

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

Автоматика та телекомунікації
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри автоматичної та
телекомунікацій

_____ Іван ЛАКТИОНОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2022 р.

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Модернізація системи автоматичного керування швидкістю
винесеного приводу подачі видобувного комбайна»

Виконав : студент 4 курсу, групи АКТ-18
(шифр групи)

спеціальності

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

Савенко Данило Ігорович
(прізвище та ініціали)

Керівник доц. каф. АТ, к.т.н., доц.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я)

_____ Валерій ПОЦЕПАЄВ
(підпис)

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

_____ Олександр КОЛЛАРОВ
(підпис)

Нормоконтроль:

_____ ас. Дар'я ЖУКОВСЬКА
(підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Покровськ – 2022 р.

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

Кафедра автоматики та телекомунікацій
 (повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
 (дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
 (підпис)

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра

Тема: «Модернізація системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі видобувного комбайна»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент
 гр. АТК-18

_____ ДАНИЛО САВЕНКО
 (підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

_____ Валерій ПОЦЕПАСВ
 (підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

_____ Валерій ПОЦЕПАСВ
 (підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ Іван ЛАКТИОНОВ
 (підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтроль

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

Покровськ 2022р.

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АТ
Іван ЛАКТИОНОВ

« ____ » _____ 2022 року

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Савенку Данилу Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація системи автоматичного керування
швидкістю винесеного привода подачі видобувного комбайна

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

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

затверджені наказом від " ____ " 2022 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 існуючих рішень регулювання швидкості винесеного привода подачі.
- 2) Проектування контуру стабілізації швидкості винесеного привода подачі.
- 3) Структурний та параметричний синтез системи автоматичного керування.
- 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
	Поцєпаєв В.В., доц. каф. АТ		
	Лактіонов І.С., зав. каф. АТ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд існуючих рішень регулювання швидкості винесеного приводу подачі	02.05.2022	
2	Проектування контуру стабілізації швидкості винесеного приводу подачі	09. 05.2022	
3	Розробка математичної моделі винесеного приводу подачі	17. 05.2022	
4	Синтез САК	22.05.2022	
5	Моделювання перехідних процесів в винесеного приводу подачі	30.05.2022	
6	Розробка заходів з охорони праці	05.06.2022	
7	Оформлення	15.06.2022	

Студент _____
(підпис)Данило САВЕНКО
(прізвище та ініціали)Керівник роботи _____
(підпис)Валерій ПОЦЕПАЄВ
(прізвище та ініціали)

Лист зауважень

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

АНОТАЦІЯ

Савенко Данило Ігорович «Модернізація системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі видобувного комбайна» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2022.

Зміст пояснювальної записки до бакалаврської роботи: 68 сторінок, 33 рисунка, 17 посилань на використані джерела.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі видобувного комбайна.

Мета роботи – модернізація системи керування швидкістю винесеного привода подачі видобувного комбайна, що забезпечує кращі показники якості регулювання на основі сучасної елементної бази.

Методи й засоби розробки: методи аналізу та синтезу систем теорії автоматичного керування, математичне моделювання в середовищі MATLAB/Simulink.

Модернізація системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі видобувного комбайна передбачає синтез нової структури та параметрів контуру стабілізації швидкості системи, що дозволяє отримати кращі показники якості регулювання – перерегулювання та час регулювання за впливом завдання. Це забезпечить кращу стабілізацію навантаження на виконавчих органах комбайна та знизить ймовірність перекиду електродвигуна приводу виконавчих органів. Також передбачається реалізація системи автоматичного регулювання на контролері.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, ВИДОБУВНИЙ КОМБАЙН, ВИНЕСЕНИЙ ПРИВІД ПОДАЧІ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ГАЛЬМО КОВЗАННЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, СИНТЕЗ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ САК ШВИДКІСТЮ ВИНЕСЕНОГО ПРИВОДА ПОДАЧІ	10
1.1 Аналіз винесеного привода подачі як об'єкта керування	10
1.2 Аналіз існуючих рішень САК винесеним приводом подачі.....	19
1.3 Висновки до розділу 1.....	27
1.4 Мета та завдання роботи	27
2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВИНЕСЕНИМ ПРИВОДОМ ПОДАЧІ.....	28
2.1 Обґрунтування вибору ПЛК та блоку живлення	28
2.2 Обґрунтування та вибір модулів вводу та виводу	31
2.3 Про датчики струму електродвигунів подачі та комбайна	33
2.4 Датчики швидкості приводів подачі	33
2.5 Висновки до розділу 2.....	34
3 СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВИНЕСЕНИМ ПРИВОДОМ ПОДАЧІ.....	35
3.1 Математична модель САК винесеним приводом подачі.....	35
3.2 Синтез та дослідження САК винесеним приводом подачі.....	41
3.3 Висновки до розділу 3.....	49
ВИСНОВКИ.....	50
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	51
Додаток А. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	54
Додаток Б. Технічні характеристики S7 PU312.....	66
Додаток В. Технічні характеристики блоку живлення PS 307 2A.....	67
Додаток Г. Технічні характеристик модулів вводу – виводу.....	68

ВСТУП

Актуальність роботи. Кам'яне вугілля у наш час є неекологічним та неперспективним у майбутньому енергоносієм. Але, як вихідну сировину для вуглехімії, вугілля важко переоцінити. Материнська зольність кращих марок вугілля сягає 3%. Це означає, що в такому вугіллі 97% чистого вуглецю. Через це при наявності відповідних хімічних технологій вугілля - це вуглепластик з відомими вкрай високими міцнісними характеристиками, сировина для виробництва коксу та порошу, що дуже потрібно нашій країні, та ще великий ряд продуктів масового виробництва, де вуглець є важливим компонентом.

Основний обсяг вугілля України зосереджено в тонких пологих пластах, що залягають на великих глибинах. Через це вугілля видобувається виключно видобувними комбайнами, більшість з яких обладнана винесеною системою подачі. Така система подачі зменшує довжину комбайна, що є вкрай важливим для роботи в умовах тонких пластів з неспокійною гіпсометрією. Тому робота, що спрямована на поліпшення показників якості керування комбайном з винесеною системою подачі, є актуальним науковим та технічним завданням.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі видобувного комбайна.

Мета роботи – модернізація системи керування швидкістю винесеного привода подачі видобувного комбайна, що забезпечує кращі показники якості регулювання на основі сучасної елементної бази.

Методи й засоби розробки: методи аналізу та синтезу систем теорії автоматичного керування, математичне моделювання в середовищі MATLAB/Simulink.

Для досягнення мети потрібно вирішення наступних завдань:

- 1) Виконати аналіз існуючих САК швидкістю винесеного привода подачі.
- 2) Побудувати математичну модель САК винесеним приводом подачі та виконати синтез контуру стабілізації модернізованої системи, обрати обладнання для її реалізації.

3) Виконати математичне моделювання модернізованої системи та визначити показники її якості.

Практичне значення отриманих результатів. Модернізована система автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі може замінити існуючу систему при модернізації або розробці нової апаратури автоматизації видобувних комбайнів з винесеною системою подачі.

Апробація роботи. Основні тези бакалаврської робота доповідалися та обговорювалися на online семінарі, що відбувся на кафедрі Автоматики та телекомунікацій.

