрій керування та передавальний пристрій. Функціональна схема автоматизованого електроприводу зображена на рисунку 1.5.

логічне завдання вибору наступного переміщення. Сьогодні це завдання виконується за допомогою логічних мікросхем і мікропроцесорів. Основні завдання, що стоять перед схемою керування ліфтами, включають контроль положення кабіни в шахті, автоматичний вибір напрямку руху, визначення часу початку гальмування, точну зупинку кабіни на поверсі, автоматичне відкривання і закривання дверей та захист електроприводів і ліфта [2].

Командні сигнали, які задають програму руху кабіни, поділяються на два типи: "накази", що надходять із кабіни, та "виклики", що надходять з поверхових майданчиків. Команди подаються кнопками, розташованими відповідно в кабіні та на поверхових майданчиках. В залежності від типу команд та способу їх обробки розрізняють схеми роздільного і збирального управління.

При роздільному принципі управління схема сприймає та обробляє лише одну команду і під час її виконання не реагує на інші накази та виклики. Така схема є найпростішою у реалізації, але обмежує продуктивність ліфта, тому використовується переважно для ліфтів у житлових будинках до дев'яти поверхів з відносно невеликим пасажиропотоком [9].

При збірному принципі управління схема сприймає одночасно кілька команд і виконує їх у певній послідовності, зазвичай у порядку проходження поверхів.

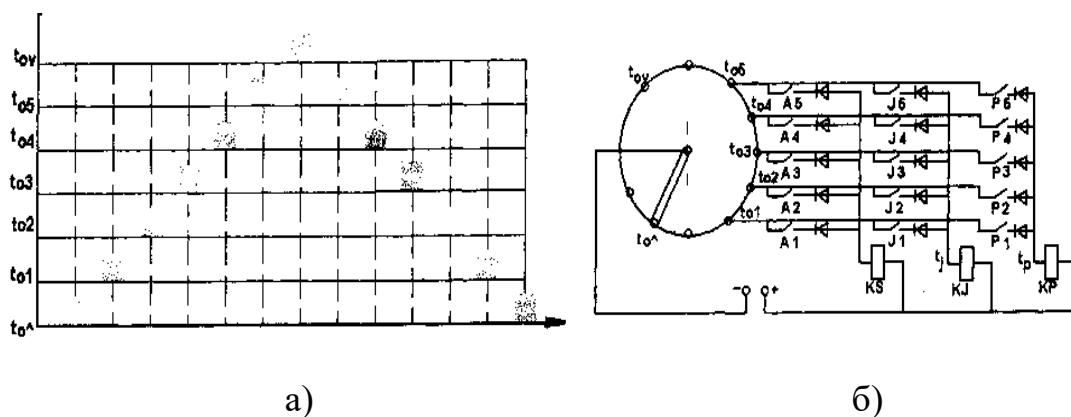


Рисунок 1.6 – Схема моделі системи тактового опитування для ліфта (а)
та діаграма імпульсів напруги виходів опитувальника (б)

Основою системи управління ліфтами є поверхове тактове опитування. Тактове опитування може бути маятниковим, коли опитування проводиться в двох напрямках (знизу вгору і зверху вниз), або односпрямованим, коли опитування здійснюється тільки в одному напрямку, наприклад, зверху вниз. Найчастіше використовується маятникове опитування.

Для розуміння основних принципів введення даних та методів їх обробки для видачі команд при маятниковому опитуванні, розглянемо спрощену модель системи тактового опитування для ліфта, показану на рисунку 1.6а [10].

Пристроєм для опитування інформації з поверхів є перемикач SA, кожна клема якого з'єднується з контактами: датчика розташування (A_i), кнопки наказів (P_i) та кнопки виклику (J_i). Наприклад, клема t_{01} з'єднується з контактами датчика розташування першого поверху (A_1), з кнопкою виклику першого поверху (j_1) та з кнопкою наказу на перший поверх (P_1). Також підключені та інші клеми перемикача [2].

Кожна з клем $t_{01} \dots t_{05}$ підключена до всіх апаратів обстановки на поверсі свого номера. Другі кінці контактів всіх датчиків селекції об'єднані в один дріт t_s (реле KS). Другі кінці контактів кнопок виклику об'єднані в один провід t_j (реле K j). Також в один провід t_p об'єднані другі контакти кнопок наказів (реле KP). До повзунка перемикача підключений один із полюсів джерела живлення (на схемі "-" означає наявність негативного потенціалу джерела в якійсь точці схеми, це аналогічно подачі на неї логічної 1).

Крім того, на схемі показані дві клеми t_{0v} і t_0 датчиків, розташованих вище п'ятого і нижче першого поверху. Всі контакти датчиків положення $A_1 \dots A_5$, кнопок викликів $j_1 \dots j_5$ та кнопок наказів $P_1 \dots P_5$ розімкнені, якщо повзунок стоїть на клемі t_{0v} або t_0 . Почнемо обертати повзунок перемикача проти годинникової стрілки. При проходженні клеми t_{01} подається негативна напруга (або логічна 1) попри всі апарати поверхової обстановки (A_1, j_1, P_1).

1.3 Аналіз переваг та недоліків існуючих систем управління

У ліфтах та вантажних підйомниках вибір типу електроприводу залежить від швидкості руху, поверховості будівлі та необхідної точності зупинки. На сьогодні застосовуються такі електроприводи:

а) Для будівель до 17 поверхів використовуються тихохідні та швидкохідні ліфти зі швидкістю від 0,7 до 1,4 м/с, наприклад, типу УЛЖ-10, УЛЖ-17 з вантажопідйомністю 320-400 кг. У цих ліфтах використовуються електроприводи з асинхронним двошвидкісним електродвигуном із короткозамкненим ротором.

б) Для швидкохідних пасажирських ліфтів зі швидкістю 1,6 м/с, призначених для будівель до 25 поверхів, застосовується електропривод за системою тиристорного регулятора напруги (ТРН) з двошвидкісним асинхронним двигуном (ТРН-АДД) типу УЛМП-25-1,6. Наявність регульованого електроприводу забезпечує високу плавність розгону і гальмування, високу точність зупинки на поверсі (± 20 мм) та відсутність ділянки зниженої швидкості перед зупинкою. Друга обмотка двигуна забезпечує малу швидкість при ревізії.

в) Для швидкісних та високошвидкісних ліфтів застосовуються електроприводи постійного струму за системою тиристорний перетворювач-двигун (ТП-Д) та змінного струму за системою перетворювач частоти - короткозамкнений асинхронний електродвигун (ПЧ-АТ).

Пристрої УЛЖ-10 та УЛЖ-17 призначені для керування ліфтами зі швидкістю від 0,7 до 1,4 м/с. В електроприводі, показаному на рис. 26.24, може використовуватися асинхронний двошвидкісний електродвигун із короткозамкненим ротором потужністю 5/1,25 та 8/2 кВт. Управління електроприводом здійснюється із застосуванням мікроелектроніки.

ВУ. Електропривод дверей кабіни містить електродвигун М2, автоматичний вимикач QF3, і магнітні пускачі КМ6 і КМ7. У блок керуючих реле входять: котушки, перерахованих вище магнітних пускачів і проміжні реле КЛ1...КЛ14. Блок керуючих реле (БУР) здійснює зв'язок між БУЛ та силовою схемою.

Блок управління логічний БУЛ призначений для логічної обробки інформації, що надходить з кнопок, датчиків та кінцевих вимикачів ліфта, видачі керуючих сигналів у БУР, організації парної роботи та управління сигналізацією ліфтів [2].

До складу БУЛ входять осередки:

1. Осередок гальванічних розв'язок ЯГР.
2. Осередок реєстрації ЯР - служить для організації опитування кнопок наказів та викликів, вимикачів дверей шахти та для реєстрації наказів та викликів на поверхах;
3. Осередок вибору напрямку ЯВН;
4. Осередок логічного управління ЯЛУ - служить для реалізації різних функціональних захистів і блокувань, в комірці також формуються сигнали рівня швидкості та сигнали положення та форсування гальма;
5. Осередок керування дверима ЯУД - служить для формування сигналів на відчинення та закривання дверей, визначення розташування кабіни ліфта, а також реалізації функції вузла охорони шахти;
6. Блок управління, до якого входять: перемикачі режимів роботи, кнопки управління ліфтом під час ревізії та з машинного залу.

Робота схеми полягає в опитуванні та реєстрації сигналів на кнопках виклику та наказів, визначенні розташування кабіни, виборі напрямку руху та швидкості при різних режимах роботи, а також в організації роботи дверей та гальмівного пристрою. Розглянемо роботу БЛУ кожному з етапів.

У режимі "Нормальна робота" відбувається циклічне опитування кнопок викликів та наказів. У режимі "навантаження" під час "нормальної роботи" відбувається опитування кнопок наказів. Опитування провадиться короткими

імпульсами. Якщо була натиснута кнопка, то на загальну шину надходить відповідний цій кнопці імпульс, після чого відбувається реєстрація сигналу[13].

Поточне розташування кабіни ліфта визначається рахунковим способом, тобто. позиція кабіни визначається сукупністю імпульсів, що виробляються під час спрацювання датчиків уповільнення. При русі вгору кожне спрацювання датчика уповільнення "вгору" викликає збільшення коду розташування на одиницю. При русі вниз і спрацюванні датчика уповільнення "вниз" відбувається зменшення коду розташування на одиницю. Для коригування розташування використовуються реперні точки (датчики на поверхах), а також інформація від дверних контактів кабіни та шахти. Розташування кабіни визначається у двійковому коді з п'яти розрядів. При русі вгору лічильник працює в режимі підсумовування, а при русі вниз - в режимі віднімання. Вибір напрямку руху здійснюється у вузлах, розташованих у осередках ЯВН та ЯЛУ. У осередку ЯВН визначається напрям руху (в імпульсному вигляді) для режимів " нормальна робота " і " навантаження " , тобто. для руху автоматичним циклом [2].

Вибір напрямку для режимів "ревізії" та "управління з машинного залу" здійснюється в осередку ЯЛУ, також на ЯЛУ надходить сигнал напрямку руху для всіх режимів роботи з урахуванням різних блокувань. Таким чином на ЯЛУ надходять три групи сигналів напрямку руху: вгору і вниз з комірки ЯВН, вгору і вниз з кнопкового поста "ревізії" та з кнопок "управління з машинного залу", що знаходяться в БУЛ(і).

Вибір швидкості руху здійснюються в осередку ЯЛУ. Система управління розрахована управління двошвидкісним двигуном, тому передбачені дві швидкості пересування велика і мала. У режимі "ревізії" рух здійснюється лише з малої швидкості, інших режимах - великий. Уповільнення з великої швидкості до малої проводиться в режимі рекуперативного гальмування за допомогою відключення реле KL3 та включення реле KL4, отже, відключення пускача КМ3 і включення пускача КМ4. Після уповільнення, якщо ліфт не знаходиться в зоні точної зупинки, він рухається на малій швидкості до

найближчого за напрямом руху поверху і зупиняється або при необхідності продовжує рух, але вже на великій швидкості. Спільним для всіх режимів є повне примусове уповільнення крайніх поверхів [10].

Включення гальмівного електромагніту відбувається одночасно з подачею напруги на головний електродвигун М1 за допомогою реле KL11, KL12 та замикаючих контактів пускачів КМ3 та КМ4. Реле KL12 здійснює форсування включення гальма (розгальмовування механічного гальма). Живлення електромагніту ВУ при включенні здійснюється по ланцюгу замикаючих контактів КМ3 (КМ4), контакту замикаючого KL12 і тиристорів VS1 і VS2. Відкриття тиристора VS2 здійснюється ланцюгом діод VD3 R1, що замикає контакт KL11; тиристора VS1-ланцюгом VD2, R3, KL12.2. Після включення реле KL12, через витримку часу, достатню для надійного включення електромагніту ВУ, відключається логічним блоком і розмикає свої замикаючі контакти ланцюга електромагніту і ланцюга керуючого електрода тиристора VS1. У ланцюг електромагніту вводиться додатковий опір R2. При цьому напруга на електромагніті ВУ знижується до рівня, що дорівнює напрузі утримання у включеному стані [2].

Відкриття дверей відбувається за досягненням заданої адреси та знаходження кабіни в зоні точної зупинки. У режимі "пожежна безпека" та перегріву двигуна сигнал на відкриття дверей формується в ЯЛУ. Причому відкриття дверей кабіни в режимі "пожежна безпека" відбувається на першому поверсі та на будь-якому поверсі під час надходження сигналу перегріву [10].

Система забезпечує роботу ліфта з повним збиральним керуванням. Живлення електроприводу (рис. 1.9) здійснюється від реверсивного тиристорного регулятора напруги UZ (ТРН) при запуску та стабільному русі, а також від окремого випрямляча, зібраного за однофазною схемою мосту UZ1 для живлення обмотки статора під час динамічного гальмування.

Система забезпечує параметричне фазове регулювання швидкості обертання короткозамкнутого асинхронного двигуна. Система автоматичного

регулювання побудована на однокристальній мікро ЕОМ типу КР1816ВБ031, яка здійснює пряме цифрове регулювання швидкості обертання приводного двошвидкісного асинхронного електродвигуна. Автоматична система регулювання дозволяє забезпечити високу точність підтримки заданої швидкості та зупинки на рівні необхідного поверху безпосередньо в задану точку без ділянки зниженої швидкості. Друга обмотка двигуна включається лише під час ревізії.

Завдяки зміні програмного забезпечення, ПКУ може використовуватись для ліфтів різного призначення: житлових, адміністративних або лікарняних будівель.

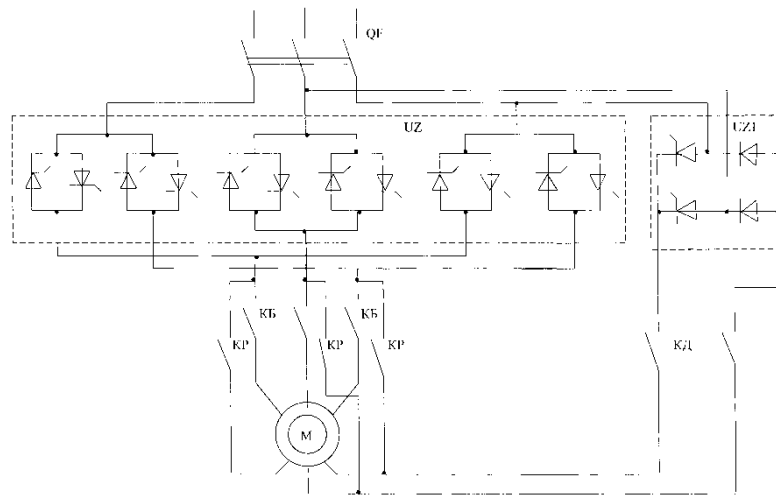


Рисунок 1.9 – Електрична схема електроприводу типу УЛМП-25-16

1.4 Визначення набору функціонально-системних вимог

Основні вимоги до електроприводу вантажного ліфта шахтного підйому на мікроконтролері включають:

1. Регулювання швидкості: Електропривод повинен забезпечувати регулювання швидкості в діапазоні, необхідному для якісного виконання виробничих операцій та точного зупинення робочого органу машини. Для більшості механізмів циклічної дії необхідний діапазон регулювання становить 10:1, в окремих випадках до 50:1

(крани, штабелери, швидкісні ліфти), а для металорізальних верстатів – до 10000:1.

2. Реверсивність: Електропривод повинен бути реверсивним та витримувати велику кількість пусків, зупинок та реверсів (від 60 до 1000 на годину).
3. Мінімальний момент інерції: Привідний двигун повинен мати найменший момент інерції і високу перевантажувальну здатність для швидкого пуску, зупинки та реверсу механізму.
4. Обмеження моменту та струму: Електропривод повинен забезпечувати обмеження моменту та струму електродвигуна в допустимих межах, як у перехідних процесах пуску та гальмування, так і при механічних навантаженнях.
5. Обмеження динамічних та ударних навантажень: Електропривод повинен зменшувати динамічні та ударні навантаження механічного обладнання, викликані пружними зв'язками, зазорами у передачах, зчленуваннях робочого обладнання та періодичними збуреннями, зумовленими кінематичними похибками передач.
6. Механічна міцність та надійність: Електродвигуни повинні мати підвищену механічну міцність та надійність [9].

Виконання цих вимог досягається використанням двигунів підвищеної міцності (краново-металургійних та інших серій), а також автоматичними системами керування та регулювання, що відповідають зазначеним вимогам.

Висновки до розділу 1

Системи автоматичного керування шахтними підйомниками призначені для забезпечення безпечного, надійного та ефективного транспортування корисних копалин, матеріалів і працівників у шахтах. Вони здійснюють контроль та регулювання всіх параметрів роботи підйомника, включаючи швидкість, положення кабіни та навантаження.

Сучасні автоматизовані системи керування шахтними підйомниками використовують різноманітні технічні рішення, включаючи асинхронні електроприводи з векторним керуванням, системи зворотного зв'язку, датчики положення та швидкості, а також програмне забезпечення для оптимізації роботи. Ці системи дозволяють досягти високої точності та надійності керування.

Існуючі системи керування мають ряд переваг, таких як висока точність, надійність та ефективність. Однак, вони також мають деякі недоліки, зокрема, складність впровадження, висока вартість обладнання та необхідність постійного технічного обслуговування.

Для забезпечення ефективної роботи систем автоматичного керування шахтними підйомниками необхідно визначити чіткий набір функціональних та системних вимог. Ці вимоги включають високу точність і швидкість керування, надійність системи, енергоефективність, простоту обслуговування та інтеграцію з іншими автоматизованими системами шахти.

На основі проведеного аналізу можна констатувати, що розвиток та вдосконалення систем автоматичного керування шахтними підйомниками є важливим напрямком досліджень, що дозволяє підвищити безпеку, ефективність та надійність гірничих робіт.

2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ШАХТНИМ ПІДЙОМНИКОМ

2.1 Постановка задачі керування приводом вантажного ліфта за заданою циклограмою

Автоматизація роботи підйомної установки за допомогою мікроконтролера виконує наступні функції:

1. Програмування руху підйомної машини як у нормальному режимі, так і в режимі зниженої швидкості;
2. Контроль фактичної швидкості під час розгону, рівномірного руху та гальмування;
3. Перетворення обертання головного валу підйомної машини на електричні імпульси для вимірювання глибини пройденого шляху за допомогою сельсинних показчиків;
4. Захист від перегріву;
5. Коригування роботи пристроїв залежно від положення підйомних суден у шахті під час перестановки барабанів або при прослизанні канатів;
6. Контроль цілісності кінематичного ланцюга від підйомної машини до сельсин-датчиків глибини та електричного обмежувача швидкості.
7. Вимоги до проекту автоматизованої системи управління вантажним ліфтом шахтного підйому на мікроконтролері включають:
8. Мікроконтролер повинен керувати приводом вантажного ліфта відповідно до заданої циклограми (завантаження кліті, підйом кліті, розвантаження кліті).

9. За допомогою датчиків ваги необхідно контролювати максимальну вантажопідйомність ліфта до 3000 кг, швидкість підйому 0,5 м/с, і висоту підйому до 15 м.
10. Повинні відстежуватись результати вимірювань та контролю поточних параметрів і значень датчиків ваги, датчиків зупинки, швидкості, температури ключових компонентів обладнання.
11. Повинно відслідковуватися формування сигналів безпеки, аварійного відключення та оповіщення про несправності системи, наприклад: відхилення робочої швидкості ліфта, навантаження, заклинювання кліті, незакриті огорожі тощо. При виявленні помилок повинні застосовуватися методи для їх усунення [11].

Особливістю апарату є симетрична конструкція із незалежною роздільною синхронізацією обох частин. Так, при перестановці барабанів одна частина апарату залишається з'єднаною з підйомною машиною, а інша в процесі перестановки синхронізується зі становищем «своїї» підйомної судини в стволі шахти.

Для побудови навантажувальної діаграми електроприводу необхідно весь цикл розбити на ряд дискретних часових інтервалів t_i , на кожному з яких постійні або швидкість v (рух із постійною швидкістю), або прискорення a (розгін та гальмування). Сила, що діє на механізм на кожному часовому інтервалі, визначається за виразом:

$$F_i = F_{\bar{n},i} + F_{a\bar{e}i,i}, \quad (2.1)$$

де: $F_{\bar{n},i}$ - статична сила на i -му інтервалі часу з урахуванням втрат у передачі;

$F_{a\bar{e}i,i}$ - динамічна сила на i -му інтервалі часу.

$F_{a\bar{e}i,i}$

Статична сила під час завантаження m_i визначається формулою:

$$F_{\tilde{n},i} = \frac{(m_i + m_0 - m_{i\delta}) \cdot g}{\eta_i}, \quad (2.2)$$

де: $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

η_i - ККД передачі, що визначається залежно від коефіцієнта завантаження:

$$\hat{e}_{\zeta,i} = \frac{m_i + m_0 + m_{i\delta}}{m_{i\hat{i}} + m_0 + m_{i\delta}} \quad (2.3)$$

за формулою:

$$\eta_i = \left(\frac{1}{\eta_{i\hat{i}}} + \frac{\alpha}{k_{\zeta,i}} - \alpha \right)^{-1}, \quad (2.4)$$

$\alpha = 0,15$ - Коефіцієнт постійних втрат у передачі;

$\eta_{i\hat{i}}$ - номінальний ККД передачі;

$m_{i\hat{i}}$ - Маса номінального вантажу.

Динамічна сила визначається за такою формулою:

$$F_{\ddot{a}i,i} = m_{\Sigma i} \cdot \ddot{a}_i, \quad (2.5)$$

де: $m_{\Sigma i}$ - маса, що переміщається на i -му інтервалі часу.

Для розрахунку сил визначаємо масу противаги:

$$m_{np} = m_0 + \alpha \cdot m_n = 720 + 0,5 \cdot 400 = 920 \text{ кг}$$

Весь цикл можна розбити на 3 ділянки відповідно до завантаження ліфта:

I. підйом із завантаженням 6 осіб: $m_1 = m_q \cdot 6 = 66,7 \cdot 6 = 400 \text{ кг}$;

II. підйом із завантаженням 3 особи: $m_2 = m_q \cdot 3 = 66,7 \cdot 3 = 200 \text{ кг}$;

III. спуск із завантаженням 3 осіб: $m_3 = m_q \cdot 3 = 66,7 \cdot 3 = 200 \text{ кг}$.

Розраховуємо коефіцієнт завантаження та ККД для кожної ділянки:

$$\kappa_{3,1} = \frac{400 + 720 + 920}{400 + 720 + 920} = 1; \eta_1 = \left(\frac{1}{0,74} + \frac{0,15}{1} - 0,15 \right)^{-1} = 0,74;$$

$$\kappa_{3,2} = \frac{200 + 720 + 920}{400 + 720 + 920} = 0,9; \eta_2 = \left(\frac{1}{0,74} + \frac{0,15}{0,9} - 0,15 \right)^{-1} = 0,73;$$

$$\kappa_{3,3} = \frac{267 + 720 + 920}{400 + 720 + 920} = 0,935; \eta_3 = \left(\frac{1}{0,74} + \frac{0,15}{0,935} - 0,15 \right)^{-1} = 0,734;$$

Визначаємо статичні сили:

- при підйомі з 1-го на 5 рівень:

$$F_{c,1} = \frac{(400 + 720 - 920) \cdot 9,81}{0,74} = 2651 H;$$

- при підйомі з 5 на 10 рівень:

$$F_{c,2} = \frac{(200 + 720 - 920) \cdot 9,81}{0,73} = 0 H;$$

- при опусканні з 10-го на 1-ий рівень:

$$F_{c,3} = \frac{(267 + 720 - 920) \cdot 9,81 \cdot (2 \cdot 0,734 - 1)}{0,734} = 419 H;$$

Розраховуємо прискорення за умови:

$$a \approx \frac{F_{\tilde{n}, \max}}{m_{\Sigma}} = \frac{F_{\tilde{n}, \max}}{m_{\max} + m_0 + m_{i\delta}} \leq a_{\tilde{a}i\tilde{i}}.$$

$$a = \frac{2651}{400 + 720 + 920} = 1,3 \text{ м/с}^2$$

Так як $a = 1,3 \text{ м/с}^2 < a_{\text{дон}} = 2 \text{ м/с}^2$, то для подальших розрахунків приймаємо: $a = 1,3 \text{ м/с}^2$.

