

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

Автоматика та телекомунікації

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри АТ
В.В. Поцєпаєв

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 2020 р.

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Розробка системи автоматичного керування пересувним рольгангом

Виконав : студент 4 курсу, групи АКТ-16

(шифр групи)

спеціальності

151 Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Юхименко В.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник зав.каф., к.т.н., доц Поцєпаєв В.В.

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

(підпис)

Рецензент

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

(підпис)

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

Студент

(підпис)

Покровськ – 2020 р.

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

Автоматика та телекомунікації

(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____
секретар ДЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Розробка системи автоматичного керування пересувним рольгангом

Виконав студент групи АКТ-16

(підпис, дата)

В.В. Юхименко

(ініціали, прізвище)

Керівник

(підпис, дата)

В.В.Поцєпаєв

(ініціали, прізвище)

Зав. каф. автоматики та телекомунікацій

(підпис, дата)

В.В.Поцєпаєв

(ініціали, прізвище)

Консультанти

(підпис, дата)

Є.В. Лесіна

(ініціали, прізвище)

С.А. Жовтобрух

(підпис, дата)

(ініціали, прізвище)

(підпис, дата)

(ініціали, прізвище)

Нормоконтролер

(підпис, дата)

Д.О.Жуковська

(ініціали, прізвище)

Покровськ – 2020 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації
електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра автоматика та телекомунікації

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ / В.В.Поцєпаєв
“ ____ ” _____ 2020 року

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Юхименку Владиславу Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи автоматичного керування
пересувним рольгангом

керівник роботи: Поцєпаєв В.В., к.т.н., доц

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

затверджені наказом від “ ____ ” 2020 року №

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: НДРС, практика

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

- 1) Аналіз пересувного рольганга як об'єкта керування.
- 2) Обґрунтування напрямку автоматизації.
- 3) Розробка алгоритму, структурної та принципової схеми системи автоматичного керування пересувним рольгангом.
- 4) Заходи з охорони праці.
- 5) Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень).

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	Лесіна Є.В., доцент.		
	Жовтобрух С.А., ст.. викл.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз об'єкта	05.05.2020	
2	Огляд існуючих рішень	08.05.2020	
3	Розробка функціональної схеми	11.05.2020	
4	Вибір технічних засобів	16.05.2020	
5	Отримання математичної моделі	21.05.2020	
6	Синтез регулятора	26.05.2020	
7	Моделювання системи	02.06.2020	
8	Охорона праці	09.06.2020	
9	Оформлення	12.06.2020	

Студент _____ **Юхименко В.В.**

Керівник _____ **Поцепасв В.В.**

Лист зауважень

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Юхименко Владислав Віталійович «Розробка системи автоматичного керування пересувним рольгангом» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2020.

Пояснювальна записка: 73 стор., 38 рис., 2 табл., 15 посилань

Об'єкт розробки – система автоматичного керування пересувним рольгангом.

Мета розробки – вдосконалити систему керування пересувним рольгангом.

Виконаний аналіз систем автоматичного керування пересувним рольгангом, характеристик пересувного рольгангу як об'єкта автоматичного керування, систем автоматичного керування пересувним рольгангом.

Розроблено функціональну та принципову схему системи автоматичного керування пересувним рольгангом. Розроблена самонастроювальна до навантаження система керування та система автоматичного вирівнювання струму двигунів. Вибрано елементну базу розроблюваної системи. Виконано вибір та розрахунок елементів схеми датчиків, що входять до складу системи.

Розроблена математична модель системи автоматичного керування пересувним рольгангом. Виконано моделювання САК пересувним рольгангом, самоналагоджувальної системи, системи вирівнювання струмів за рахунок впливу на контур струму та системи вирівнювання струмів за рахунок впливу на котушку збудження.

Розроблено заходи щодо охорони праці та безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві.

САК, РОЛЬГАНГ, АНОДНИЙ РЕАКТОР, КОНТУР СТРУМУ, КОНТУР ШВИДКОСТІ, РЕГУЛЯТОР ПОЛОЖЕННЯ

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПЕРЕСУВНИМ РОЛЬГАНГОМ

- 1.1 Загальний опис технологічних умов експлуатації пересувного рольгангу
- 1.2 Аналіз характеристик пересувного рольгангу як об'єкту автоматичного керування
- 1.3 Аналіз існуючих рішень щодо розробки систем автоматичного керування пересувним рольгангом
- 1.4 Постановка задачі на розробку системи автоматичного керування пересувним рольгангом

Висновки до розділу 1

2 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПЕРЕСУВНИМ РОЛЬГАНГОМ

- 2.1 Розробка самонастроювальної до навантаження системи керування
- 2.2 Розробка системи автоматичного вирівнювання струму двигунів
- 2.3 Вибір елементної бази розроблюваної системи автоматичного керування пересувним рольгангом
 - 2.3.1 Тиристорний перетворювач
 - 2.3.2 Анодні реактори
 - 2.3.3 Реактор, що виконує функцію згладжування
 - 2.3.4 Обґрунтування параметрів двигуна постійного струму
- 2.4 Вибір та розрахунок елементів схеми датчиків, що входять до складу системи автоматичного керування пересувним рольгангом

2.4.1 Розрахунок коефіцієнта передачі датчика струму

2.4.2 Вибір датчика частоти обертання ДПС

2.4.3 Вибір датчика положення

2.4.4 Розрахунок контуру котушки збудження

Висновки до розділу 2

3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПЕРЕСУВНИМ РОЛЬГАНГОМ

3.1 Розробка загального виду математичної моделі САК пересувним рольгангом

3.1.1 Синтез моделі двигуна постійного струму

3.1.2 Синтез моделі контуру струму

3.1.3 Синтез моделі контуру швидкості

3.1.4 Синтез моделі регулятора положення

3.2 Моделювання САК пересувним рольгангом

3.3 Моделювання самоналагоджувальної системи

3.4 Моделювання системи вирівнювання струмів за рахунок впливу на контур струму

3.5 Моделювання та дослідження системи вирівнювання струмів за рахунок впливу на котушку збудження

Висновки до розділу 3

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА ПІДПРИЄМСТВІ

4.1 Характеристика умов праці науково-дослідного відділу підприємств

4.2 Заходи щодо поліпшення умов праці

4.2.1 Мікроклімат робочого місця

4.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

4.3 Пожежна безпека

4.4 Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

Сучасні темпи розвитку економіки вимагають від підприємств впровадження новітніх прогресивних технологій у технологічний процес виробництва для покращення якості, конкурентоздатності та менших енергетичних витрат готової продукції. Основними напрямками модернізації виробництва є застосування:

- нового більш економного обладнання, виконавчих елементів, які більш надійні, що підвищує їх термін експлуатації, застосування датчиків, які мають більшу роздільну здатність, або апаратної частини з більш швидким реагуванням та інше;

- нових алгоритмів керування, які покращують показники системи в цілому, завдяки яким покращується якість продукції;

- перебудова технологічного процесу виробництва, за допомогою якої зменшується кількість операцій або основні принципи виробництва в цілому, що ведуть до економічної доцільності виробництва .

Найбільш економічно доцільними та доступними методами модернізації виробництва вважається застосування саме перших двох варіантів, які не вимагають, на відміну від третього варіанту, значних витрат часу та грошей на ґрунтовну перебудову виробничого процесу.

Не є винятком й підприємства з виготовлення трубної продукції в Україні, які потребують комплексної модернізації систем автоматичного керування технологічними процесами. Одним з об'єктів, що гостро потребує змін, є пересувний рольганг. У зв'язку зі зростаючими темпами виробництва, необхідно модернізувати існуючу систему керування пересувним рольгангом, а також збільшити його продуктивність та зменшити кількість простоїв через поточні ремонти візка. Існуючі системи автоматики є доволі застарілими, як морально, так і фізично та були спроектовані ще у 80-ті роки. Візок постійно потребує уваги оператора, тому що часто проїжджає позиції. Тому вирішено проаналізувати технологічний процес перевезення труб та розробити методи

покращення характеристик візка. Метою роботи є розробка нової системи автоматизації на основі нових технологій та дослідження її динаміки при перевезенні різних діаметрів труб та різної ваги.

1 АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПЕРЕСУВНИМ РОЛЬГАНГОМ

1.1 Загальний опис технологічних умов експлуатації пересувного рольгангу

Пересувний рольганг № 38, далі ПР, знаходиться в цеху № 4 антикорозійного поліетиленового покриття. ПР служить для перевезення труб від основної лінії подачі труб, по якій може подаватися дві або одна труба для подальшої обробки, до двох ліній обробки. Ці лінії також можуть приймати по дві або одній трубі одночасно, як показано на рисунку 1. Труби подаються на лінії обробки за допомогою рольгангів 39 та 40. Як видно з рисунка 1.1 ПР може позиціонуватися в семи різних позиціях, які залежать від кількості труб узятих на лінії подачі труб і номеру лінії задавання труб (на рис. 1.1 рольганги № 32, 36).

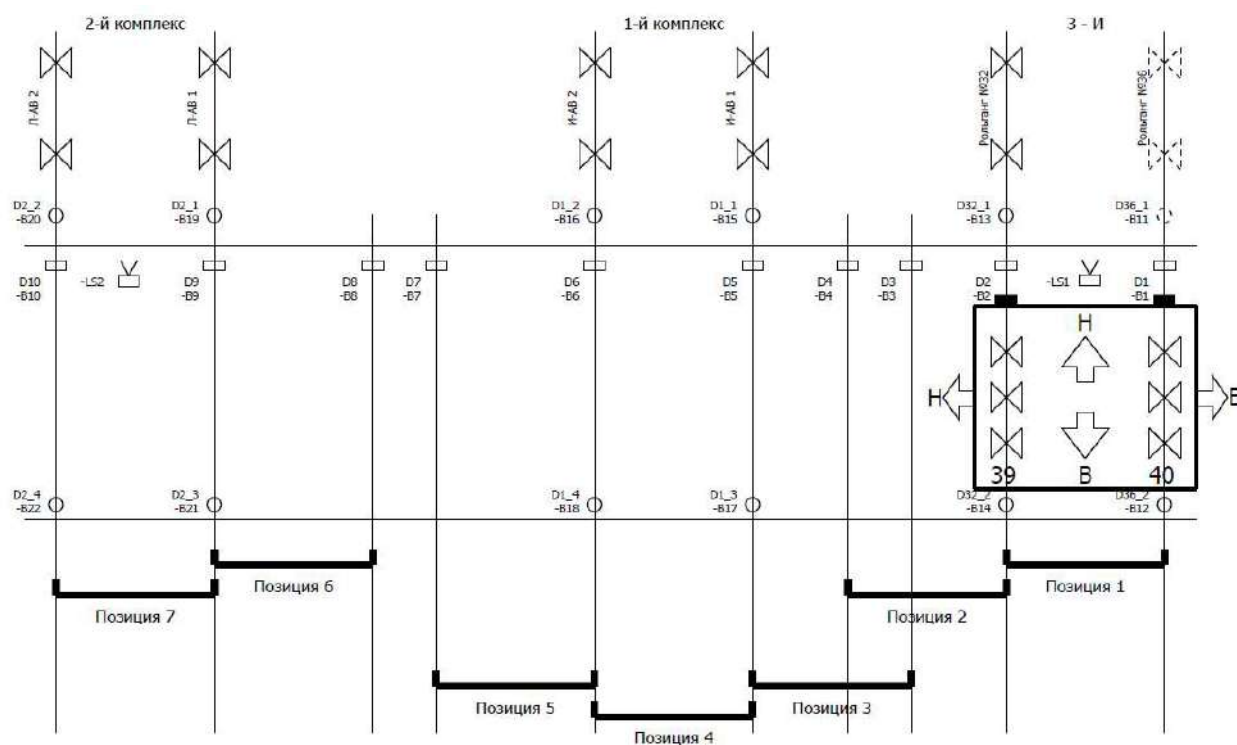


Рисунок 1.1 – Комплексна схема руху пересувного рольгангу

ПР складається з двох транспортних візків, які зв'язані між собою пружним зв'язком за допомогою технології зварювання, як показано на рисунку 1.2.

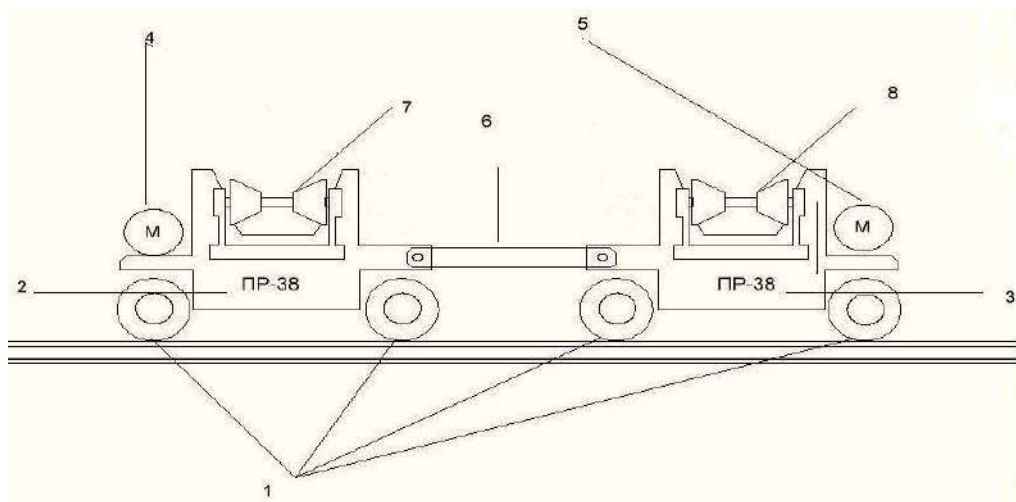


Рисунок 1.2 – схема ПР № 38 (вид збоку)

На рисунку 1.2 введено наступні позначення: 1 – пари ребордових коліс; 2, 3 – транспортний візок 1 та 2, відповідно; 4, 5 – двигуни постійного струму; 6 – зв'язка із використанням технології зварювання; 7, 8 – рольганги для завантаження/відвантаження труб.

Як видно з рисунка 1.2 візок їздить вздовж рейок по прямій траєкторії. Основні характеристики ПР:

- вага візка $m=20\text{т}$;
- діаметр коліс $d=0,8\text{ м}$;
- максимальна швидкість розгону візку від 1,5 до 2 м/с;
- відстань для руху візка 150 м;

ПР зрушується з місця за допомогою двох двигунів постійного струму (ДПС) типу Д808, по два на кожному візку [1]. Один двигун на колісну пару. Кінематичну схему приводу візка зображено на рисунку 1.3. Кожний двигун, зв'язаний з віссю колісної пари через знижувальний редуктор.

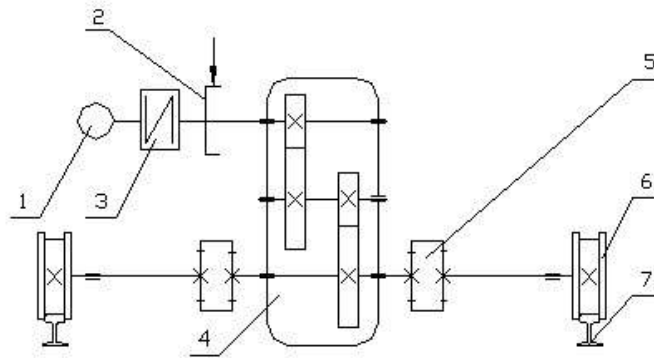


Рисунок 1.3 – Кінематична схема приводу ПР38

На рисунку 1.3 введено наступні позначення: 1 – двигун; 2 – гальма; 3 – муфта пружна втулоково-пальцева; 4 – редуктор; 5 – муфта фланцева; 6 – колесо; 7 – рейка.

Параметри двигуна типу Д808 наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики Д808

Назва параметру	Числове значення
Потужність, P_n	47 кВт
Номінальна напруга, U_n	220 В
Номінальний струм, I_n	240 А
Число полюсів, p	2
Опір якоря, r_a	0,054 Ом
Момент інерції валу, $J_{\text{ов}}$	2 кг/м ²
Частота обертання, ω	770 об/хв
Номінальний магнітний потік, Φ_n	$3,86 \cdot 10^{-2}$ Вб
Число витків обмотки збудження, w_z	1250
Опір обмотки збудження, r_z	44 Ом
Номінальний струм обмотки збудження, I_z	4 А

Транспортний візок рухається від поточної позиції до заданої згідно з

наступним алгоритмом: спочатку візок набирає максимальну швидкість, а коли залишається деяка мала відстань (переважно від 5 до 7 м), то переключається на так звану «повзучу» швидкість (від 0,4 до 0,6 м/с), яка значно менше основної та служить для точного досягнення позиції. Рух з «повзучою» швидкістю значно зменшує продуктивність перевезення труб пересувним рольгангом.

Для визначення позиції ПР уздовж рейкового шляху встановлені герконові датчики D1-D10 на рис. 1.1. На самому ПР встановлений магніт, який замикає геркон, приїжджаючи поряд. При досягненні потрібного датчика двигуни на ПР вимикаються та починається відвантаження труб на технологічні лінії обробки. На обох кінцях шляху стоять також кінцеві вимикачі для припинення руху візка, якщо він перетне граничну точку шляху.

1.2 Аналіз характеристик пересувного рольгангу, як об'єкта автоматичного керування

ПР № 38 є важливим для цеху агрегатом, тому що від його роботи залежить завантаженість чотирьох технологічних ліній покриття. Тому важливими параметрами для цеху є час, за який візок перевозить труби. Враховуючи масу об'єкту, можна сказати, що ПР є досить інерційним об'єктом, який потребує особливої уваги до моментів розгону та гальмування. Двигуни є потужними, в них не повинні виникати перекоси навантаження, які можуть привести до виходу з ладу одного з двигунів. Схема підключення двигунів показана на рисунку 1.4. Як видно з рисунка двигуни під'єднанні до тиристорного перетворювача паралельним зв'язком.

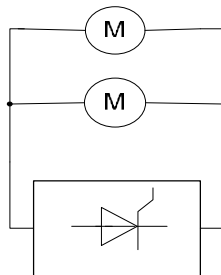


Рисунок 1.4 – Схема підключення двигунів ПР № 38

При такому зв'язку тиристорний перетворювач повинен видавати мінімум напругу 220 В та струму 480 А. Якщо враховувати, що струм якорів може бути $I_{\text{я}} = 1.5 \cdot I_{\text{н}} = 1.5 \cdot 480 = 720 \text{ А}$. Також цей спосіб з'єднання містить у собі недоліки паралельного зв'язку двигунів [1].