Структура та обсяг бакалаврської роботи. До змісту роботи входять: вступ, чотири розділи, висновки по роботі, перелік використаних літературних джерел та додатки. Обсяг роботи складає 68 сторінок. Робота має 33 рисунка, 17 посилань на використані літературні джерела.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ САК ШВИДКІСТЮ ВИНЕСЕНОГО ПРИВОДА ПОДАЧІ

1.1 Аналіз винесеного привода подачі як об'єкта керування

Вперше винесена система подачі (ВСП) з двома приводами, винесеними на штрек, була розглянута в дисертаційній роботі [1]. Робота в основному присвячена розробці механічної конструкції ВСП та обґрунтуванню її використання. В якості варіатора швидкості в приводах запропоновано використовувати електромагнітну муфту ковзання (ЕМК), яка при потужності керування 500 Вт дозволяє керувати потужністю 50 кВт, є надійним та відносно недорогим вузлом привода та забезпечує глибоке регулювання швидкості. Недоліком такої муфти є зниження к.к.д. привода при великих ковзаннях та передачі близького до максимального крутного моменту. Зайва потужність виділяється у вигляді тепла та відводиться системою охолодження муфти. Вказана вада не є критичною, оскільки максимальна потужність на переміщення комбайна приблизно в чотири рази менша за потужність привода виконавчих органів. Схематично привід подачі може бути зображений, як це показано на рис. 1.1.

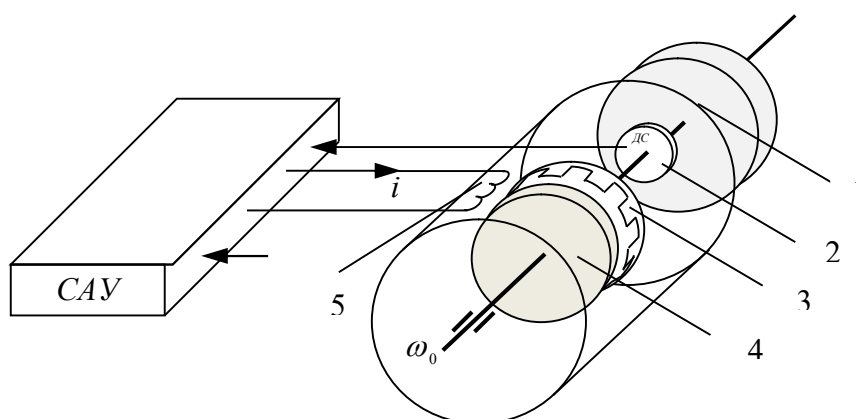


Рисунок 1.1. – Функціональна схема привода подачі з ЕМК

На рис. 1.1 позначено: 1 – планетарний редуктор, 2 – датчик швидкості, 3 – індуктор, 4 – якір, 5 – обмотка збудження (управління); ω_0 – кутова швидкість двигуна привода.

Асинхронний двигун привода подачі через проміжний редуктор (на схемі не показаний) з постійною кутовою швидкістю ω_0 обертає якір 4, що є ведучою частиною ЕМК. Взаємодія між якорем та з веденою частиною ЕМК – індуктором 3 відбувається через магнітний потік, що створюється обмоткою збудження 5. Чим більше струм в обмотці збудження 5, тим більший крутний момент передається індуктору і, отже, приводній зірці, встановленій на вихідному валу привода подачі. У приводі між ЕМК та приводною зіркою встановлено основний планетарний редуктор, передатне число якого 192 забезпечує необхідну швидкість подачі комбайна.

Як видно з рисунка 1.1, окрім власне привода, на схемі присутня САК, призначення якої – стабілізація кутової швидкості і, отже, швидкості подачі при зміні моменту навантаження на валу привода. Наявність САК принципова, оскільки механічні характеристики ЕМК є м'якими, що показано на рис 1.2 [2,3].

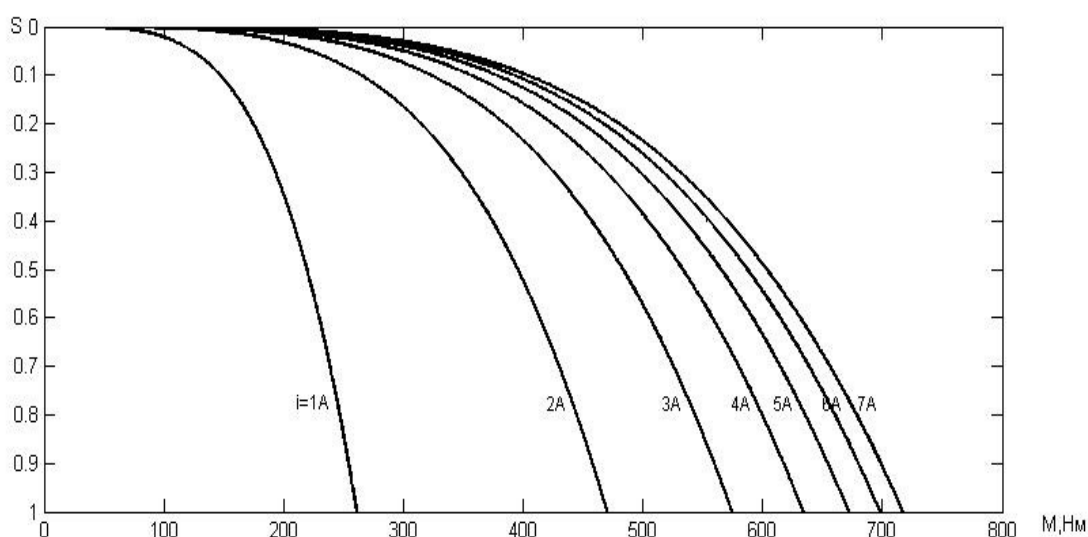


Рисунок 1.2. – Механічні характеристики ЕМК при різних струмах збудження

Необхідна жорстка форма механічних характеристик привода подачі забезпечується системою стабілізації швидкості. Впливом завдання по швидкості може бути швидкість руху комбайна, яка задається з пульта машиніста, якщо обрано режим руху з постійною швидкістю подачі, або сигнал регулятора навантаження привода виконавчих органів, якщо обрано автоматичний режим регулювання швидкості в залежності від навантаження привода виконавчих органів.

Спочатку контур стабілізації швидкості був оснащений пропорційним регулятором. Але випробування ВСП з комбайном К103 на повнорозмірному стенді з вуглецементним блоком показали високу коливальність швидкості привода (рис. 1.3) і в зворотний зв'язок по швидкості було додано сигнал по похідній швидкості, що усунуло коливання.