Розраховуємо динамічні сили:

$$F_{\text{дин},1} = (400 + 720 + 920) \cdot 1,3 = 2651 H;$$

$$F_{\text{дин},2} = (200 + 720 + 920) \cdot 1,3 = 2392 H;$$

$$F_{\text{дин},3} = (267 + 720 + 920) \cdot 1,3 = 2479 H;$$

Розраховуємо сили, що діють на механізм на кожному інтервалі часу:

$$F_1 = F_{c,1} + F_{\text{дин},1} = 2651 + 2651 = 5302 H;$$

$$F_2 = F_{c,1} = 2651 H;$$

$$F_3 = F_{c,1} - F_{\text{дин},1} = 2651 - 2651 = 0 H;$$

$$F_4 = F_{c,1} = 2651 H;$$

$$F_5 = F_{c,1} - F_{дин,1} = 2651 - 2651 = 0 \text{ Н};$$

$$F_6 = 0;$$

$$F_7 = F_{c,2} + F_{дин,2} = 0 + 2392 = 2392 \text{ Н};$$

$$F_8 = F_{c,2} = 0 \text{ Н};$$

$$F_9 = F_{c,2} - F_{дин,2} = 0 - 2392 = -2392 \text{ Н};$$

$$F_{10} = F_{c,2} = 0 \text{ Н};$$

$$F_{11} = F_{c,2} - F_{дин,2} = 0 - 2392 = -2392 \text{ Н};$$

$$F_{12} = 0;$$

$$F_{13} = F_{c,3} - F_{дин,3} = 419 - 2479 = -2060 \text{ Н};$$

$$F_{14} = F_{c,3} = 419 \text{ Н};$$

$$F_{15} = F_{c,3} + F_{дин,3} = 419 + 2479 = 2898 \text{ Н};$$

$$F_{16} = F_{c,3} = 419 \text{ Н};$$

$$F_{17} = F_{c,3} + F_{дин,3} = 419 + 2479 = 2898 \text{ Н};$$

$$F_{18} = 0;$$

Виконаємо розрахунок навантажувальних діаграм роботи двигуна ліфта під час підйому завантаженої кабіни (малюнок 2.1) та при спуску порожньої кабіни (малюнок 2.2). Для цього використовуємо раніше отримані моменти та часи.

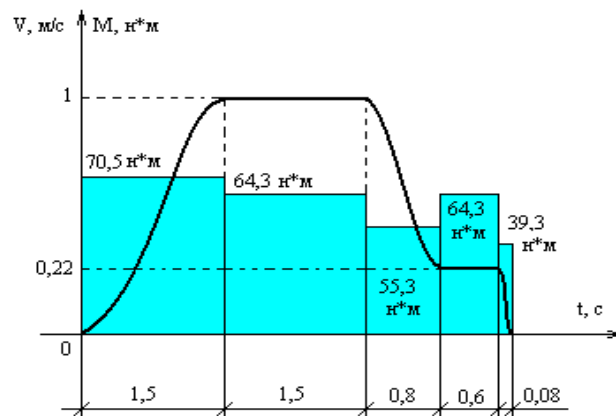


Рисунок 2.1 – Навантажувальна діаграма роботи двигуна під час підйому завантаженої кабіни та тахограма її руху.

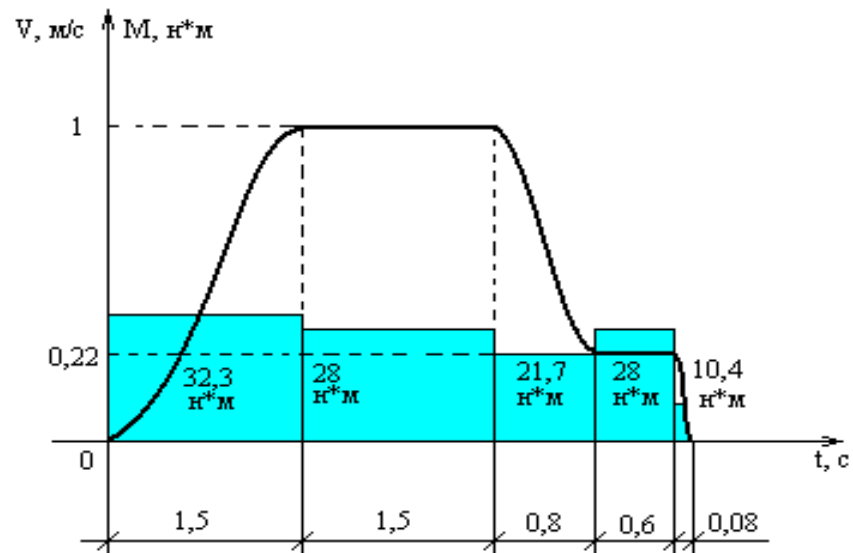


Рисунок 2.2 – Навантажувальна діаграма роботи двигуна під час спуску порожньої кабіни та тахограма її руху.

2.2 Розробка структурної та функціональної схеми

Розглянемо автоматизовану систему управління, яка виконує без безпосередньої участі людини функції управління ліфтом шахтного підйому.

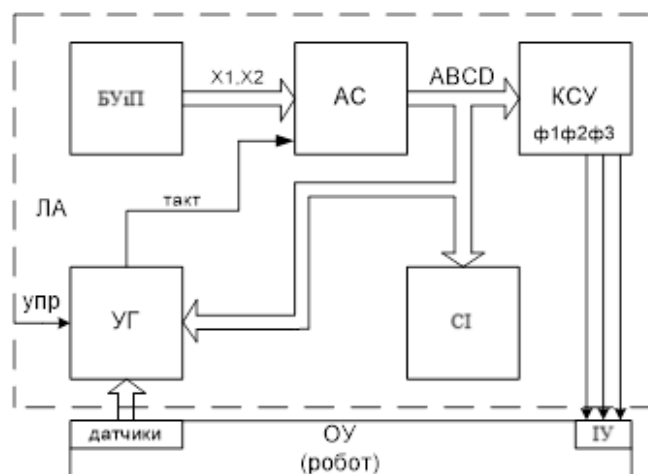


Рисунок 2.3 – Структурна схема логічного автомата для керування ліфтом шахтного підйому:

БУiП - блок управління та живлення;

АС – автомат станів;

СІ – схема індикації;

КСУ – комбінаційна схема управління;

УГ - керуючий генератор;

ВП - виконавчий пристрій;

ОУ – об'єкт управління;

ЛА – логічний автомат.

На схемі використовуються такі позначення:

СН – сигнал руху вниз

ПЛ – привід ліфта

ПЗВ – вузол уповільнення та зупинки

УЗК – вузол визначення завантаження кабіни

СБ – сигнал великої швидкості

СВВ – сигнал витримки часу

СПК – сигнал положення кабіни

ДПД – датчики положення дверей

УВНД – вузол вибору напрямку руху

СРРЛ – сигнал регулювання розгону ліфта

СВ – сигнал руху вгору

СПГЛ – сигнал про перевантаження кабіни

ПСУ – позиційно-узгоджувальні пристрої

УОПК – вузол визначення положення кабіни

УБЗ – вузол блокувань та захисту

УРПВ – вузол реєстрації наказів та викликів

СЗД – сигнал зачинення дверей

СПЗК – сигнал про повне завантаження кабіни

ПД – привід дверей

ДСЛ – датчики стану ліфта

СВП – сигнали про виклики та накази

УЗД – вузол відчинення та зачинення дверей

СМ – сигнал малої швидкості

СНПК – сигнал про наявність пасажирів в кабіні

і транзисторні ключі.

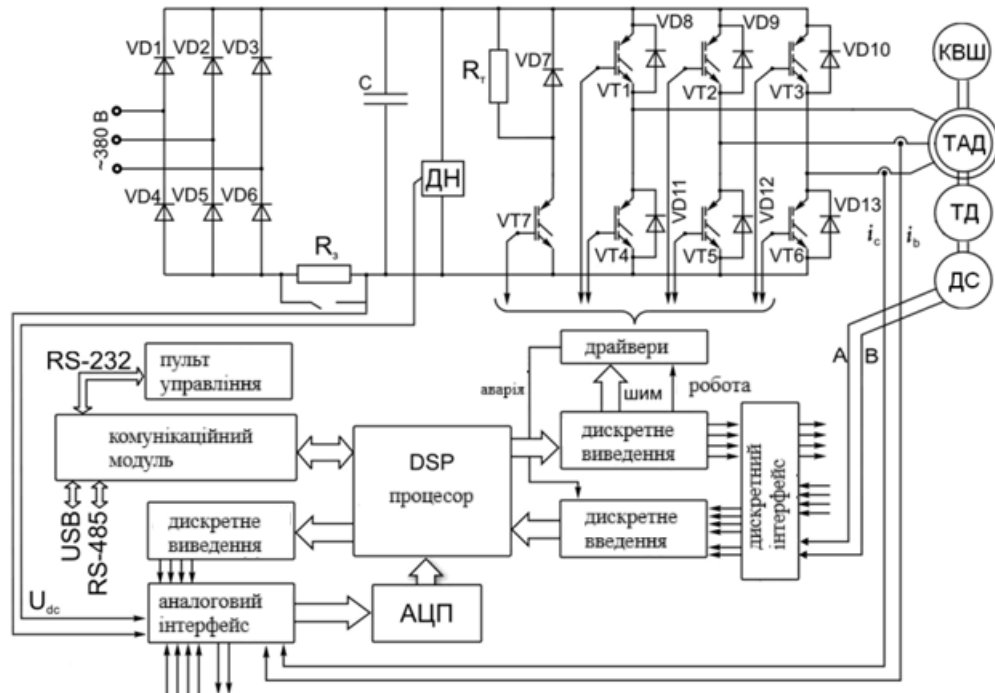


Рисунок 2.5 – Функціональна схема безредукторного електроприводу ліфтової лебідки

Електромеханічна частина установки шахтного підйому (рис. 2.5) складається з асинхронного навантажувального двигуна з фазним ротором і випробуваного тихохідного асинхронного двигуна, пов'язаних між собою редуктором. Як керуючий пристрій, на якому реалізована система управління, вибраний цифровий мікропроцесор [12].

Блок управління служить підтримки узгодженої роботи всіх периферійних вузлів автоматизованої системи управління вантажним ліфтом шахтного підйому, і навіть аналізу всіх вхідних сигналів і видачі команд на керовані ним внутрішньосистемні блоки.

2.3 Вибір базових елементів системи та обґрунтування вибору

Програмований контролер управління вантажним ліфтом отримує набір вхідних і вихідних сигналів. Коли змінюється стан вхідних сигналів, заздалегідь запрограмований алгоритм управляє вихідними сигналами. Вхідні сигнали ПЛК зазвичай отримують від датчиків, кнопкових перемикачів та інших пристроїв, що надають інформацію про стан системи. Вихідні сигнали ПЛК зазвичай надсилаються до реле, виконавчих механізмів та інших пристроїв, які контролюють об'єкти управління.

Окрім прямих переваг, таких як низька ціна та висока надійність, використання ПЛК надає і непрямі вигоди. Наприклад, це дозволяє додавати нові функції без збільшення складності або вартості готової продукції, що допомагає краще використовувати можливості обладнання. Швидкий розвиток мікроелектроніки обіцяє подальше зниження цін і покращення характеристик ПЛК, що є додатковим стимулом для їх використання [13].

Сьогодні на ринку чимало пропозицій від виробників та розробників цих пристроїв. Однак, як відомо, цілі автоматизації завжди повинні виправдовувати кошти, інакше гроші просто витрачені неефективно. ПЛК контролер для найпростіших завдань має бути дорогим, але може бути надійним. Одним із таких простих та ефективних рішень є ПЛК (або програмовані реле) від компанії ARRAY Electronic Co. Це молода тайванська компанія, що розробляє та виробляє цілу лінійку ПЛК для завдань автоматизації [14].

FAB – це компактний програмований модуль (програмоване реле), призначений для створення гнучких та економічних систем керування. FAB замінює велику кількість звичайних комутаційних пристроїв за дуже низькою ціною. Серед найближчих аналогів цих пристроїв можна навести контролери Logo від фірми Siemens, або, наприклад, Alpha від Mitsubishi Electric, а також контролери Zelio від компанії Schneider Electric. Однак все вище наведені ПЛК

відчутно вище в ціні, за умови подібної апаратної начинки та функціональності цих пристроїв [15-17].

Пристрій дуже легкий і компактний, незважаючи на свою функціональну потужність та можливість дистанційного програмування/моніторингу. Також у пристрої реалізована можливість керування по телефону, подачі сигналів керування голосом (мовленнєвий модуль AF-MUL).

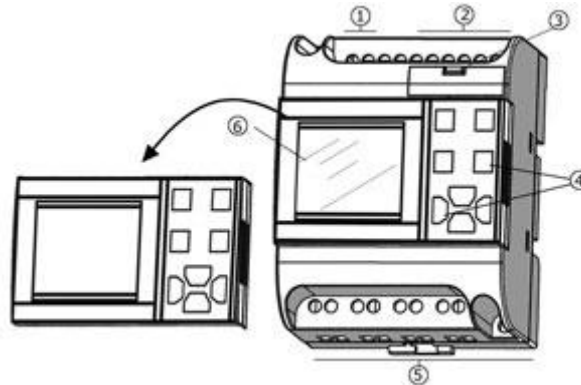


Рисунок 2.6 – Схематична схема контролера

1. Підключення напруги живлення (24V DC; 110-240V AC);
2. Вхідні клема;
3. Роз'єм підключення кабелю програмування (або мовного модуля);
4. Кнопки керування;
5. Вихідні клема (релейні чи транзисторні виходи);
- 6.Знімний РК дисплей.

З контролерами FАВ безкоштовно поставляється середовище програмування (Quick II) з використанням функціональних блоків (FBD) та безкоштовний OPC сервер. За допомогою OPC сервера контролери можуть бути легко інтегровані в будь-яку сучасну систему SCADA, наприклад Trace Mode, Master SCADA, Genesis-32, InTouch і т.п.

Серія FАВ оснащена знімною РК панеллю, яка відображає поточний стан входів/виходів, і може використовуватися для редагування програми за допомогою кнопок на РК панелі. Панель можна придбати окремо від

контролера, або її можна зняти з метою безпеки та замінити захисною кришкою (CAP). Розміри контролерів цієї серії лише 90x71x58 мм для модулів AF-10, і 90x126x58 мм для модулів AF-20.

Програмування FAV проводиться з використанням функціональних блоків (логічні, часові, аналогові та інше всього близько 20 функцій). Об'єднання найпростіших функцій дозволяє створювати досить складні керуючі програми. FAV дозволяє запам'ятовувати до 127 функціональних блоків. Завантажена в енергонезалежну пам'ять програма зберігається там після вимкнення живлення модуля та не потребує резервного живлення.

Для віддаленого програмування, а також запису та зміни програм віддалено, достатньо підключити FAV через МОДЕМ до телефонної лінії. Крім того, це дозволить виконувати зчитування даних та керування в реальному часі. Контролер має вбудовану функцію завдання пароля. Наприклад, перед початком написання програми можна встановити власний пароль. Після встановлення пароля зміна програми буде можлива лише після введення правильного пароля [14].

FAV дозволяє вводити до програм функції, що потребують телефонного набору та голосового керування. Наприклад, можна з'єднуватися з FAV безпосередньо по звичайній телефонній лінії. FAV може автоматично набирати лінію для надсилання повідомлення або сигналу тривоги. Більш того, FAV може приймати сигнали керування з віддалених джерел телефонної лінії або мобільного телефону [14].

Додаткові можливості надає мовний модуль AF-MUL. Якщо мовний модуль увімкнено, FAV може транслювати сигнали тривоги або сповіщення, як через додаткові динаміки, так і через телефонну мережу. Ця унікальна особливість надає безліч додаткових функцій управління процесами.

Якщо виникає необхідність у побудові розподіленої мережі FAV пристроїв на шині RS-485, ці контролери можуть бути легко об'єднані в одну загальну мережу. При цьому на одну шину можна підключити до 255

пристроїв, які можуть працювати спільно для вирішення різних завдань та керуватися при цьому з одного комп'ютера.

Для реалізації проекту порівнюємо такі контролери:

- FAB I-8810;
- Simatic S7-300;
- CompactLogix.

Для вибору контролерного засобу складемо таблицю порівняння.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця контролерних засобів

Параметр порівняння	FAB I-8810	Simatic S7-300	CompactLogix
Виробник	ICPDAS	Siemens	Allen-Bradley
Максимальна кількість вводів-виводів (аналогових/дискретних)	необмежено	4096/65536	1024
Комунікаційні можливості	RS232, RS485	MPI, Industrial Ethernet/PROFINet, MODBUS TCP	Ethernet/IP, DeviceNet, DH – 485
Модулі розширення	Великий вибір модулів вводу-виводу, спеціалізованих		30 модулів
Мови програмування	C++	STL, LAD, FBD	Ladder, FBD, SFC, ST
Ціна, руб.	від 10500	від 15000	від 30000

Контролер від компанії ICPDAS виявився найбільш економічно вигідним варіантом, оскільки має найнижчу вартість серед доступних моделей. Крім того, це єдиний контролер, який підтримує мову програмування C++, що є вагомою перевагою для нас. З огляду на ці фактори, ми обрали модель I-8810.

Для забезпечення живлення контролера та модулів необхідний зовнішній блок живлення. Споживання енергії контролера становить 5,1 Вт, а вбудоване джерело живлення споживає додатково 20 Вт. Отже, загальна потужність, яка потрібна для належного функціонування системи, складає понад 25,1 Вт. Враховуючи ці вимоги, ми вирішили обрати блок живлення ACE-540A від тієї ж компанії, оскільки його вихідна потужність становить 48 Вт, що з великим запасом покриває наші потреби.

Технічні характеристики блоку живлення ACE-540A, включаючи параметри напруги, струму та інші важливі показники, наведені в таблиці 2.4. Цей блок живлення не лише відповідає необхідним вимогам потужності, але й забезпечує стабільну та надійну роботу всіх компонентів системи, що є критично важливим для безперебійного функціонування контролера та підключених модулів.

Таким чином, вибір контролера I-8810 та блоку живлення ACE-540A від ICPDAS є оптимальним рішенням з точки зору вартості, підтримки програмування на C++ та забезпечення надійного живлення для всієї системи [19].

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики блоку живлення ACE-540A

Характеристика	Значення
Вхід	
Тип вхідної напруги	Змінне
Амплітуда напруги,	85 ~ 264
Частота, Гц	47 ~ 625
Струм споживання, А	0,6 (230 V)
Вихід	
Тип вихідного харчування	Змінний струм
Вихідна потужність, Вт	48
Вихідна напруга,	24
Максимальне навантаження по струму, А	2
загальні характеристики	
Час напрацювання на відмову, год	396220
Температура навколишнього середовища, ОС	-20 ~ +70

Як елементну базу в модулі застосовані ЕРЕ різних виробників.

З метою спрощення роботи з електричною схемою вона розбита на блоки, в яких використана власна нумерація елементів.

DD1 – мікроконтролер ATmega64. Його вибір обумовлений наявністю:

- необхідної кількості таймерів;
- достатня кількість ліній портів, що дозволило не вводити до схеми додаткові регістри та дешифратори;

- достатня тактова частота (16 МГц);
- достатній обсяг оперативної пам'яті та пам'яті програм.

Елементи C4, C5 і ZQ1 утворюють частотний контур тактового генератора.

C2, C3 – конденсатори живлення.

L1, C6 – фільтр живлення АЦП мікроконтролера.

Схема скидання мікроконтролера після включення живлення працює в такий спосіб. Після включення живлення конденсатор C1 розряджений, напруга на ньому дорівнює нулю. Цей потенціал є логічним нулем – сигналом Скидання для мікроконтролера. З часом конденсатор заряджається через резистор R1. У певний момент напруга на ньому досягне рівня логічної одиниці – сигнал "Скидання" зніметься. Діод VD1 необхідний швидкої розрядки конденсатора C1 після відключення живлення [2].

Блок живлення (A2) виконаний на інтегральних стабілізаторах DA1.DA3. Верхній за схемою стабілізатор живить силову частину драйвера ключів.

Формувач керуючих сигналів (A3) включає елементи «АБО» DD1.1..DD1.4, DD2.1, DD2.2. Вони виробляють інверсні сигнали відкривання ключів у моменти, коли ШІМ-сигнал PWM знаходиться в нулі, а також є інверсний сигнал вибірки SeKey Драйвер DA1 забезпечує посилення сигналів до необхідного рівня, а також гальванічну розв'язку ланцюгів керування із силовими ланцюгами. Діоди VD1..VD3 перешкоджають проходженню кидків напруги з входів живлення драйвера один на одного. Конденсатори C1..C3 згладжують у ці моменти напругу живлення [7, 12].

Силовий перетворювач (A4). Мережева напруга випрямляється некерованим випрямлячем, зібраним на діодах VD1.VD6, згладжується фільтром C1L4C2 і надходить на інвертор, виконаний на транзисторах VT1.VT6. Реактори L1...L3 не пропускають пульсації, що виникають при роботі інвертора в мережу. Сигнал із датчиків струму (DA1..DA3) - напруга, амплітуда якого пропорційна струму двигуна, надходить на вхід АЦП мікроконтролера.

Вибраний датчик має наступну передатну характеристику, при цьому відпадає необхідність у випрямлячі його вихідного сигналу

Типовий електропривод при живленні електродвигуна від цехової мережі з управлінням від магнітного контролера (релейно-контакторна система) включає:

- Електродвигун;
- станцію управління з ланцюгами захисту та сигналізації;
- електричні апарати для керування електроприводом (кнопки керування, універсальні перемикачі, командоконтролери);
- резистори в силових ланцюгах електродвигуна;
- шляхові та кінцеві вимикачі.

При вибраному двигуні розрахунок пускових, гальмівних та регулювальних резисторів у силових ланцюгах двигуна виконується за умови забезпечення вимог до електроприводу:

- діапазону регулювання швидкості;
- обмеження прискорення;
- Необхідності точної зупинки, і т.д.

За відсутності особливих вимог до плавності пуску число щаблів пускових резисторів приймається рівним 2...3.

Після закінчення пуску двигун може працювати як у природній схемі включення (при номінальній напрузі та відсутності резисторів у ланцюгах обмоток двигуна), так і на штучних характеристиках (за наявності резисторів у ланцюгах обмоток двигуна).

Вибір режиму гальмування двигуна (протиковключення, динамічного або рекуперативного гальмування) ґрунтується як на технологічних вимогах до приводу щодо інтенсивності гальмування та точності зупинки, так і на техніко-економічних показниках – обліку втрат енергії при гальмуванні та складності апаратної реалізації режиму [7].