Паралельне з'єднання двигунів забезпечує високу демпфуючу здатність в усіх режимах. Його головними недоліками є відсутність індивідуального струмообмеження двигунів і можливість нерівномірного розподілу середніх навантажень між двигунами. Послідовне з'єднання двигунів забезпечує рівність моментів, що розвиваються двигунами у всіх режимах, але є причиною виникнення недемпфованих противофазних коливальних навантажень передач як в перехідних, так і в сталих режимах, і тому може не забезпечити рівномірного розподілу навантаження між валопровадами двохдвигунового електроприводу.

Керування швидкістю обертання двигунами виконувалось за зворотнім зв'язком за е.р.с. одного з двигунів. Цей принцип регулювання є неточним (діапазон регулювання швидкості 1:20), тому що швидкість візка визначається не прямим шляхом за допомогою тахогенератора, а визначається побічно. Схема існуючої системи керування представлена на рисунку 1.5.

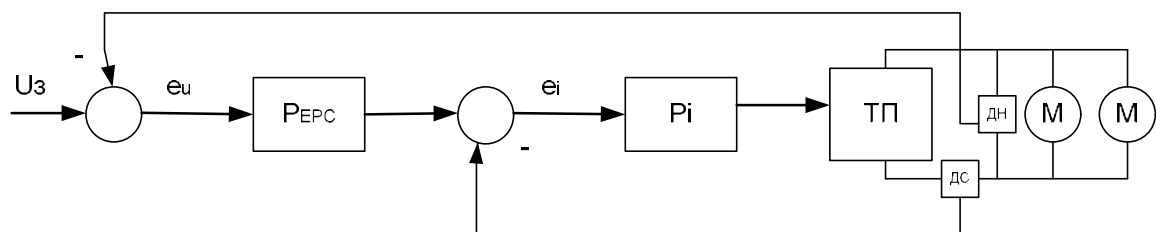


Рисунок 1.5 – Схема керування за е.р.с. двигуна

Схема керування є двоконтурною, де перший, внутрішній контур є контур струму, що містить у собі ПІ-регулятор та датчик струму, а другий – це контур е.р.с. двигуна, що містить у собі регулятор $P_{\text{ЕРС}}$ та датчик е.р.с. Керування двигунами здійснювалося за загальним струмом якорів та напруги

першого двигуна. А на другий двигун подається таж напруга, що і на перший двигун.

Враховуючи всі недоліки, що перераховані вище, пропонується замінити схему з одним тиристорним перетворювачем на індивідуальне живлення.

Найбільш сприятливими динамічними якостями володіє багатодвигунний електропривод з електрично непов'язаними валопроводами. Багатодвигунний електропривод з індивідуальними перетворювачами забезпечує індивідуальні контури демпфування механічних коливань для кожного валопровода, індивідуальне обмеження навантажень приводів, а вирівнювання навантажень двигунів не викликає труднощів [2].

Тому вирішено збудувати систему з підлеглим керуванням для кожного двигуна, що дозволить рівномірно розподілити навантаження на кожен двигун та точне регулювання швидкості ПР. Але налаштування контурів підлеглого керування проводиться на певні параметри, які можуть змінюватись.

1.3 Аналіз існуючих рішень щодо розробки систем автоматичного керування пересувним рольгангом

При зміні параметрів порушуються умови оптимізації, закладені при синтезі відповідних регуляторів, і динамічні показники електроприводу погіршуються. Для збереження показників якості електроприводу в умовах змінності його параметрів виникає задача адаптації. Це завдання вирішується зміною параметрів регуляторів [4].

До змінних параметрів електроприводу можуть бути віднесені:

- момент інерції через зміни маси вантажу в підйомно-транспортних установках, взаємозв'язку механічних координат в багатокоординатних маніпуляторах і роботах; індуктивність в ланцюгах збудження з насиченням магнітної системи;

- коефіцієнт підсилення в керованих перетворювачах через зміни енергетичного рівня джерела живлення;

– активний опір в силових ланцюгах через зміни температурного режиму.

Крім зазначених змінних параметрів на показники якості електроприводу може впливати і змінюваний вплив рівноваги, до якого може бути віднесений важкодоступний вимірюванню момент навантаження. Для нашої задачі параметром, що змінюється, є момент інерції на валу двигунів. Він залежить від маси, що перевозить візок під час експлуатації, а саме від маси труб. Для компенсації зміни цього параметри розглянемо методи усунення цієї проблеми.

У теорії автоматичного керування найбільш детально розроблені безпошуково адаптивні системи керування (БАС) стосовно до електромеханічних систем [4, 5]. У даному типі БАС виділяються два класи: БАС з еталонною моделлю у вигляді динамічної ланки з бажаною динамікою (АСЕМ) (рис. 1.6а); БАС з настроюваною моделлю (НМ) в вигляді адаптивного прилада, що наглядає (АСНМ) (рис. 1.6б).

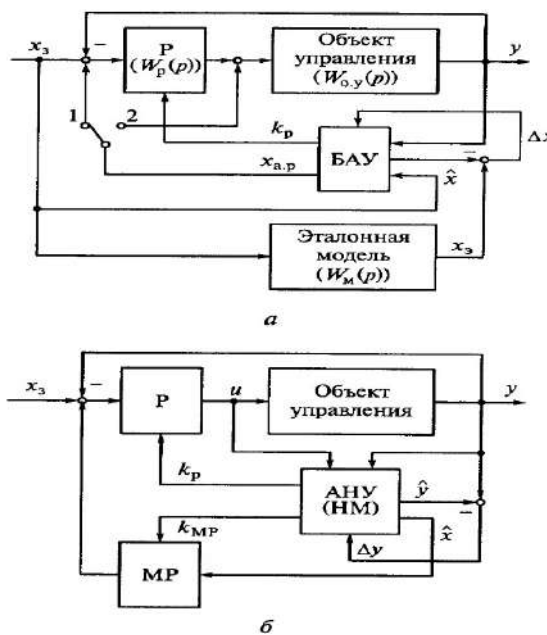


Рисунок 1.6 – Безпошуково адаптивні системи керування з еталонною моделлю(а) та (б)спостерігачем

Для класу АСЕМ параметри регулятора (Р) об'єкта керування налаштовуються до бажаного динамічного процесу, що задається еталонною моделлю. Коригування параметрів (Р), тобто параметрична адаптація,

здійснюється блоком адаптивного керування БАУ. У складі БАУ мається спостерігач пристрій, який оцінює недоступні вимірюванню змінні, і формувач вихідного коригуючого впливу по відхиленнях змінних стану об'єкта керування від змінних стану еталонної моделі x_3 , тобто по різницям $x - \hat{x}$. Вихідний вплив БАУ представляється у вигляді співмножника $k P$, що змінює параметр регулятора (Р), або підсумовуючого сигналу $x_{зр}$, що надходить на вхід (позиція 1 перемикача на рис. 1.6а) або на вихід (позиція 2) регулятора (Р).

Система класу АСЕМ є в загальному випадку складною системою. Трохи простіше виявляється система класу АСНМ, в якій функцію моделі, що налагоджується, (НМ) виконує адаптивний спостерігальний пристрій (АНУ) (рис 1.6б). Принцип самонастроювання АНУ полягає в тому, що значення параметрів об'єкта відновлюються інтегруванням їх похідних, оцінюваних через добуток відповідних оцінок змінних стану і неузгодженості $\Delta y = y - \hat{y}$ між доступної вимірюванню змінної y і її оцінкою $\hat{y}$ [6]. Друге завдання АНУ – сформувати впливи, коригувальні параметри наявного регулятора (параметрична адаптація) або створити необхідні параметри для введеної паралельної корекції (регулятор МР на рис. 1.6б) (сигнальна адаптація). Обидва види адаптації забезпечують автоматично шляхом самонастроювання АНУ закладений оптимальний процес руху об'єкта при різних значеннях його параметрів [3].

Розглянемо варіант електропривода з одним змінним параметром – моментом інерції $J = J_0 + \Delta J$, де $\Delta J = \text{var}$. Якщо створений спостерігач для рухомої частини електроприводу без урахування змін (J), то похідна помилки спостерігача оцінюється величиною:

$$\Delta \dot{\omega}_y = \hat{\omega} - \dot{\omega} = \frac{\Delta J}{J_0 + \Delta J} \frac{M}{J_0}. \quad (1.1)$$

Якщо (J) величина постійна та присутній змінний момент навантаження

(M), то похідна похибки спостерігача оцінюється величиною:

$$\Delta\dot{\omega}_m = \frac{M_{\text{наг}}}{J_0}. \quad (1.2)$$

Величини $\Delta\dot{\omega}_y$ та $\Delta\dot{\omega}_m$ відрізняються тільки характером їх залежності від змінного параметру (J). Для $\Delta\dot{\omega}_y$ залежність – нелінійна, а для $\Delta\dot{\omega}_m$ – лінійна. Це дозволяє для електроприводу із змінним моментом інерції використовувати наближену сигнальну адаптацію на основі адаптивного фазі-спостерігача (АФН) (рис. 1.7). Фазі-регулятор ФР формує додатковий керуючий сигнал u_m , що подається на вхід контуру моменту та генерує сигнал компенсації на змінну моменту інерції. Алгоритм ФР складається на логічній основі як функція u_m двох вхідних змінних $\Delta\dot{\omega}_y$ та $\Delta\dot{\omega}_m$ з п'ятьма рівнями (NB, NS, Z, PS, PB) та представляється у вигляді таблиці.

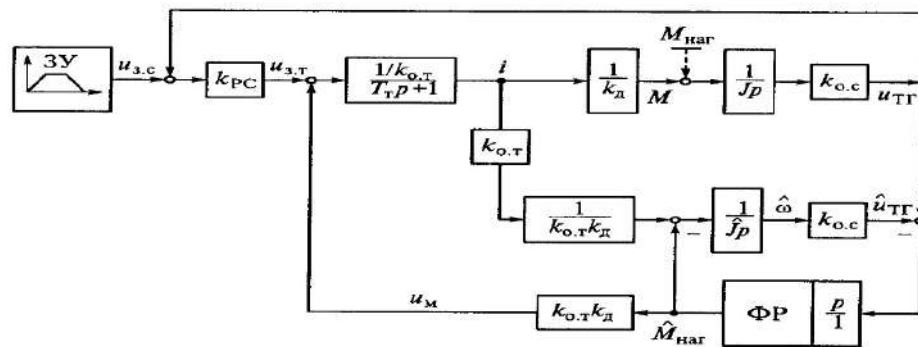


Рисунок 1.7 – Структурна схема з фазі-регулятором

Таблиця відображає набір правил даної залежності:

Якщо $\Delta\dot{\omega}_y = PB$ та $\Delta\dot{\omega}_m = PS$, то $u_m = PB$;

Якщо $\Delta\dot{\omega}_y = PS$ та $\Delta\dot{\omega}_m = NB$, то $u_m = Z$.

Дані два методи були промодельовані в науковому джерелі [3], та

результати представлені на рисунку 1.8:

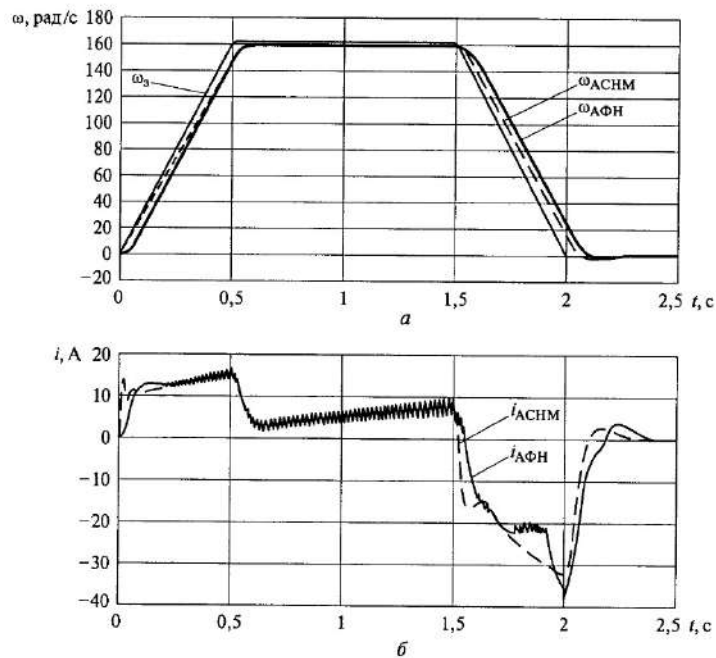


Рисунок 1.8 – Діаграма струму та швидкості обертання приводу

Порівняння графіків показує, що варіант 2, поступаючись незначно за якістю відпрацювання заданої тахограми (крива ω_z), виявляється більш простим за структурою адаптивного керування і за алгоритмом керування. Даний приклад свідчить, що в задачах адаптивного керування електропривода порівнянні і конкурентоздатні системи, побудовані як на аналітичній основі, так і на наближеною логічної основі, тобто на основі фазі-логіки.

1.4 Постановка задачі на розробку системи автоматичного керування пересувним рольгангом

Пересувний рольганг, як зазначалося вище, має ряд недоліків, що погіршують його роботу. По-перше, ПР має застарілу систему керування, в яку входять герконові датчики, що погіршують надійність системи. Ця система керування є неточною в плані позиціонування, що потребує присутності оператора. По-друге, за рахунок переходу візку на малу швидкість значно

зменшується продуктивність візка та збільшується час простою технологічних ліній полімерного покриття труб. По-третє, існує перекіс навантаження між двигунами руху візку, який призводить до передчасного виходу з строю одного з двигунів. Для усунення перерахованих вище недоліків задамося ціллю.

Мета роботи полягає в розробці адаптивної до навантаження системи автоматичного керування пересувним рольгангом для умов промислових підприємств, що покращить продуктивність перевезення труб, а також знизить загальний час ремонтів, за рахунок системи вирівнювання струмів.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати методи адаптивного керування та обрати той, що краще підходить для заявленого типу об'єкту;
- розглянути існуючі способи вирівнювання якірних струмів у багатодвигунних системах та зробити висновок відносно найкращого для об'єкту керування;
- розробити математичну модель процесу керування пересувним рольгангом в умовах промислових підприємств;
- синтезувати систему керування пересувним рольгангом;
- промодельовати розроблено систему автоматичного керування пересувним рольгангом та зробити висновки щодо її динамічних показників;
- провести розрахунку основних показників охорони праці.

Висновки до розділу 1

1. Виконано аналіз загальних існуючих відомостей щодо устрою систем технологічного процесу для яких розроблюється система автоматичного керування пересувним рольгангом.

2. Наведено детальний опис існуючих рішень щодо розробки та проектування систем автоматичного керування пересувним рольгангом для умов промислових підприємств, їх основні функції та технічні характеристики.

3. На підставі проведено аналізу встановлено, що в усіх існуючих

різновидах систем автоматичного керування пересувним рольгангом є свої переваги й недоліки. Тому, для вирішення поставленої задачі вирішено розробити адаптивну систему, яка буде змінювати параметри регуляторів для покращення динаміки створеної САК.

4. Встановлено, існуючі методи адаптації мають наступні недоліки: необхідність важких аналітичних розрахунків для створення системи керування; велика вартість на розробку програм для створення даних систем; необхідність кваліфікованого персоналу для обслуговування обладнання.

5. Сформульовано мету, основні задачі роботи, вимоги до розроблюваної системи, а також обґрунтовано прийняті напрямки вирішення задачі щодо реалізації проекту.

2 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПЕРЕСУВНИМ РОЛЬГАНГОМ

2.1 Розробка самотастроювальної до навантаження системи керування

Наведені вище методи адаптивного керування є дуже важкими для практичної реалізації. Вони потребують важких аналітичних розрахунків, написання комплексу програм для створення спостерігача чи еталонної моделі для методів БАС; закупівлю фазі-регулятора та його налаштування. На розробку таких систем буде витрачена багато фінансових коштів та часу.

Тому вирішено створити власну адаптивну систему, яка буде змінювати параметри регуляторів для покращення динаміки створеної САК. Було встановлено, що основним параметром системи, що значно змінюється у процесі експлуатації, є момент інерції J на валу двигуна. Величина моменту інерції в основному залежить від маси труби:

$$J_i = \delta(J_{\text{де}} + J_M) + m_{\text{ТЕЛ}} \left(\frac{v_i}{\omega_i} \right)^2. \quad (2.1)$$

де δ – коефіцієнт, що враховує моменти інерцій мас деталей, що обертаються повільніше, ніж вал двигуна (шестерні редуктора, з'єднувальні муфти, тощо); J_M – момент інерції муфти з гальмівним шківом.

Маса візка $m_{\text{ТЕЛ}}$ в свою чергу складається з маси ПР та труб, що транспортуються. Маса візка є незмінною, а маса труб на візку залежить від їх кількості та діаметру. Масу труби можна знайти за формулою:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot S \cdot L = \rho \cdot L \cdot \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2). \quad (2.2)$$

де ρ – щільність сталі, кг/м³; V – об'єм, м³; S – площа поперечного перерізу труби, м²; L – довжина труби, м; d – внутрішній діаметр труби, м; D – зовнішній

діаметр труби.

Для розрахунку маси щільність сталі, довжина труби є величинами незмінними, а у формулі площі кільця труби S змінними є зовнішній діаметр. Внутрішній діаметр розраховується як $d = D - 2h$, де h – товщина стінки труби. Тобто маса труби залежить від двох змінних параметрів: зовнішнього діаметру то товщини труби, а значить і момент інерції на валу двигуна залежить від цих параметрів. Якщо візку буде відомий очікуваний момент інерції на валу, то можливо перерахувати постійні регуляторів, що покращить динаміку пересувного рольгангу.

Для реалізації визначення діаметру труби пропонується встановити ультразвуковий датчик (УЗД), що буде вимірювати відстань від його встановлення до труби H (рис. 2.1). Діаметром труби різниця між висотою встановлення датчика та відстанню до труби.

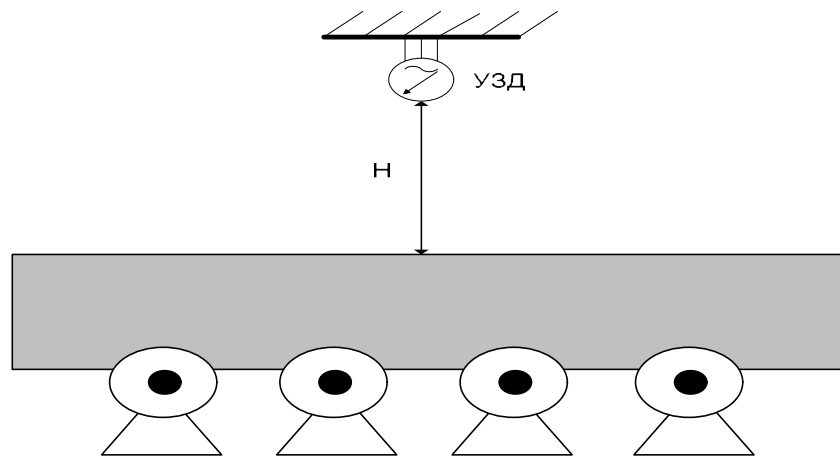


Рисунок 2.1 – Схема вимірювання діаметру труби

Виміряний діаметр буде підставлятися до формули розрахунку моменту інерції на валу:

$$J_i = \delta(J_{\partial s} + J_M) + (m_{\text{виз}} + N \cdot \rho \cdot L \cdot \pi \cdot (D \cdot h - h^2)) \left(\frac{v_i}{\omega_i} \right)^2. \quad (2.3)$$

де N – кількість труб на візку.