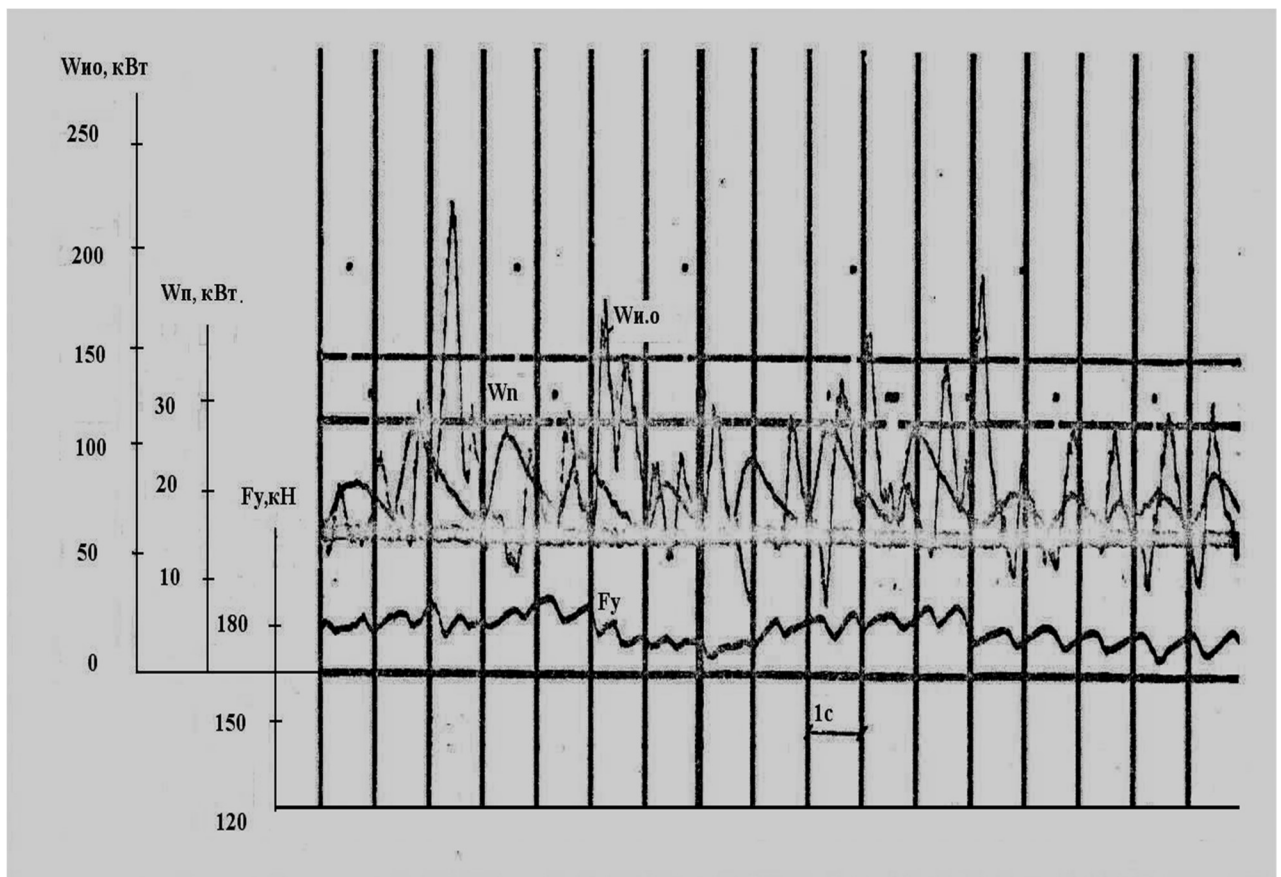


Рисунок 1.3. – Осцилограма роботи комбайна К103

На рисунку позначено: $W_{\text{ио}}$ – потужність привода виконавчих органів, $W_{\text{п}}$ – потужність привода подачі, F_y – пружне зусилля в тяговому ланцюзі.

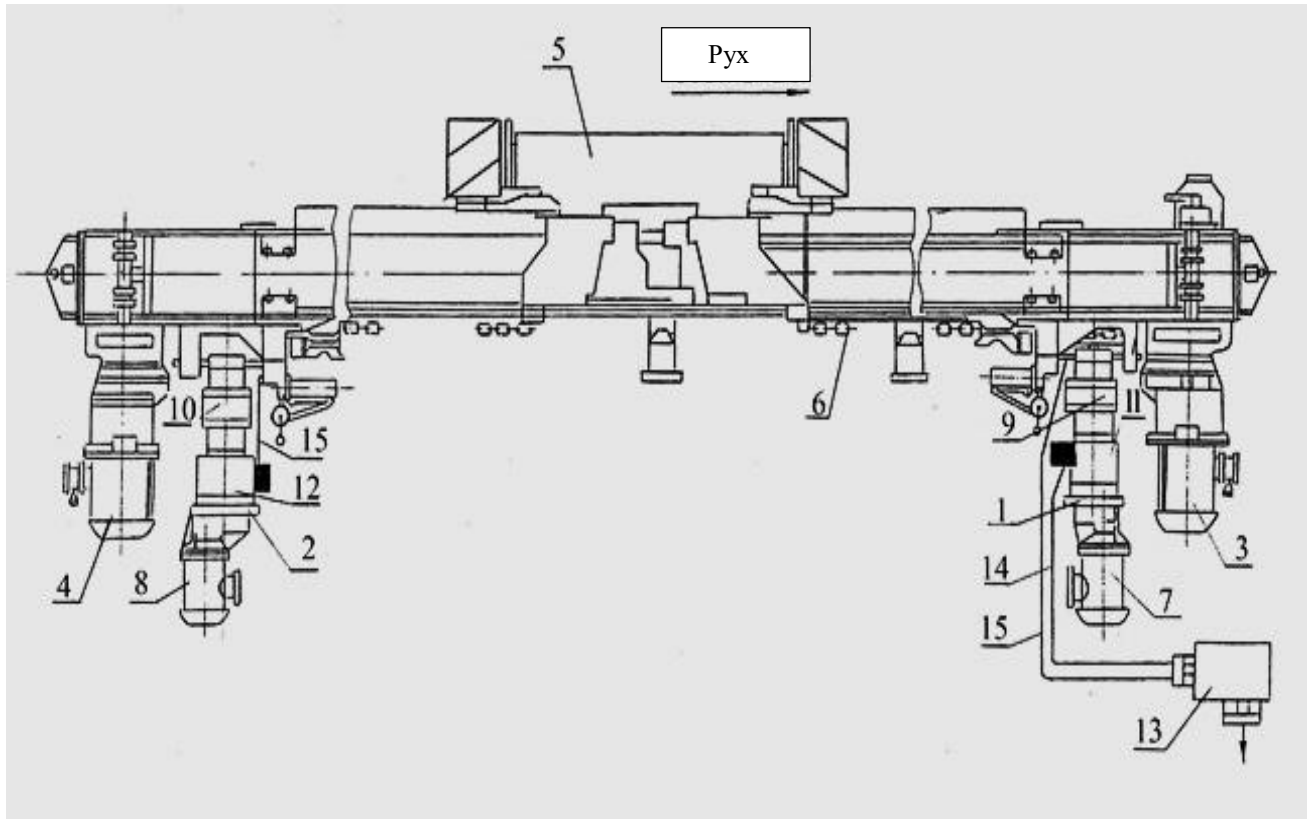


Рисунок 1.4. – Комбайн К103 з ВСП на скребковому конвеєрі

Найбільш повні та ґрунтовні практичні та теоретичні дослідження винесеного привода подачі з ЕМК виконані в роботі [2]. На їх підставі запропоновано математичну модель власне привода подачі з ЕМК, розроблено повну математичну модель комбайна з ВСП, реалізовано найбільш повну та адекватну модель взаємодії виконавчих органів з руйнованим вугільним масивом, синтезовано структуру та оптимізовано за критерієм мінімальної динамічності навантажень на виконавчих органах параметрів системи стабілізації швидкості привода подачі. Вперше використано підхід до аналізу та синтезу рухів в системі моделюванням замкнутої через вибій системи привід подачі – комбайн – вибій.

Одним з важливих результатів вказаної роботи є експериментально визначене насичення магнітної системи муфти у діапазоні робочих струмів

збудження, починаючи зі струму $\approx 1.3A$. Це підтверджується нелінійною залежністю крутного моменту від струму збудження при постійному ковзанні (див. рис. 1.2) та різним часом перехідних процесів в обмотці збудження при різних значеннях струму підмагнічування. На рис.1.5 наведено результати експериментальних досліджень перехідних процесів струму управління в обмотці збудження при різних значеннях струму підмагнічування.

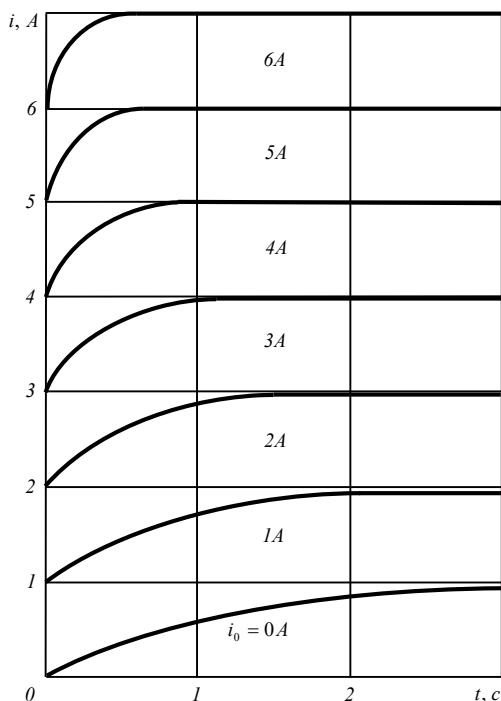


Рисунок 1.5 – Реакції обмотки управління ЕМК на стрибок керуючої напруги при різних початкових значеннях струму управління



Рисунок 1.6 – Залежність часової характеристики ЕМК від струму управління

На рис. 1.6 показана отримана на підставі даних з рис. 1.5 залежність часової характеристики обмотки збудження ЕМК від струму управління. По суті це залежність індуктивності обмотки від струму, спричинена насиченням магнітної системи муфти.