У процесі вивчення навантажувальних діаграм відзначають максимальні значення струму та моменту двигуна та порівнюють ці значення з допустимими

для обраного двигуна та перетворювача. Перевіркою на перевантажувальну спроможність вважається асинхронний двигун, якщо максимальний момент двигуна навантажувальної діаграми менше максимального (критичного) моменту двигуна:

$$M_{\text{макс}} < M_{\text{кр}}; \quad (2.6)$$

$$110 \text{ Нм} < 314 \text{ Нм}.$$

Двигун пройшов перевірку на здатність перевантаження.

Керований випрямляч складається з силової частини (СЧ) та системи управління (СУ). Силова частина може працювати тільки при подачі на електроди, що управляють, щодо катода в певні моменти часу імпульсів, що забезпечують включення даних вентилів. Вимикання тиристорів відбувається природною комутацією, тобто за рахунок зміни полярності напруги мережі живлення.

Основні функції системи управління (СУ):

1. Визначення часу включення конкретних тиристорів. Ці моменти часу задаються керуючим сигналом, який подається на вхід СУ і визначає її роботу, а також задає значення вихідних параметрів випрямляча (I_d , U_d).
2. Формування керуючих імпульсів. Це створення керуючих сигналів, які подаються на керуючі електроди тиристорів у визначені моменти часу та мають достатню амплітуду, потужність і тривалість [19].

Система управління випрямлячем (СУВ) складається з блоку управління тиристором і блоку формування оптимального кута управління. Блок управління містить синхронізуючий пристрій, генератор пилкоподібної напруги, формувач імпульсів і блокінг-генератор.

Роботу схеми розглянемо з прикладу роботи блока:

При подачі лінійної напруги U на синхронізуючий пристрій амплітуда його зменшується дільником ($R1, R2$), негативна частина обрізається діодом $VD1$, стабілізується стабілітроном $VD2$ і подається на УПТ $DA2$ для формування крутих фронтів і посилення сигналу поданого з оптопари. Оптопара служить для гальванічної розв'язки мережі живлення та системи управління [2].

На інтервалі часу позитивної напівхвилі вхідної напруги на базі транзистора $VT1$ діє напруга низького рівня, тому він закритий. У той час як транзистор закритий відбувається процес зарядки конденсатора $C1$ від генератора струму на польовому транзисторі $VT2$, струм якого обмежений резистором $R6$, тобто відбувається формування пилкоподібної напруги. У момент появи на базі колектор зменшиться майже до нуля, тим самим відбудеться розряд конденсатора (зворотний хід пили).

Напруга з конденсатора через емітерний повторювач подається на неінвертуючий вхід компаратора $DA3$. Компаратор виконаний таким чином, що напруга на виході компаратора може набувати одного з двох значень: високого або низького рівня. На компараторі $DA3$ відбувається порівняння пилкоподібної напруги і напруги експонентаційної форми (U_y) оптимального управління, що знімається з формувача, яке і задає поріг спрацьовування компаратора.

Модель комбінаційної схеми управління, представленої в базисі АБО-НЕ, та аналіз її роботи на логічному аналізаторі представлені на рис.2.7. Число елементів визначається безпосереднім підрахунком на схемі. У цьому випадку їх 16. З них 12 двовходових та 4 тривходових елементи. Таким чином, знадобиться серії:

$K555LE1$ для двовходових ЛЕ – 3 шт. ($DD1, DD2, DD3$);

$K555LE4$ для тривходових ЛЕ – 2 шт. ($DD4, DD5$).

На підставі функцій, отриманих при мінімізації, складено схему КСУ з урахуванням розташування логічних елементів по корпусах ІМС. Принципова схема КСУ.

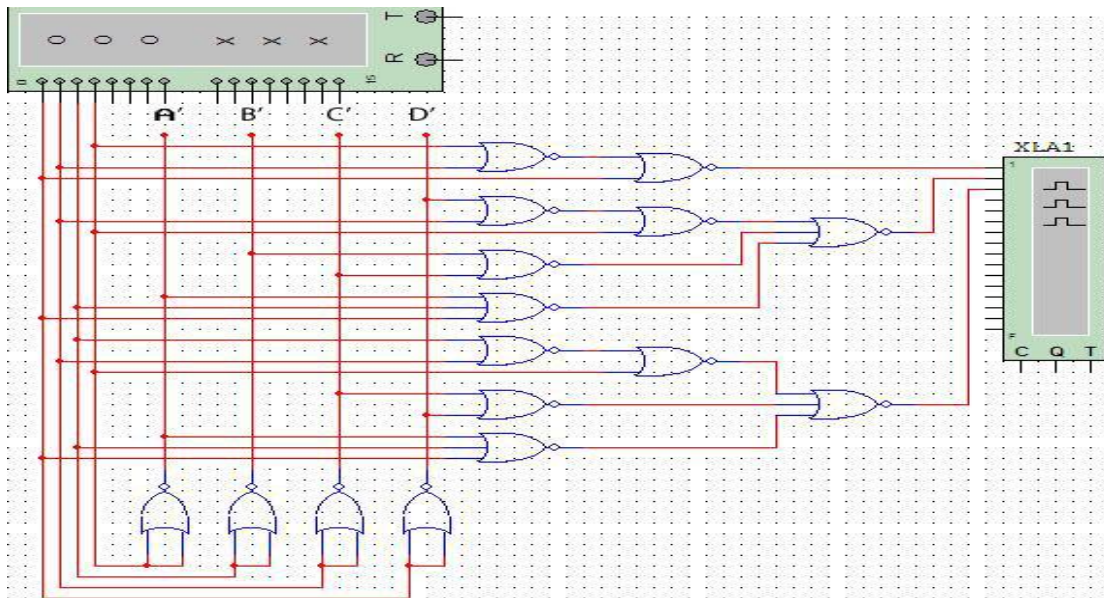


Рисунок 2.7 – Модель КСУ на элементах АБО-НЕ в Multisim

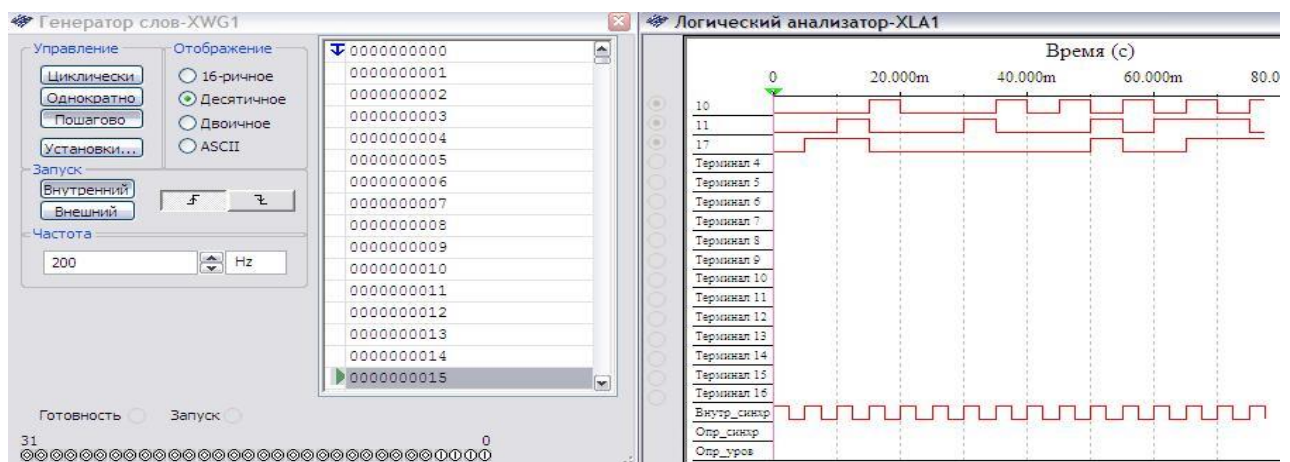


Рисунок 2.8 – Модель КСУ на элементах АБО-НЕ в Multisim

На рис. 2.9 представлена схема індикації системи управління ліфтом шахтного підйому, змодельована Multisim.

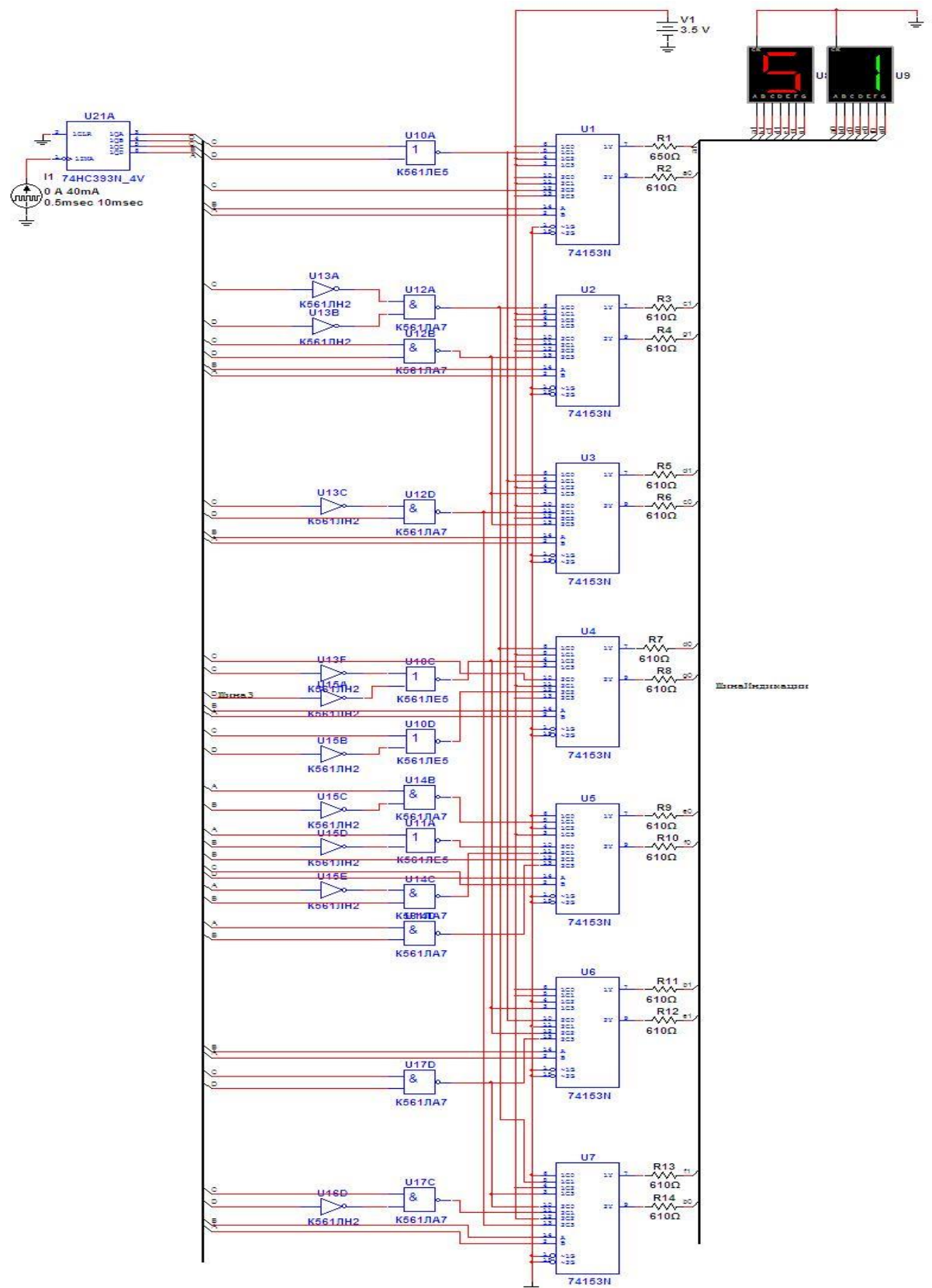


Рисунок 2.9 – Модель схеми індикації Multisim

При наявності сигналів з датчиків об'єкта рекомендується схему генератора, що управляє, побудувати з використанням мультиплексора 16→1. Схема такого УГ наведено на рис. 2.10.

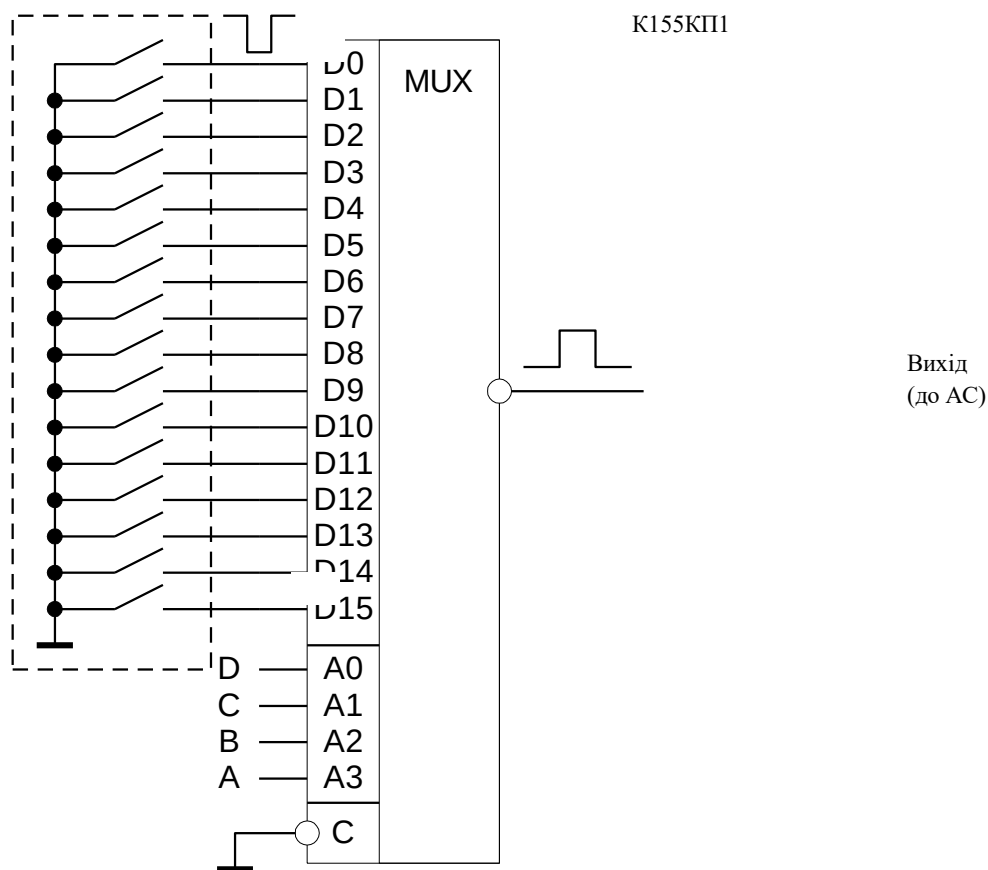


Рисунок 2.10 – Схема УГ за наявності сигналів з датчиків об'єкта

Залежно від комбінації сигналів А, В, С, D вхід мультиплексора з'єднується з тим датчиком, двійкова адреса якого відповідає поточній комбінації. Потім сигнал з датчика в інверсному вигляді (тактовий імпульс) знімається з виходу мультиплексора і надходить на вхід АС.

Структурну схему вимірювача кутової швидкості надано на рис. 2.11.



Рисунок 2.11 – Структурна схема

У момент рівності напруги на входах компаратора відбувається його перемикавання. Після перемикавання на виході компаратора формуються прямокутні позитивні імпульси. Імпульс диференціюється конденсатором С2 і запускає блокінг-генератор, що чекає. Блокінг-генератор формує імпульси з крутими фронтами та необхідною потужністю для відмикання тиристора.

Система управління інвертором (Рис.2.13) складається із трьох основних частин: генератора імпульсів (виконаного на одноперехідному транзисторі), розподільника імпульсів (на мікросхемах серії К155) та підсилювачів сигналу.

Параметри генератора, що задає: $R=3000\text{Ом}$, $C=25\text{пкф}$, $f=400\text{Гц}$. У розподільнику імпульсів використовуються мікросхеми К155ТМ8 та К155ЛА3, К155 ІЕ7.

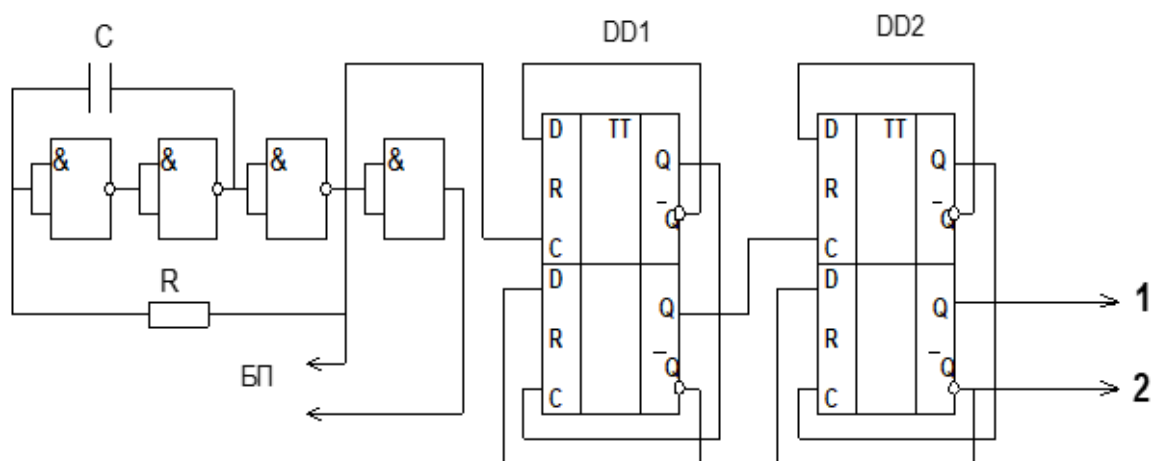


Рисунок 2.12 – Схема керування випрямлячем

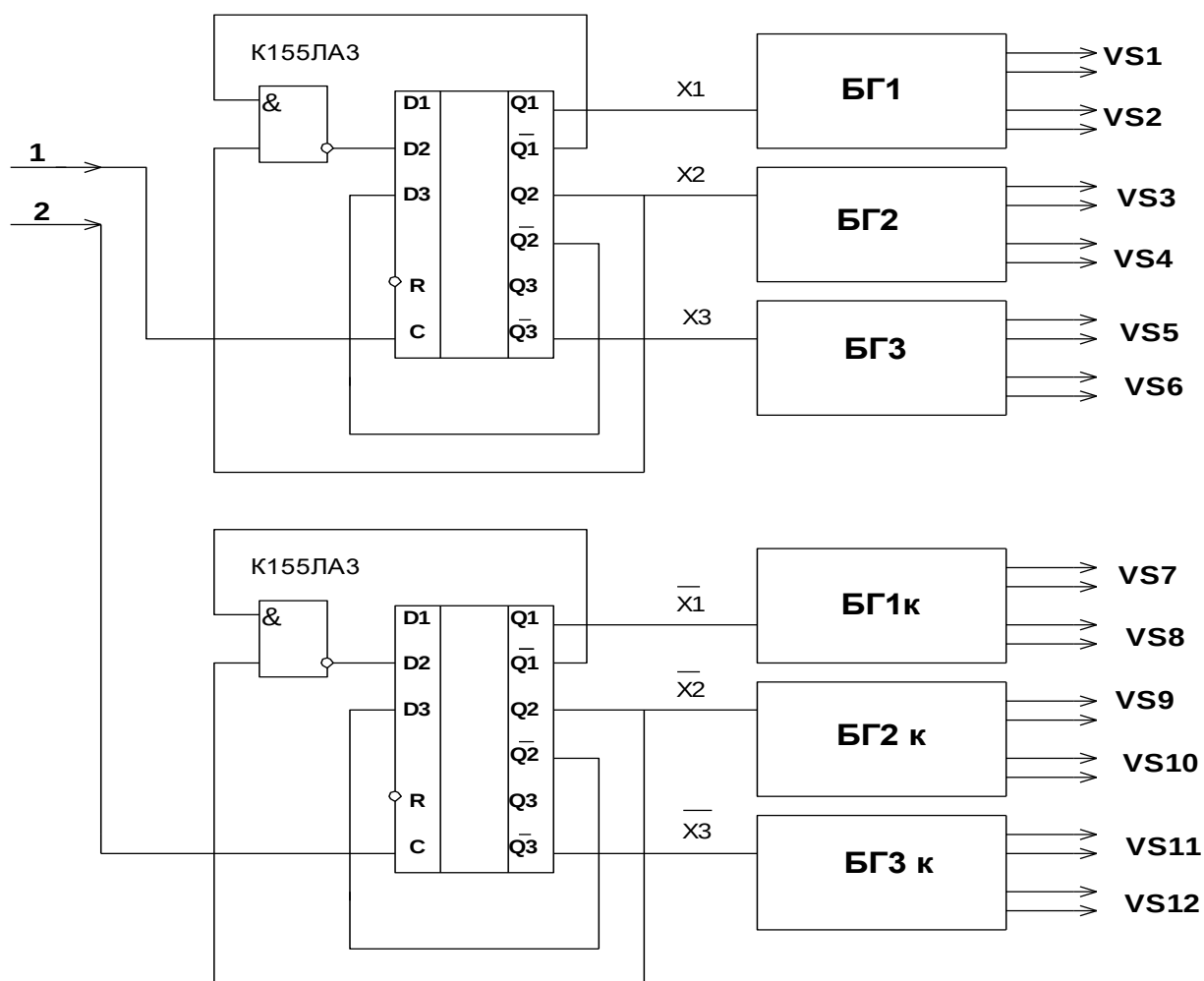


Рисунок 2.13 – Система керування інвертором

2.4 Розробка електричної принципової схеми

Мікропроцесорні системи управління електроприводами є напівпровідниковими регульованими перетворювачами, що складаються в основному з випрямлячів, автономних інверторів та імпульсних регуляторів.

Розраховані значення параметрів використовуються при наборі ЕОМ.

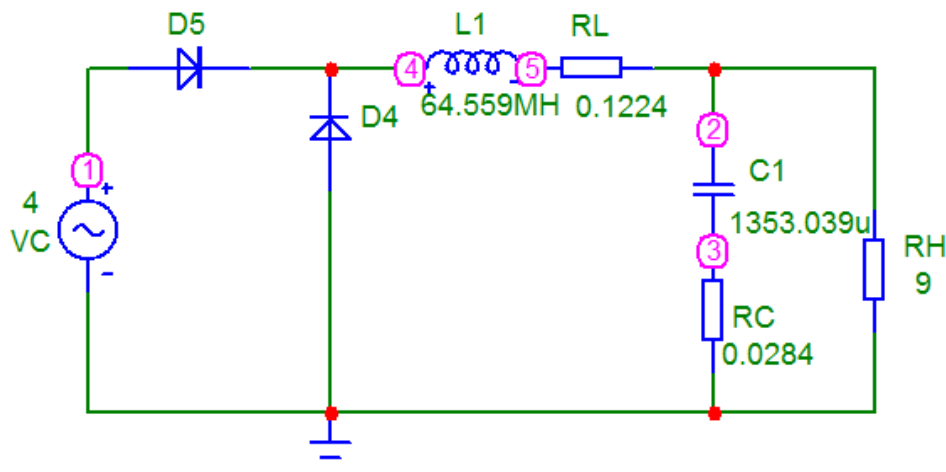


Рисунок 2.14 –Схема моделі однофазного випрямляча.