Знайдене значення очікуваного моменту інерції використовується для розрахунку регулятора контуру швидкості, що налагоджений на симетричний оптимум, та для регулятора положення, тим самим регулятори швидкості та положення будуть адекватно відпрацьовувати сигнал завдання з однаковими показниками якості.

Також впровадження системи вимірювання діаметру труби дозволить назначати, труби якого діаметру на яку технологічну лінію обробки перевозити, та візок зможе працювати повністю у автоматичному режимі без оператора.

2.2 Розробка системи автоматичного вирівнювання струму двигунів

Причиною нерівномірності розподілу навантажень є відмінності в параметрах двигунів, що мають одні й ті ж каталожні дані. При виробництві електричних машин можливий так званий технологічний розкид параметрів, який призводить до різниці в опорах обмоток якірного кола та в колі збудження.

При зміні зазорів у магнітному ланцюзі машини потік збудження також змінюється. Зсув щіток з нейтралі, а так само застосування різних типів щіток так само призводять до зміни параметрів електричних машин. Перекіс також відбувається за рахунок різних механічних частин двигунів: відмінності в конструкції редукторів, якості догляду за ними, а також місця, де лежить труба, близько першої чи другої двигуна. Будь-які зміни та невідповідності в R_{α} або Φ двох машин призводять до зміни жорсткості їх механічних характеристик і, як наслідок, до нерівномірності розподілу навантажень. Тому ставиться питання про створення автоматичної системи вирівнюючої навантажень в багатодвигуновому приводі. Вирівнювання навантажень в багатодвигуновому електроприводі можна здійснити, змінюючи опору якірного ланцюга або магнітні потоки двигунів. При зміні R_{α} - великі втрати на $R_{\text{доб}}$, а зміна Φ більш

перспективна. Впливати на магнітні потоки двох паралельно включених двигунів з метою вирівнювання їх навантажень можна двома способами:

- змінюючи магнітний потік одного (кожного) з двох двигунів;
- змінюючи одночасно магнітні потоки двох двигунів.

Вплив на магнітний потік лише однієї з машин призводить до зміщення спільної електромеханічної, що при незмінній сумарного навантаження $I_C = \text{const}$ викликає зміну швидкості приводу [13]. У цьому випадку регулятор швидкості в автоматичній системі керування дводвигунових електроприводом повинен забезпечити сталість швидкості не тільки при можливих коливаннях навантаження, але і при змінах магнітного потоку збудження однієї з машин у процесі вирівнювання якірних струмів. Це вимагає від системи керування більшого резерву напруги для регулювання.

Недоліком системи вирівнювання якірних струмів шляхом впливу на магнітний потік лише однієї з машин є також необхідність в цьому випадку зміни збудження у великому діапазоні, що знижує швидкодію системи на вирівнювання навантажень. Тому пропонується зміна потоків відразу двох двигунів одночасно. Структурна схема вирівнювання представлена на рис. 2.2, де КПЗ – це контур потоку збудження, а $I_{я1}$, $I_{я2}$ – якірні струми двигунів, а K – коефіцієнт вирівнювання.

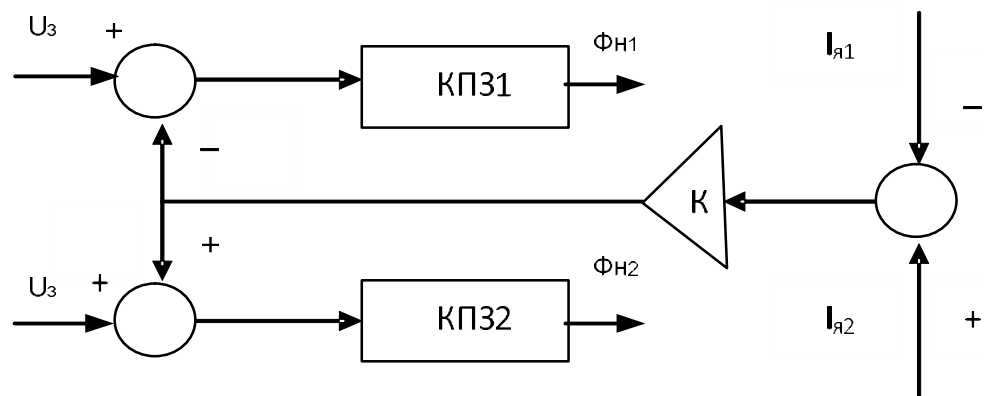


Рисунок 2.2 – Структурна схема вирівнювання

Якщо сигнал різниці струмів має негативний знак, то він помножений на

коефіцієнт K додається до завдання першого контуру збудження (КПЗ1), а від другого (КПЗ2) віднімається, якщо позитивний, то навпаки.

Дещо схожим та трохи простішим є варіант вирівнювання струмів завдяки впливу на контур струму кожного двигуна. За цим методом також знаходиться різниця струмів двигунів, але ця різниця помножена на додатковий коефіцієнт слугує як додаткове завдання для струмового контуру. Структурна схема реалізації цього метода представлена на рисунку 2.3.

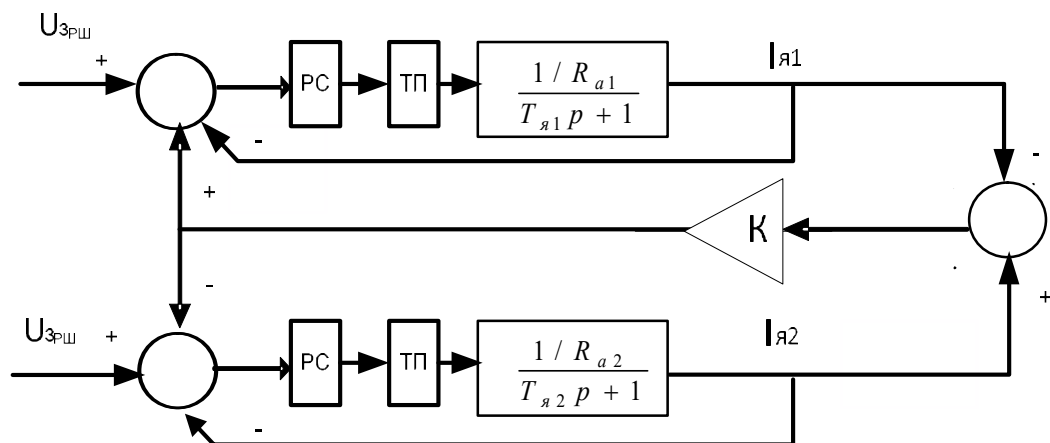


Рисунок 2.3 – Удосконалена схема вирівнювання

Ці два варіанти будуть промодельовані та буде обрано ліпший варіант за порівняльною характеристикою у процесі моделювання в розділі 3.

2.3 Вибір елементної бази розроблюваної системи автоматичного керування пересувним рольгангом

Рівняння замкнутої САК отримуються на підставі рівнянь ланок, з яких складається дана система. При складанні рівняння замкнутої САК виходять з вірогідності принципу детектування, згідно з яким у САК існує напрям дії ланок – від попередньої до наступної. При цьому реакцією наступної ланки на попередню нехтують. Тому рівняння динаміки ланки, взятої окремо, буде таким самим, як і цієї ланки в деякій САК.

Виходячи з цього, задану САК можна представити сукупністю сукупних складових:

- тиристорний перетворювач;
- двигун постійного струму;
- датчик струму;
- датчик частоти;
- датчик положення;
- регулятор струму;
- регулятор швидкості;
- регулятор положення;
- струмообмежувач.

2.3.1 Тиристорний перетворювач

Максимальну швидкодію при реверсі двигуна можна досягти лише застосуванням реверсивного перетворювача, що забезпечує можливість протікання струму в якорі двигуна в обох напрямках. Для керування електродвигуном вибираємо трифазний перетворювач (рис. 2.4).

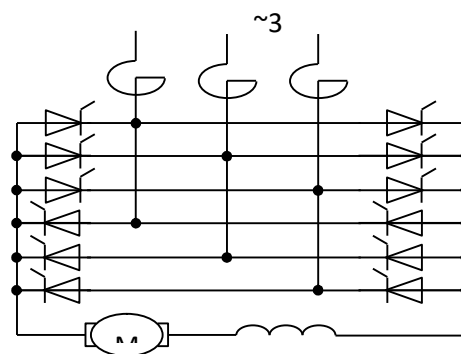


Рисунок 2.4 – Схема тиристорного перетворювача

У даній схемі немає необхідності в трансформаторі тому що для керування двигуном номінальної напруги якоря рівним 220 В, замість трансформатора застосовуються струмообмежуючі реактори, що включені в

мережу перемінного струму.

У реверсивному перетворювачі з роздільним керуванням при роботі одного комплекту тиристорів у випрямному режимі інший комплект цілком виведений з роботи (тобто зняті відкриваючі імпульси). У наслідку цього відсутній контур протікання електричного струму, що виключає необхідність у зрівняльних реакторах, як у випадку спільного керування. Роботу роздільного перетворювача забезпечують додаткові елементи системи керування тиристорами (рис. 2.5)

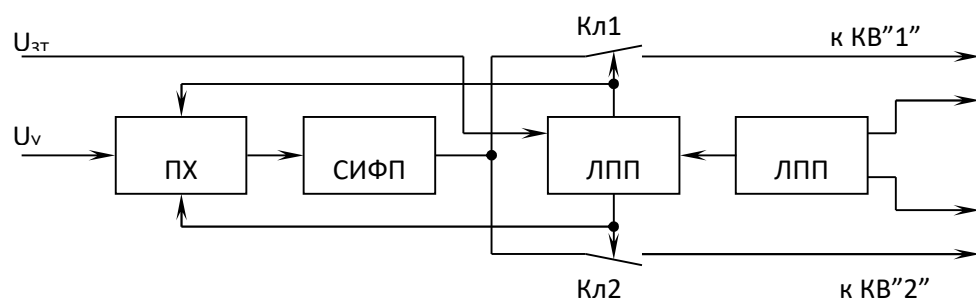


Рисунок 2.5 – Система керування тиристорами

Реверс двигуна починається зі зміни знака напруги завдання швидкості, що викликає зменшення напруги U_γ і зміни знака завдання струму I_α та є сигналом початку переключення комплектів тиристорів. Кут відкривання збільшується, е.р.с. зменшується, зменшується струм якоря до нуля. Закривання тиристорів фіксується датчиком провідності вентилів (ДПВ). При одержанні сигналів із ДПВ логічний перемикаючий пристрій (ЛПП) забороняє подачу імпульсів на тиристори обох комплектів, тобто розмикає ключ КЛ1 і одночасно починає відраховувати тимчасову паузу. Після її закінчення ЛПП формує дозвіл на подачу відкриваючих імпульсів на тиристори комплекту КВ"2" (замиканням КЛ2), одночасно і на переключення перемикача характеристик (ПХ). Переключення ПХ приводить до зміни полярності напруги U_γ на вході СІФУ. З цього моменту на комплект КВ "2" починають подаватися відкриваючі імпульси, що забезпечують роботу комплекту в інверсному режимі. Тому е.р.с. якоря більше е.р.с. приладу, то струм якоря протікає в зворотному напрямку,

двигун переходить у генераторний режим, здійснюючи рекуперативне гальмування з віддачею енергії в мережу.

Згідно з теоремою Котельникова, тиристорний перетворювач без втрат інформації пропускає сигнали, частоти яких менші за граничну частоту:

$$\omega_{gp} = \frac{m\omega_m}{2},$$

де m – кількість фаз перетворювача; $\omega_m = 2\pi f$ – частота напруги мережі; f – частота в герцах.

Якщо частота проходження дискретних імпульсів $\omega_i = \frac{1}{T_i} < \omega_{gp}$, де T_i – період квантування, то ТП можна апроксимувати лінійною безінерційною ланкою з коефіцієнтом підсилення $k_{ТП}$.

Щоб зменшити негативний вплив можливих автоколивань, обмежують швидкість зміни вхідного сигналу керування $u_{вх}(t)$, який визначає швидкість зміни кута керування $\alpha(t)$. Для цього на вході СІФУ ТП підключають аперіодичну ланку. Ця ланка в реверсивному електроприводі повинна обмежувати динамічний зрівнювальний струм, що виникає між випрямляючою та групами, що інвертують, вентилів і може в багато разів перевищувати статичний зрівняльний струм. Внаслідок цього обмежувальні реактори, які розраховані на статичний зрівняльний струм, можуть бути насичені його динамічною складовою, і зрівняльний струм досягне свого аварійного значення. Щоб уникнути такої небезпеки, стала аперіодичної обмежувальної ланки на вході СІФК повинна знаходитись в інтервалі від 0,006 до 0,01 с при промисловій частоті $\omega_m = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \frac{rad}{с}$. Отже, $T_\mu = 0,001$ с.

Орієнтуючись на роботу ТП в режимі безперервного струму, розглянемо ТП як елемент, що складається з двох послідовно з'єднаних ланок: лінійної без інерційної з коефіцієнтом підсилення $k_{ТП}$ та ланки чистого запізнення з

показником запізненням τ . Рівняння динаміки згідно з викладеним вище матиме наступний вигляд:

$$u_{вих} = k_{ТП} u_{вх} e^{-\tau p}. \quad (2.4)$$

Розклавши функцію $e^{-\tau p}$ у степеневий ряд та обмежившись двома першими членами, отримуємо рівняння підсилювача у вигляді:

$$u_{вих} = k_{ТП} u_{вх} \frac{1}{1 + \tau p}, \quad (2.5)$$

де $\tau = T_{\mu}$ – середньостатистичне запізнення.

2.3.2 Анодні реактори

На підставі проведеного попереднього аналізу встановлено, що замість трансформатора мають бути використані анодні реактори. Індуктивність анодного реактора можна знайти за формулою:

$$L_{AP} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_1}{n \cdot \omega \cdot I_{УД}}, \quad (2.6)$$

де $I_{УД}$ – ударний струм вентиля.

$$L_{AP} = \frac{\sqrt{2} \cdot 380}{2 \cdot 314 \cdot 3,9 \cdot 10^3} = 0,3 \text{ (мГн)}. \quad (2.7)$$

Вибираємо з довідника анодний реактор марки РТСТ 41-1,01УЗ:
 $L_{AP} = 0,38 \text{ мГн}; R_{AP} = 0,033 \text{ Ом}.$

2.3.3 Реактор, що виконує функцію згладжування

Вибір реактора, що згладжує та має індуктивність L_{cp} , включеного послідовно з якорем двигуна, здійснюється для забезпечення безперервності струму двигуна на всьому діапазоні зміни е.р.с. перетворювача, а також обмеження пульсацій струму, що погіршують комутацію в двигуні і збільшують його нагрів.

Визначимо необхідну постійну часу електричного ланцюга виходячи з умов обмеження зони переривчастого струму:

$$T_{треб} = \frac{K_{cp}}{i_{cp.max}^*}, \quad (2.8)$$

де $K_{cp}=2,9 \cdot 10^{-4}$ – постійний коефіцієнт схеми випрямлення для трифазної мостової схеми; $i_{cp.max}^*$ – максимальне значення відносного граничного струму зони переривчастого струму:

$$i_{p.max}^* = \frac{I_{p.max}}{I_B}, \quad (2.9)$$

де $I_{p.max}$ – абсолютне найбільше значення граничного струму, що повинне бути менше струму холостого ходу:

$$I_{гр.мах} = 0,1 I_H = 0,1 \cdot 240 = 24 \text{ A} \quad (2.10)$$

Розрахуємо I_B – базове значення струму:

$$I_B = \frac{U_m}{R_{II}}, \quad (2.11)$$

де U_m – максимальне значення анодної напруги.

Розрахуємо R_n – активний опір якорного ланцюга в граничному режимі:

$$R_{\Pi} = R_{\text{я}} + 2 \cdot R_{AP} + R_{C\Pi} , \quad (2.12)$$

де R_{AP} – активний опір анодного реактора.