Сімейство механічних характеристик муфти ковзання добре апроксимується виразом [2]

$$M(i, S) = M_M \arctg^2(ai) \sqrt[4]{S},$$

В якому

M_M та a – позитивні константи;

S – ковзання;

Залежність індуктивності від струму управління, графік котрої наведено на рис. 1.6, апроксимується виразом [2]

$$L(i) = \frac{L_0}{1 + (ai)^2},$$

де L_0 – індуктивність при ненасиченому магнітопроводі.

Напруга на виході керованого тиристорного випрямляча, що живить обмотку збудження муфти

$$U_T(u) = \frac{U}{2} \left(1 + \cos \left(\pi - \frac{u}{u_m} \pi \right) \right),$$

де

U - напруга від трансформатора живлення, що підводиться до керованого випрямляча;

u - сигнал управління на вході керованого випрямляча;

u_m - максимальний рівень сигналу управління на вході керованого випрямляча;

З урахуванням викладеного математична модель винесеного приводу подачі з електромагнітною муфтою ковзання як об'єкта керування має наступний вигляд

$$J\dot{\omega} = M - M_n,$$

$$M(i, S) = M_M \arctg^2(ai) \sqrt[4]{S},$$

$$U_T(u) = Ri + \frac{L_0}{1 + (ai)^2} \frac{di}{dt}$$

$$U_T(u) = \frac{U}{2} \left(1 + \cos \left(\pi - \frac{u}{u_m} \pi \right) \right)$$

Де

ω – кутова швидкість привода подачі;

M_n – момент навантаження на вихідному валу привода;

R – активний опір обмотки збудження муфти.

J – приведений до вихідного валу момент інерції веденої частини привода.

Як витікає з наведеної системи рівнянь, привід подачі з ЕМК є нелінійним об'єктом.

Зростання довжини лав до 300 м спричинило необхідність підвищення потужності приводів винесеної системи подачі до 50 кВт. В зв'язку з цим на харківському заводі «Світло шахтаря» було розроблено новий привід для ВСП, в якому замість електромагнітної муфти встановлено електромагнітне гальмо ковзання (ЕГК). Гальмо ковзання за принципом дії це та ж сама муфта, але встановлена в інший спосіб. В ЕГК масивний якір є нерухомим та оснащений водяною системою охолодження, що дозволяє регулювати та передавати на вихід приводу суттєво більшу потужність у порівнянні з муфтою при однакових їх габаритних розмірах.

Заміна муфти на гальмо змусила змінити конструкцію планетарного редуктора на більш складну – він став диференціальним щоб забезпечити ту ж регульовальну характеристику що й у приводі з муфтою. Нова винесена система подачі получила назву ВСПК.

Кінематична схема приводу ВСПК для винесеної системи подачі комбайна [4] та регульованого скребкового конвеєра містить асинхронний електродвигун, електромагнітне гальмо ковзання, планетарний диференційний редуктор (рис. 1.7).

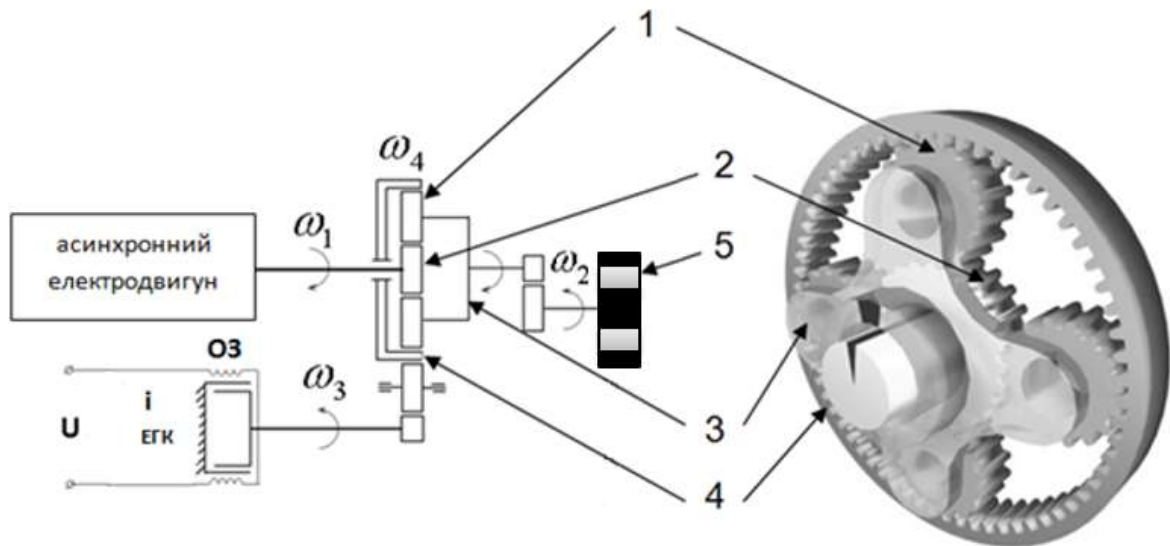


Рисунок 1.7 – Еквівалентна схема винесеного приводу подачі з ЕГК:
 ω_1 – кутова швидкість асинхронного двигуна після проміжного редуктора, $\omega_2 = \omega_1 - \omega_3$ – кутова швидкість привідної зірки, ω_3 – кутова швидкість гальма

Планетарний редуктор складається з чотирьох планетарних шестерень 1, що обертаються навколо центральної сонячної шестерні 2. Планетарні шестерні зафіксовані разом водилом 3. Планетарна передача містить епіцикл 4, що має внутрішнє зачеплення з планетарними шестернями і зовнішнє – через проміжну пару з валом електромагнітного гальма. При загальмованому валі ЕГК обертання з валу електродвигуна через сонячну шестерню 2 передається сателітам 1 з водилом 3 на привідну зірку 5. При загальмованій зірці 5 обертання з валу електродвигуна через сонячну шестерню 2 передається сателітам 1, епіциклу 4 і валу ЕГК.

Після включення електродвигуна еквівалентна схема приводу з ЕГК та його динамічні характеристики ідентичні приводу з ЕМК. Отже, математична

модель привода як об'єкта керування ідентична розглянутій вище.

Еквівалентна схема ВСПК наведена на рис. 1.8. Конструкція ВСПК [5] показана на рис. 1.9.