У бібліотеці елементів пакету MC-7 взято діоди MR1125 та модель синусоїдального джерела з наступними номінальними даними: 225.652, 100 Гц. Резистор R1 відсутня на схемі рис.3, оскільки він врахований у створеній бібліотеці моделей синусоїдальних джерел і становить 0,225 Ом.

На схемі вказані номери вузлів, між якими можна вимірювати значення струмів і напруг.

Часові діаграми напруги навантаження, струму, зворотних напруг на діодах для трифазної мостової схеми наведені на рис. 2.15.

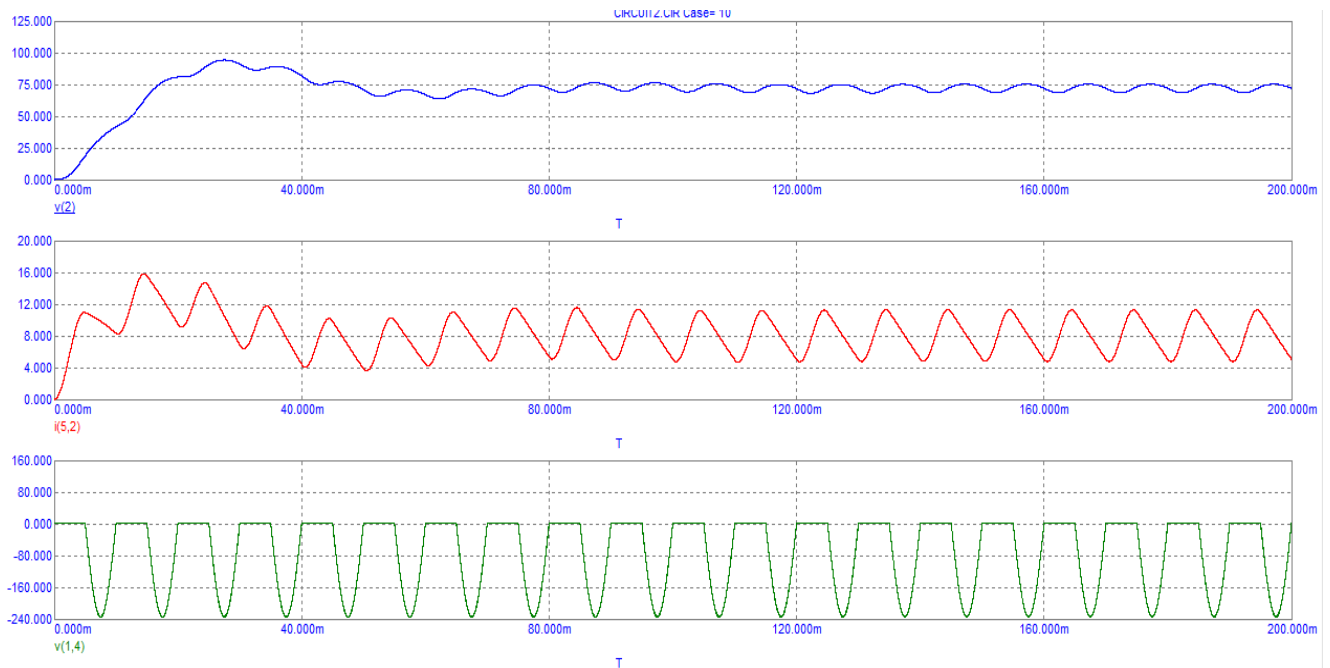


Рисунок 2.15 –Часові діаграми напруг і струмів в однопівперіодному випрямлячі

Змінна складова струму дроселя протікає через конденсатор фільтра, яке постійна складова – через навантаження. Встановлюючи в параметрах аналізу задані межі пульсації струму дроселя, змінюючи R_H і L , досягаємо точних значень струмів навантаження та амплітуд пульсацій струмів дроселів. Потім визначаємо середні значення напруги навантаження, встановлюємо задані межі напруги i , змінюючи Z , домагаємося точних значень пульсацій напруги навантаження. При кожній зміні i і L необхідно одночасно змінювати R_C і R_L .

При кожній зміні C і L необхідно одночасно змінювати R_C і R_L у відповідність до виразів $R_C = R_L = 4\sqrt{L}/I_H \tau_c / C$

Пульсації вимірюються після завершення перехідного процесу. Для цього в параметрах аналізу змінюються масштаби часу та замість Z встановлюють L (продовжити розрахунок).

Схема із уточненими значеннями параметрів представлена на рис. 2.16, а відповідні їм тимчасові діаграми пульсацій струмів і напруг на рис.. 2.17.

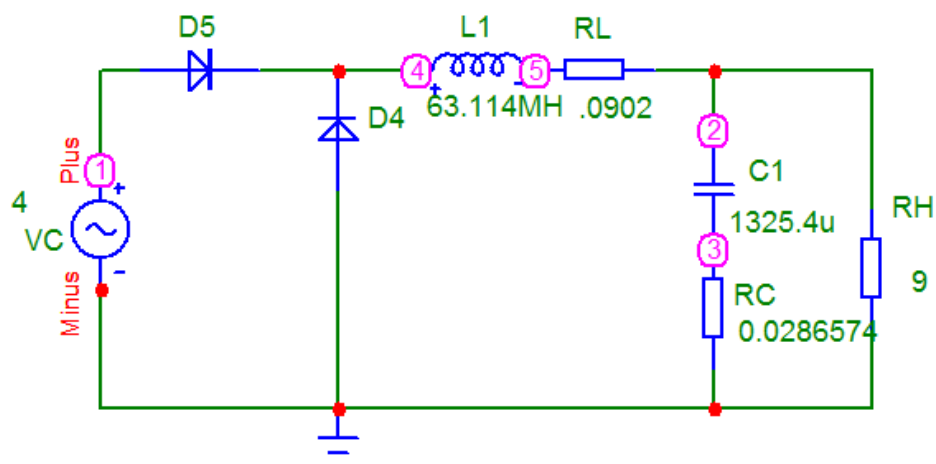


Рисунок 2.16 –Схема моделі однофазного випрямляча з уточненими параметрами

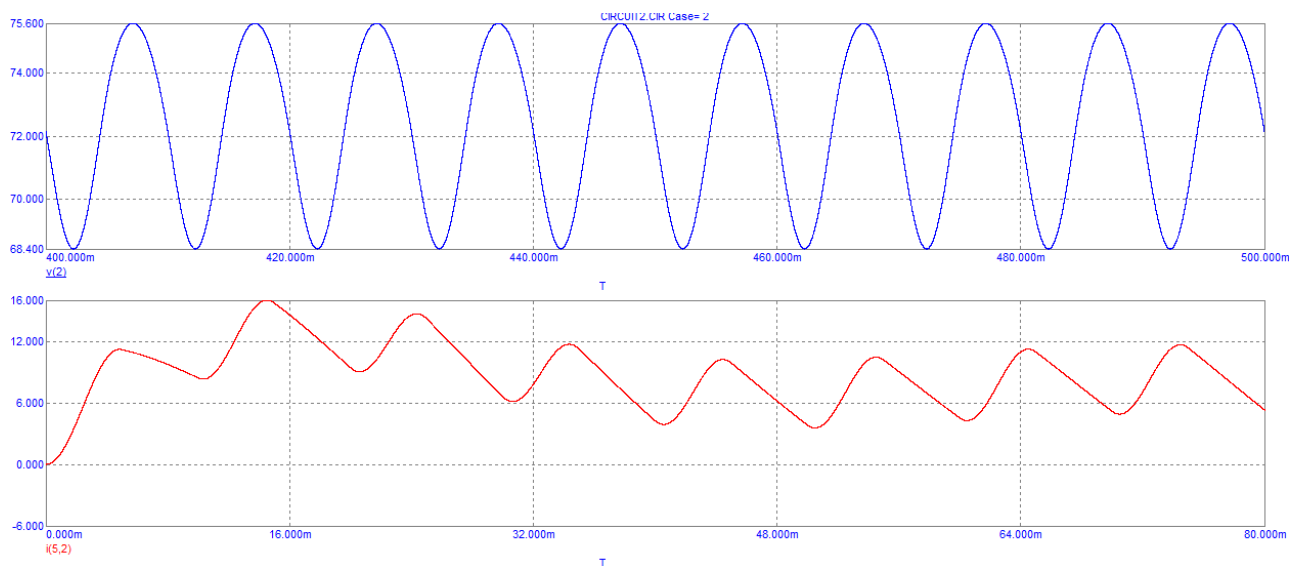


Рисунок 2.17 – Пульсації напруги та струму в однофазному випрямлячі

У таблиці 2.3 зведено узагальнені результати дослідження випрямлячів. З неї та часових діаграм рис. 2.15 слід, що плавна розгортка кута регулювання рис.10 дозволяє зменшити час перехідних процесів струму (з 60.908мкс до 26.855мкс) і зменшити його величину за напругою (з 63.385мкс до 57.137мкс).

Таблиця 2.3 – Узагальнені результати дослідження випрямлячів

Дано: $U_{BX} = 72\text{В}$; $f_{BX} = 100\text{Гц}$; $I_H = 8\text{А}$; $\Delta U/U_H = 0.05$; $\Delta I/I_H = 0.439$							
	L, мГн	C, мкФ	U ₂ , В	U _{обр} , В	U _m , В	$t_{\text{пу}}$, мкс	$t_{\text{пу}}$, мкс
P	64.5598	1353.039	235.652	234.652	95.025	64.489	60.75
M	63.114	1325.4	235.6405	234.923	95.0021	63.385	60.908
П%	-2.291	-2.085	-0.00488	0.115	0.259	-1.742	-0.024
M1	64.5598	1353.039	236.0124	235.03	72.3821	57.137	26.855

З вище проведених досліджень із бібліотеки Multisim вибираються тиристори, керуючись такими параметрами як ПІР тах та Uобр. Вибрано тиристори 2N690. На рис. 2.18 показана силова схема керованого випрямляча.

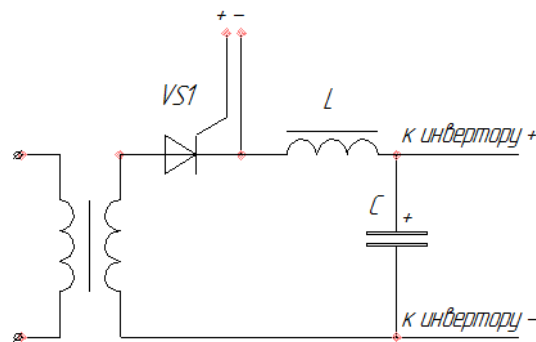


Рисунок 2.18 – Силовa схема однофазного однонапівперіодного керованого випрямляча

Автономні вентиляльні перетворювачі не пов'язані з потужною електричною мережею змінного струму: як джерело енергії автономні перетворювачі використовують джерела постійного струму. Таким джерелом може бути випрямляч, акумулятор чи інші джерела постійного струму. Автономні вентиляльні перетворювачі працюють на автономне, окреме від інших джерел енергії навантаження постійного чи змінного струму. З проведених вище досліджень, за довідником обрані тиристори типу 2N690.

Схема моделі трифазного інвертора на тиристорах наведено на рис.2.19. Схема працює від джерела постійного струму напругою 72 (напруга на навантаженні випрямляча) і формує вихідну, близьку до прямокутної, змінну напругу частотою 200 Гц.

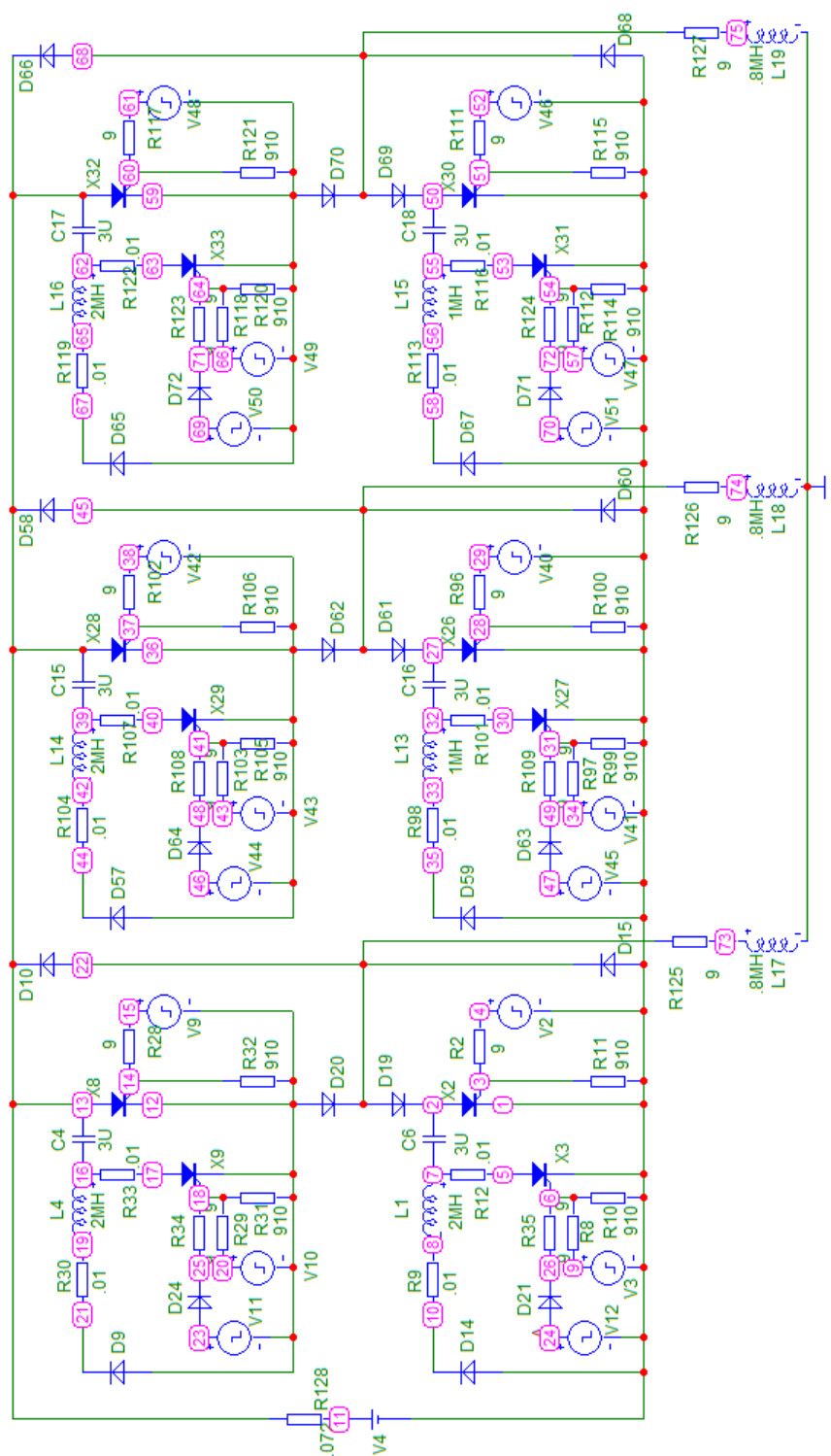


Рисунок 2.19 – Автономний інвертор

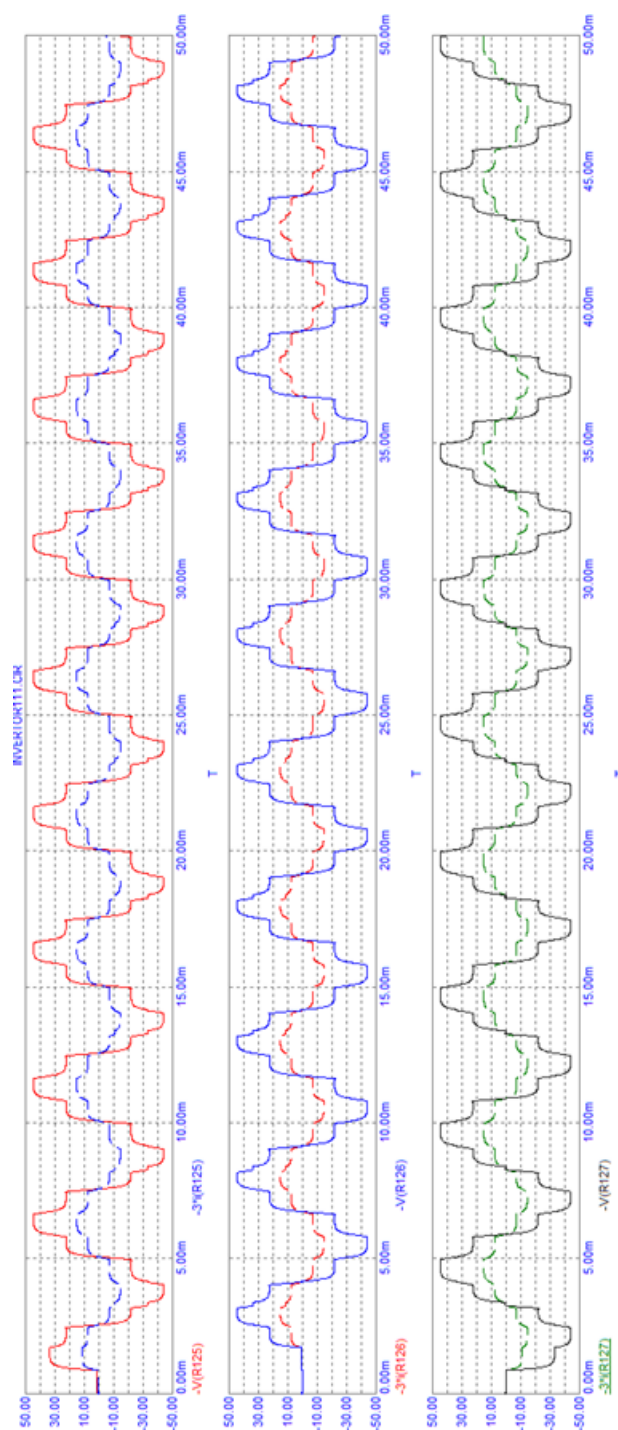


Рисунок 2.20 – Часові діаграми напруги та струму інвертора

На рисунку 2.20 показані часові діаграми напруги та струмів трифазного інвертора на тиристорах. Графік демонструє часові діаграми напруги (суцільна лінія) та струму (пунктирна лінія зі співвідношенням 3:1) на активно-індуктивному навантаженні для кожної фази.

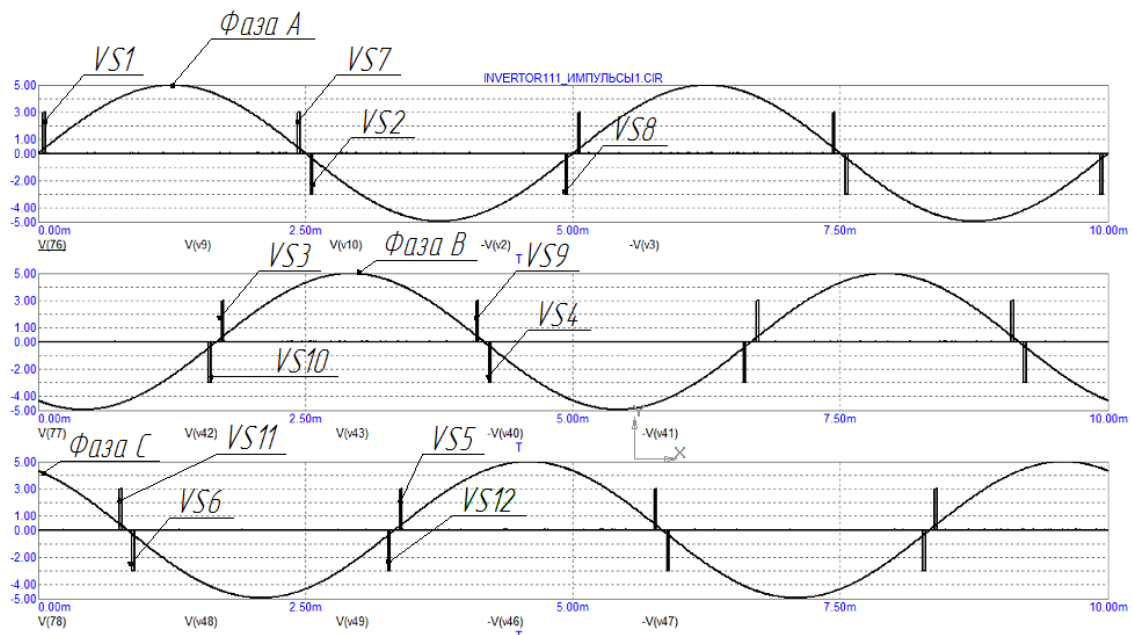


Рисунок 2.21 – Діаграма розподілу імпульсів

На рис. 2.22 показано структурну схему перетворювача частоти. Вона складається з силового ланцюга та системи управління. Силовий ланцюг складається з керованого випрямляча, інвертора та навантаження. Система управління ділиться на дві: систему управління випрямлячем (СУВ) та систему управління інвертором (СУІ). Блок живлення (БПСУ) служить для живлення систем керування електричною енергією. Силова схема перетворювача частоти показано на 2.23.

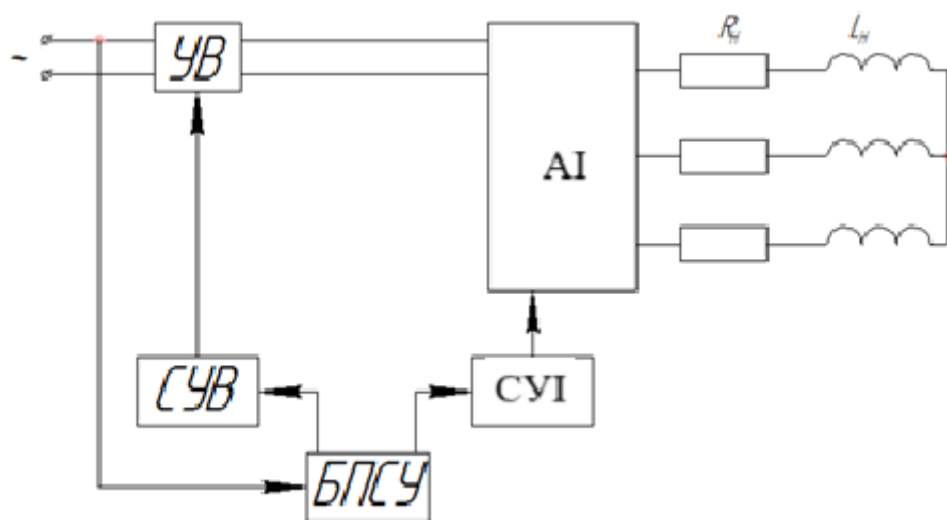


Рисунок 2.22 – Структурна схема перетворювача частоти.