Розрахуємо $R_{\text{я}}$ – опір якоря двигуна:

$$R_{\text{я}} = 0,4 \cdot (1 - \eta_n) \cdot \frac{U_n}{I_n} = 0,4 \cdot (1 - 0,865) \cdot \frac{220}{240} = 0,054 \text{ (Ом)}, \quad (2.13)$$

Розрахуємо $R_{C\Pi}$ – активний опір силового перетворювача, що враховує падіння напруги на вентилях і проводах:

$$R_{C\Pi} = \frac{n \cdot \Delta U_{\epsilon}}{I_{TAV}} . \quad (2.14)$$

де ΔU_{ϵ} – пряме спадання напруги на вентилі: $\Delta U_{\epsilon} \approx 2B$; n – число послідовне включених вентилів, що проводять струм у той самий момент часу.

$$R_{C\Pi} = \frac{2 \cdot 2}{240} = 0,02 \text{ (Ом)}. \quad (2.15)$$

Таким чином, показник R_n буде дорівнювати:

$$R_n = 0,05 + 2 \cdot 0,033 + 0,02 = 0,166 \text{ (Ом)}, \quad (2.16)$$

$$I_B = \frac{U_M}{R_n} = \frac{593}{0,166} = 3572,69 \text{ (А)}, \quad (2.17)$$

$$i_{\text{зр.мах}}^* = \frac{24}{3572,69} = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ (А)}, \quad (2.18)$$

$$T_{\text{реб}} = \frac{2,9 \cdot 10^{-4}}{6,7 \cdot 10^{-3}} = 43,28 \cdot 10^{-3} (\text{с}). \quad (2.19)$$

Визначимо індуктивність якірного ланцюга і необхідну індуктивність дроселя, що згладжує:

$$L_{\Pi} = T_{\text{реб}} \cdot R_{\Pi} = 0,043 \cdot 0,166 = 7,1 \text{ мГн} \quad (2.20)$$

$$L_{\text{др}} = L_{\Pi} - L_{\text{я}} - 2 \cdot L_{\text{АР}}, \quad (2.21)$$

де $L_{\text{я}}$ – індуктивність якоря двигуна. Для знаходження індуктивності якоря, скористаймося формулою Ліумвіля-Уманського:

$$L_{\text{я}} = \frac{k \cdot 60 \cdot U_{\text{н}}}{2 \cdot \pi \cdot p \cdot n_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}}}, \quad (2.22)$$

де K_L – конструктивний коефіцієнт (для нормальних некомпенсованих машин, оберемо $K_L=0,6$ – нормальна некомпенсована машина), p – число пар полюсів двигуна, $n_{\text{н}}$ – номінальна швидкість обертання. Отримаємо:

$$L_{\text{я}} = \frac{0,6 \cdot 60 \cdot 220}{2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 770 \cdot 240} = 3,4 \text{ (мГн)},$$

$$L_{\text{др}} = 7,1 - 3,4 - 2 \cdot 0,38 = 2,94 (\text{мГн}).$$

2.3.4 Обґрунтування параметрів двигуна постійного струму

Основні постійні показники для моделювання ДПС:

$$\frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} = T_{\text{я}}; \quad \frac{1}{J_{\Sigma}} = T_{\text{М}}; \quad (2.23)$$

Розрахункова індуктивність ланцюга випрямленого струму:

$$L_{\text{я}} = n \cdot L_{\text{AP}} + L_{\text{я}} + L_{\text{др}}. \quad (2.24)$$

На підставі отримаємо:

$$L_{\text{як}} = 2 \cdot 0,38 + 3,4 + 3 = 7,16(\text{мГн}). \quad (2.25)$$

Розрахунковий опір ланцюга випрямленого струму:

$$R_{\text{як}} = n \cdot R_{\text{AP}} + R_{\text{я}} + R_{\text{др}} + R_{\text{П}}, \quad (2.26)$$

де $R_{\text{П}}$ – опір перекриття вентилів:

$$R_{\text{П}} = \frac{m \cdot X_{\text{AP}}}{2 \cdot \pi} = \frac{m \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\text{AP}}}{2 \cdot \pi} = m \cdot f \cdot L_{\text{AP}}, \quad (2.27)$$

де m – показник імпульсності схеми, $m = 6$.

Отримаємо:

$$R_{\text{П}} = 6 \cdot 50 \cdot 0,38 \cdot 10^{-3} = 0,114(\text{Ом}). \quad (2.28)$$

Отже, повний опір якірного кола:

$$R_{\text{як}} = 2 \cdot 0,33 + 0,054 + 0,016 + 0,114 = 0,91(\text{Ом}). \quad (2.29)$$

Постійна часу електричної частина двигуна буде дорівнювати :

$$T_{Я} = \frac{7,16 \cdot 10^{-3}}{0,21} = 0,03(c). \quad (2.30)$$

Коефіцієнт двигуна C визначимо за паспортними даними для номінального режиму у статиці:

$$c_e \omega_n = u - i_{я} R_{Я}. \quad (2.31)$$

Звідки, отримуємо:

$$c_e = \frac{u - i_{я} R_{Я}}{\omega_n}. \quad (2.32)$$

де ω_n – номінальна швидкість обертання, виражена у рад/с.

Таким чином, отримуємо:

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega_n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 770}{60} = 80,6(рад/с),$$

$$C = \frac{U_{ян} - I_{ян} R_{Я}}{\omega_n} = \frac{220 - 240 \cdot 0,005}{80,6} = \frac{80,6}{208} = 2,5\left(\frac{В \cdot с}{рад}\right).$$

Визначимо коефіцієнт T_m . Візок буде мати різні моменти інерції залежно від наявності та маси труб. Тому момент інерції для різної загальної ваги ПР буде різними там на вал двигуна будуть впливати різні моменти статичного опору. Розрахуймо статичний момент опору пересування візка з трубами (на валу редуктора):

$$M_{C\ TEP}^{TP} = (m_{виз} + 2 \cdot m_{TP}) \cdot g \cdot k_{TP} \cdot R_x \quad (2.33)$$

де k_{TP} – коефіцієнт тертя; g – гравітаційна стала; $m_{віз}$ – маса візка; $m_{тр}$ – маса однієї труби; R_x – радіус колеса.

Визначимо коефіцієнт тертя:

$$k_{TP} = \frac{k_P \left(\mu \frac{d_{Ц}}{2} + f \right)}{D_{ХК}}, \quad (2.34)$$

де k_P – коефіцієнт, що враховує тертя реборд коліс по рель сам; $k_P = 2,4$ (враховані сили опору у струмознімачах по тролеях); μ – коефіцієнт тертя в опорах ходових коліс $\mu = 0,05$; $d_{Ц}$ – діаметр цапф коліс $d_{Ц} = 100$ мм; $D_{ХК}$ – діаметр колеса візка; f – коефіцієнт тертя кочення ходових коліс, $f=0,02$.

$$k_{TP} = \frac{k_P \left(\mu \frac{d_{Ц}}{2} + f \right)}{D_{ХК}} = \frac{2,5 \cdot \left(0,05 \frac{0,1}{2} + 0,02 \right)}{0,8} = 0,0675.$$

Труби виготовляють однієї довжини 12 м, але товщина металу та діаметр труб змінюється в залежності від замовлення. Маса розраховується за наступною формулою:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot S \cdot L = \rho \cdot L \cdot \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2), \quad (2.35)$$

де ρ – щільність сталі, кг/м³; V – об'єм, м³; S – площа поперечного перерізу труби, м²; L – довжина труби, м; d – внутрішній діаметр труби, м; D – зовнішній діаметр труби.

Розрахунок маси проводиться для труби довжиною 12 метрів та діаметром 1420 мм з товщиною сталі 20 мм.

$$m = 7850 \cdot 12 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (1.420^2 - 1.380^2) = 8286 (\text{кг}).$$

Статичний момент з двома трубами:

$$M_{C \text{ ТЕЛ}}^{TP} = (m_{\text{ТЕЛ}} + 2 \cdot m_{TP}) \cdot g \cdot k_{TP} = (20000 + 2 \cdot 8286) \cdot 9,81 \cdot 0,0675 \cdot 0,4 = 9684 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Статичний момент з однією трубою:

$$M_{C \text{ ТЕЛ}}^{TP} = (m_{\text{ТЕЛ}} + m_{TP}) \cdot g \cdot k_{TP} = (20000 + 8286) \cdot 9,81 \cdot 0,0675 \cdot 0,4 = 7491 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Знайдемо статичний момент опору пересування візка без труб:

$$M_{C \text{ ТЕЛ}}^{BT} = m_{\text{ТЕЛ}} \cdot g \cdot k_{TP} = 20000 \cdot 9,81 \cdot 0,0675 \cdot 0,4 = 5297 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Визначимо максимальне статичне навантаження на валу двигуна, але двигуна в нас два тому цей момент розподіляється на два двигуна:

$$M_{C \text{ ДВ}}^{TP} = \frac{M_{C \text{ ТЕЛ}}^{TP}}{\eta_{\text{РЕД}} \cdot i_{\text{РЕД}} \cdot n} = \frac{9684}{0,9 \cdot 14 \cdot 2} = 384 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Приведений момент інерції візка під час руху визначається за формулою:

$$J_i = \delta(J_{\text{дв}} + J_M) + m_{\text{ТЕЛ}} \left(\frac{v_i}{\omega_i} \right)^2, \quad (2.36)$$

де δ – коефіцієнт, що враховує моменти інерцій мас деталей, що обертаються повільніше, ніж вал двигуна (шестерні редуктора, з'єднувальні муфти, тощо), прийmemo $\delta = 1,3$; J_M – момент інерції муфти з гальмівним шківом, прийmemo $J_M = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Приведений момент інерції під час руху візка без труби:

$$J_I^{BT} = \delta(J_{\partial\theta} + J_M) + m_{TEL} \left(\frac{V}{\omega} \right)^2 = 1,3 \cdot (2 + 0,05) + 20000 \cdot \left(\frac{2}{80,6} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = 7,48 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Приведений момент інерції під час руху візка з трубою:

$$\begin{aligned} J^{TP} &= \delta(J_{\partial\theta} + J_M) + (m_{TEL} + m_{TP}) \left(\frac{V}{\omega} \right)^2 = \\ &= 1,3 \cdot (2 + 0,05) + (20000 + 8286) \cdot \left(\frac{2}{80,6} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = 10,03 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}. \end{aligned}$$

Приведений момент інерції під час руху візка з двома трубами:

$$\begin{aligned} J^{TP} &= \delta(J_{\partial\theta} + J_M) + (m_{TEL} + m_{TP} + m_{TP}) \left(\frac{V}{\omega} \right)^2 = \\ &= 1,3 \cdot (2 + 0,05) + (20000 + 8286 + 8286) \cdot \left(\frac{2}{80,6} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = 12,58 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}. \end{aligned}$$

2.4 Вибір та розрахунок елементів схеми датчиків, що входять до складу системи автоматичного керування пересувним рольгангом

Функціями датчиків є перетворення вимірювальних величин в електричний уніфікований сигнал. При цьому максимальне значення вимірювальної величини повинно відповідати так званій напруги схеми U_{cx} , під якою розумують номінальну значення сигналів у схемі керування. Сучасні схеми побудовані на основі транзисторів, операційних підсилювачів та інтегральних мікросхем, в яких величини сигналів складають від 5 до 10 В постійної напруги. Прийmemo $U_{cx}=10 \text{ В}$.

2.4.1 Розрахунок коефіцієнта передачі датчика струму

Чутливим елементом для здавача струму є шунт. Шунт являє собою прецизійний опір стійкий до температурних коливань. Значення опору відбирається таким, що при номінальному струмі, який проходить через нього, падіння напруги на ньому складало 75 мВ. Тому коефіцієнт передачі здавача струму

$$K_{ДС} = \frac{U_{ДС}}{i_{я}} = \frac{U_{сх}}{I_{ямах}}, \quad (2.37)$$

де $I_{ямах} = k I_{яном}$.

Підставивши, отримуємо:

$$K_{ДС} = \frac{U_{сх}}{k \cdot I_{знно}} = \frac{10}{240} = 0,0416(B / A).$$

2.4.2 Вибір датчика частоти обертання ДПС

Здавач частоти обертання ДПС будується на основі тахогенератору, який перетворює механічне обертання вала в електричний сигнал. Отже, коефіцієнт передачі здавача частоти обертання буде:

$$K_{ДШ} = \frac{U_{ДШ}}{\omega_n}, \quad (2.38)$$

Отже:

$$K_{ДШ} = \frac{10}{80,6} = 0,124(B / c).$$

Тахогенератор постачається разом з двигуном типу ТМГ-30. Основні

характеристики надані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні характеристики тахогенератора

Номінальна напруга	115 В
Номінальна частота обертання	4000об/хв.
Відносна похибка	$\pm 1\%$

2.4.3 Вибір датчика положення

У системі керування об'єктом на виробництві для визначення положення використовувалися герконові датчики. Ці датчики не дають нам повної інформації про візок та роблять систему керування дискретною, у залежності від частоти розміщення герконів. Також герконові датчики мають багато недоліків у застосуванні:

- наявність деренчання при включенні, що спричиняє багато численні спрацьовування за невеликий проміжок часу.
- необхідність створення магнітного поля, що може слугувати завадами для інших елементів САК.
- іноді контакти «залипають» (залишаються у замкнутому положенні), такий геркон підлягає заміні.

Для визначення положення візка пропонується використовувати фотоелектричний лазерний датчик. Датчики такого типу мають високу роздільність, чутливість, швидкодію, малими розмірами та вагою та відсутністю механічного зв'язку з об'єктом.

Лазерний датчик обираємо за такими параметрами: висока швидкодія, наявність цифрового виходу, діапазон вимірювань від 0,5 до 150 м. За цими параметрами був обраний лазерний датчик положення Acuity AR1000, який має наступні параметри: діапазон сканування (з відбивачем) від 0,1 до 150 м; точність до 5 мм; джерело випромінювання: червоний лазерний діод, клас 2; напруга живлення від 10 до 30 В DC; робоча температура від -10 до 45 °C.

Для встановлення цього лазерного датчика буде потрібно на візок встановити лазерний відбивач. Схема встановлення датчика показана на рис.3.3. Принцип роботи датчика заснований на вимірюванні кута відбитого променя лазера, за яким датчик вираховує відстань до об'єкту. Розмір відстані передається на контролер у цифровому вигляді подвійного слова.

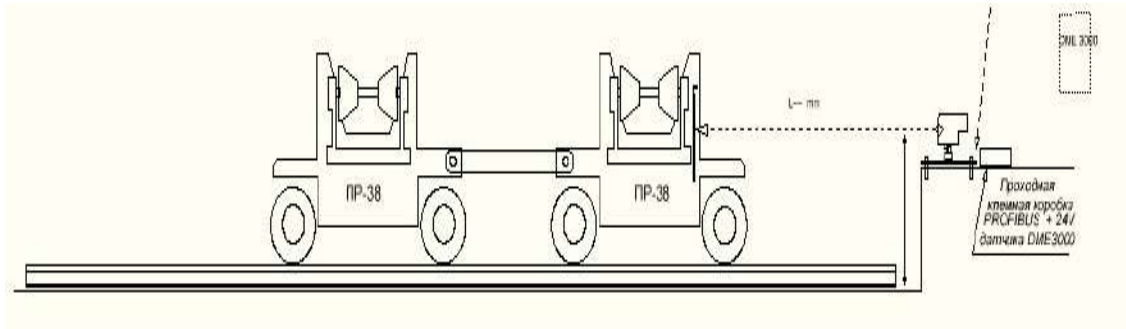


Рисунок 2.6 – Схема встановлення лазерного датчика

При використанні лазерного датчика стає можливим, зміни алгоритму роботі візка дистанційно, також у будь-який момент є інформація про поточне положення візка, що важливо для візуалізації процесу виробництва.

Коефіцієнт передачі датчика буде дорівнювати:

$$\kappa_n = \frac{10}{150} = 0,067(B / м). \quad (2.39)$$

2.4.4 Розрахунок контуру котушки збудження

Струм котушки збудження визначається за формулою:

$$i_b(p) = \frac{U(p)}{r_b(T_b p + 1)}. \quad (2.40)$$

де T_b – постійна часу котушки збудження; $U(p)$ – напруга, що подається до котушки збудження.

Структурна схема контуру збудження [9] має вигляд представлений на рисунку 2.7:

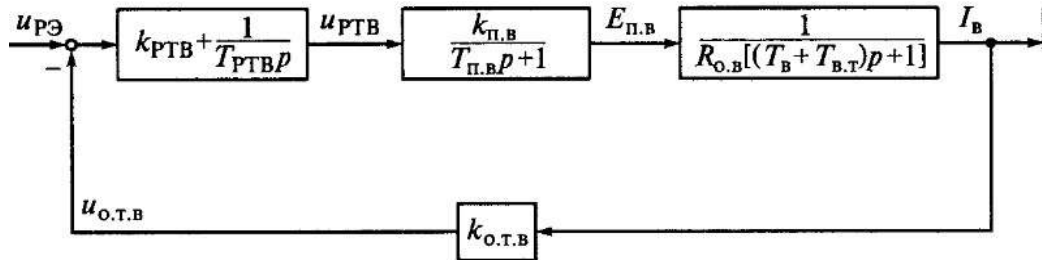


Рисунок 2.7 – Структурна схема контуру збудження двигуна

На рисунку 2.7 введено наступні позначення: $k_{PTB} + \frac{1}{T_{PTB}p}$ – передатна функція регулятора струму збудження; $T_b + T_{b.t}$ – сумарна постійна часу обмотки збудження; $k_{o.m.в}$ – коефіцієнт передачі датчика струму збудження; $\frac{k_{n.в}}{T_{n.в}p + 1}$ – передатна функція тиристорного перетворювача.

Постійна часу розраховується за формулою:

$$T_{\epsilon} = \frac{w_{\epsilon} \cdot \Phi n}{r_3 \cdot i_3} = \frac{1250 \cdot 3.86 \cdot 10^{-2}}{44 \cdot 4} = 0.27(c).$$

Коефіцієнт передачі датчика струму:

$$k_{o.m.в} = \frac{U_{cx}}{I_n} = \frac{10}{4} = 2.5 .$$

Для переводу струму збудження у магнітний потік треба розрахувати динамічний коефіцієнт. Динамічний коефіцієнт розраховується за допомогою кривої намагнічування, яку наведено 2.8, за формулою (2.41).

$$k_{\Phi} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta i_{\epsilon}}. \quad (2.41)$$

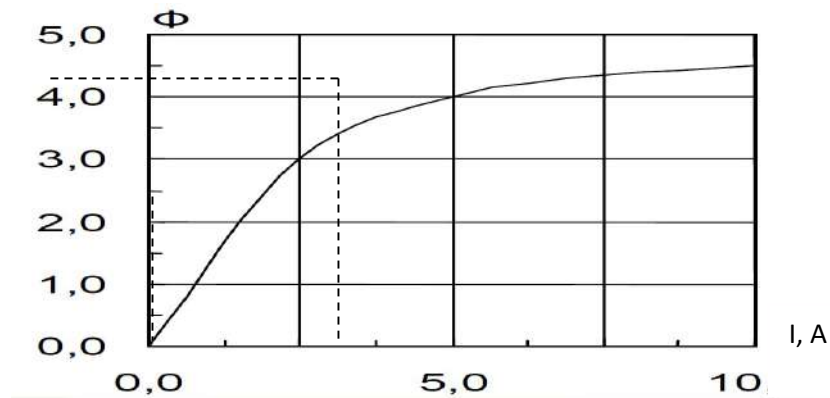


Рисунок 2.8 – Крива намагнічування котушки збудження двигуна

Отже:

$$k_{\phi} = \frac{(3.9 - 2) \cdot 10^{-2}}{4 - 1.9} = 0.00965$$

Передатна функція регулятора ЕРС налаштованого на МО:

$$W_{pn} = \frac{R_{\epsilon}}{2 * T_{\mu} * k_{tr} * k_f * k_{ДП}} * \left(1 + \frac{1}{T_{\epsilon}}\right),$$

$$W_{pn} = \frac{44}{2 * 0,001 * 22 * 0,0075 * 129,53} * \left(1 + \frac{1}{0,27}\right).$$

Для обмеження вихідного значення регулятора на виході поставимо не лінійність насичення з межами від -10 до 10 В.

Висновки до розділу 2

1. Обґрунтовано методику ідентифікації змінного моменту інерції на валу, що заснований на визначенні моменту аналітичним способом через масу труб, що перевозяться.

2. Проаналізовано методи вирівнювання струмів у багатодвигуновому приводі, та прийнято рішення обрати ліпший за результатами моделювання.