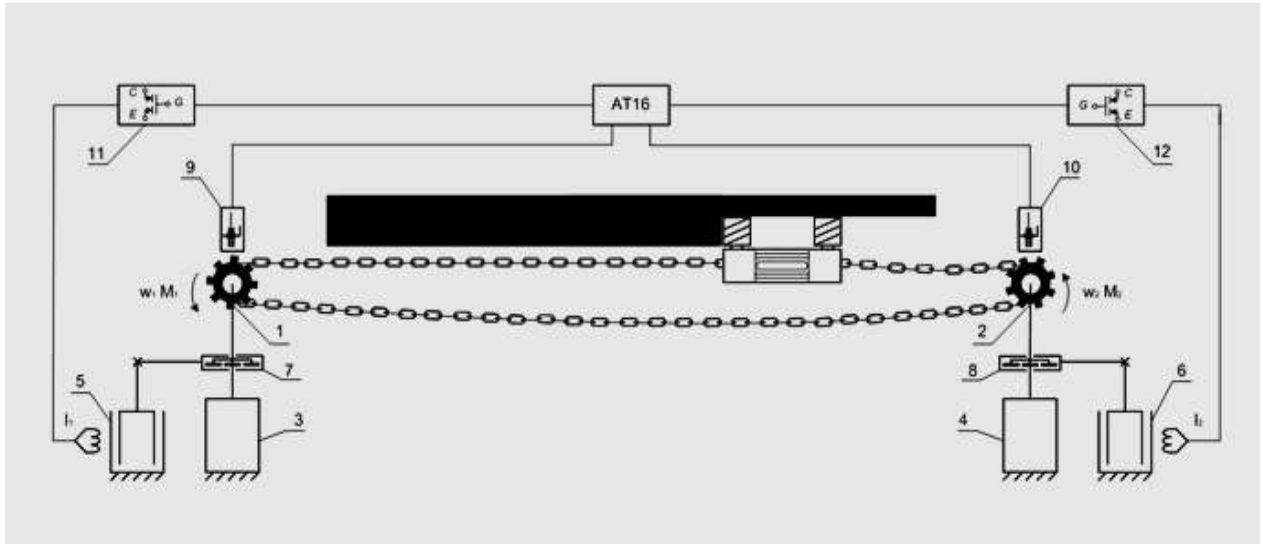


Рисунок 1.8 – Еквівалентна схема ВСПК

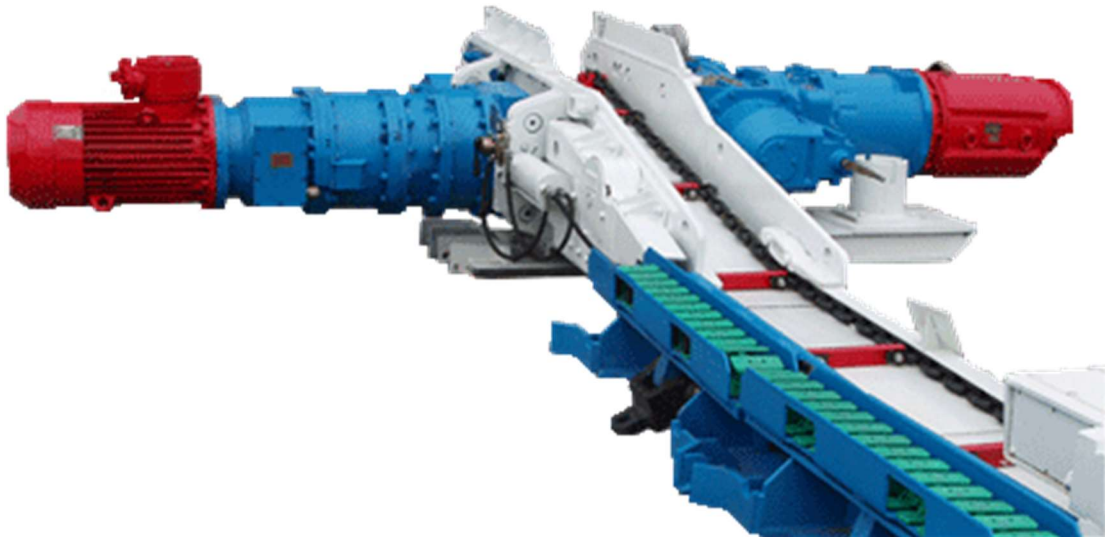


Рисунок 1.9 – винесений привід подачі з ЕГК у складі винесеної системи подачі ВСПК виробництва заводу «Світло шахтаря»

1.2 Аналіз існуючих рішень САК винесеним приводом подачі

Перша структура та параметри системи стабілізації швидкості винесеного привода подачі були визначені в згаданій вже роботі [2]. Саме такий контур стабілізації швидкості був застосований у дослідних зразках апаратури автоматизації комбайнів з ВСП КД-А, яка у подальшому багато років випускалася серійно. Ця апаратура, розроблена НВО «Автоматгормаш», вироблялась на макіївському заводі шахтної автоматики [6]. Цій тематиці присвячені подальші численні роботи автора – Поцєпаєва В.В. та його учнів, в яких розглянуті наукові завдання вдосконалення системи керування винесеним приводом комбайнів з ВСП.

Структурна схема контуру стабілізації швидкості САК привода подачі наведена на рис.1.10.

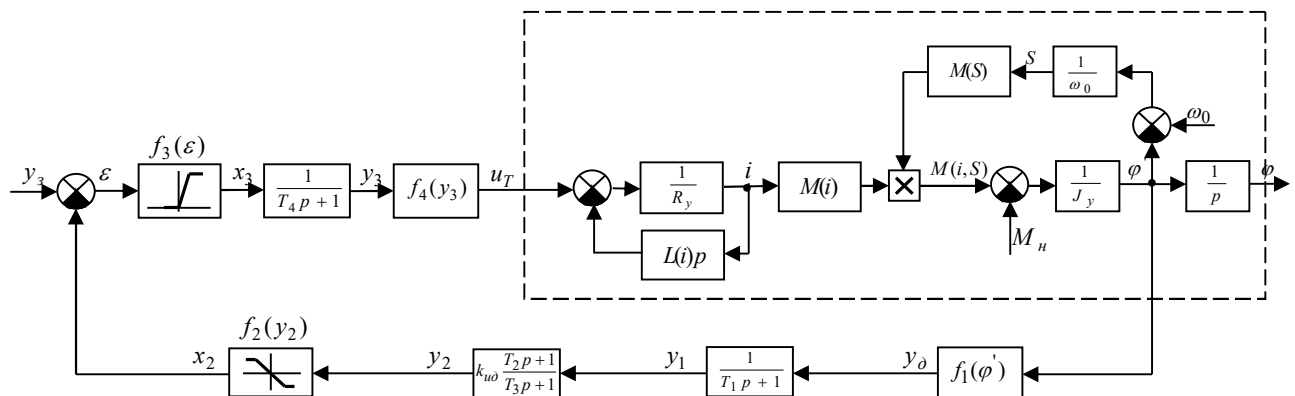


Рисунок 1.10 – Структурна схема контуру стабілізації швидкості привода ВСП

Пунктиром на схемі окреслено структурну схему власне привода подачі, яка відображає математичну модель привода, розглянуту у попередньому розділі.

Розглянемо елементи структури зворотного зв'язку (33). Датчик швидкості привода являє собою тахогенератор з дванадцятьма парами полюсів. Частота та амплітуда його вихідного сигналу пропорційна частоті обертання його ротора. Датчик встановлено на одному з валів планетарного редуктора.

Сигнал з датчика швидкості надходить на функціональний перетворювач $f_1(\dot{\varphi})$, що перетворює частоту сигналу датчика швидкості в послідовність імпульсів y_0 постійної тривалості τ_u , частота яких кратна частоті сигналу датчика. За електричною схемою функціональний перетворювач $f_1(\dot{\varphi})$ представляє собою послідовне з'єднання компаратора та мултивібратора, що чекає.

Інерційна ланка з вихідним сигналом y_1 призначена для усереднення імпульсів сигналу ЗЗ; ланка з вихідним сигналом y_2 - додає похідну за швидкістю у сигналі ЗЗ; ланка з вихідним сигналом y_3 - для згладжування пульсацій сигналу ЗЗ. Наявність нелінійних ділянок статичних характеристик ланок f_2, f_3 пов'язане з апаратурою реалізацією системи стабілізації на операційних підсилювачах. Нелінійна динамічна ланка $f_4(y_3)$ разом з попередньою інерційною ланкою є моделлю керованого тиристорного перетворювача.

З огляду на розглянуту схему САК, можна сказати, що вона має специфічний ПД регулятор з формуванням похідної за швидкістю привода у зворотному зв'язку.