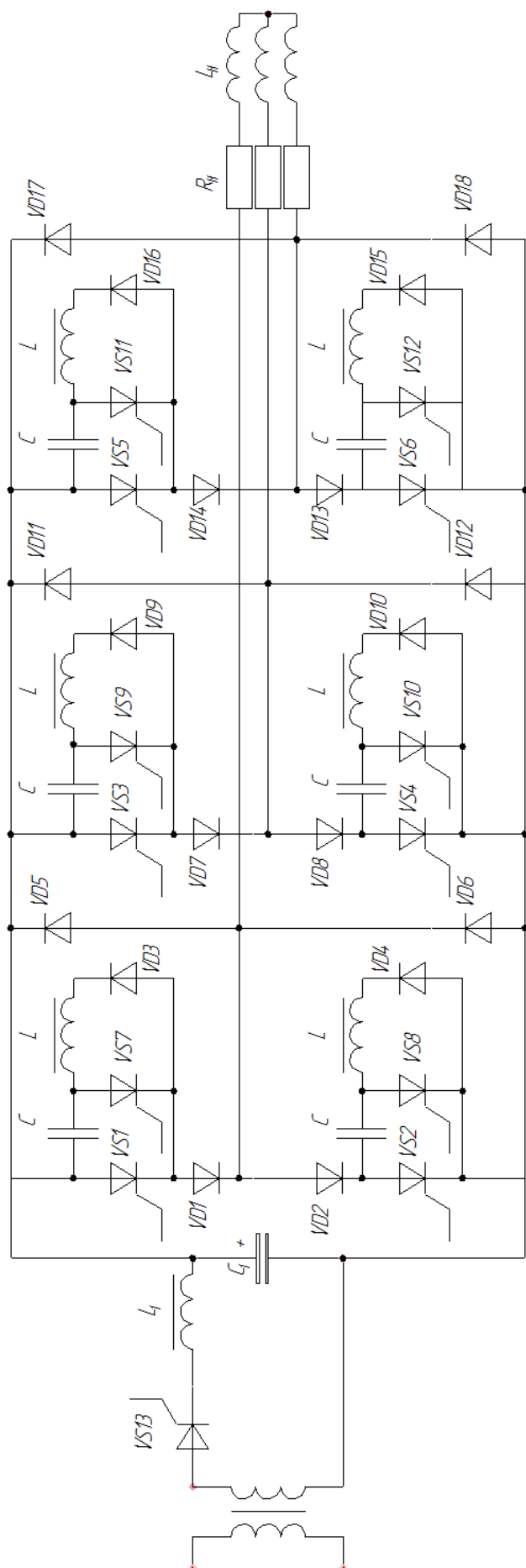


Рисунок 2.23 – Силовая схема перетворювача частоти

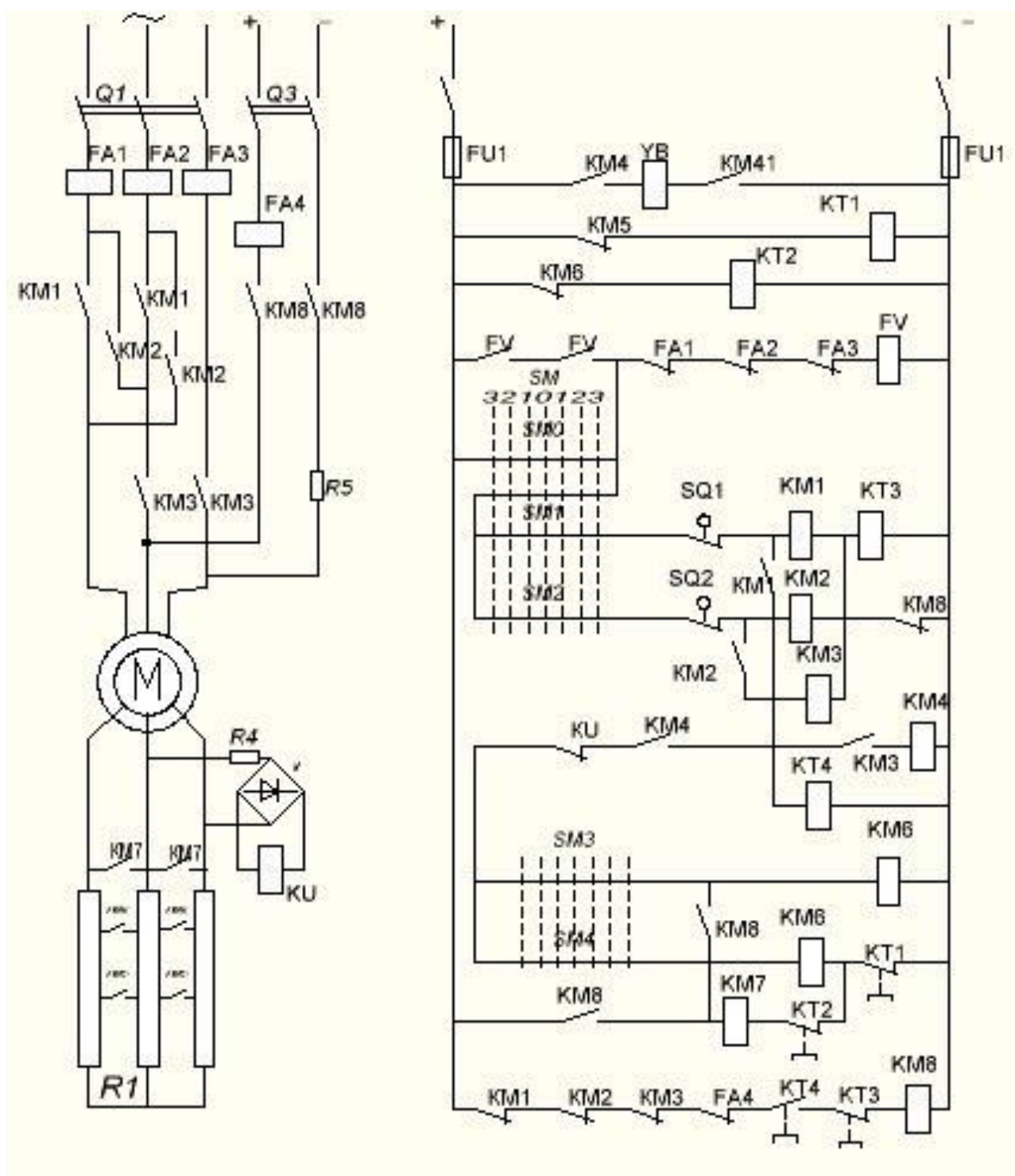


Рисунок 2.24 – Станція керування асинхронним двигуном із фазним ротором

На. 2.24 наведено схему станції управління серії ПУ6520. Схема застосовується для двигунів середньої та великої потужності при напруженому повторно-короткочасному режимі (до 1200 включень за годину) із змінним навантаженням.

Позначення елементів у схемі: М – асинхронний двигун; контактори: КМ3 – лінійний, КМ1, КМ2 – реверсуючі, КМ6, КМ7 – прискорювальні, КМ5 – противмикання, КМ8 – динамічного гальмування, КМ4 – механічного гальмування; реле: FV – напруги, КТ1, КТ2 – прискорення, КУ – противовключення, КТ3 і КТ4 – блокувальне та динамічного гальмування, FA1 – FA4 – максимально струмові; SM0 – SM4 – контакти командоконтролера; SQ1, SQ2 – контакти кінцевих вимикачів; V – випрямляч; резистори: R1 – противмикання, R2, R3 – прискорення, R5 – гальмування; YB – котушка електромагнітного гальма.

Схема здійснює автоматичний пуск двигуна з двома ступенями опорів у роторі з керуванням за принципом часу (реле КТ1 та КТ2). При реверсі відбувається гальмування противключення при повному опорі в роторі з керуванням за принципом швидкості (частоти обертання) (Реле КУ). Під час зупинки здійснюється динамічне гальмування з поступовим відключенням резисторів у роторі (реле КТ1, КТ2) з управлінням за принципом часу (реле КТ4). Реле КТ3 дозволяє перервати гальмування та забезпечити повторне включення двигуна. При зупинці "накладається" механічне гальмо YB.

У схемі передбачені захисту - максимальна миттєва струмова в головних ланцюгах (FA1, FA2, FA3) та ланцюги динамічного гальмування (FA4), максимально-струмова (FU1, FU2) та нульова (FV) у ланцюгу управління [2].

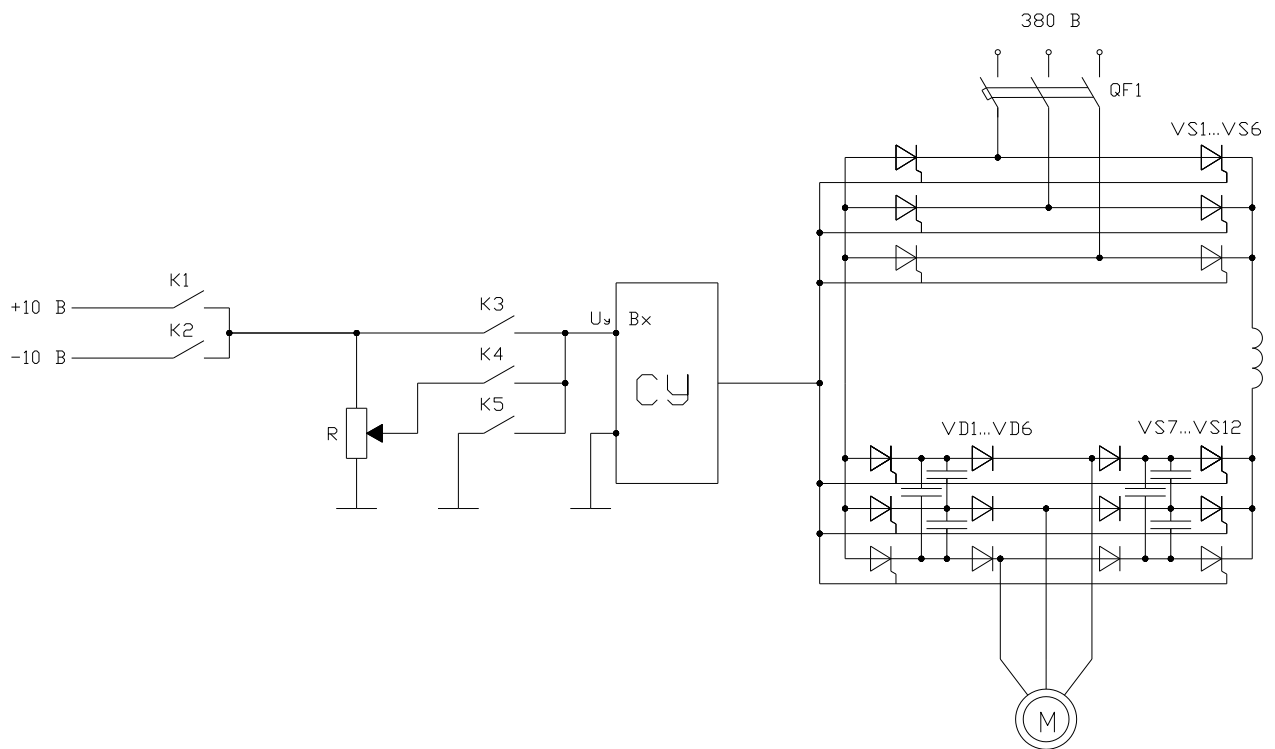


Рисунок 2.25 – Схема керування електроприводом ліфта

Реле РЕ1-РЕ5 розташовані стаціонарно на панелі керування ліфтом. Також є: кінцеві вимикачі підлоги ВП1, ВП2 (розімкнуті якщо в кабіні є пасажир), контакти дверей кабіни ВДК, контакти кінцевого вимикання ВКК (контролюючі обрив каната), контакти вимикання уловлювача, кнопка КнС2 для зупинки кабіни в будь-якому випадку. Ці апарати приєднані до іншої апаратури гнучким кабелем ГК.

У шахті ліфта встановлюються кожному поверсі поверхові вимикачі ПЭ1-ПЭ2.

Рух кабіни виключається, якщо хоч одні двері відчинені тому що є кінцеві вимикачі ВДШ1-ВДШ2.

ПЭ1 у середньому становищі, інші у правому, розмикається контактор підлоги ВП1, що унеможливорює зовнішнього управління ліфтом. Зачиняються двері, замикається контакт ВДШ1, якщо двері поверхів зачинені, то і ВДШ2-ВДШ5 замкнуті. Таким чином РЕ5 отримає живлення через повернутий ПЭ5 і замкне ланцюг КВ, що включає двигун.

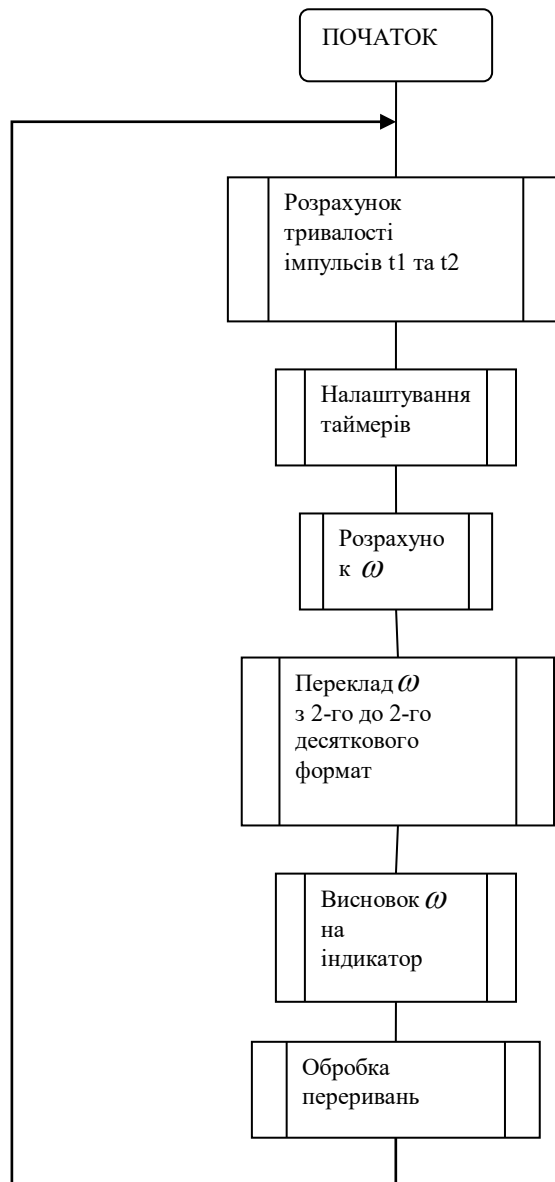


Рисунок 2.27 – Загальний алгоритм програми

Принцип роботи системи

Імпульсний датчик швидкості формує дві послідовності імпульсів.

Імпульси з одного з виходів вважаються лічильником TCNT1 за інтервал часу: $t = 60 \cdot k$ (k -роздільна здатність датчика) відміряний TCNT0. Проміжки часу підібрані такими - кількість імпульсів дорівнює кутової швидкості в об./хв. Напрямок обертання визначається за командою переривання INT0. По передньому фронту сигналу одного з виходів датчика опитується стан другого виходу, дані з якого надходять до порту А мікроконтролера. Далі інформація з лічильника та з порту передається до регістрів загального призначення, де

аналізується та узагальнюється. Подання інформації реалізовано так: число записано у два восьмибітних регістра, а верхній біт старшого байта показує напрямок обертання. Після всіх дій готові два байти інформації передаються для зберігання на згадку.

Загалом, розв'язання задачі регулювання кутової швидкості обертання ДПТ з НВ умовно можна поділити на шість процедур (рис. 2.28)

Складемо блок-схему для перетворення двійкового числа ω у двійково-десятковий формат для її подальшого відображення на РК індикаторі.

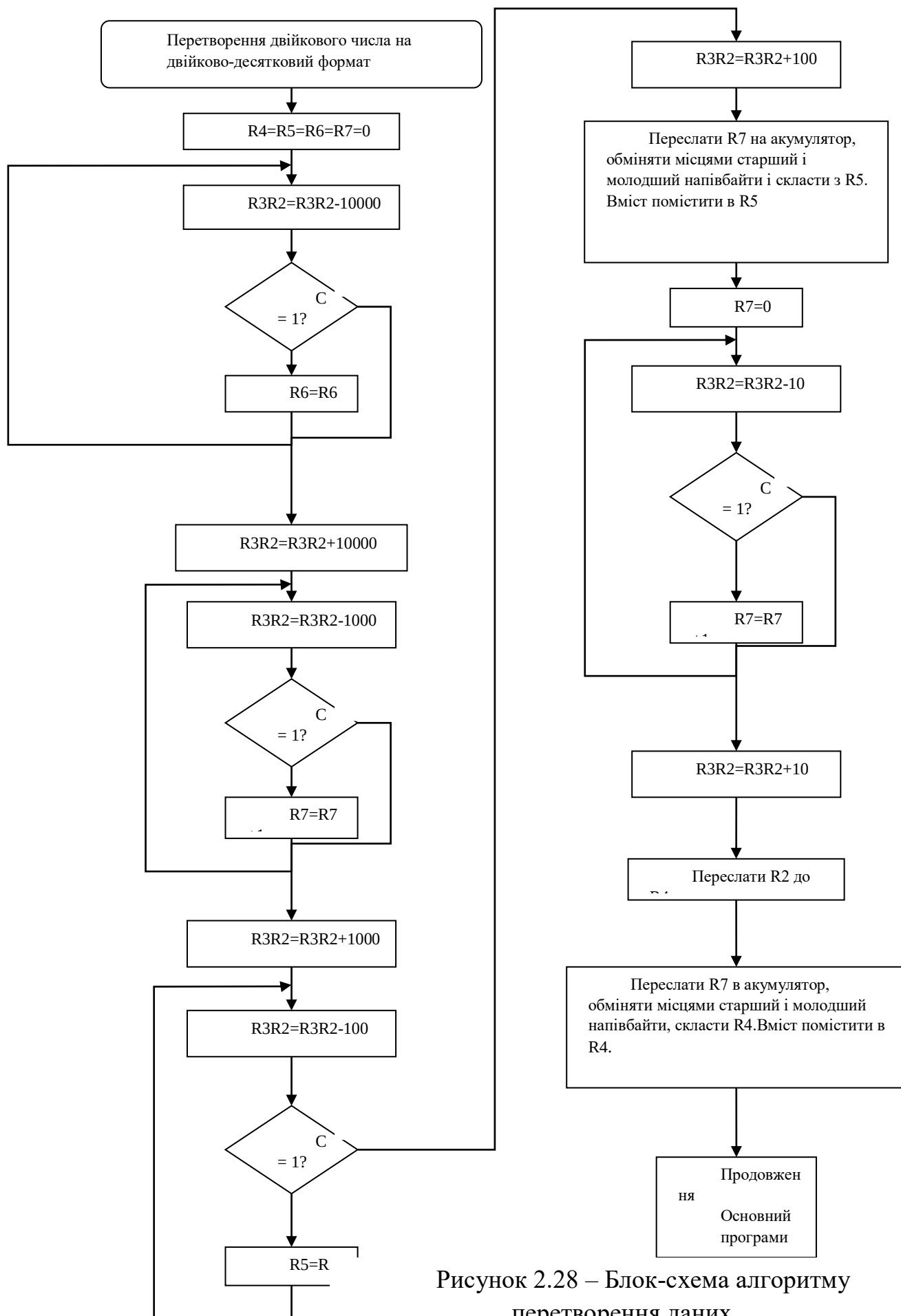


Рисунок 2.28 – Блок-схема алгоритму перетворення даних

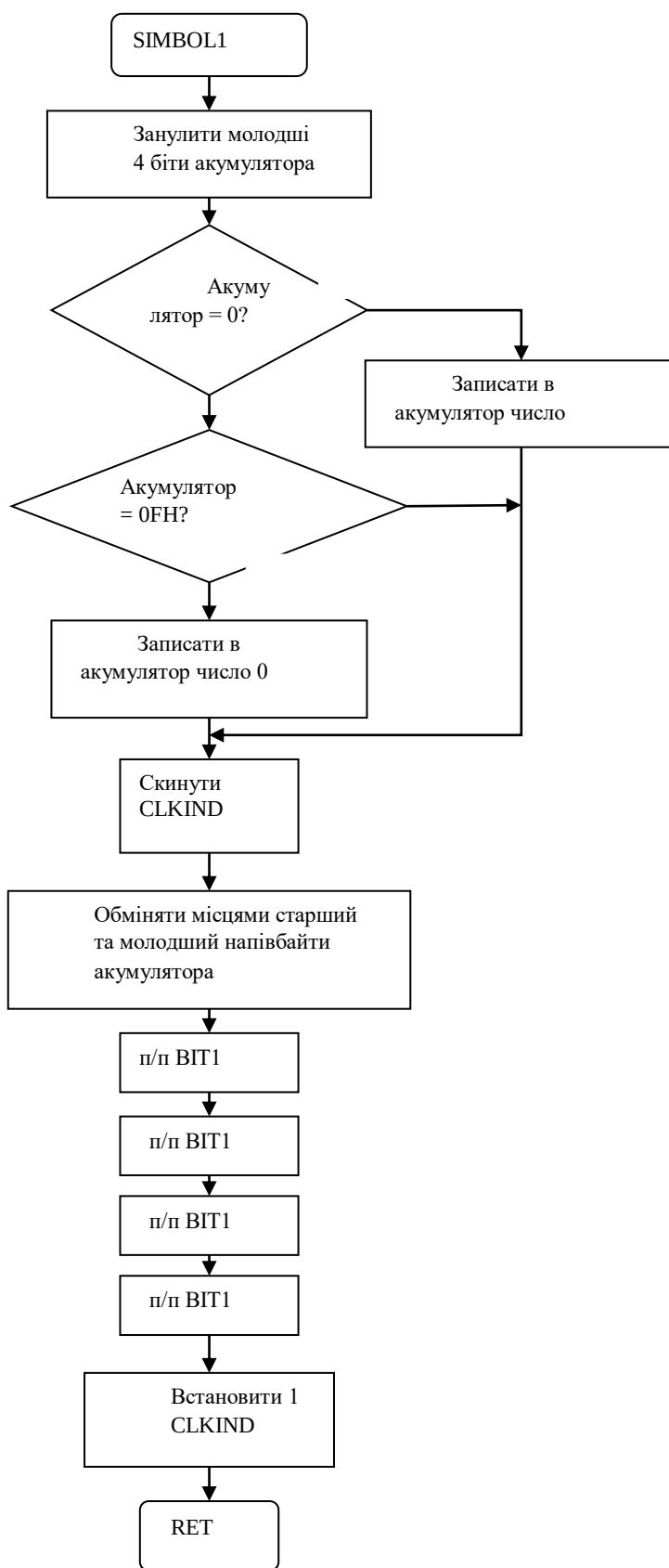


Рисунок 2.29 – Блок-схема алгоритму відображення цифрового сигналу

Висновки до розділу 2

Встановлено основні вимоги до системи керування шахтним підйомником, враховуючи необхідність точного дотримання заданої циклограми. Це включає контроль за швидкістю, положенням, прискоренням та навантаженням підйомника.

Створено структурну та функціональну схеми системи автоматичного керування, які визначають основні компоненти системи та їх взаємодію. Це забезпечує чітке розуміння функціональних зв'язків між різними частинами системи, що є ключовим для подальшого етапу реалізації.

Проведено аналіз та вибір основних компонентів системи керування, таких як асинхронний електродвигун, перетворювач частоти, контролери та датчики. Вибір обґрунтовано з урахуванням вимог до надійності, ефективності та економічності.

Створено електричну принципову схему системи керування, яка детально описує всі електричні з'єднання між компонентами системи. Це забезпечує основу для монтажу та налаштування обладнання.

Розроблено блок-схему алгоритму роботи програми керування, що описує основні логічні кроки та послідовність дій для реалізації керування підйомником. Це дозволяє забезпечити правильне функціонування системи та виконання всіх необхідних операцій.