3. Отримано функціональну схему САК пересувного рольгангу, що виконана за принципом підпорядкованого керування.

4. Обґрунтовано показники регуляторів струму та положення, в результаті чого обрано ПІ-регулятори, а положення – П-регулятор. У якості датчика положення обраний лазерний датчик. Контур струму налагоджений на модульний оптимум; контур швидкості – на симетричний оптимум; контур положення налаштований на відпрацьовування необхідного часу розгону та гальмування; контур струму котушки збудження налагоджений на модульний оптимум.

5. Виконано розрахунки числових параметри структурних елементів розроблюваної системи для подальшого моделювання динамічних процесів.

3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПЕРЕСУВНИМ РОЛЬГАНГОМ

3.1 Розробка загального виду математичної моделі САК пересувним рольгангом

3.1.1 Синтез моделі двигуна постійного струму

Двигун постійного струму описується наступною системою диференційних та алгебраїчних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_i(t) = C_i \cdot \omega_i(t) + R_i \cdot i_i(t) + L_i \cdot \frac{di_i(t)}{dt}; \\ M_{e.i}(t) - M_c(t) \pm M_{ж.з.ij} = J_i \cdot \frac{d\omega_i(t)}{dt}; \\ M_i(t) = C_i \cdot i_i(t); \\ U_{b.i}(t) = i_{b.i} \cdot r_{b.i} + L_{b.i} \cdot \frac{di_{b.i}}{dt}; \\ i = \overrightarrow{1..2}, \end{array} \right. \quad (3.1)$$

де $U_i(t)$ – напруга на якірній обмотці і-го двигуна, В;

$i_i(t)$ – струм і-го якоря, А;

$M_{e.i}(t)$ – електромагнітний момент і-го двигуна, Н*м;

$M_c(t)$ – момент опору руху, Н*м;

$M_{ж.з.ij}(t)$ – момент жорсткого зв'язку між і-м та j-м двигунами;

$\omega_i(t)$ – швидкість обертання валу і-го двигуна, м/с;

R_i – активний опір і-ї якірної ланки, Ом;

L_i – індуктивність і-ї якірної ланки, Гн;

J_i – сумарний момент інерції i -го якоря, кг*м²;

C_i – постійна i -го двигуна;

$U_{b,i}(t)$ – напруга, що подається до i -ї котушки збудження;

$r_{b,i}$, $L_{b,i}$ – опір та індуктивність i -ї котушки збудження.

Припустимо, що всі параметри двигунів однакові та не мають розкиду. Тому далі всі параметри будуть для одного двигуна без індексу.

Вхідною величиною є напруга якоря U , вихідними змінними – електромагнітний момент двигуна M_e , швидкість обертання валу двигуна ω та швидкість пересування візка $V_{виз}$. Для створення моделі необхідно отримати передатні функції, застосувавши до диференціальних рівнянь перетворення Лапласу. З диференціального рівняння (3.1) отримаємо передатну функцію, що зв'язує струм якорю та падіння напруги на якорі:

$$i(p) = (U(p) - E(p)) \frac{1}{R + Lp} = (U(p) - E(p)) \frac{1/R}{T_M p + 1}, \quad (3.2)$$

де $E(p)$ - проти-е.р.с. двигуна, В.

Також з рівняння (3.1) отримаємо передатну функцію, що зв'язує динамічний момент та швидкість обертання валу двигуна:

$$\omega(p) = (M - M_C \pm M_{ж.з.ij}) \frac{1}{Jp}. \quad (3.3)$$

Використовуючи рівняння (3.1) – (3.3), можна створити структурну схему САРШ двигуна, яка представлена на рисунку 3.1.

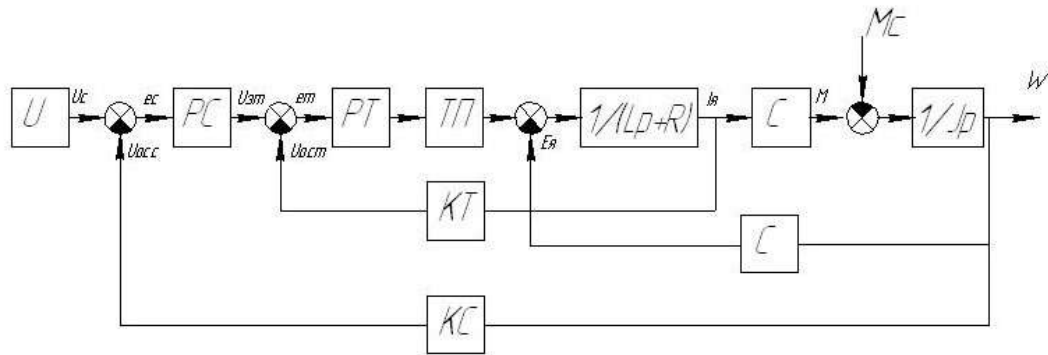


Рисунок 3.1 – Структурна схема двоконтурної системи регулювання швидкості

На рисунку 3.1 введено наступні позначення: РС – регулятор швидкості; РТ – регулятор струму; ТП – тиристорний перетворювач; С – постійна двигуна; КТ – коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом; КС – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю.

Таким чином, було синтезовано структурну схему системи керування одного двигуна, для другого двигуна система керування буде аналогічною.

3.1.2 Синтез моделі контуру струму

Система регулювання за швидкістю є двоконтурною системою з підлеглим регулюванням. Зовнішнім контуром є контур швидкості, а внутрішнім – контур струму. Регулювання швидкості здійснюється зміною напруги на якорі двигуна. У якості перетворювача постійного струму, що живить якор, використовується тиристорний перетворювач (ТП).

Побудову системи регулювання слід починати з синтезу контуру струму, зробивши припущення, що внутрішній зворотний зв'язок за електрорушійною силою на перехідний процес в контурі струму практично не проявляється.

Тип налаштування контуру швидкості визначається технічними вимогами до системи регулювання швидкості. Розрахункова структурна схема контуру струму приведена на рисунку 3.2. За умов високої швидкодії та малого перерегулювання контур струму налаштуємо на модульний оптимум (МО).

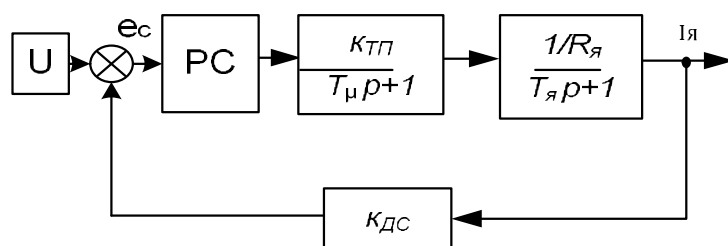


Рисунок 3.2 – Розрахункова структурна схема контуру струму

Відповідно до принципу структурно-параметричної оптимізації представимо САК ДПС у вигляді послідовного сполучення незмінної частини, яка підлягає компенсації, фільтра, що забезпечуватиме необхідну швидкість перехідного процесу в системі і регулятора, який безпосередньо структурно компенсує незмінну частину. Всі ці елементи охоплені одиничним від'ємним зворотнім зв'язком (див. рис. 3.3).

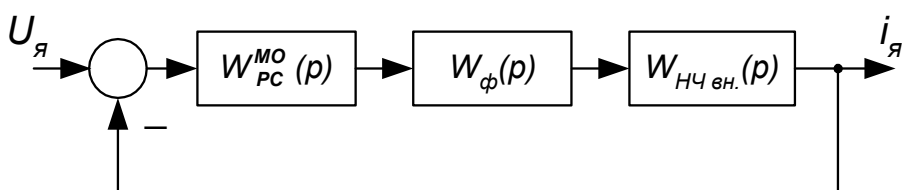


Рисунок 3.3 – Еквівалентна схема САК ДПС зображена у відповідності

На рисунку 3.3 введено наступні позначення: $W_{PC}^{MO}(p)$ – регулятор, який забезпечує налаштування внутрішнього контуру на МО; $W_{\phi} = \frac{1}{T_{\mu}p + 1}$ – фільтр; $W_{HЧ\text{ вн.}} = \frac{k_{ДС}k_{ТП}/R_{я}}{T_{я}p + 1}$ – незмінна частина внутрішнього контуру, що підлягає компенсації.

Розрахунок регуляторів, які забезпечують налаштування системи на модульний оптимум, зручно проводити відповідно до формули:

$$W_{рег.i}^{MO} = \frac{1}{W_{HЧi}(p)} \cdot \frac{1}{2^i T_{\mu} p}. \quad (3.4)$$

де $W_{рег.i}^{MO}$ – передатна функція регулятора i -го контуру для настройки його на МО; $W_{НЧ i}(p)$ – незмінна частина i -го контуру; T_{μ} – постійна часу перехідних процесів в системі.

Взагалі дана САК 3-х контурна, тому $i = 1, 2, 3$, внутрішньому контуру відповідає значення $i=1$. Відповідно, розрахунок регулятора для настройки внутрішнього контуру на МО необхідно провести відповідно до виразу:

$$W_{PC}^{MO} = \frac{1}{W_{НЧ\ вн.}(p)} \cdot \frac{1}{2T_{\mu}p} . \quad (3.5)$$

Підставивши в вираз (3.6) значення передатної функції $W_{НЧ\ вн.}(p)$ отримаємо:

$$W_{PC}^{MO} = \frac{T_{я}p + 1}{k_{ДС}k_{ТП}/R_{я}} \cdot \frac{1}{2T_{\mu}p} = \frac{T_{я}R_{я}}{2k_{ДС}k_{ТП}T_{\mu}} + \frac{R_{я}}{2k_{ДС}k_{ТП}T_{\mu}} \cdot \frac{1}{p} = k_{PC}^{MO} \left(1 + \frac{1}{T_{PC}^{MO}p} \right) \quad (3.6)$$

Отже, для налаштування на МО внутрішнього контуру в нього необхідно ввести ПІ-регулятор струму з коефіцієнтами настройки:

$$k_{PC}^{MO} = \frac{T_{я}R_{я}}{2k_{ДС}k_{ТП}T_{\mu}} , \quad (3.7)$$

$$\text{де } k_{ТП} = \frac{U_{ян}}{U_{сх}} .$$

Отже:

$$k_{PC}^{MO} = \frac{T_{я}R_{я}U_{сх}}{2k_{ДС}U_{ян}T_{\mu}} . \quad (3.8)$$

3.1.3 Синтез моделі контуру швидкості

Структурна схема зовнішнього контуру буде включати в себе механічну частину, оптимізований (налаштований) на МО внутрішній контур, який виконує роль фільтра, що забезпечує необхідну швидкість перехідних процесів в системі, а також регулятор швидкості, параметри якого є визначеними за умови налаштування контуру на МО. Зовнішній контур керування можна розглянути у вигляді, наведеному на рис.3.6.

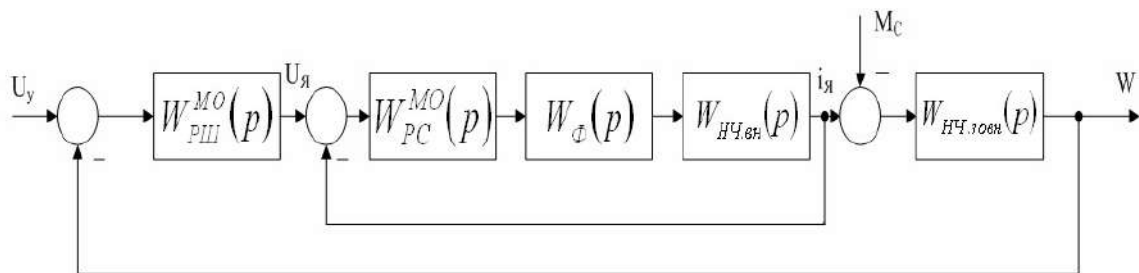


Рисунок 3.4 – Зовнішній контур регулювання швидкості ДПС

Розрахунок структури і параметрів регулятора проводиться за формулою (3.5) при умові, що $i=2$, а в якості об'єкта регулювання, який підлягає структурній і параметричній компенсації, буде виступати ланка:

$$W_{HЧ\ зовн.}(p) = \frac{k_{ДШ} k_{Д} R_{я}}{T_M p}. \quad (3.9)$$

З урахуванням сказаного вище, передатна функція регулятора, за умови налаштування зовнішнього контуру на МО, дорівнює:

$$W_{PII}^{MO}(p) = \frac{1}{4T_{\mu} p} \cdot \frac{1}{W_{HЧ\ зовн.}(p)} = \frac{T_M}{4T_{\mu} k_{ДШ} k_{Д} R_{я}}, \quad (3.10)$$

На основі отриманого вище виразу (3.10), можна зробити висновок про те, що для забезпечення настройки зовнішнього контуру на МО, в контур швидкості необхідно ввести ПІ-регулятор з коефіцієнтом настройки рівним значенню $W_{PII}^{MO}(p)$ (3.10).

Для налагодження контуру на симетричний оптимум, контур повинен мати наступну передатну функцію:

$$W_{PII}^{CO}(p) = \frac{4T_{\mu}p + 1}{a_{cc}T_{\mu}^2 p^2 (T_{\mu}p + 1)}, \quad (3.11)$$

де a_{cc} – коефіцієнт налагоджування контуру швидкості на СО.

Для налагоджування на СО регулятор швидкості повинен мати вигляд:

$$W_{PII}^{CO}(p) = K_{PII} + \frac{1}{T_i p}, \quad (3.12)$$

де $T_i = \frac{a_{cc}T_{\mu}^2 C k_{ш}}{k_{ш}T_m}$, а $K_{PII} = \frac{4T_{\mu}}{T_i}$.

Замкнений контур швидкості має наступний вигляд:

$$W_3^{CO}(p) = \frac{1}{k_{ш}} \frac{4T_{\mu}p + 1}{a_{cc}T_{\mu}^3 p^3 + a_{cc}T_{\mu}^2 p^2 + a_{cc}T_{\mu}p + 1} \quad (3.13)$$

3.1.4 Синтез моделі регулятора положення

Визначимо коефіцієнт підсилення регулятора положення з умови відпрацьовування переміщення. У процесі відпрацьовування даного переміщення максимальна швидкість обертання двигуна не перевищує

номінальної швидкості обертання. Процес гальмування починається після досягнення номінальної швидкості.

Коефіцієнт підсилення регулятора положення нелінійно зв'язаний з величиною переміщення φ_3 , що відпрацьовується:

$$W_{pn}(p) = K_{pn} = \frac{K_c}{K_n} \sqrt{\frac{4I_{\max} R_{\Sigma}}{T_M C\Phi \varphi_3} \cdot \frac{I_{\max} + I_c}{I_{\max} - I_c}}. \quad (3.14)$$

Швидкість закінчення розгону і початку гальмування:

$$\omega_n = \varepsilon_p t_p = \varepsilon_m t_m. \quad (3.15)$$

де ω_n – номінальна швидкість обертання двигуна; $\varepsilon_p, \varepsilon_m$ – відповідно, кутове прискорення приводу при розгоні і гальмуванні; t_p, t_m – відповідно, час розгону і гальмування приводу.

Показник прискорення при розгоні:

$$\varepsilon_p = \frac{M_{\max} - M_c}{J} = \frac{I_{\max} + I_c}{J} \times C\Phi, \quad (3.16)$$

де $M_{\max}$ – максимальний момент двигуна; M_c – момент статичного навантаження, J – момент інерції приводу.

$$\varepsilon_m = \frac{M_{\max} + M_c}{J} = \frac{I_{\max} + I_c}{J} \times C\Phi. \quad (3.17)$$

Показник часу розгону:

$$t_p = \frac{\omega_n}{\varepsilon_p}. \quad (3.18)$$

Показник часу гальмування:

$$t_m = \frac{\omega_H}{\varepsilon_m} \cdot \quad (3.19)$$

Переміщення за час розгону і гальмування:

$$\varphi_z = \varphi_p + \varphi_m \cdot \quad (3.20)$$

Виразивши значення шляху при розгоні і гальмуванні через прискорення і часи розгону і гальмування (3.15) – (3.20), одержимо:

$$\begin{aligned} \varphi_z &= \frac{\varepsilon_p t_p^2}{2} + \frac{\varepsilon_m t_m^2}{2} = \frac{\varepsilon_p \omega_H^2}{2 \cdot \varepsilon_p^2} + \frac{\varepsilon_m \omega_H^2}{2 \cdot \varepsilon_m^2} = \frac{\omega_H^2}{2} \left(\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_m} \right) = \\ &= \frac{\omega_H^2 J}{2 C \Phi} \left(\frac{1}{I_{\max} - I_c} + \frac{1}{I_{\max} + I_c} \right) = \frac{\omega_H^2 T_M C \Phi I_{\max}}{R_{\mathcal{O}} (I_{\max}^2 - I_c^2)}. \end{aligned} \quad (3.21)$$

Підставивши вираз (3.21) у (3.14), одержимо рівняння для коефіцієнта підсилення регулятора положення, що не залежить від переміщення, що задається:

$$\begin{aligned} K_{\text{рп}} &= \frac{K_c}{K_{\Pi}} \sqrt{\frac{4 I_{\max} R_{\mathcal{O}}}{T_M C \Phi} \cdot \frac{I_{\max} + I_c}{I_{\max} - I_c} \cdot \frac{R_{\mathcal{O}} (I_{\max}^2 - I_c^2)}{\omega_H^2 T_M C \Phi I_{\max}}} = \\ &= \frac{K_c}{K_{\Pi}} \cdot \frac{2 R_{\mathcal{O}} I_{\max}}{T_M C \Phi \omega_H} \cdot \left(1 + \frac{I_c}{I_{\max}} \right). \end{aligned} \quad (3.22)$$

Оскільки привід працює в широкому діапазоні зміни статичного моменту опору і завдань на переміщення, то коефіцієнт підсилення регулятора положення вибирається для випадку, коли відпрацьовується завдання на

переміщення з виходом на максимальну швидкість без навантаження ($M_c = 0, \omega_n = \omega_o$). Тим самим забезпечується відсутність перерегулювання по положенню при відпрацьовуванні довільних завдань на переміщення:

$$W_{pn}(p) = K_{pn} = \frac{K_c}{K_{\Pi}} \cdot \frac{2I_{\max} R_{\Theta}}{T_M C\Phi \omega_n}, \quad (3.23)$$

3.2 Моделювання САК пересувним рольгангом

Моделювання системи проводилось за допомогою прикладної програми Matlab 6.5. У блоках Subsystem з назвою «DC-motor» міститься модель двигуна постійного струму, яка складається з контуру керування якорем двигуна та обвитки збудження (рис 3.5)

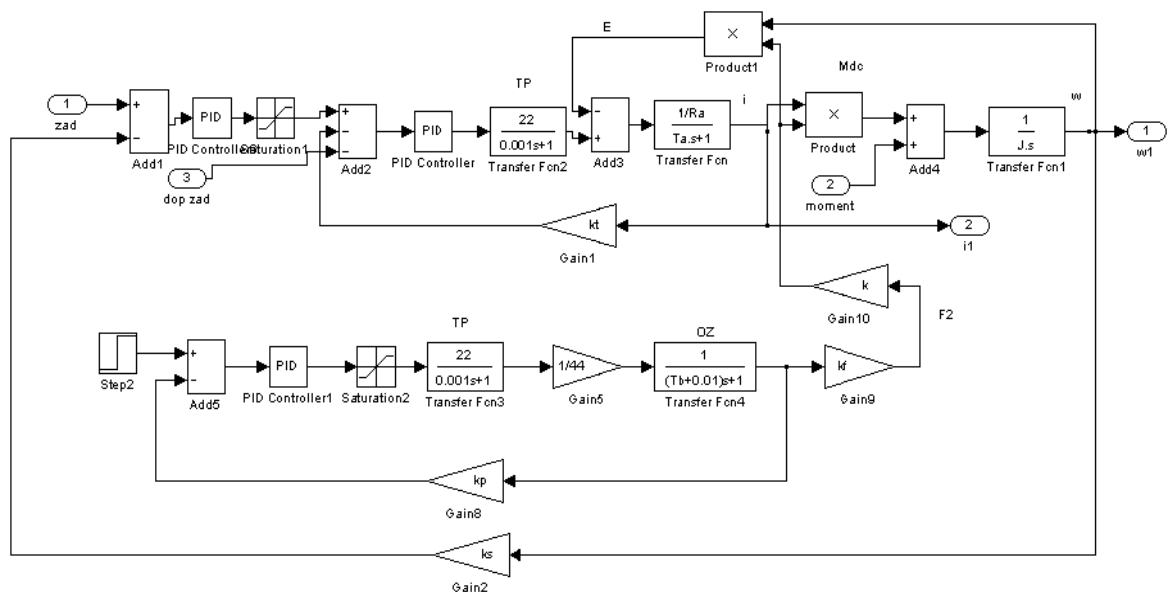


Рисунок 3.5 – Модель двигуна постійного струму з незалежним збудженням

Вхідними величинами для блоку «DC-motor» є завдання на швидкість, що приходить від регулятора положення, момент статичного опору та додаткове завдання на регулятор струму для реалізації вирівнювання параметричної невідповідності двигунів. Вихідними величинами є швидкість обертання та

струм якоря двигуна.