Повне розуміння характеру навантаження та зв'язків у системі привід подачі – комбайн – вибій дає еквівалентна схема вказаної системи, що наведена на рис.1.11 [2,7,8]. На схемі застосовані позначення:

c – жорсткість робочої гілки тягового ланцюга, Н/м;

r – радіус приводної зірки, м;

φ - узагальнена координата вихідного валу привода подачі, рад;

β - коефіцієнт дисипативних втрат в тяговому ланцюзі, кг/с;

F_T - сила тертя опор комбайна об напрямні, Н;

R_{a_1}, R_{a_2} сили вертикальних реакцій вибою на випереджаючому й відстаючому шнеках, Н;

F_b - сила опору переміщенню верхньої холостої гілки тягового ланцюга в напрямних, Н;

$R_{\epsilon_1}, R_{\epsilon_2}$ - сили горизонтальних реакцій вибою на відстаючому й

випереджаючому шнеках, Н;

J - сумарний момент інерції ведених частин приводу подачі, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

M - обертаючий момент приводу подачі, Н·м;

F_p - сила опору переміщенню робочої гілки тягового ланцюга в напрямних, Н;

F_n - зусилля в нижній гілці тягового ланцюга, Н;

J_T - сумарний момент інерції приводу виконавчих органів, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

γ - узагальнена координата приводу виконавчих органів, рад;

M_δ - сумарний обертаючий момент двигунів приводу виконавчих органів, Н·м;

M_1, M_2 - моменти опору на випереджаючому й відстаючому шнеках, Н·м;

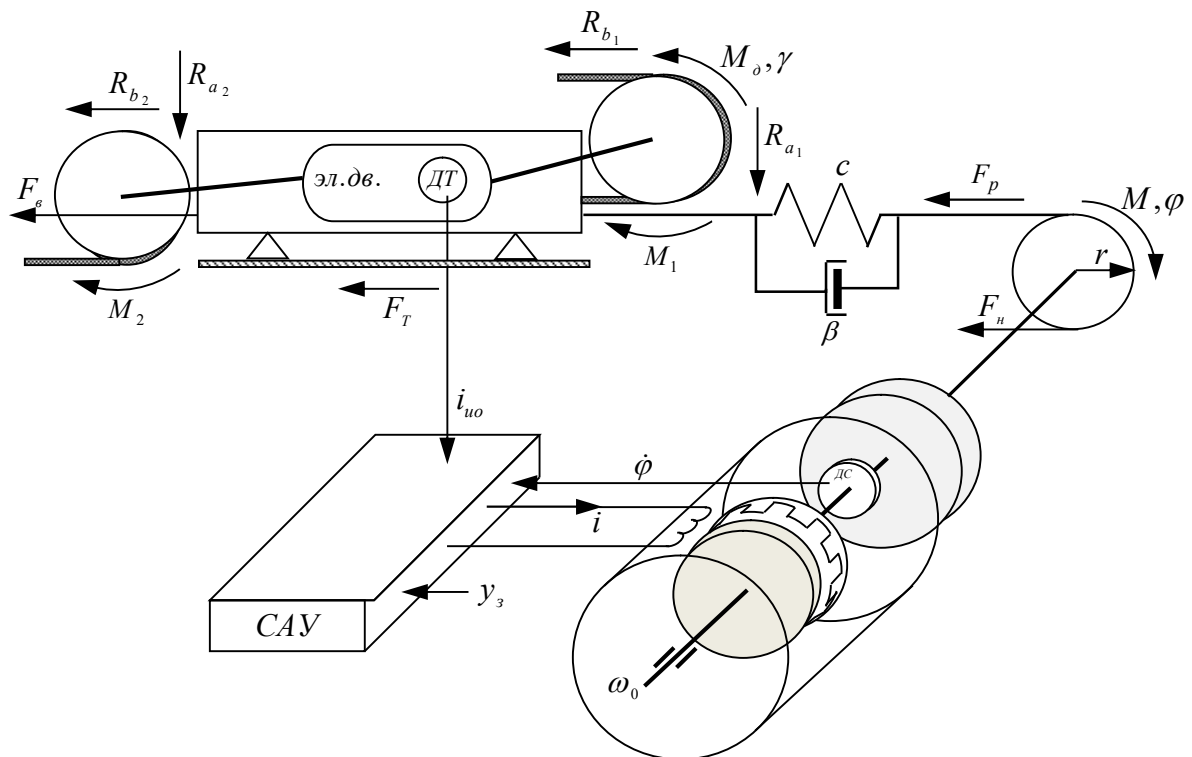


Рисунок 1.11 – Еквівалентна схема системи привод подачі – комбайн – вибій

Таким чином, навантаженням винесеного приводу подачі є пружне зусилля в робочій гілці тягового ланцюга F_y , сила спротиву переміщенню верхньої робочої гілки тягового ланцюга F_p та зусилля в нижній холостій гілці тягового ланцюга F_n при зavelикому моменті приводу, що підтягує.

На початку двохтисячних років, коли в винесеному приводі подачі електромагнітну муфту ковзання було замінено на електромагнітне гальмо ковзання, було розроблено модернізовану апаратуру автоматизації комбайнів з ВСП під назвою РЕТ (регулятор електромагнітного тормоза) [9] замість існуючої КД-А. Принципово розглянута структура САК швидкості приводу подачі не змінилася. Було замінено датчик швидкості приводу на індуктивний на наближення фірми Klashka та схема обробки сигналу датчика. Окрім того тиристорний керований випрямляч було замінено на транзисторний на IGBT транзисторах та відповідну схему керування.

Як було показано вище, часова характеристика обмотки збудження гальма або муфти суттєво залежить від положення робочої точки по струму управління, тобто, від його значення, котре визначається моментом навантаження приводу подачі. При цьому виникає невідповідність значень параметрів коригуючих ланок регулятора швидкості тим, які необхідні для корекції. Вирішенню вказаної проблеми присвячена стаття [10], в якій запропоновано та реалізовано адаптивний регулятор швидкості.

Елементом адаптації є змінний коефіцієнт k_o при похідній у форсуючій ланці ПД регулятора, що компенсує інерційну ланку обмотки збудження. Система відслідковує зміну індуктивності обмотки за значенням струму управління і виконує адаптацію за цією зміною, тобто, k_o є функцією $k_o(i)$, $k_d = (0,1 + 0,35/(1 + (0,75i)^3))$.

«В існуючий САК при оптимальному s точки зору нульового перерегулювання та часу регулювання налаштуванні k_o при зростанні навантаження приводу мали місце затягнуті перехідні процеси з причини завищеного у кілька разів значення коефіцієнта при похідній швидкості.

Оптимальне налаштування в середині діапазону навантажень приводу супроводжувалось недопустимим з точки зору роботи контуру стабілізації навантажень приводу виконавчих органів перерегулюванням. Тому метою параметричного синтезу АСАУ було досягнення повної відсутності перерегулювання швидкості при мінімально можливому часі регулювання в усьому діапазоні навантажень та швидкостей подачі» [10]. В статті показано суттєве скорочення часу регулювання з 2 с в неадаптивній САУ до 0,7 с в адаптивній системі в режимі, близькому до максимального паспортного навантаження привода подачі.

В статті [11] розглянуто завдання прискорення перехідних процесів в електромагнітному гальмі ковзання, що є важливим в автоматичному режимі роботи комбайна при стабілізації навантажень на виконавчих органах. Для цього в роботі запропоновано прискорення перехідного процесу зростання струму управління за рахунок подачі на обмотку збудження гальма підвищеної в 2 й більше рази напруги. При цьому контролюється не перевищення струмом максимально припустимого значення встановленим додатково датчиком струму. Зазначимо, що таким чином дійсно прискорюється розгін привода, але більш важливий процес його гальмування, коли важливо максимально швидко знизити швидкість комбайна, захищаючи його від перевантаження, не досягається.

Стендові дослідження винесеного привода подачі [3] виявили суттєву особливість використання гальма у приводі. Особливість полягає в тому, що у момент включення електродвигуна привода на приводній зірці виникає високодинамічний крутний момент при відсутності струму управління в обмотці збудження гальма, що демонструє рис.1.12. Це пов'язано з інерційністю індуктора гальма, що розкручується, яка з урахуванням передавального відношення диференціального планетарного редуктора викликає високодинамічний перехідний процес з амплітудою крутного моменту 0,8 від максимального. Такий перехідний процес призводить до стрибка корпусу комбайна, який посилюється скочує силою, що скочує комбайн при його русі

під ухил пласта. До того ж такі ударні навантаження в трансмісіях приводів негативно впливають на їх надійність.