Загалом, проведені роботи з проектування системи автоматичного керування шахтним підйомником дозволили створити комплексну та надійну систему, яка відповідає всім заданим вимогам. Ця система забезпечує високу точність, надійність та ефективність роботи підйомника, що є критично важливим для безпечного та продуктивного виконання гірничих робіт.

3 ТЕОРЕТИЧНИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ШАХТНИМ ПІДЙОМНИКОМ

3.1 Розробка математичної моделі САК

Система регулювання базується на принципах підлеглого регулювання, які включають наступні положення:

1. Об'єкт регулювання представляється у вигляді послідовно з'єднаних ланок.
2. Ланки виділяються так, щоб на виході кожної була фізична величина, важлива для регулювання та контролю.
3. На виході регулюючої частини встановлюється фільтр з передавальною функцією

$$\Phi_0(p) = \frac{1}{T_\mu p + 1}, \quad (3.1)$$

де T – некомпенсована постійна часу.

Для кожної регульованої координати створюється замкнута система регулювання з індивідуальним регулятором, який виконує дві основні функції: компенсує ланку об'єкта регулювання в контурі та забезпечує астатизм контуру (не нижче першого порядку) по управляючому впливу. Система налаштовується на модульний оптимум, де у смузі пропускання кожного контуру коефіцієнт посилення дорівнює 1, що дозволяє нехтувати зміною сигналу під час проходження через систему. При цьому використовується інтегральний критерій якості, що мінімізує помилку та її похідну.

Для обох проекцій струму статора ланка об'єкта однакова, тому розглядається синтез регулятора для однієї проекції. Розрахункова схема синтезу двомірного регулятора струму статора наведена на рис. 3.1

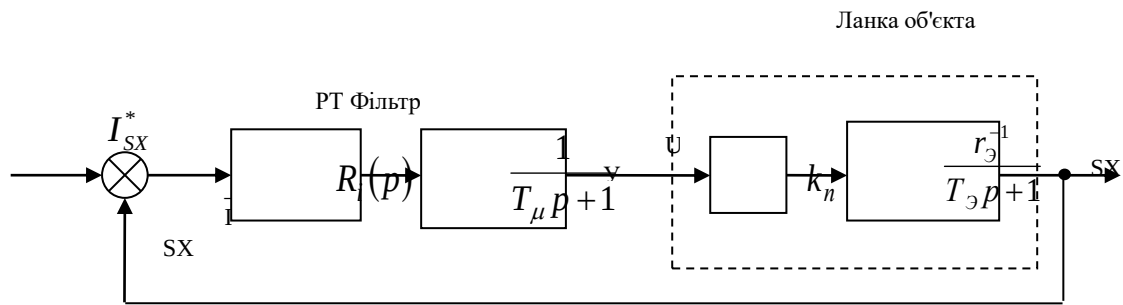


Рисунок 3.1 – Схема САР струму

Некомпенсовану постійну часу приймаємо рівною $T_\mu=0.005$, оскільки у частотно-регульованому електроприводі ця величина може бути значно меншою, ніж у аналогічному приводі постійного струму. Це пов'язано з тим, що в електроприводі змінного струму практично немає обмежень на частоту входних впливів через високу частоту комутації.

Ланка об'єкта в контурі має вигляд:

$$W_i(p) = \frac{k_n / r_\varepsilon}{T_\varepsilon p + 1} \quad (3.2)$$

Розрахунок коефіцієнтів регулятора наведено вище.

Передатна функція для ПІ-регулятора має такий вигляд:

$$R_i(p) = W_i^{-1}(p) \frac{1}{T_i p} = \frac{T_\varepsilon + 1}{\frac{k_p}{r_\varepsilon} T_i p} = \frac{T_\varepsilon + r_\varepsilon}{k_p T_i} + \frac{1}{\frac{k_p}{r_\varepsilon} T_i p}, \quad (3.3)$$

де $T_i = 2 \cdot T_\mu$ - Постійна часу регулятора струму статора визначається на основі налаштування на модульний оптимум.

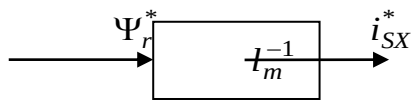
Замкнена передавальна функція типового контуру струму виглядає наступним чином:

$$G_i(p) = \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1} \quad (3.4)$$

Синтез регулятора потокозчеплення ротора.

У цьому проекті застосовується керування зі сталим потокозчепленням ротора ($\Psi_r = \text{const}$), без врахування змін індуктивності ($l_m^* = l_m$). Тому можливо використовувати схему без регулятора потокозчеплення і подати сигнал на вхід САР струму.

Схема регулятора



Структурна схема синтезу регулятора потокозчеплення ротора:

Синтез регулятора електромагнітного моменту.

Регулятор представлений у вигляді зворотної ланки моменту:

$m = k_r \Psi_r i_{sy}$ – ланка моменту (ЗМ).

$i_{sy} = (k_r \Psi_r)^{-1} m$ – регулятор моменту (РМ).

Регулятор моменту формує частоту ковзання координат. Необхідно додати в регулятор моменту обчислювач абсолютного ковзання $\beta \Psi_r$:

$$\beta \Psi_r = r_r^* k_r^* \Psi_r i_{sy}.$$

$$\omega_{\Psi r} = \omega + \beta \Psi_r.$$

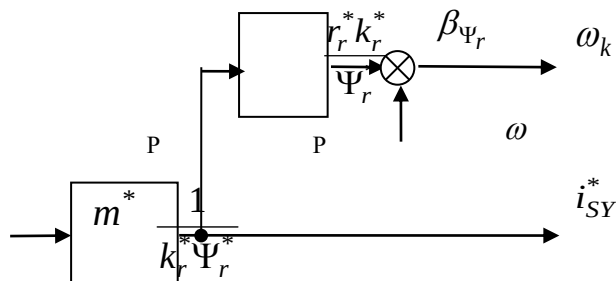


Рисунок 3.2 – Структурна схема регулятора електромагнітного моменту

При цьому передавальна функція розімкненої системи виглядає наступним чином:

$$\Phi_m(p) = G_i(p) = \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1} \quad (3.5)$$

Таким чином, контур моменту має високу швидкодію, але на його динаміку впливає зміна потокозчеплення ротора.

3.2 Розробка структурної схеми САК

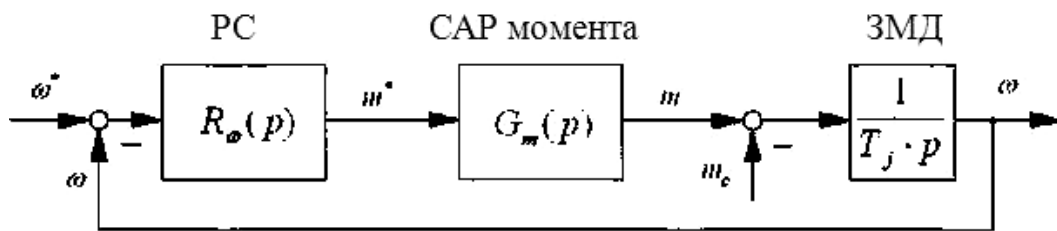


Рисунок 3.3 – Структурна схема

На вході системи використано вхідний фільтр з функцією передачі:

$$\Phi(p) = \frac{1}{T'_\omega p + 1} \quad (3.6)$$

Передавальна функція регулятора швидкості виглядає наступним чином:

$$R_\omega(p) = \frac{T'_\omega p + 1}{T'_\omega p} \cdot \frac{T_j}{T_\omega} \quad (3.7)$$

де, $T'_\omega = 2 \cdot T_\omega = 4 \cdot T_j = 8 \cdot T_\mu$

Типова передавальна функція розімкнутої системи регулювання швидкості, налаштована на симетричний оптимум, виглядає наступним чином:

$$\Phi_{\omega}(p) = \frac{8 \cdot T_{\mu} + 1}{8 \cdot T_{\mu}} \cdot \frac{1}{4T_{\mu}p} \cdot \frac{1}{2T_{\mu}^2 p^2 + 2T_{\mu}p + 1} \quad (3.8)$$

Типова передавальна функція замкнутої системи за керуючим впливом виглядає наступним чином:

$$G_{Mc}^{\omega}(p) = \frac{32T_{\mu}^2 p}{T_j} \cdot \frac{2T_{\mu}^2 p^2 + 2T_{\mu}p + 1}{64T_{\mu}^4 p^4 + 64T_{\mu}^3 p^3 + 32T_{\mu}^2 p^2 + 8T_{\mu}p + 1} \quad (3.9)$$

де, $t_M = 18T_{\mu}$; $t_{п.п} = 22,5T_{\mu}$; $\sigma = 6.2\%$; $t_{віс} = 3.86T_{\omega}$; $\sigma = 54\%$.

Механічні характеристики системи є абсолютно жорсткими, враховуючи, що значення передавальної функції за обурювальним впливом в усталеному режимі:

$$G_{Mc}^{\omega}(0) = 0; \quad (3.10)$$

Таким чином, система не матиме помилки щодо обурювального впливу.

Пропорційний коефіцієнт регулятора швидкості:

$$k_n = \frac{T_j}{T_{\omega}}; \quad (3.11)$$

Інтегральний коефіцієнт регулятора швидкості. Під інтегральним коефіцієнтом розуміється постійна часу:

$$T_I = \frac{T_{\omega} \cdot T'_{\omega}}{T_j}; \quad (3.12)$$

Структурна схема САУ показана на рис.3.4. Оскільки коефіцієнт зв'язку ротора в рівнянні моменту є постійною величиною, а регулювання швидкості здійснюється без послаблення поля, існує пропорційність між струмом двигуна і моментом. З цих рівнянь також випливає, що проекція струму статора на вісь ОХ визначає потік двигуна, а проекція вектора струму статора на вісь ОУ визначає електромагнітний момент асинхронного двигуна [2].

При регулюванні швидкості без використання ослаблення поля (регулювання в другій зоні), значення потокозчеплення ротора залишається постійним. Тому похідною потокозчеплення ротора можна знехтувати, і рівняння роторних ланцюгів набувають такого вигляду:

$$i_{sx} = \frac{\alpha_r}{k_r \cdot r_r} \cdot \psi_r \quad (3.13)$$

$$i_{sy} = \frac{\beta_{\psi r}}{k_r \cdot r_r} \cdot \psi_r$$

Для створення високоякісної системи регулювання швидкості потрібно компенсувати трансформаторну ЕРС та ЕРС обертання:

$$e_{dx} = -\omega_{\psi r} \cdot l_{\vartheta} \cdot i_{sy} - \alpha_r \cdot k_r \cdot \psi_r; \quad (3.14)$$

$$e_{dy} = \omega_{\psi r} \cdot l_{\vartheta} \cdot i_{sx} + \omega \cdot k_r \cdot \psi_r$$

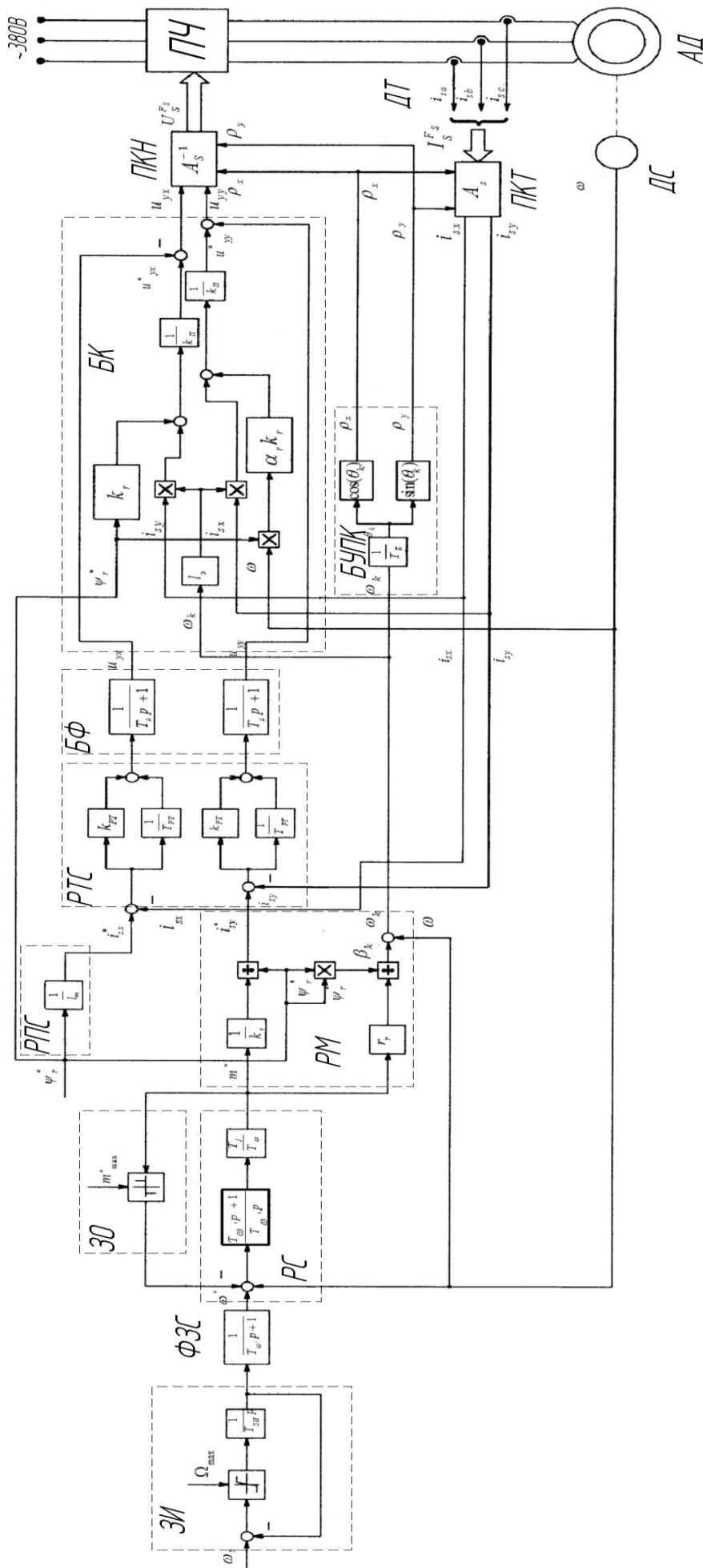


Рисунок 3.4 – Структурна схема САУ

Вплив даних ЕРС компенсується шляхом створення керуючих сигналів на основі певних законів. Ці закони визначають, як повинні формуватися сигнали для ефективної компенсації трансформаторної ЕРС та ЕРС обертання, забезпечуючи таким чином стабільну і точну роботу системи регулювання швидкості.

$$u_x^* = u_{yx} - \frac{1}{k_{\Pi}} \cdot (\omega_{\psi r} \cdot l_{\vartheta} \cdot i_{sy} + \alpha_r \cdot k_r \cdot \psi_r); \quad (3.15)$$

$$u_y^* = u_{yy} + \frac{1}{k_{\Pi}} \cdot (\omega_{\psi r} \cdot l_{\vartheta} \cdot i_{sx} + \omega \cdot k_r \cdot \psi_r).$$

3.3 Синтез алгоритмів керування

Структурна схема блоку компенсації внутрішніх перехресних зв'язків об'єкта показана на рис. 3.5 [20-21]:

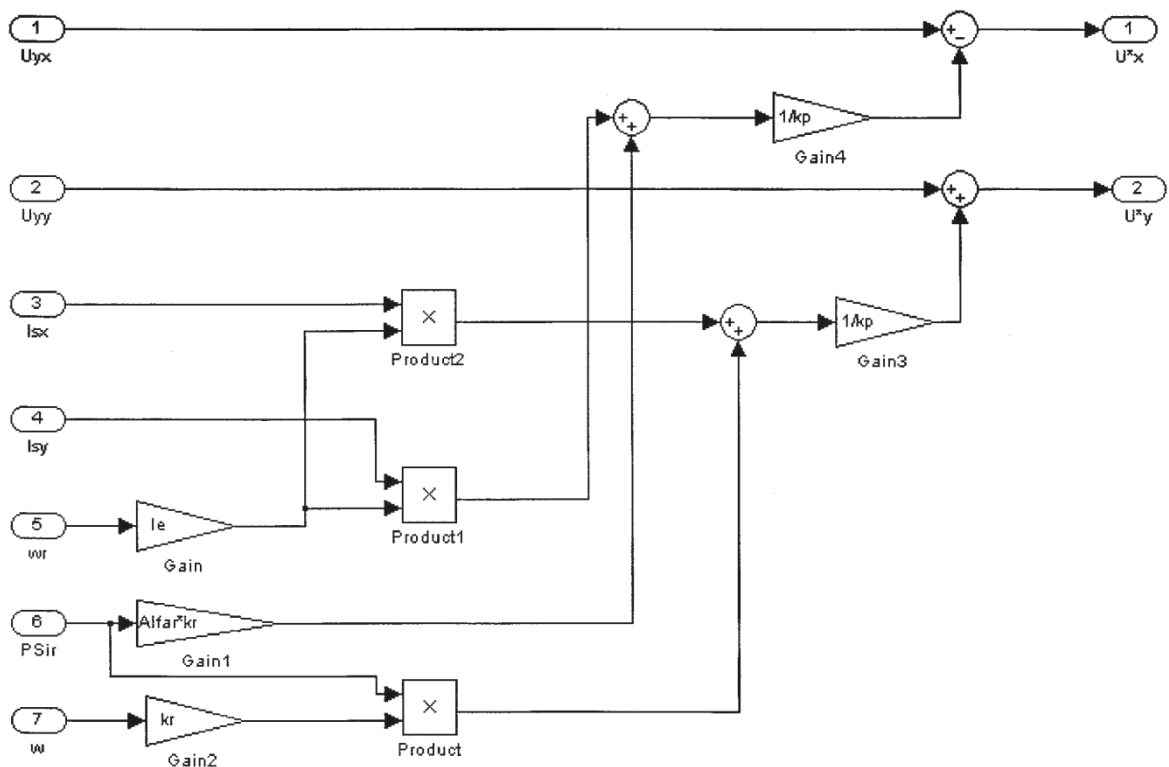


Рисунок 3.5 – Структурна схема у Simulink пакету MATLAB

Вигляд рівняння статорних ланцюгів:

$$U_{sx} = r_s \cdot (1 + T_s p) \cdot i_{sx};$$

$$U_{sy} = r_s \cdot (1 + T_s p) \cdot i_{sy};$$

Вигляд рівняння роторних ланцюгів:

$$i_{sx} = \alpha_r \cdot (k_r \cdot r_r)^{-1} \cdot \psi_r;$$

$$i_{sy} = \beta_{\psi r} \cdot (k_r \cdot r_r)^{-1} \cdot \psi_r;$$

Вигляд рівняння моменту:

$$m = k_r \cdot i_{sy} \cdot \psi_r$$

Вигляд рівняння руху для одномасової системи:

$$m - m_c = T_j \cdot p \cdot \omega,$$

Вигляд для формули абсолютного ковзання двигуна:

$$\beta_{\psi r} = \omega_r - \omega.$$

На основі цих рівнянь була створена структурна схема асинхронного двигуна (рис. 3.6) для синтезу регуляторів. У приведеній схемі не враховано нехтування похідною потокозчеплення ротора.

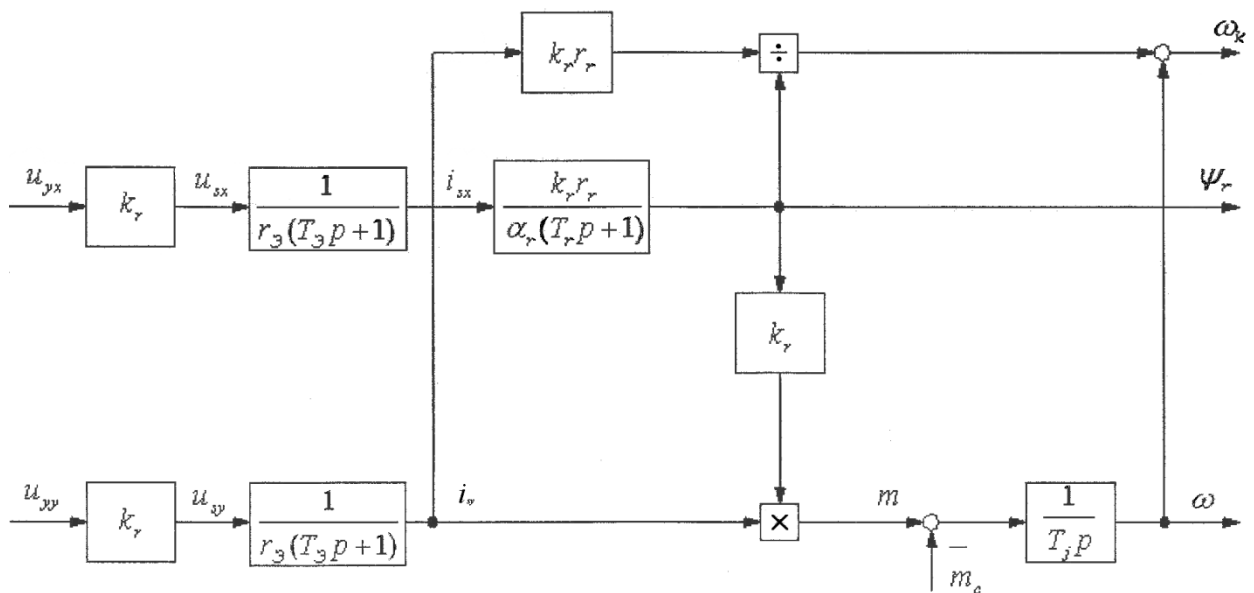


Рисунок 3.6 – Структурна схема асинхронного двигуна для синтезу регуляторів

У блоці фільтрів реалізована постійна некомпенсована часу, яка вводить спеціально для зниження швидкодії системи. Це, в свою чергу, зменшує струми і моменти в перехідних режимах. Фільтр являє собою аперіодичну ланку, де граничне значення цієї постійної визначається частотою комутації вентилів. Для перетворювача ця величина коливається від 2,5-4 до 16 кГц. Прийmemo частоту комутації:

$$f_c = 4 \text{ кГц},$$

$$T_{\mu, \text{cp}} = \frac{1}{f_c} = \frac{1}{4000} = 0.00025 \text{ с},$$

$$T_\mu = 2 \cdot T_{\mu, \text{cp}} = 0.00025 \cdot 2 = 0.0005 \text{ с},$$

$$\Phi_0(p) = \frac{1}{0.0005p + 1}. \quad (3.16)$$

Блок фільтрів у Simulink пакету MATLAB приведено на рис. 3.7.

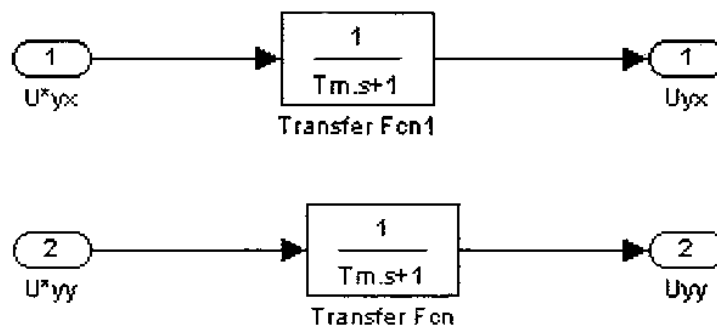


Рисунок 3.7 – Блок фільтрів у Simulink пакету MATLAB

Розрахунки синтезу регуляторів перетворених струмів статора.

$$K_{PT} = \frac{T_\sigma \cdot r_\sigma}{k_{II} T_i} = \frac{0.0138 \cdot 0.048}{1 \cdot 0.001} = 0.662$$

$$T_{PT} = \frac{k_{II} \cdot T_i}{r_\sigma} = \frac{1 \cdot 0.001}{1 \cdot 0.048} = 0.02 \text{ с}$$

$$G_i(p) = \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}. \quad (3.17)$$

Регулятор струмів статора і вікно вибору змінних у Simulink пакету MATLAB приведено на рис. 3.8.