Моделювання жорсткого зв'язку між двигунами моделювалося як пружний зв'язок [8]. Але пружний зв'язок характеризується безмежно здовженням, тому цей зв'язок обмежений з двох боків.

При абсолютно однакових параметрах двигунів, моментах опору на валах, моментах інерції та потоках збудження швидкості обертання та струми двигунів абсолютно співпадають у одну лінію (рис. 3.6–3.8).

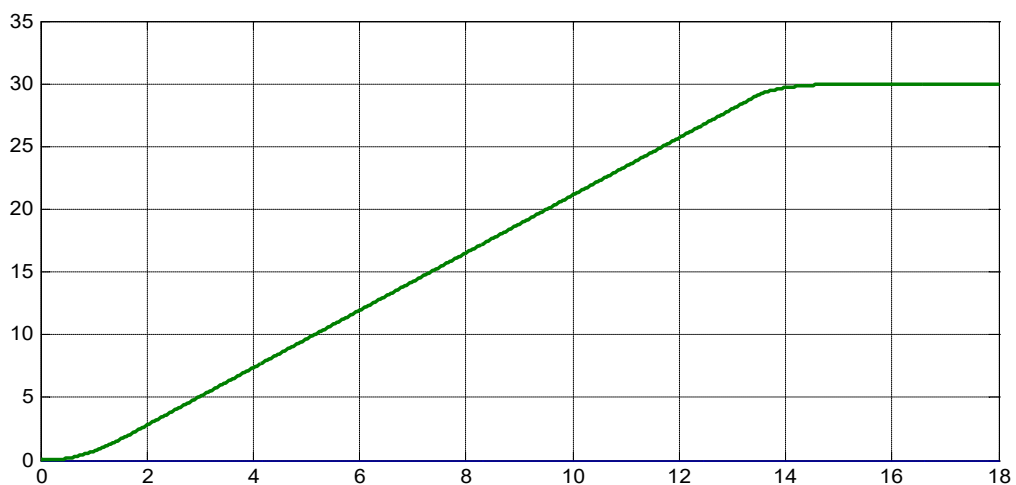


Рисунок 3.6 – Графік переміщення візка

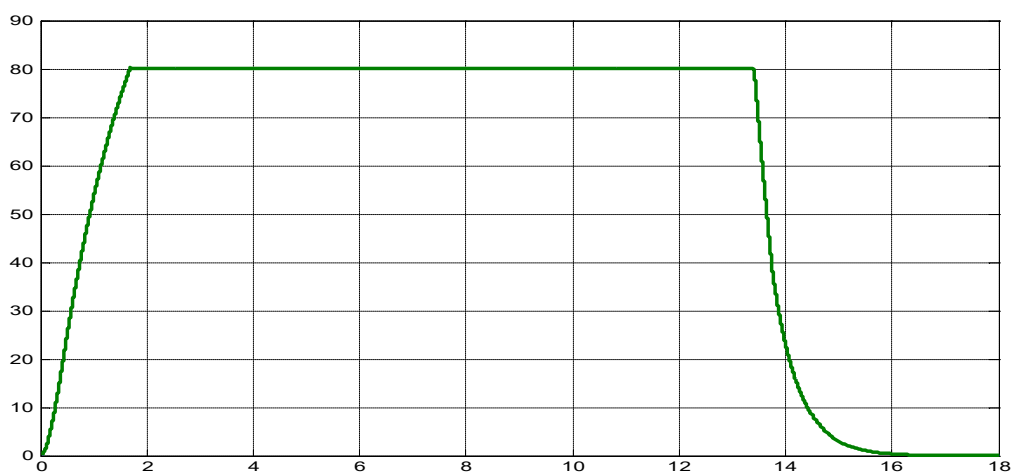


Рисунок 3.7 – Графік швидкостей двигунів при однакових параметрах

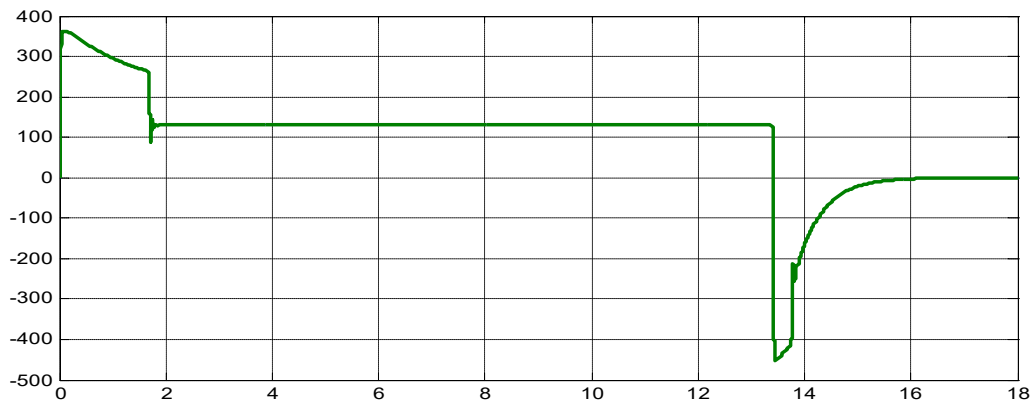


Рисунок 3.8 – Графік струмів двигунів

Моделювання виконувалося для завдання на переміщення 30 метрів. Як видно з графіка 3.6 візок проїжджає задану відстань за 17.5 с з середньою швидкістю 1.71 м/с. Час розгону становить 1.8 с, а гальмування 4 с. Максимальні піки кидків струму можна спостерігати при розгоні візка та гальмуванні, значення відповідно 360 А ($1.5I_n$) та 452 А ($1.8I_n$), що є нормою за перенавантаженням для двигунів постійного струму $(1.5-2)I_n$. Після розгону двигуни виходять на номінальну швидкість 80 рад/с, струм двигунів = 130 А.

3.3 Моделювання самоналагоджувальної системи

Для перевірки самоналагоджуваності системи за моментом інерції на валу у m-файлі задавався діаметр труб, та їх кількість на візку. Далі по наведеним формулам розраховувався момент опору та приведений момент інерції на валу. В результаті промодельовано декілька варіантів діаметрів труб, параметри регуляторів швидкості та регулятора положення були розраховані для труб Ø1020 мм (частка виготовлення труб цього діаметру за статистичними даними – 50% від загального випуску труб). Графіки перевезення труб іншого діаметру наведено на рисунках 3.9–3.11.

$R_a=0.911$; %опір якоря

$L_a=7.4 \cdot 10^{-3}$; %індуктивність якоря

$T_a=0.03$; %постійна якоря

$T_b=0.27$; %постійна котушки збудження

```

kf=0.0095;%динамічний коефіцієнт потоку
kd=2.58;%постійна двигуна
k=66.85;
kt=10/(2*220);%коефіцієнт передачі датчика струму
ks=10/80.6;%коефіцієнт передачі датчика швидкості
kdpol=10/150;%коефіцієнт передачі датчика положення
kp=10/(8);%коефіцієнт передачі датчика струму котушки збудження
Tit=(2*22*kt*0.001)/Ra;%інтегральна частина Пі-регулятора струму
Krt=Ta/Tit*0.0815;%пропорційна частина Пі-регулятора струму
h=0.02;%товщина труби
N=2;%кількість труб
D=1.42;%діаметр труби
m=7850*12*3.14*(D*h-h^2);%маса труби
J=(1.3*(2+0.05)+(20000+N*m)*(2/80.6)^2)/2 %приведений момент інерції на
валу двигуна
Mc=((20000+N*m)*9.81*0.0675*0.4)/(0.9*14^2)%статичний момент опору на
валу двигуна
Tis=(8*(2*0.001)^2*1/kd*Ra)/(kt*J);%інтергальна частина регулятора
швидкості
Krs=(4*2*0.001)/Tis;%пропорційна частина регулятора швидкості
Krp=(44*0.27)/(2*0.001*22*kf*kp);%пропорційна частина регулятора струму
збудження
Tip=0.27;%інтерральна частина регулятора струму збудження

kpol=2*240/J;%прорційний коефіцієнт регулятора положення

```

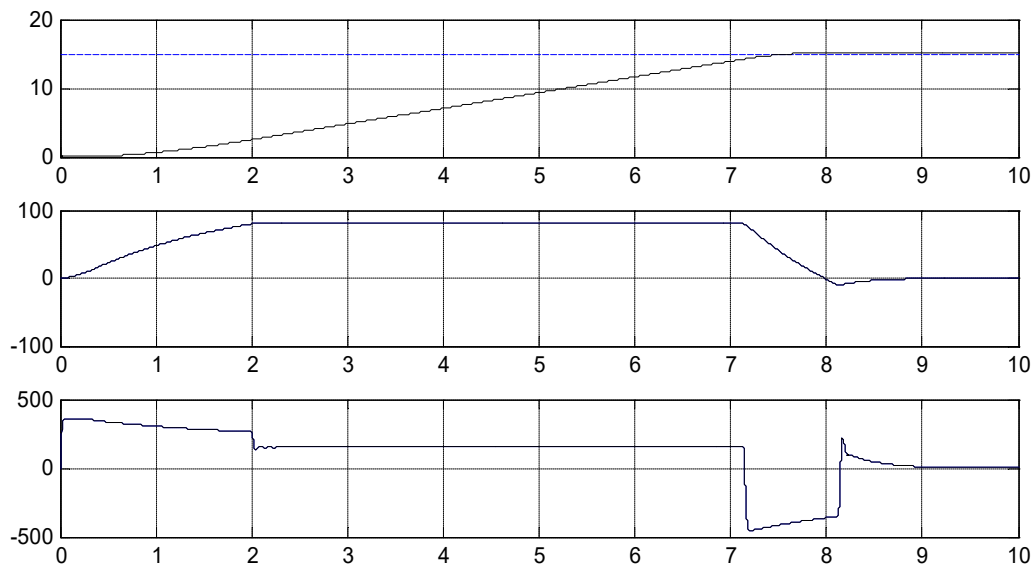


Рисунок 3.9 – Графіки переміщення, швидкості та струму при перевезенні труби діаметром 715 мм без адаптації

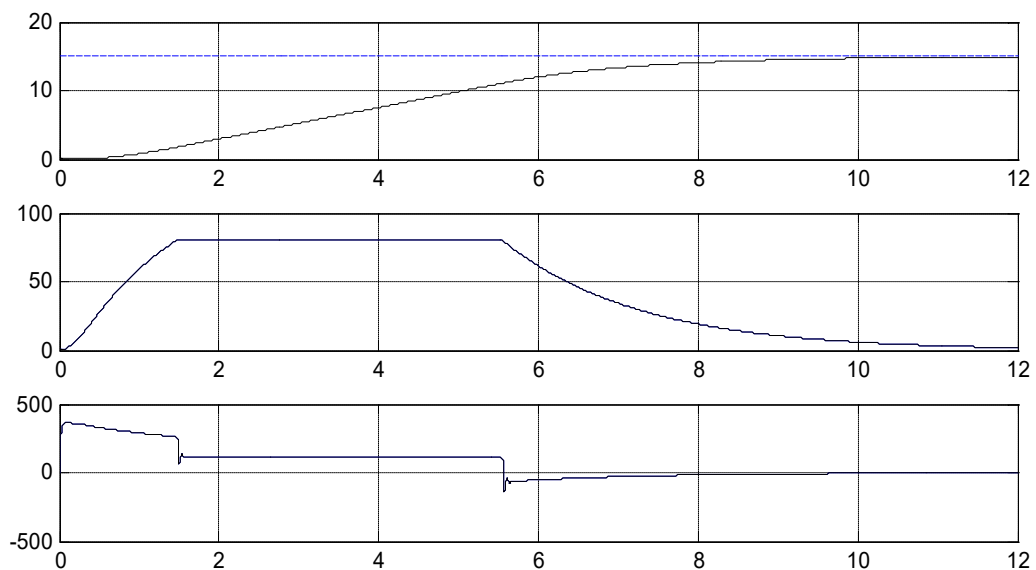


Рисунок 3.10 – Графіки переміщення, швидкості та струму при перевезенні труби діаметром 1420 мм без адаптації

Аналізуючи графіки 3.9–3.10 можна зробити висновки, що при налагоджуванні системи на якийсь певний діаметр погіршує динамічні показники перевезення труб погіршуються. На рис. 3.9 видно, що графік переміщення має перерегулювання, візок переїхав задану позицію на 30 см та потім повернувся назад. А на рис. 3.10 видно, що затягнувся час гальмування,

який досяг 7 с. Тепер промодельюємо ці ж діаметри труб, але з налаштуванням регуляторів, як показано на рис. 3.11.

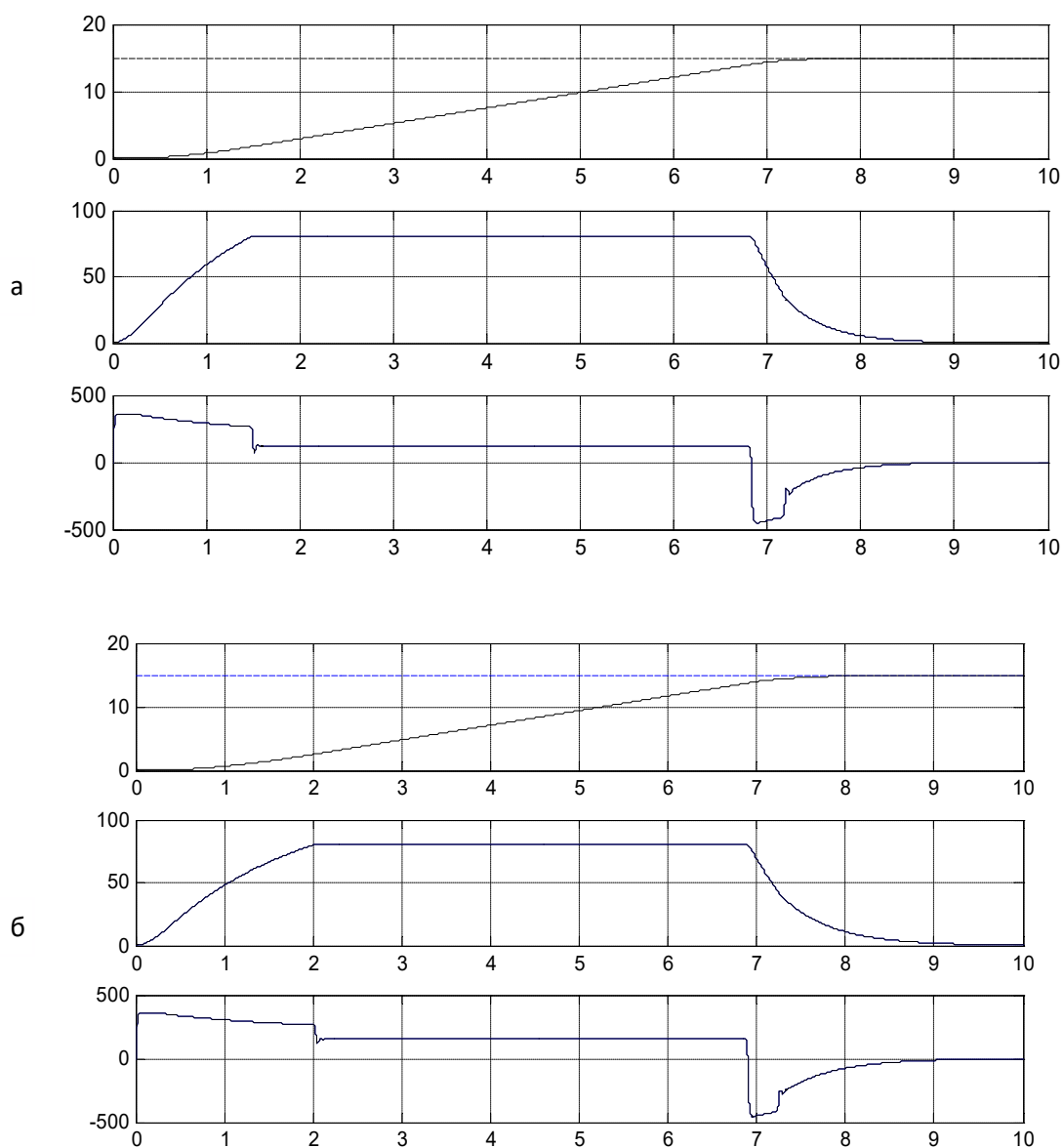


Рисунок 3.11 – Графіки перевезення 2-х труб а) Ø 715мм та б) Ø 1420 мм

З рисунка 3.11 видно, що графіки покращилися, час гальмування практично однаковий. Ці графіки доводять доцільність впровадження коректування параметрів регуляторів при зміні діаметру труби на візку.