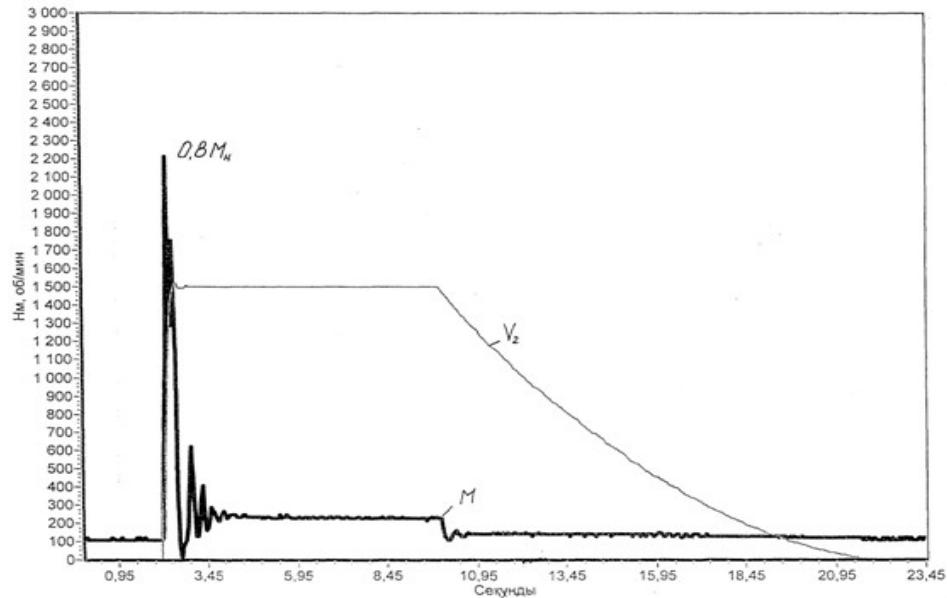


Рисунок 1.12 – Перехідний процес пуску та виключення приводу з ЕГК при загальмованій приводній зірці: М - крутний момент на зірці; V_2 - швидкість обертання двигуна

Скороченню часу перехідних процесів струму в обмотці збудження гальма й, отже, швидкості приводу подачі присвячена наукова робота [12]. Ідеєю роботи є відомий в теорії автоматичного керування спосіб корекції часової характеристики інерційної ланки шляхом охоплення її негативним зворотним зв'язком. Обмотка збудження гальма, яка і є інерційною ланкою першого порядку, разом з керованим випрямлячем охоплюється негативним зворотним зв'язком по струму управління. У підсумку методом математичного моделювання повної системи привід подачі – комбайн – вибій доведено суттєве скорочення часу перехідних процесів зміни швидкості привода на 30...75% в порівнянні з вихідною системою в усіх режимах відпрацювання збурень по опірності вугілля різанню. Разом досягненням прискорення приводу контур стабілізації швидкості забезпечує аперіодичні монотонні

перехідні процеси як по швидкості, так і по відпрацюванню збурень по навантаженню на виконавчих органах комбайна. Блок-діаграма моделі наведена на рис. 1.13, доказові результати моделювання наведені на рис. 1.14.

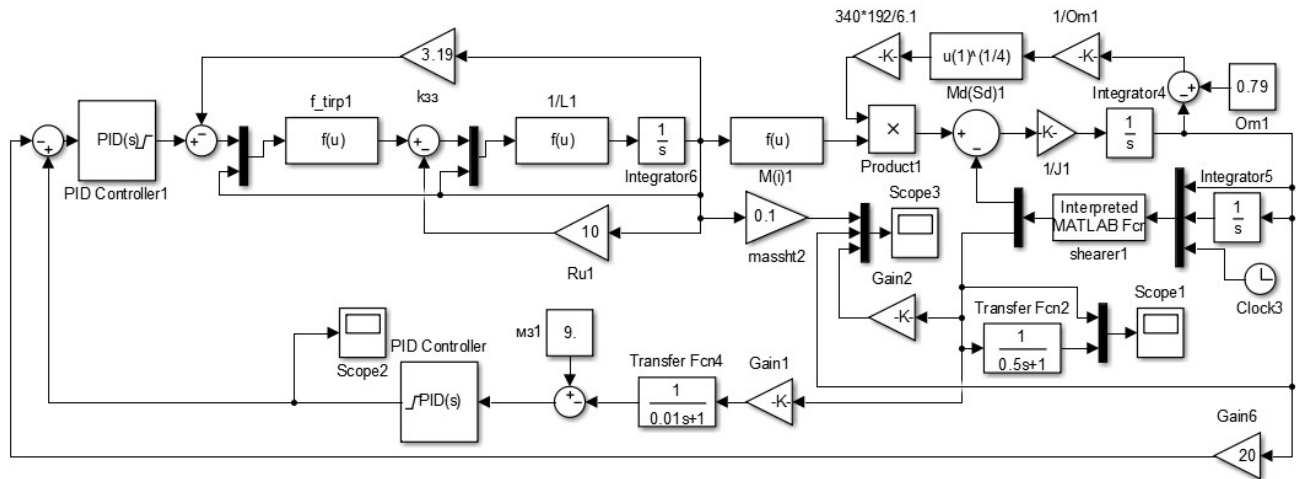


Рисунок 1.13 – Блок-діаграма моделі САК комбайном з ВСП зі зворотним зв'язком по струму управління

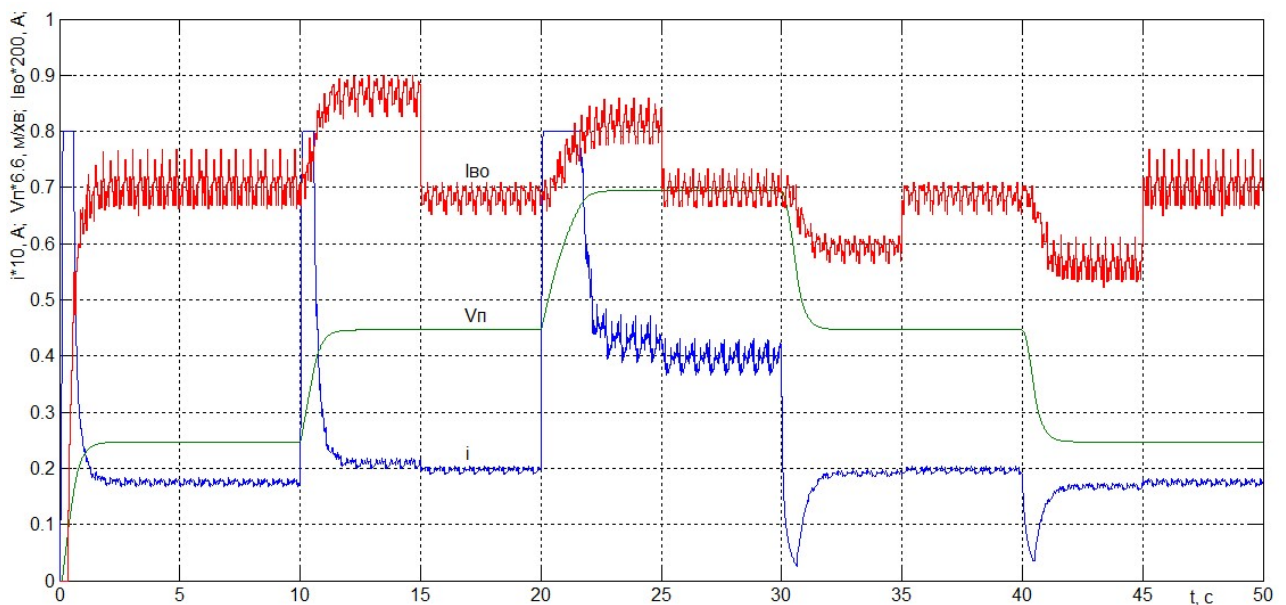


Рисунок – 1.14 Перехідні процеси переключення швидкості та відпрацювання збурень в приводі подачі в САК зі зворотним зв'язком по струму управління

Робота [13] спрямована на зниження динамічних навантажень винесеного привода подачі за рахунок зменшення пульсацій струму управління в обмотці збудження гальма ковзання.