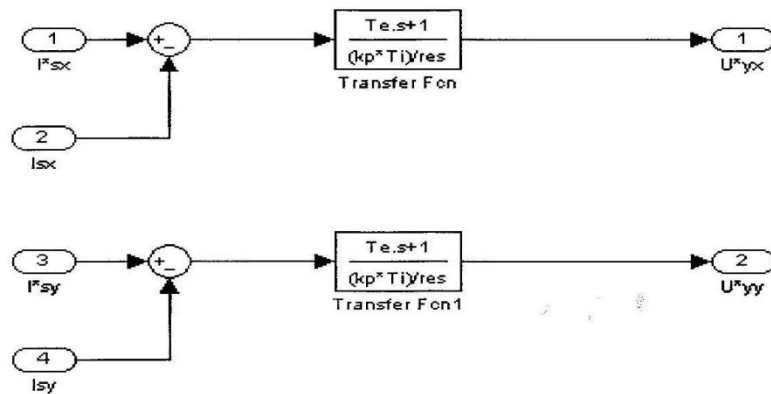


Рисунок 3.8 – Регулятор струмів статора і вікно вибору змінних у Simulink пакету MATLAB

Розрахунок синтезу регулятора потокозчеплення ротора.

Система регулювання потокозчеплення розімкнена, оскільки відсутня інформація про потокозчеплення ротора. У цьому випадку регулювання у другій зоні не виконується, і потік залишається незмінним під час роботи електроприводу. Регулятор потокозчеплення ротора в цьому випадку матиме вигляд (для статичного режиму):

$$R_{\psi r}(p) = W_r^{-1}(0) = \frac{1}{l_m}, \quad (3.18)$$

$$R_{\psi r}(p) = \frac{1}{4,06} = 0,24$$

Система не розрахована на керування потокозчепленням у динаміці та чутлива до зміни параметрів магнітного ланцюга, які залежать від насичення. У цьому випадку динаміка розімкнутої системи визначається постійною часу T_{rT_rTr} , яка значно більша за $T_{\mu T_mT_{\mu}}$. При зміні навантаження, як показують дослідження, через нагрівання суттєво змінюється опір ротора, що впливає на T_{rT_rTr} .

Синтез регулятора електромагнітного моменту. Регулятор моменту представлений у вигляді зворотної ланки електромагнітного моменту. Оскільки потокозчеплення ротора не змінюється, воно виступає в регуляторі як коефіцієнт:

$$R_m(p) = \frac{1}{k_r \cdot \psi_r}; \quad (3.19)$$

$$\omega_{\psi r} = \omega + \beta_{\psi r} \quad (3.20)$$

$$i_{xy} = \frac{I_{SX,ном}}{I_B} = \frac{179,75}{188} = 0,956.; \quad (3.21)$$

$$\beta_{\psi r} = \frac{k_r \cdot r_r}{\psi_r} \cdot i_{xy}; \quad (3.22)$$

$$\beta_{\psi r} = \frac{0,98 \cdot 0,019}{\psi_r} \cdot 0,956 = \frac{0,017}{\psi_r} \quad (3.23)$$

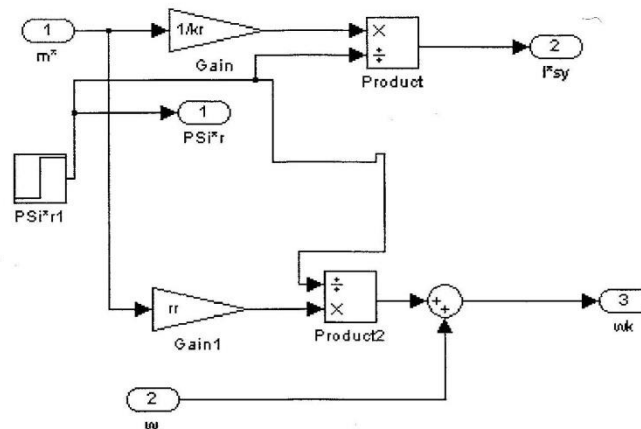


Рисунок 3.9 – Структура регулятора моменту у Simulink пакету MATLAB

Передавальна функція розімкнутої системи має вигляд:

$$\Phi_m(p) = R_m(p) \cdot G_i(p) \cdot W_m(p) = G_i(p) = \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1} \quad (3.24)$$

Контур моменту має високу швидкодію, але на динаміку впливає зміна

потокочеплення ротора.

Синтез регулятора кутової швидкості:

Вимоги до електроприводу допускають відносне падіння швидкості на 5%, тому можна використовувати П-регулятор швидкості. Проте для задоволення вимог до САР необхідно застосувати ПІ-регулятор швидкості. При синтезі ігноруємо статичний момент навантаження.

Тому синтезуватимемо ПІ-регулятор швидкості, при якому на вході системи з'являється вхідний фільтр.

Передавальна функція регулятора швидкості має вигляд:

$$R\omega(p) = \frac{T_{\omega}'p + 1}{T_{\omega}'p} \cdot \frac{T_i + 1}{T_{\omega}} \quad (3.25)$$

де $T_{\omega} = 2 \cdot T_i = 4 \cdot T_{\mu} = 0,002$,

$T_{\omega}' = 2 \cdot T_{\omega} = 4 \cdot T_i = 8 \cdot T_{\mu} = 0,004$.

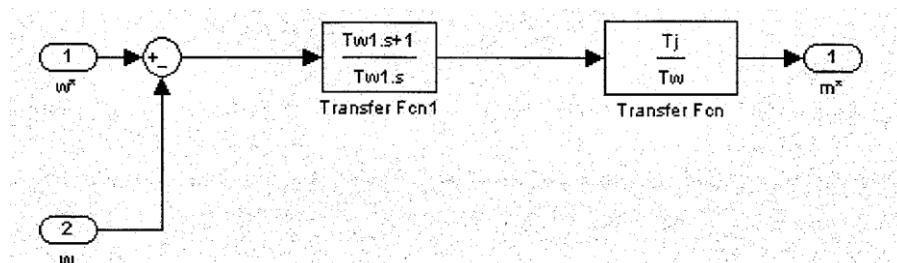


Рисунок 3.10 – Структура регулятора швидкості у Simulink пакету MATLAB

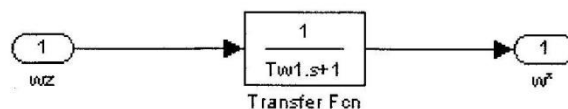


Рисунок 3.11 – Структура вхідного фільтра у Simulink пакету MATLAB

Задатчик інтенсивності:

Типова передавальна функція розімкнутої системи регулювання

швидкості, налаштована на симетричний оптимум, має наступний вигляд:

$$\Phi_{\omega}(p) = \frac{8T_{\mu} + 1}{8T_{\mu}p} \cdot \frac{1}{4T_{\mu}p} \cdot \frac{1}{2T_{\mu}^2p^2 + 2T_{\mu}p + 1}; \quad (3.26)$$

Типова передавальна функція замкнутої системи за керуючим впливом має такий вигляд:

$$G_{\omega}^{\omega}(p) = \frac{1}{64T_{\mu}^4p^4 + 64T_{\mu}^3p^3 + 32T_{\mu}^2p^2 + 8T_{\mu}p + 1} \quad (3.27)$$

Типова передавальна функція замкнутої системи за обурювальним впливом має наступний вигляд:

$$G_{Mc}^{\omega}(p) = \frac{2T_{\mu}^2p^2 + 2T_{\mu}p + 1}{64T_{\mu}^4p^4 + 64T_{\mu}^3p^3 + 32T_{\mu}^2p^2 + 8T_{\mu}p + 1} \cdot \frac{32T_{\mu}^2p}{T_j} \quad (3.28)$$

$$tm = 18 \cdot T_{\mu} = 18 \cdot 0,0005 = 0,09; \quad t_{п.п} = 22,5 \cdot T_{\mu} = 22,5 \cdot 0,0005 = 0,0113; \quad \sigma = 6.2\%;$$

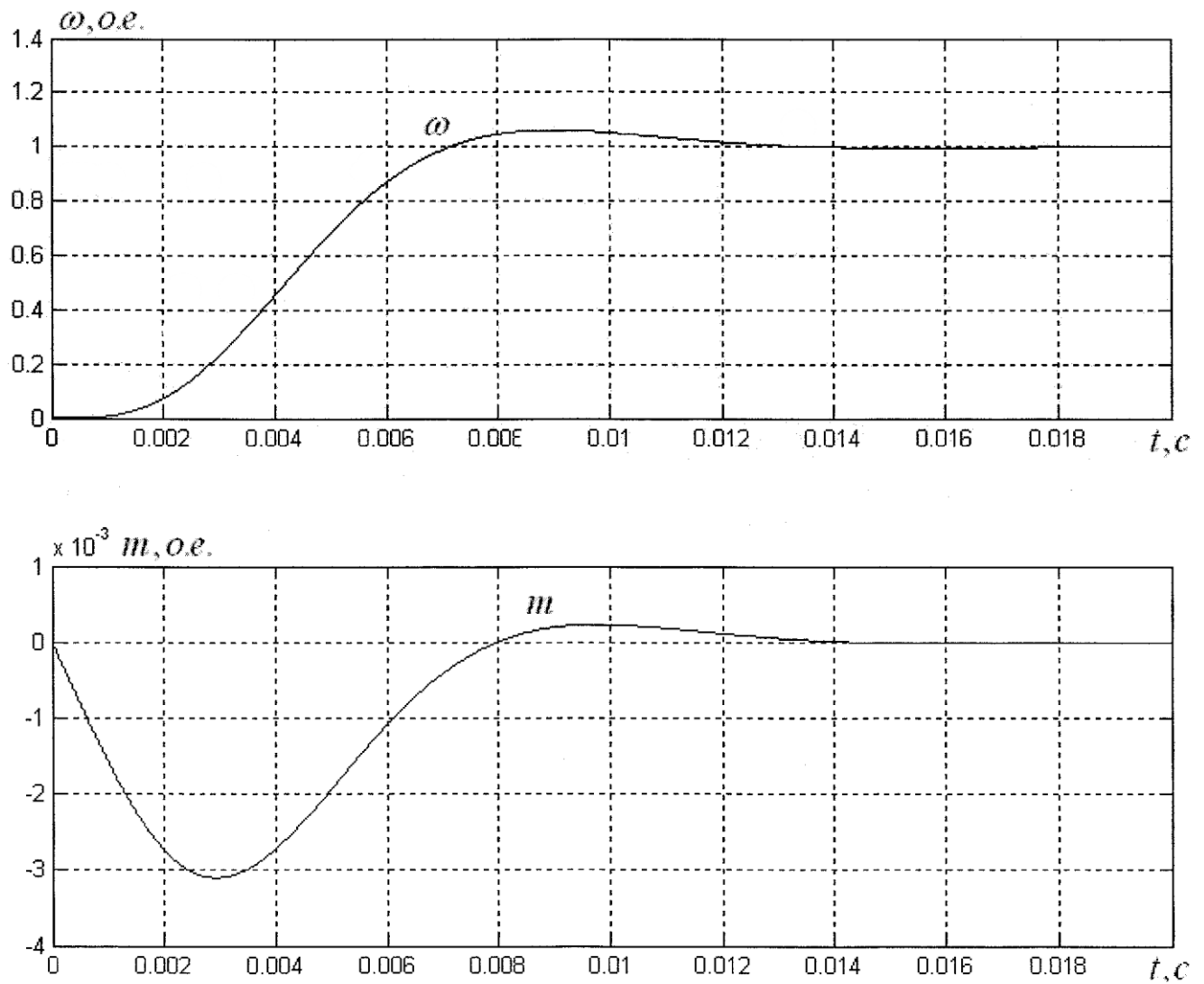


Рисунок 3.12 – Перехідні процеси за швидкістю контуру

$$t_{\text{вс}} = 3,86 \cdot T_{\omega} = 3,86 \cdot 0,002 = 0,0077; \sigma = 54\%$$

Механічні характеристики системи є абсолютно жорсткими, оскільки в усталеному режимі значення передавальної функції за обурювальним впливом:

$$G_{Mc}^{\omega}(0) = 0 \quad (3.29)$$

$$k_{PC} = \frac{T_j}{T_{\omega}}$$

$$k_{PC} = \frac{0,89}{0,002} = 445$$

$$T_{PC} = \frac{T_{\omega} \cdot T'_{\omega}}{T_j}$$

$$T_{PC} = \frac{0,002 \cdot 0,004}{0,89} = 0,0000089$$

Для забезпечення більш плавного пуску (без ударних моментів) здійснюється попереднє намагнічування двигуна протягом 1 секунди відповідно до встановленого параметра. У порівнянні з розрахунковою тахограмою, спостерігаються деякі перехідні процеси та коливання моменту. Це пов'язано з тим, що математична модель перетворювача частоти представлена не у вигляді коефіцієнта передачі, а як ряд ланок і враховує його дискретність. Значення максимального моменту збігається з розрахунковим. При значенні некомпенсованої постійної часу 0.0005 секунд, використання ПП-регулятора швидкості забезпечує перехідний процес за швидкістю, який практично не відрізняється від завдання. Під час відпрацювання тахограми привід утримує навантаження певний час, необхідний для накладання механічного гальма, як описано при налаштуванні параметрів перетворювача частоти.

Початкові параметри моделювання:

$$\psi_N = \frac{\psi_{TN}}{\psi_B}$$

$$\psi_N = \frac{0,802}{0,863} = 0,93 \text{ о.}$$

$$M_N = M_B = 731 \text{ Нм,}$$

$$m_c = \frac{731}{731} = 1 \text{ о.}$$

$$t = 3,5.$$

$$\omega_3 = 1$$

$t = 0,5 \text{ c.}$

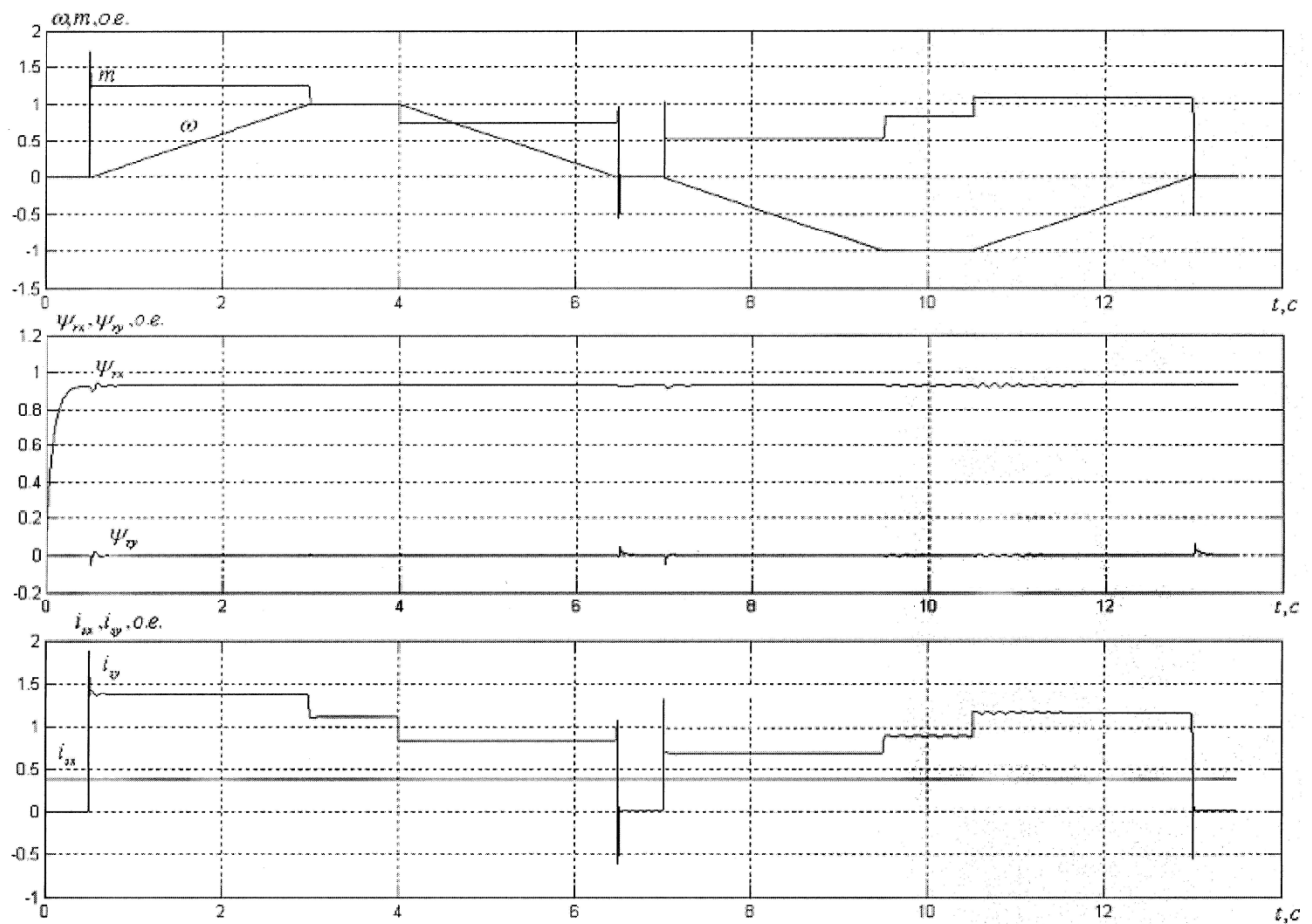


Рисунок 3.13 – Тахограми з використанням частотно-регульованого електроприводу

3.4 Моделювання системи керування та аналіз показників якості регулювання

Під механічною характеристикою прийнято розуміти залежність частоти обертання ротора функції від електромагнітного моменту $n = f(M)$. Цю характеристику можна отримати, використовуючи залежність $M = f(S)$ та перерахувавши частоту обертання ротора при різних значеннях ковзання.

При живленні АТ від ідеалізованого ПЧ, як джерела напруги, його механічна характеристика при $U_1 = \text{const}$ і $f_1 = \text{const}$ визначається відповідно до схеми заміщення, представленої на рис. 3.14 як :

$$M = \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot R_2'}{\omega_{он} \cdot Sa \cdot \left[\left(\frac{R_1 + c_1 \cdot R_2'}{S} \right)^2 + (\alpha \cdot x_1 + c_1 \cdot \alpha \cdot x_2') \right]} \quad (3.30)$$

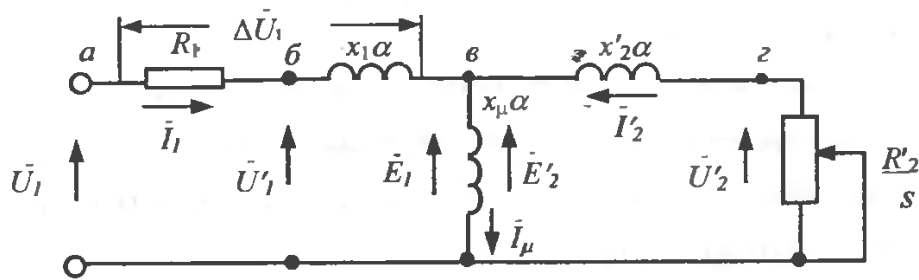


Рисунок 3.14 – Схема заміщення фази АТ при частотному регулюванні джерела напруги

У цій формулі для розрахунку моменту використовуються такі величини:

$$U_1 = k_{осн} \cdot f, \quad (3.31)$$

де, U_1 - чинне значення напруги на обмотках статора; $k_{осн} = \frac{U_\phi}{f_n} = \frac{380}{50} = 7,6$;

f - Вибрана частота регулювання; R_2' - активний опір обмотки ротора, наведений до ланцюга статора $R_2' = 0,0422 \text{ Ом}$; $\omega_{он}$ - синхронна швидкість обертання магнітного поля за номінальної частоти 50 Гц.

$$\omega_{он} = \frac{2\pi \cdot f_n}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{4} = 78,5 \text{ рад/с}, \text{ де } p=4 - \text{кількість пар полюсів};$$

$$Sa = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_{он}} - \text{абсолютне ковзання, що дорівнює відношенню відхилення}$$

швидкості двигуна ω від швидкості поля ω_0 за будь-якої частоти до швидкості обертання магнітного поля при номінальній частоті 50 Гц;

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f}{p} - \text{швидкість обертання поля за будь-якої обраної частоти } f$$

R_1 - активний опір обмотки статора, що дорівнює 0,0422 Ом;

c_1 - модуль коефіцієнта, що характеризує розсіювання статора АТ,

приймаємо рівним 1,02;

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1n}} = \frac{f_1}{50} - \text{відносна частота напруги статора};$$

$x_1=0.17$ Ом – індуктивний опір обмотки статора;

x_2' - індуктивний опір розсіювання обмотки ротора, наведений до ланцюга статора, що дорівнює 0,35 Ом.

Швидкість двигуна ω вважається так: $\omega = \omega_0 \cdot (1 - S)$.

Розрахунок показників проведемо для 3-х значень частот:

50Гц, 25Гц та 10 Гц.

Розрахунок постійних при цій частоті властивостей наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення постійних параметрів за заданої частоти

Параметр	Значение
f	50
ω_0	78,54
U1	380
косн	7,6
α	1

Таблиця 3.2 – Ряд значень параметрів за зміни ковзання від 0 до 1

Параметр	Значение											
S	0,0001	0,004	0,008	0,01	0,02	0,04	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Sa	1E-04	0,004	0,008	0,01	0,02	0,04	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
ω	78,5	78,2	77,9	77,8	77,0	75,4	70,7	62,8	47,1	31,4	15,7	0,0
M	3,2	128,7	256,5	319,8	626,1	1154,0	1862,8	1644,7	1017,0	709,1	540,5	435,7

Таблиця 3.3 – Значення постійних параметрів при $f = 25$ Гц

Параметр	Значение
f	25
ω_0	39,27
U1	190
косн	7,6
α	0,5

Таблиця 3.4 – Ряд значень параметрів при зміні ковзання від 0 до 1 за $f = 25$ Гц.

Параметр	Значение											
S	0,0001	0,004	0,008	0,01	0,02	0,04	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Sa	5E-05	0,002	0,004	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
ω	39,3	39,1	39,0	38,9	38,5	37,7	35,3	31,4	23,6	15,7	7,9	0,0
M	1,6	64,4	128,6	160,5	317,5	608,8	1180,3	1310,2	942,6	684,0	529,4	429,9

Висновки до розділу 3

Теоретичний синтез системи автоматичного керування шахтним підйомником дозволяє зробити наступні висновки:

1. Розробка математичної моделі САК:

Створено математичну модель системи автоматичного керування (САК) шахтним підйомником, яка точно описує динаміку роботи асинхронного електропривода та його взаємодію з механічною системою підйомника. Модель враховує всі основні параметри та вплив зовнішніх факторів, що дозволяє проводити точні розрахунки та оптимізувати роботу системи.