3.4 Моделювання системи вирівнювання струмів за рахунок впливу на контур струму

Загальний вид схеми вирівнювання показаний на рис. 3.12, для вирівнювання знаходиться різниця у блоці «Add4», потім ця різниця через регулятор PBS подається до додаткового завдання «dop zad» у блоці «DC-motor».

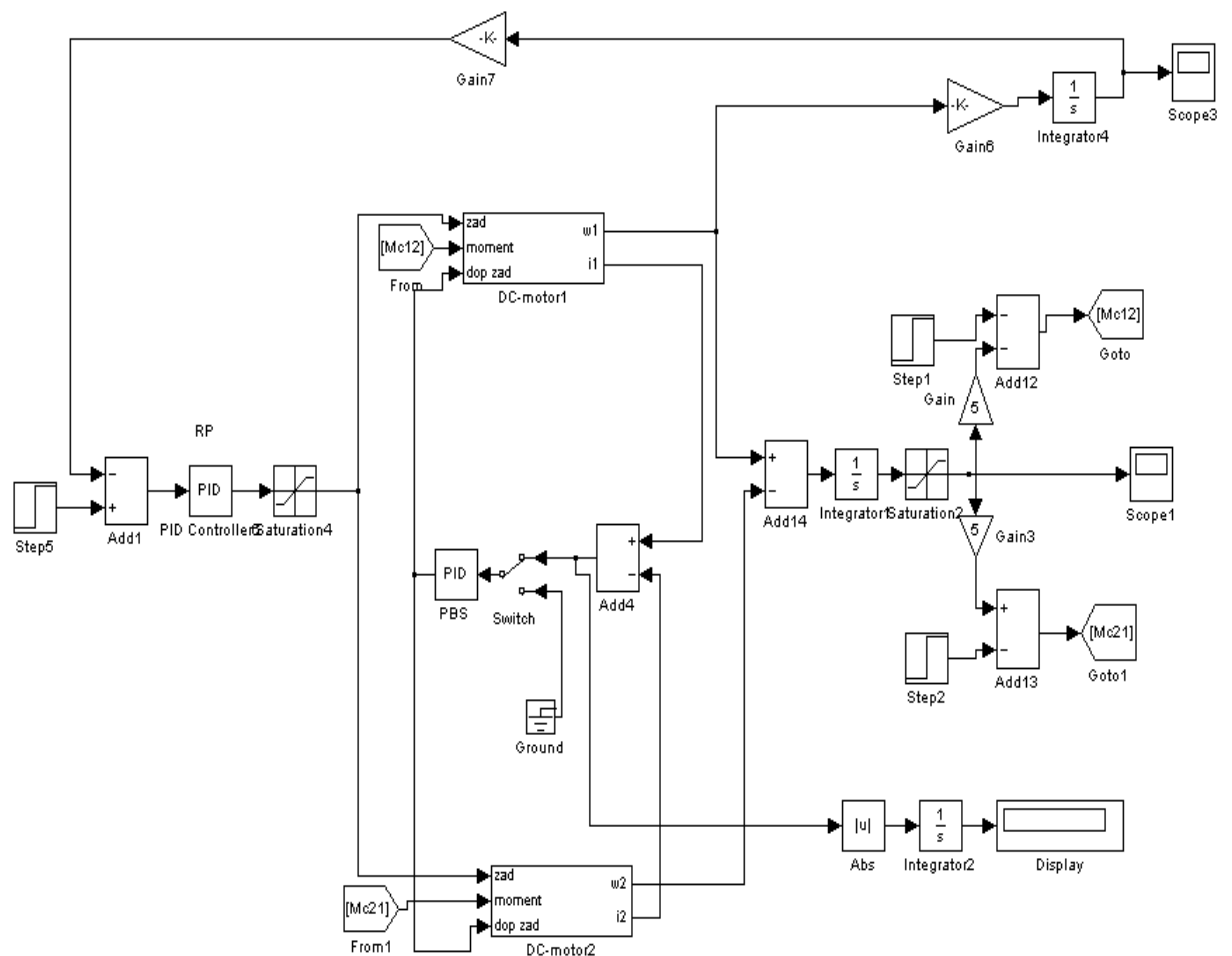


Рисунок 3.12 – Загальний вид моделі автоматичної системи керування

Якщо різниця струмів має додатній знак, то ця різниця віднімається від завдання на контур струму першого, двигуна, а до другого додається, якщо різниця від'ємна, то навпаки. Для моделювання параметрів якірної ланки першого двигуна було збільшено на 30 %, графіки струмів та швидкостей двигуна представлені на рисунку 3.13.

Як видно з графіків швидкості двигунів виходять на номінальну швидкість за різний час, а різниця струмів у момент розгону становить 200 А, а у момент гальмування 130А. Із-за різних параметрів двигуни мають різні динамічні властивості: час перехідний процесу, час розгону, перерегулювання. Можна зробити висновок, що один двигун у динамічні моменти більш навантажується ніж другий двигун, що може призвести до виходу з ладу цього двигуна. Графік різниці струмів представлений на рисунку 3.14.

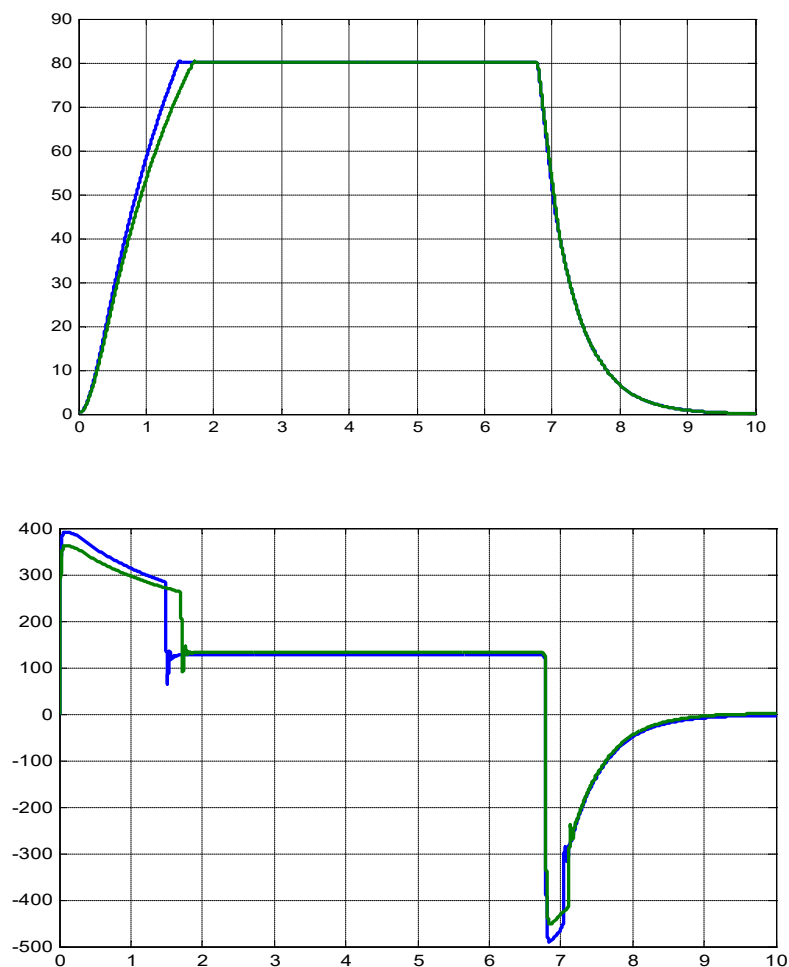


Рисунок 3.13 – Графіки швидкості та струмів двигунів

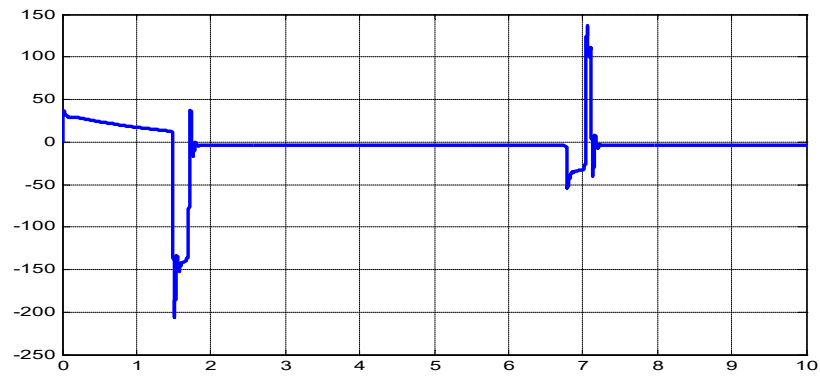


Рисунок 3.14 – Графік різниці струмів

У якості регулятора вирівнювання струмів було використано Пі-регулятор з пропорційною частиною, яка рівна коефіцієнту передачі контуру струму двигуна, а інтегральна частина I обиралася експериментально. На рисунках 3.15–3.17 представлені графіки вирівняних струмів залежно від зміни інтегральної частини ПІ-регулятора.

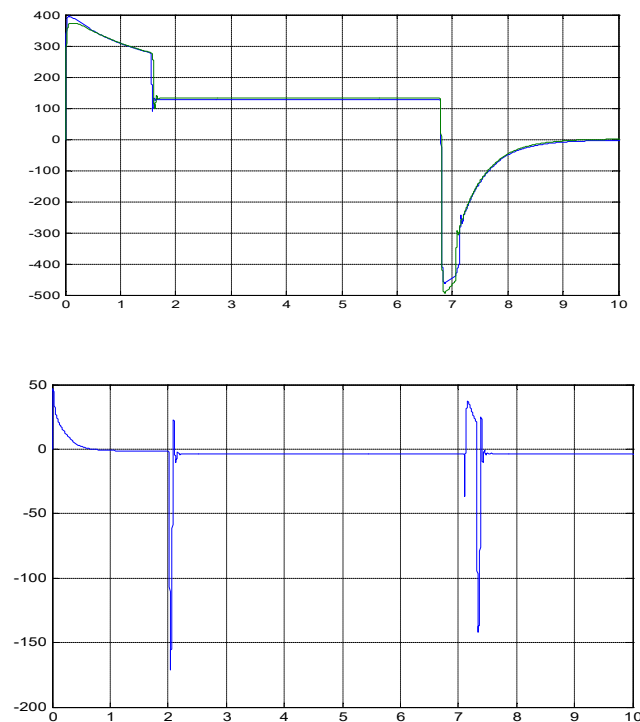


Рисунок 3.15 – Графіки струмів та їх різниці при $I=0.1$

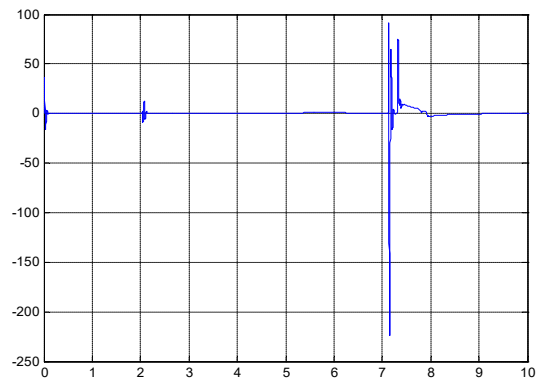
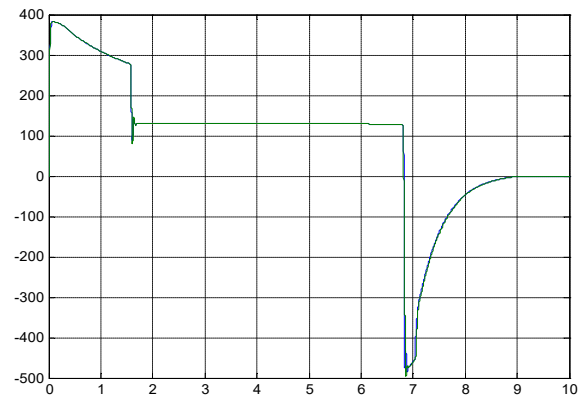


Рисунок 3.16 – Графіки струмів та їх різниці при $I=3$

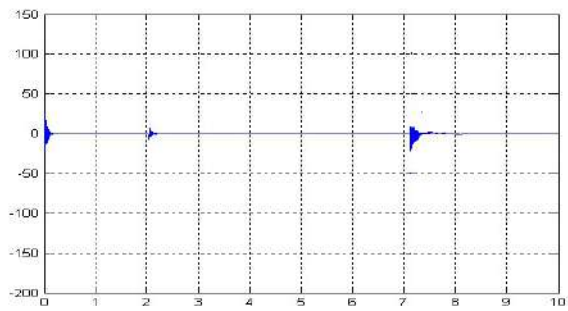
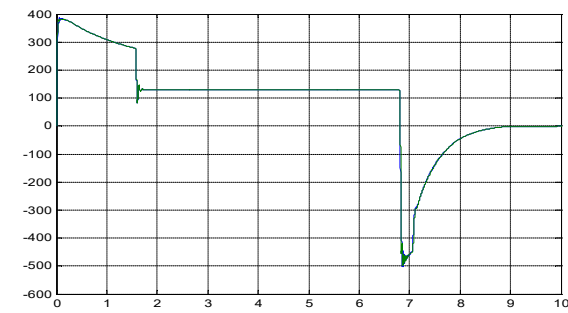


Рисунок 3.17 – Графіки струмів та їх різниці при $I=13$

Моделювання показало, що найкращі показники досягаються при $I=13$, а збільшення I приводить до погіршенню результатів. На рисунку 3.18 зображені вихід регулятора вирівнювання та графіки швидкостей двигунів.

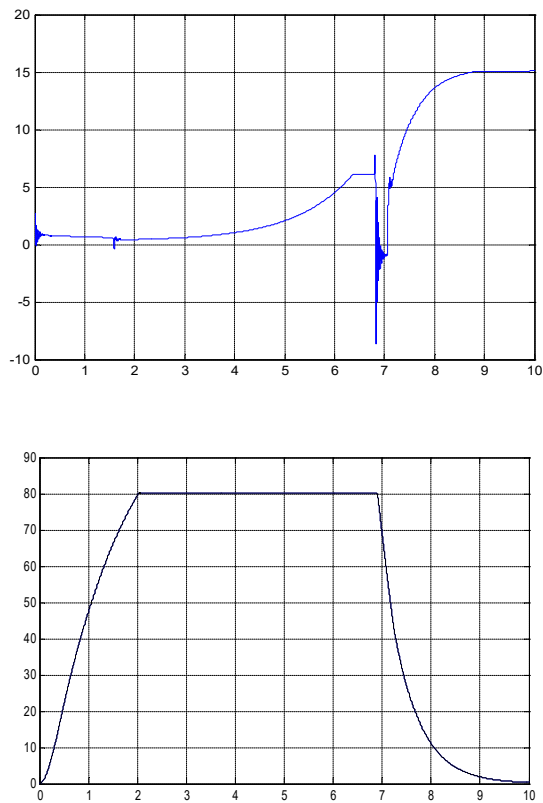


Рисунок 3.18 – Графіки виходу регулятора вирівнювання та швидкостей двигунів

Проаналізувавши отримані графіки, можна сказати, що створена система вирівнювання має відмінні результати за швидкістю, якістю вирівнювання та простотою реалізації.

3.5 Моделювання та дослідження системи вирівнювання струмів за рахунок впливу на котушку збудження

Загальний вид схеми вирівнювання показаний на рис. 3.12, для вирівнювання знаходиться різниця у блоці «Add4», потім ця різниця через регулятор PBS подається до додаткового завдання «*dop zad*» у блоці «DC-

motor», але ця різниця подається як додаткове до контуру котушки збудження, як показано на рис.3.19.

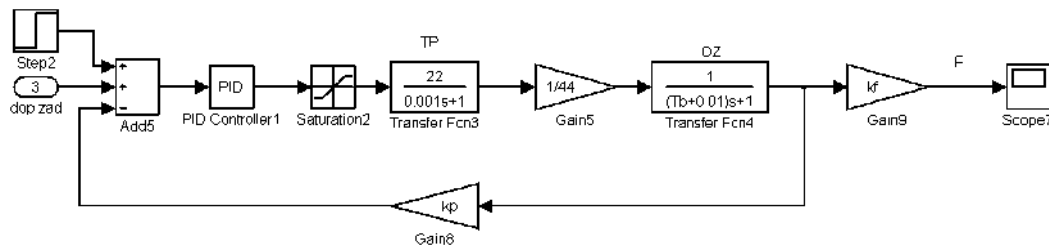


Рисунок 3.19 – Схема моделювання контуру збудження

Якщо різниця струмів має додатній знак, то ця різниця додається до завдання на контур збудження першого, двигуна, а від другого віднімається, якщо різниця від’ємна, то навпаки. Для моделювання параметри якірної ланки першого двигуна було збільшено на 30. Після налаштований регулятор вирівнювання має такі параметри пропорційна частина $P=0,032$; інтегральна $I=0,3$; диференційна $D=0,0024$. Вихідний сигнал регулятора вирівнювання був пропущений через фільтр низьких частот з постійною $T=1.2$ с. Отримані графіки представлені на рис. 3.20–3.23.

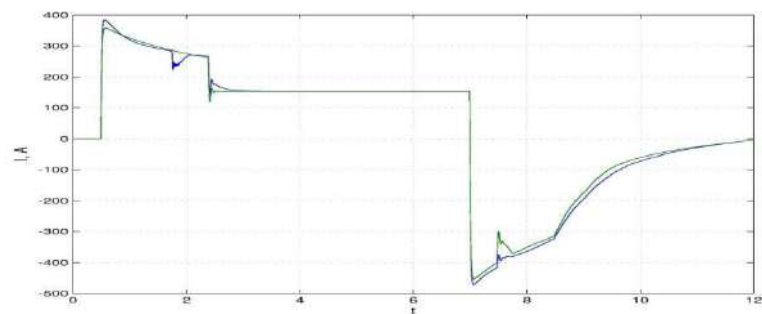


Рисунок 3.20 – Графік вирівняних струмів

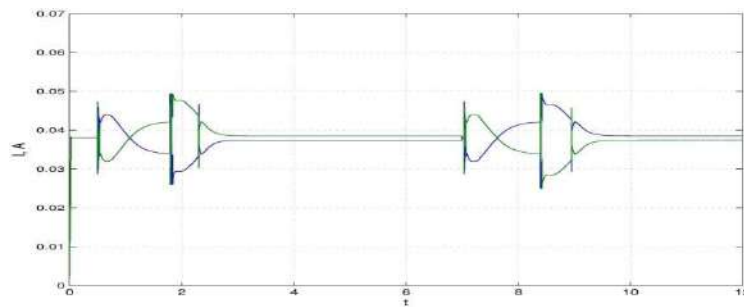


Рисунок 3.21 – Графік потоків двигунів

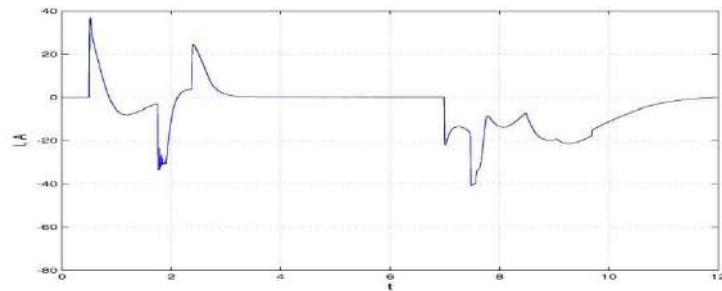


Рисунок 3.22 – Графік різниці струмів двигунів

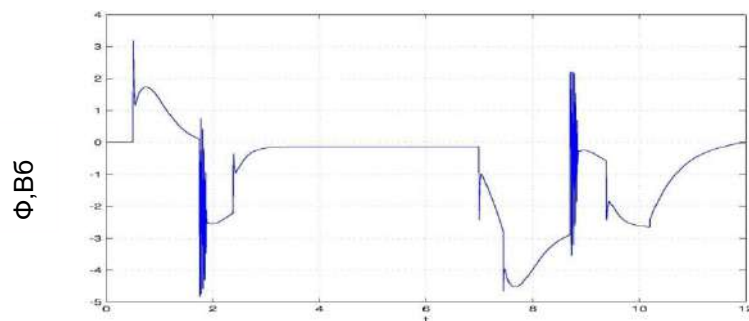


Рисунок 3.23 – Графік виходу регулятора вирівнювання струмів

Як видно з графіків, система вирівнювання шляхом впливу на потік збудження має гірші показники якості, ніж система вирівнювання шляхом впливу на контури струмів. Різниця хоча й зменшилася, але все одно залишилася доволі великою до 40 А. Незадовільні результати обумовлені інерційністю котушки збудження. Також слід відмітити, що даний метод буде працювати у системах, де струми не так швидко нарастають. Ця система підходить для систем двозонного регулювання швидкості приводу. А для нашої системи довелося б використовувати додаткові тиристорні перетворювачі для керування потоком збудження.

Система вирівнювання за рахунок впливу на контур струму показала кращі результати, до того ж вона потребує додаткових витрат. Тому було вирішено використати саме цю систему та розрахувати економічну доцільність впровадження створеної адаптивної до навантаження системи.

Висновки до розділу 3

1. Отримана математична модель пересувного рольгангу у вигляді диференціальних рівнянь першого порядку, що описують динамічні властивості об'єкту керування.

2. У результаті порівняння двох систем вирівнювання струмів, які використовуються при проектуванні САК пересувним рольгангом для умов промислових підприємств, встановлено, що кращі результати показала система вирівнювання за рахунок впливу на контур струму двигунів.

3. Розраховано показники часу гальмування та розгону, встановлено, що вони залишаються постійними для різних діаметрів труб ($\varnothing$ 715мм та $\varnothing$ 1420 мм), що підтверджують працездатність розробленої САК пересувним рольгангом.

4. Отримані результати математичного моделювання доводять, що поставлені в технічному завданні мета та задачі бакалаврської роботи було досягнуто.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА ПІДПРИЄМСТВІ

4.1 Характеристика умов праці науково-дослідного відділу підприємства

Робочим приміщенням, у якому розташовано науково-дослідний відділ, є кімната розмірами 6 метрів на 3,5 метрів. У приміщенні розташовані 1 комп'ютер потужністю 0,5 кВт/год., 1 монітор потужністю 0,1 кВт/год., 1 ноутбук потужністю 0,07 кВт/год., 2 принтери потужністю 0,4 кВт/год., генератор сигналів потужністю 0,06 кВт/год., осцилограф потужністю 0,05 кВт/год., паяльна станція потужністю 0,6 кВт/год., 4 лабораторні блоки живлення потужністю 0,15 кВт/год., 1 кондиціонер потужністю 3,5 кВт/год.

Приміщення знаходиться на 6-ому поверсі адміністративного будинку цегельної будівлі та за своїх характеристикам цілком відповідає вимогам СІ І і П 2.09.04 – 87 «Адміністративні і побутові будинки виробничих підприємств», а також СП 512 – 78 «Інструкція з проектування будинків і приміщень ЕОМ».

Основними шкідливими факторами, зв'язаними з роботою на ПК є:

- напруга зорових органів та пов'язане з цим стомлення, захворювання і побічні ефекти;

- значне навантаження на пальці та кисті рук, що при відсутності профілактики та медичного контролю можуть викликати професійні захворювання;

- тривале перебування в одній і тій самій позі, що викликає застійні явища в організмі, та може сприяти різним захворюванням;

- випромінювання різного виду при використанні відеомоніторів на електронно-променевих грубках (м'яке рентгенівське випромінювання, ультрафіолетове випромінювання, видиме випромінювання, інфрачервоне випромінювання, низько і високочастотне електромагнітне випромінювання, електростатичні полюси);

– механічні шуми, що пов'язані з роботою електронно-механічного друкуючої пристрою (принтера), вентиляторів системи охолодження, приводів читання CD-дисків та вібрація; іонізація повітря;

– наявність шкідливих хімічних речовин.

Дослідження науково-дослідного інституту гігієни праці і профзахворювань вказали на зміни у функціональному стані зорового аналізатора в ході виробничої діяльності фахівців, що працюють з відеотерміналами, наприкінці 4 години роботи.

Професійні захворювання при роботі з персональним комп'ютером:

– комп'ютерний зоровий синдром. Вплив роботи з монітором зазвичай залежить від віку користувача, від стану зору, а також від інтенсивності роботи з дисплеєм та організації робочого місця. В результаті тривалої роботи дуже великий ризик появи, або прогресивності вже наявної, короткозорості.

– проблеми, що пов'язані з м'язами і суглобами. Нерухома напружена поза оператора, протягом тривалого часу прикутого до екрану монітора, призводить до втоми і виникнення болю в хребті, шиї, плечових суглобах, а також розвивається м'язова слабкість і відбувається зміна форми хребта. Інтенсивна робота з клавіатурою викликає больові відчуття в ліктьових суглобах, передпліччях, зап'ястях, в кистях і пальцях рук. Зазвичай присутні скарги на оніміння шиї, біль у плечах і попереку або поколювання в ногах. Але бувають, проте, і більш серйозні захворювання. Найбільш поширений кистьовий тунельний синдром, при якому нерви руки пошкоджуються внаслідок частой і тривалої роботи на комп'ютері. У найбільш важкій формі цей синдром проявляється у вигляді болісних відчуттів, що позбавляють людину працездатності.

– синдром комп'ютерного стресу. Постійні користувачі ПК зазвичай піддаються психологічним стресам, функціональних порушень центральної нервової системи, хвороб серцево-судинної системи.

– вплив на імунну систему. При впливі електро-магнітного випромінювання (ЕМВ) порушуються процеси імуногенезу, опромінених ЕМВ,

змінюється характер інфекційного процесу – протягом інфекційного процесу обтяжується. ЕМВ можуть сприяти неспецифічному пригніченню імуногенезу, посилення утворення антитіл до тканин плоду і стимуляції аутоімунної реакції в організмі вагітної самки.

– вплив на ендокринну систему і нейрогуморальну реакцію. При дії ЕМВ, як правило, відбувається стимуляція гіпофізарно-адреналінової системи, що супроводжується збільшенням вмісту адреналіну в крові, активацією процесів згортання крові.

– вплив на статеву функцію. Порушення статевої функції зазвичай пов'язані зі зміною її регуляції з боку нервової та нейроендокринної систем.

Симптоми захворювання різноманітні і численні. Зазвичай, на-відмінність єдиного симптому малоймовірно, оскільки всі функціональні органи людини взаємопов'язані.

1. Фізичні нездужання: сонливість, непроходяча втома; головний біль після роботи; болі в нижній частині спини, в ногах, відчуття поколювання, оніміння, болі в руках; напруженість м'язів верхньої частини тулуба.

2. Захворювання очей: відчуття гострого болю, печіння, свербіння.

3. Порушення візуального сприйняття: неясність зору, яка збільшується протягом дня; виникнення подвійного зору.

4. Погіршення зосередженості і працездатності: зосередженість досягається за працею; дратівливість під час і після роботи; повітря робочої точки на екрані; помилки при друкуванні.

4.2 Заходи щодо поліпшення умов праці

До приміщення науково-дослідного відділу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з одnobічним розміщенням світопрорізів, площа освітленості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни

світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м^2 , об'єм – 20 м^3 . Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами складає 3 м. Екрани відеомоніторів ПК знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050×590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

4.2.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентильовання. Витрату

повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (4.1)$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг); p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м³); t_B – температура витяжного повітря (30°C); t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (4.2)$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування; $Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла робітниками; $Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення; $Q_{\text{СР}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_{\sigma} \cdot 860, \quad (4.3)$$

P – сумарна потужність устаткування, кВт/год; K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_{σ} – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{УСТ}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_{\sigma} \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{\text{ПЕР}} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год}, \quad (4.4)$$

де n – кількість працюючих; g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{\text{ОСВ}} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год}, \quad (4.5)$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питоме тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.) S – площа приміщення, м².

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{\text{СР}} = F \cdot g_2 \cdot K_{\text{ОСЛ}} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \quad (4.6)$$

де F – площа віконних прорізів (3х2,5=7,5 м²); g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.); $K_{\text{ОСЛ}}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо 0,4.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування і вентилявання має

продуктивність 2200 куб. м./годину, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати (22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та 40-60 % відповідно. При збереженні всім параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. 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 даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

4.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($h=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{стелі} = 70$ %, $P_{стін} = 50$ %. 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 $h_c = 0,4$ м.. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

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 лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідному відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,5 - 0,4 = 2,8 \text{ м.}$$

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

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,8 = 2,0 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{2^2} = 6.$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 3 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника (Φ_L) визначається за формулою:

$$\Phi_L = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк; K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп; S – площа приміщення, що освітлюється, м²; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (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:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обираємо лампу Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 2100 лм. Хоча це значення на 18% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 6 = 900 \text{ Вт.}$$

4.3 Пожежна безпека

Найважливішою умовою роботи будь-якого підприємства є дотримання правил пожежної охорони. У приміщенні лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідному відділу основні міри для забезпечення пожежної безпеки визначає «Інструкція про заходи пожежної безпеки для службових приміщень (офісів)». Вона є обов'язковою для використання всіма співробітниками відділу. У згідності з цією інструкцією, у кожному приміщенні повинний бути призначений відповідальний за пожежну безпеку, вивішена на видному місці

табличка з указівкою його посади та прізвища.

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи та виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захащувати. По мірі нагромадження та закінчення роботи пальні відходи варто збирати в спеціально відведених сміттєзбиральників.

Електромережі, електроприлади й апаратура повинна експлуатуватися тільки в справному стані, з урахуванням рекомендацій підприємства-виготовлювачів. У випадку виявлення ушкоджень електромереж, вимикачів, розеток та інших електровиробів варто негайно відключи їх та вжити необхідних заходів до приведення в пожежобезпечний стан. Документи папір та інші горючі матеріали варто зберігати на відстані не менш 1 м від електрощитів, електрозбірок та електрокабелів, 0,5 м від світильників та 0,25 м від приладів опалення.

Засоби протипожежного захисту (пожежні крани, пожежна й охоронно-пожежна сигналізація, первинні засоби пожежогасіння і т.п.), що мають у приміщеннях, варто тримати в справному стані.

Усі працівники повинні пройти протипожежний інструктаж, уміти користатися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння та знати місце їхнього перебування. Відстань від найбільш віддаленого місця приміщення до місця розміщення вогнегасника не повинне перевищувати 20 м.

4.4 Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві

Об'єктом розгляду на предмет визначення надзвичайних небезпек та їх наслідків є науково-дослідний відділ. Однією із вірогідних загроз може бути раптове виникнення пожеги внаслідок короткого замикання в електромережах або розрядів статистичної електрики, що може привести до пошкодження і

руйнування будівлі, устаткування, комунікацій, виділення токсичних продуктів горіння.

Тому в науково-дослідному відділі розроблено оперативний план гасіння пожежі, який визначає порядок дії персоналу при пожежі, порядок її гасіння в електроустановках, взаємодію з власним складом пожежних підрозділів, а також застосування схем и засобів пожежогасіння з урахуванням заходів безпеки.

Будівля повинна бути обладнана мережею протипожежного водозабезпечення, установками виявлення та гасіння пожеж відповідно вимогам нормативно-технічних документів. Кожний працівник повинен чітко знати та виконувати вимоги ППБ та протияварійний режим на об'єкті, уміти користуватися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння і знати місце їхнього перебування.

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 захащувати. 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, накопичуються 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. Мінімальна відстань між найбільш віддаленими один від одного евакуаційними виходами із приміщення визначається за формулою:

$$l = 1,5 \cdot \sqrt{P} = 1,5 \cdot \sqrt{19} = 6,5 \text{ м}, \quad (4.7)$$

де P – периметр приміщення, м.

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. При виникненні пожежі, після виклику пожежної охорони, необхідно попередити про це усіх, хто знаходиться поруч, після чого евакуюватися самому і по можливості допомогти евакуюватися іншим, особливо особам літнього віку і дітям, попереджаючи при цьому виникнення паніки. З метою обмеження циркуляції повітря, яке здатне збільшувати швидкість горіння, покидаючи приміщення, закрийте за собою усі двері, якщо це можливо. Якщо пожежа виникла в приміщенні над вами і безпосередньої загрози для вас не спостерігається, то бажано виконати заходи по зниженню можливих втрат від води яку проливають при гасінні пожежі. Для цього необхідно відключити всі електроприводи та прикрити їх поліетиленовою плівкою. Значно гірше, якщо пожежа виникла в приміщенні під вами – потрібно оцінити обстановку и якщо є впевненість, що ще не має сильної задимленості з високою температурою, потрібно негайно покинути приміщення, рухаючись до виходу по коридорам і сходовим кліткам. Користуватися ліфтом категорично забороняється, за винятком ліфтів, які

спеціально призначені для транспортування пожежної охорони. 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, але 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 ін. 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).

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської роботи був вивчений технологічний процес перевезення труб за допомогою пересувного рольгангу. Після аналізу об'єкту були виявлені недоліки системи керування, параметри об'єкту, що змінюються. Цими параметрами стали момент інерції на валу двигунів, який залежить від маси труб, що перевозить пересувний рольганг, та електричні параметри самих двигунів, які впливають на нерівномірність розподілу струмів між двигунами. Були розглянуті методи адаптивного керування та розроблена система коректування параметрів регуляторів системи керування на основі ультразвукового датчика, що дозволить змінювати параметри регуляторів залежно від маси, що перевозить візок. Також визначення діаметру труб, що загружаються дозволить працювати пересувному рольгангу повністю без оператора у автоматичному режимі. Для вирівнювання струмів між двигунами були розглянуті методи усунення перекосу навантаження. Були визначені два найбільш ефективних: за рахунок впливу на потік збудження двигунів та за рахунок впливу на контур струму двигунів.

У ході виконання бакалаврської роботи було створено математичну модель двигунів постійного струму пересувного рольгангу. Також розроблено систему підпорядкованого керування двигунами. Параметри регуляторів струму налагоджені на симетричний оптимум, контур швидкості на модульний оптимум, а регулятор положення за бажаними динамічними показниками рольганга (розгін, гальмування). Моделювання системи показало, що розгін візку триває 2 с, а гальмування 4 с, середня швидкість пересування на відстань 30 м становить 1.71 м/с. Також були промодельовані випадки перевезення труб різного діаметру без коректування параметрів системи та з ним. Без коректування погіршувалися динамічні показники системи: суттєво збільшувався час гальмування, чи з'являлося перерегулювання за переміщенням візку. З коректуванням час гальмування залишається постійним та візок точно зупиняється у заданій йому позиції.

Також були порівняні методи вирівнювання струмів шляхом моделювання. Кращі результати показав метод вирівнювання за рахунок впливу на контур струму двигунів. У якості регулятора вирівнювання був застосований ПІ-регулятор.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Удут Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: [учебное пособие] / Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О. П. – Часть 6. – Т.: ТПУ, 2007 – 149 с.
2. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода: [учебник для вузов] / Чиликин М. Г., Сандлер А. С. – 6-е изд, доп. и перераб. – М.: Энергоиздат, 1981. — 576 с.
3. Терехов В.М. Системы управления электроприводов / В.М. Терехов. – М.: Академия, 2005. – 299 с.
4. Борцов Ю.А. Электромеханические системы с адаптивным модальным управлением / Борцов Ю.А., Поляхов Н.Д., Путов В.В. – Л: Электроатомиздат, 1972. – 216 с.
5. Башарин А.В. Управление электроприводами: [учебное пособие для вузов] / Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392с.
6. Кузовков Н.Г. Модальное управление и наблюдающие устройства / Кузовков Н.Г. – М.: Машиностроение, 1976. – 184 с.
7. Ковчин С.А. Теория электропривода: [учебное пособие для вузов] / Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 2000.- 496 с.
8. Ключев В.И. Теория электропривода: [учебное пособие для вузов] / В.И. Ключев -2-е изд. перераб. и доп.- М.: Энергоатомиздат, 2001. - 704 с.
9. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / Под ред. Перельмутера В.М. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
10. Перельмутер В.М. Системы управления тиристорными электроприводами постоянного тока / Перельмутер В.М., Сидоренко В.А. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
11. Справочник по электрическим машинам / Под ред. Копылова И.П. – М.: Энергоатомиздат, 1988.

12. Практикум із охорони праці / [В.Ц. Жидецький та інші.] – Л.: Афіша-2000р. – 349с.

13. Теория электропривода и промышленной электроники [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://elektroprivod.org.ua>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус.

14. Справочник по автоматизированному электроприводу/ под. ред.. В.А.Елисеева и А.В. Шинянского – М.: Энергоатомиздат, 1983,616 с.

15. Справочник по электрическим машинам/под. ред. М.М. Кацман. пятое издание – М.: Энергоатомиздат, 2003,459 с.