2. Розробка структурної схеми САК:

Розроблено структурну схему САК, що визначає основні компоненти системи, їх функції та взаємодію. Це дозволяє краще зрозуміти архітектуру системи та спрощує процес її реалізації та налаштування.

3. Синтез алгоритмів керування:

Проведено синтез алгоритмів керування, які забезпечують ефективне та точне регулювання швидкості і позиціонування шахтного підйомника. Алгоритми розроблені з урахуванням вимог до надійності, швидкодії та стабільності роботи системи, що дозволяє забезпечити високий рівень безпеки та продуктивності.

4. Моделювання регулювання:

Виконано моделювання процесів регулювання роботи шахтного підйомника з використанням розробленої математичної моделі та алгоритмів керування. Моделювання дозволило виявити оптимальні параметри системи та

підтвердити ефективність розроблених алгоритмів керування. Отримані результати показують високу точність та надійність системи, а також її здатність адаптуватися до змінних умов роботи.

Загалом, теоретичний синтез системи автоматичного керування шахтним підйомником дозволив створити ефективну модель та алгоритми керування, які забезпечують надійну та безпечну роботу підйомника. Це є важливим кроком до практичної реалізації системи, що сприятиме підвищенню продуктивності та безпеки гірничих робіт.

ВИСНОВКИ

В ході виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра було поставлено та досягнуто мету, а саме: розроблено ефективну та надійну систему автоматичного керування асинхронним електроприводом шахтного підйомника з векторним керуванням швидкістю. Основні результати та досягнення дослідження включають:

1. Аналіз сучасних методів векторного керування:

Проведено детальний аналіз існуючих підходів до векторного керування асинхронними електроприводами. Визначено переваги та недоліки різних методів, що дозволило обрати найбільш ефективні підходи для розробки системи керування шахтним підйомником.

2. Розробка математичної моделі:

Створено математичну модель, яка точно описує динаміку роботи асинхронного електропривода в умовах шахтного підйомника. Модель враховує всі основні параметри системи, включаючи механічні та електричні складові, що забезпечує можливість точного розрахунку і оптимізації роботи підйомника.

3. Синтез алгоритму керування:

Розроблено алгоритм керування, який забезпечує оптимальне регулювання швидкості та позиціонування підйомника. Алгоритм враховує всі вимоги до надійності, ефективності та безпеки, що дозволяє забезпечити стабільну і точну роботу системи в умовах змінних навантажень та інших зовнішніх факторів.

4. Комп'ютерне моделювання та симуляція:

Виконано комп'ютерне моделювання та симуляцію роботи розробленої системи керування з використанням програмних засобів, таких як MATLAB/Simulink. Моделювання підтвердило ефективність та надійність розроблених алгоритмів, а також дозволило оптимізувати параметри системи

для досягнення найкращих результатів.

5. Експериментальна перевірка:

Проведено експериментальну перевірку розробленої системи на реальному обладнанні. Результати експериментів підтвердили високу ефективність, надійність та безпеку роботи системи автоматичного керування асинхронним електроприводом шахтного підйомника з векторним керуванням швидкістю.

Загалом, дослідження довело, що розроблена система автоматичного керування значно покращує продуктивність, енергоефективність та безпеку роботи шахтного підйомника, що має важливе значення для гірничої промисловості. Отримані результати можуть використовуватись для подальшого вдосконалення технологій автоматизації та управління в цій галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ліфти: види, технічні параметри, режими експлуатації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://translift.com.ua/ua/statti/lifti_-vidi_-tehnichni-parametri_-rejimi-ekspluatatsiyi.html

2/ Павленко Т. П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / Т. П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 132 с.

3. НПАОП 0.00-1.02-08 Правила будови і безпечної експлуатації ліфтів. Наказ від 01.09.2008 № 190 Про затвердження Правил будови і безпечної експлуатації ліфтів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=25033

4. ШАХТНИЙ ТРАНСПОРТ І ПІДЙОМ [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://softabccomua.wordpress.com/%D1%88%D0%B0%D1%85%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82-%D1%96-%D0%BF%D1%96%D0%B4%D0%B9%D0%BE%D0%BC/>

5. Транспортні системи гірничих підприємств (шахти та збагачувальні фабрики): навч. посіб. / З. Р. Маланчук, В. Я. Корнієнко, М. М. Марчук та ін. [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2020. – 157 с.

6. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – 366 с

7. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П.Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.

8. Сосков А.Г., Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка:

Підручник. / За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2015. – 536 с.

9. Загальні відомості про ліфти й основи їхнього розрахунку [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/ptm/2020/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9%20%D0%9B%D1%96%D1%82%D1%84%D0%B8%20%D1%96%20%D0%BF%D1%96%D0%B4%D0%B9%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8.pdf>

10. КАБІНЕТ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ ПОСТАНОВА від 21 червня 2017 р. N 438 Київ Про затвердження Технічного регламенту ліфтів і компонентів безпеки для ліфтів.

11. Автоматизація технологічних процесів підземних гірничих робіт: підручник /А.В. Бубліков, М.В. Козарь, С.М. Проценко та ін.; під заг. ред. В.В. Ткачова. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 304 с.

12. Бондаренко І.М., Бородін О.В., Карнаушенко В.П. Мікропроцесорні системи контролю та керування: Навч. посібник для студентів ЗВО. – Харків: ХНУРЕ. – 2020. – 244 с.

13. Автоматизація процесу управління вантажним ліфтом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/158793>

14. ARRAY ELECTRONIC CO., LTD [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.array.com.cn>

15. Zelio Logic [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/531-zelio-logic/>

16. Промислові контролери Mitsubishi Electric, Alpha 2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://chastotnik.ua/ru/plc/Mitsubishi_Electric;Alpha_2;PLC

17. Logo Siemens [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoyi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/lohichnyy-modul-logo.html>

18. ACE-540A [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://icpdas.com.ua/accessories/power-supply/ace-540a.html>

19. Автоматизовані системи [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://sites.google.com/view/hmcinformatic/%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96-%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%97/%D1%81%D0%BB%D1%8E%D1%81%D0%B0%D1%80-%D0%B7-%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%83-%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%81%D0%BD%D0%B8%D1%85-%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%BD%D0%B8%D1%85-%D0%B7%D0%B0%D1%81%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%B2/2-%D1%80%D0%BE%D0%B7%D1%80%D1%8F%D0%B4/%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%96-%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B8>

20. Алексєєв, В.І. Системи автоматичного керування асинхронними електроприводами. – Київ: Видавництво НТУУ «КПІ», 2015.

21. Гончар, С.А. Моделювання та оптимізація систем керування електроприводами. – Львів: Вид-во ЛНУ, 2013.

22. Чорний, І.В. Розробка та оптимізація алгоритмів керування електроприводами. – Львів: Вид-во ЛНУ, 2015.

ДОДАТОК А

Охорона праці

А.1 Потенційні небезпеки і шкідливості на об'єкті дослідження

В даній бакалаврській роботі досліджується і розробляється система автоматичного управління видобувним комбайном з винесеною системою подачі з приводами на основі електромагнітних гальм ковзання.

Видобувні комбайни є основною і важливою вуглевидобувною технікою на шахтах України.

Вугільна шахта – це гірниче підприємство підвищеної небезпеки, під час виробничої діяльності в підземних виробках якої можуть виникнути небезпечні та шкідливі виробничі чинники (НШВЧ), від дії яких працівники мають бути захищені.

До НШВЧ на підприємстві відносяться:

- рухомі частини виробничого обладнання;
- підвищена температура поверхонь обладнання;
- підвищена температура повітря робочої зони (несприятливий мікроклімат);
- підвищений рівень шуму та вібрації від обладнання;
- підвищене значення напруги в електромережі;
- підвищений вміст метану, вугільного пилу;
- значна фізична напруга;
- відсутність або нестача природного освітлення.

Комбайн експлуатується згідно з вимогами «Правил техніки безпеки, що діють, для вугільних шахт», технічних стандартів для експлуатації електрообладнання у вугільних шахтах.

При виїмці пластів небезпечних по раптових викидах вугілля і газу застосовується дистанційне управління комбайном.

А.2 Основні шкідливі виробничі фактори, що впливають на умови праці робітників відділу АСУ ТП

До основних шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, пов'язаних з роботою на персональному комп'ютері належать: напруга зорових органів та перевтомлення очей; навантаження на кисті рук та пальці; тривале знаходження в статичному стані, що викликає застійні явища в організмі; випромінювання різного виду (рентгенівське, електромагнітне, інфрачервоне, статистичні поля); механічні шуми, пов'язані з роботою кулера, дискового приводу, оргтехніки; іонізація повітря; виділення в повітря робочого приміщення різних хімічних речовин (озон, триметілфосфат, біфеніли); небезпека статичної електрики.

До психологічно шкідливих факторів можна віднести розумову напругу та нервово-емоційне перевантаження, які виникають внаслідок підвищеної концентрації уваги. Усі ці фактори негативно впливають на здоров'я працівників відділу АСУ ТП та сприяють виникненню професійних захворювань: комп'ютерний зоровий синдром; радіохвильова хвороба; синдром висихання рогівки ока; кистьовий тунельний синдром; захворювання шкіри; захворювання кишкового тракту; серцево-судинні захворювання; комп'ютерна алергія.

А.3 Заходи щодо поліпшення умов праці робітників відділу АСУ ТП

Для зменшення шкідливого впливу негативних факторів виробничого середовища на працівників відділу АСУ ТП необхідно вжити заходів щодо поліпшення їх умов праці: при облаштуванні робочих місць з ПК не допускати розміщення комп'ютеру у підвальних приміщеннях; приміщення має бути обладнане системою опалення, кондиціонування повітря, вентиляцією; для боротьби зі статичним полем підтримувати відносну вологість повітря на рівні 50-60% за допомогою кондиціонування, для підлоги використовувати матеріали з антистатичного матеріалу; дотримуватися параметрів: площа на

одного працюючого – 6 м², об'єм – 20 м³; відстань від робочого місця з ПК до стіни з вікном повинна становити не менше ніж 1,5 м, від інших стін – на відстані 1 м, а відстань між столами – 1,5 м; не застосовувати для обробки приміщення полімерні матеріали, що виділяють шкідливі хімічні речовини; відстань від екрану комп'ютера до очей повинна складати 50-70 см; час праці за ПК не повинен перевищувати 20 годин на тиждень, при цьому робити перерву кожні 45 хвилин на 5 хвилин.

Для зменшення шкідливого впливу негативних факторів виробничого середовища робоче місце з ПК повинно відповідати наступним гігієнічним вимогам: екран та клавіатура повинні розташовуватись на оптимальній відстані від очей користувача, що становить 600...700 мм; висота робочої поверхні робочого столу має регулюватися в межах 680...800 мм; робочий стіл повинен мати простір для ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги - ніж 650 мм.

Для зменшення негативного впливу мобільного апарату необхідно: скоротити до мінімуму час розмови по телефону; обирати мобільний телефон з мінімальним значенням SAR (Specific Absorbtion Rate). SAR – одиниця виміру питомої величини поглинання випромінювання організмом людини; максимальна потужність випромінювання телефону. Максимальне значення SAR у Європі складає 2 Вт/кг;[4] підносити термінал до вуха після з'єднання з абонентом. Під час здійснення з'єднання збільшується потужність випромінювання телефону.

Згідно з приведеними вимогами можемо розробити схему необхідного розташування робочих місць, яка приведена на рис. 4.1:

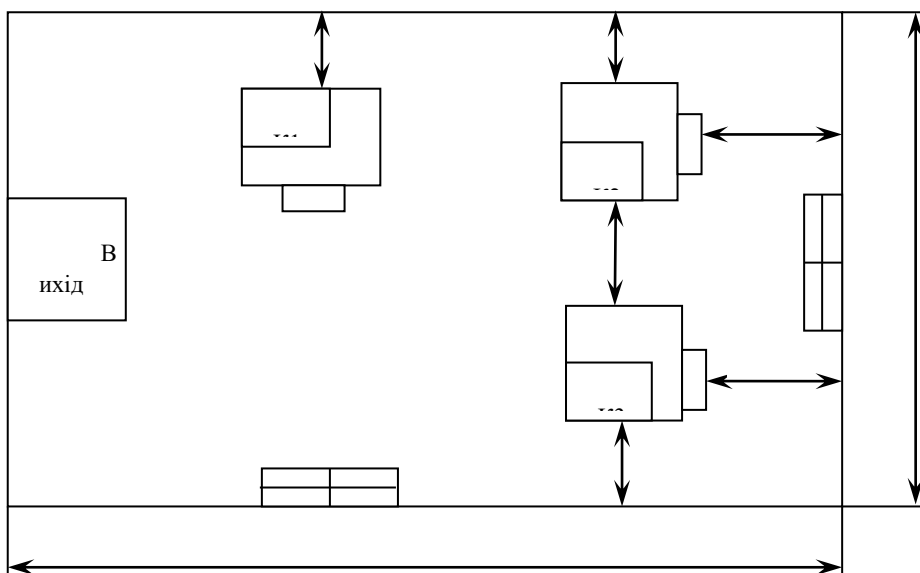


Рисунок А.1 – Облаштованість робочих місць із ПК

Таким чином, дотримано всіх вимог. При цьому працюючі не звернені обличчям до вікна при роботі за комп'ютером.

А.4 Розрахунок кондиціонування та вентиляції для відділу АСУ ТП

У відділі АСУ ТП є джерела екстремальних температур, тому необхідно визначити необхідні умови їх вентилявання. Витрату повітря у відділі з додатковим тепловиділенням визначаємо по формулі:

$$L = \frac{Q_{над}}{c \cdot p (t_в - t_н)}, \quad (A.1)$$

де $Q_{над}$ - надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.;

c - теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p - обсягова вага повітря (1,226 кг/ м³);

$t_в$ - температура витяжного повітря (26°С);

$t_н$ - температура повітря, що притікає (18°С).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла по формулі:

$$Q_{над} = Q_{уст} + Q_{пер} + Q_{осв} + Q_{ср}, \quad (A.2)$$

де $Q_{уст}$ - виділення тепла від устаткування;

$Q_{пер}$ - виділення тепла робітниками;

$Q_{осв}$ - надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{ср}$ - надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування по формулі:

$$Q_{уст} = P \cdot K_a \cdot K_b \cdot 860 \text{ ккал/год}, \quad (A.3)$$

де P - сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a - коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_b - коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$Q_{уст} = [(x_1 \cdot k_1) + (x_2 \cdot k_2) + (x_3 \cdot k_3) + (x_4 \cdot k_4)] \cdot K_a \cdot K_b \cdot 860 \text{ ккал/год}, \quad (A.4)$$

де x - кількість системних блоків, моніторів, принтерів, кондиціонерів відповідно; k - потужність системних блоків, моніторів, принтерів, кондиціонерів відповідно.

Розрахуємо:

$$Q_{уст} = [(3 \cdot 0,5) + (3 \cdot 0,1) + (1 \cdot 0,4) + (1 \cdot 6,3)] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 490,2 \text{ ккал/год}. \quad (A.5)$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою формули:

$$Q_{\text{пер}} = n \times g, \quad (\text{A.6})$$

де n - кількість працюючих;

g - кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.)

Розрахуємо:

$$Q_{\text{пер}} = 6 \times 100 = 600 \text{ ккал/год.} \quad (\text{A.7})$$

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення по формулі:

$$Q_{\text{осв}} = E_{\text{м}} \cdot g_1 \cdot S, \quad (\text{A.8})$$

де $E_{\text{м}}$ – нормована освітленість для цієї зорової роботи, приймаємо рівним 400 лк;

g_1 – питома тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

S – площа приміщення, м².

Розрахуємо:

$$Q_{\text{осв}} = 400 \cdot 0,05 \cdot 45,44 = 908,8 \text{ ккал/год.} \quad (\text{A.9})$$

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна по формулі:

$$Q_{\text{ср}} = F \cdot g_2 \cdot K_{\text{осл}}, \quad (\text{A.10})$$

де F - площа віконних прорізів (1,55 м²);

g_2 - кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.);

$K_{\text{осл}}$ - коефіцієнт ослаблення, приймаємо - 0,4.

Розрахуємо:

$$Q_{cp}=1,55 \cdot 65 \cdot 0,4 = 40,3 \text{ ккал/год.} \quad (A.11)$$

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{над} = 490,2 + 600 + 908,8 + 40,3 = 2039,3 \text{ кал/год.} \quad (A.12)$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{2039,3}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (26 - 18)} = 877,31 \text{ м}^3 / \text{год} \quad (A.13)$$

Існуюча в наявності система вентилявання має продуктивність 600 куб. м./годину, але це не задовольняє необхідним нормативам. Потрібно замінити функціонуючу систему вентилявання на більш потужнішу. Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря і відносна вологість у холодні періоди року повинна складати 22-24 градуса по Цельсію, 0,1 метра в секунду і 40-60 % відповідно. У теплі періоди року температура повітря повинна складати 23-25 градусів Цельсія, рухливість повітря 0,1-0,2 метрів секунду, вологість 40-60 %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним відділу АСУ ТП.

А.5 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання

Розміри відділу: довжина ($a=7,1$ м), ширина ($b=6,4$ м), висота ($h=3$ м). Визначимо норми освітлення для та розрахункову висоту для виділених зон. Мінімальна освітленість за нормами $E=400$ лк. Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття - $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,5$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=400$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою:

$$h_0 = H - h_c = 3 - 0,5 = 2,5 \text{ м.} \quad (\text{A.14})$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНіП П-4-79 повинна бути у межах 2,5 - 4,0 м, залежно від характеристики світильника. В нашому випадку по відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 2,5 - 0,7 = 1,8 \text{ м.} \quad (\text{A.15})$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) і висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками:

$$L = 0,7h = 0,7 \cdot 1,8 = 1,26 \text{ м.} \quad (\text{A.16})$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників:

$$N = \frac{ab}{L^2} = \frac{7,1 \cdot 6,4}{1,16^2} = 33,77 \approx 35 \quad . \quad (A.17)$$

Приймаємо 35 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у 3 ряди по 7 штук.

- 5) Світловий потік лампи світильника визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} \text{ ккал/год} \quad , \quad (A.18)$$

де E - нормативна освітленість, лк;

K_3 - коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп (1,5);

S - площа приміщення, що освітлюється, м^2 ;

Z - коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розжарювання (=1,15);

N - кількість світильників;

n - кількість ламп у світильнику;

η - коефіцієнт використання світового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

- 6) Визначимо показник приміщення для кожної зони:

$$i = \frac{ab}{h(a+b)} = \frac{7,1 \cdot 6,4}{1,8 \cdot (7,1 + 6,4)} = 1,8 \quad . \quad (A.19)$$

7) З таблиці 3.25 [2] знаходимо коефіцієнт використання ($\eta = 0,52$) для світильників УПМ-15 (при $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$).

8) Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за

конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{400 \cdot 45,44 \cdot 1,5 \cdot 1,15}{35 \cdot 0,52} = 1722,73 \text{ лм} \quad (\text{A.20})$$

9) З таблиці 3.27 [2] обираємо лампу БК (біспіральна криптонова) потужністю 100 Вт, світловий потік якої становить 1450 лм. Хоча це значення менше розрахованого на 14%, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Delta\Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$\Sigma P_{\text{св}} = P \cdot N = 100 \cdot 35 = 3,5 \text{ кВт.} \quad (\text{A.21})$$

А.6 Пожежна безпека

У приміщенні відділу АСУ ТП основні міри для забезпечення пожежної безпеки визначає Інструкція про заходи пожежної безпеки для службових приміщень. Вона є обов'язковою для виконання всіма співробітниками. В інструкції про засоби пожежної безпеки для службових приміщень забороняється: улаштовувати тимчасові електромережі, застосовувати саморобні плавкі вставки в запобіжниках, прокладати електричні проводи безпосередньо по пальній основі, експлуатувати світильники зі знятими ковпаками (розсіювачами), використовувати саморобні подовжувачі, що не відповідають вимогам Правил пристрою електроустановок; пристосовувати вимикачі, штепсельні розетки для підвішування одягу й інших предметів, обгортати електролампи і світильники, заклеювати ділянки електромережі пальною тканиною, папером; використовувати побутові електрокип'ятильники, чайники тощо без непалених підставок, залишати без нагляду включеними в електромережу кондиціонери, комп'ютери, рахункові і друкарські машинки і

т.п.; захищати підступи до засобів пожежогасіння, використовувати пожежні крани, рукави і пожежний інвентар не за призначенням, зберігати документи, різні матеріали, предмети й інвентар у шафах (нішах) інженерних комунікацій; курити (крім спеціально відведених для цього адміністрацією місць, позначених написом «Місце для паління» і забезпечених урною чи попільницею з непаленого матеріалу), проводити зварювальні й інші вогневі роботи без оформлення відповідного дозволу, застосовувати легкозаймисті рідини.

А.7 Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи і виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захищати. Засоби протипожежного захисту в приміщеннях потрібні триматися у справному стані.

У випадку виявлення пожежі слід: негайно повідомити державну пожежну охорону за телефоном «101», вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, своє прізвище; повідомити про пожежу керівництву, а в нічний час черговому охоронцю;

У разі можливості почати гасіння пожежі наявними засобами, організувати зустріч пожежних підрозділів.

При виникненні пожежі у початковій стадії його розвитку випромінюється тепло, токсичні продукти згоряння, імовірні руйнування будівельних споруд. Тому слід як можна швидше провести евакуацію людей із палаючої будівлі. Показником ефективності евакуації є час, протягом якого працівники можуть при необхідності залишити окремі приміщення і будівлю в цілому. Безпека евакуації досягається тоді, коли час евакуації не перевищує час настання критичної фази розвитку пожежі, тобто часу від початку пожежі до досягнення граничних для людини впливів факторів пожежі (критичних

температур, ступені задимлення, зниження концентрації кисню и т.п.). Число евакуаційних виходів повинно бути не менш двох. Вони повинні розташовуватися розосереджено.

Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися у напрямку виходу із будівлі. У кожному приміщенні на видному місці повинен бути вивішений план евакуації при пожежі. При пожежі обов'язково необхідно враховувати небезпечні чинники і механізм їх дії на людину. Користуватися ліфтом категорично забороняється. Шахта ліфта є шляхом для поширення диму і отруйних продуктів горіння, до того ж при пожежі ліфт часто відключають і можна опинитися в пастці при пожежі.

Якщо ви знаходитесь в приміщенні де немає пожежі, но відрізани вогнем, димом, високою температурою від головних шляхів евакуації, то в першу чергу необхідно заважити доступу диму и продуктів горіння в це приміщення. Для чого необхідно негайно закрити усі щілини у дверях та під ними змоченими водою ганчірками, рушниками, робочими халатами та іншим.

Якщо приміщення все ж заповнено димом, необхідно підповзти до вікна, закрити при цьому рот та ніс змоченою тканиною, яка грає роль фільтру та в певної мірі захищає від продуктів горіння.

Рухатись у задимленій зоні поповзом або максимально пригнувшись, необхідно тому що більшість нагрітих газоподібних отруйних речовин та дим збираються у верхній зоні приміщення, окрім цього, в приміщенні при горінні температура на рівні очей людини у 6 разів вище за температуру на рівні полу, до того ж внизу завжди зберігається більша концентрація кисню. Коли ви опинились біля вікна трохи відкрийте його та дихайте через щілину, очікуючи прибуття пожежників. При їх прибутті негайно зверніть на себе увагу. Ніколи не стрибайте через вікно без відомої на це необхідності (кожний другий стрибок з 4-го поверху при пожежі - смертельний).