Періодичний характер моменту навантаження винесеного привода подачі викликає в контурі стабілізації швидкості подачі такі ж періодичні керуючі впливи струму по їх відпрацюванню, і, отже, коливання крутного моменту привода. Коливання моменту з великою амплітудою спричиняє прискорений втомний знос трансмісії, зменшуючи ресурс привода. Для зниження пульсацій струму в роботі використовується негативний компенсаційний зворотний зв'язок, що ефективно компенсує коливання струму управління і, отже, крутного моменту привода подачі. На рис. 1.15 наведено результати порівняльного моделювання роботи комбайна при різних збуреннях по опірності різанню в режимі стабілізації навантаження на виконавчих органах для вихідної та синтезованої в роботі САК. Синтезована структура та параметри САК з компенсаційним зв'язком дозволяють в 25 разів зменшити амплітуду коливань струму управління і, отже, крутного моменту привода подачі.

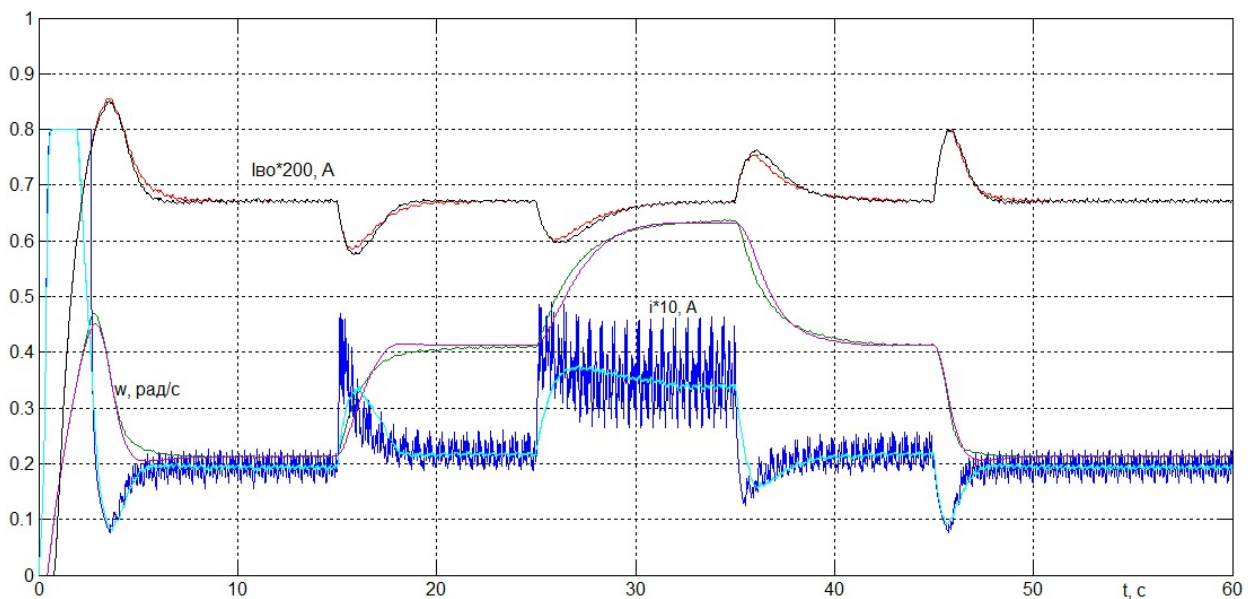


Рисунок – 1.15 Порівняння коливань струму у вихідній та розробленій САК

На рис. 1.15 позначено графіки вихідної САК: Іво – червона, w – зелена, і – синя. Відповідні графіки нової системи позначено: чорна, пурпурна та голуба. Наведений рисунок підтверджує розглянуті результати досліджень.

1.3 Висновки

1. Виконано аналіз існуючих САК винесеним приводом подачі, наукових досліджень та розробок з цієї тематики.
2. Наукові роботи останніх років, присвячені дослідженням та розробці приводів ВСП, зокрема покращенню їх динамічних характеристик, свідчать про актуальність теми.
3. Зниження часу перехідних процесів швидкості та їх аперіодична монотонна форма дозволить знизити динамічність навантажень в приводах виконавчих органів та подачі.

1.4 Мета та завдання роботи

Для досягнення мети потрібно вирішення наступних завдань:

- 1) Виконати аналіз існуючих САК швидкістю винесеного привода подачі.
- 2) Побудувати математичну модель САК винесеним приводом подачі та виконати синтез контуру стабілізації модернізованої системи, обрати обладнання для її реалізації.
- 3) Виконати математичне моделювання модернізованої системи та визначити показники її якості.

2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВИНЕСЕНИМ ПРИВОДОМ ПОДАЧІ

2.1 Обґрунтування вибору ПЛК та блоку живлення

Вибір обладнання, зокрема промислового логічного контролера (ПЛК), при технічній реалізації системи автоматичного керування визначається багатьма чинниками:

- Швидкодія системи, тобто, найменша постійна часу динамічної ланки в структурі системи.
- Складність та розміри динамічної структури системи, що визначають обсяг оперативної пам'яті. САК,
- Кількість аналогових та цифрових вхідних та вихідних сигналів.
- Можливість модифікації системи керування у бік розширення її функцій з відповідним збільшенням розміру програми.
- Застосування тієї моделі ПЛК та пристроїв автоматизації, що вже застосовується на підприємстві.
- Ціна комплекту обладнання.

Розглянута в роботі САК винесеним приводом подачі є тільки частиною системи автоматичного керування винесеною системою подачі та навантаженням приводу виконавчих органів видобувного комбайна. У розглянутому вигляді, що має місце у реальній апаратурі автоматизації, така САК керує тільки швидкістю подачі тягнучого приводу, в напрямку якого рухається комбайн. На схемі, що наведена на рис. 1.8, це лівий привід подачі. Задній по напрямку руху привід подачі підтягує нижню холосту гілку тягового ланцюга з постійним зусиллям, що налаштовується вручну для умов певної лави. Це великий недолік керування винесеною системою подачі, оскільки за час робочої зміни багатократно виникає необхідність переналаштування приводу, що підтягує, через зміну зусилля спротиву у нижній холостій гілці

тягового ланцюга [15]. Таким чином, є необхідність такої ж САК й для приводу, що підтягує, та врахування необхідної взаємодії між приводами. Таким чином необхідно обирати ПЛК з урахуванням модернізації системи у вказаному напрямку.

Іншою важливою функцією системи, що впливає на потужність ПЛК, є регулятор навантаження приводу виконавчих органів, що також вимагає ресурси процесора та оперативної пам'яті.

Окрім вже вказаного, у системі керування роботою комбайна у складі комплексу, виконуються численні логічні функції взаємодії роботи комбайна з конвеєром, кріпленням, датчиками метану і т. д., а також виконання оперативної діагностики агрегатів комбайна.

Доцільно з точки зору здешевлення апаратури автоматизації та підвищення її надійності мати один потужний ПЛК.

Реалізацію функцій керування приводами винесеної системи подачі цілком забезпечує промисловий програмований логічний контролер S7 фірми Siemens. Зокрема, модель S7CPU312 (6ES7 312-1AD10-0AB), що має достатні технічні характеристики, які легко доступні в мережі Інтернет. Зовнішній вигляд ПЛК представлений на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – ПЛК Siemens S7 CPU312

На рис. 2.2 представлена схема підключення ПЛК.

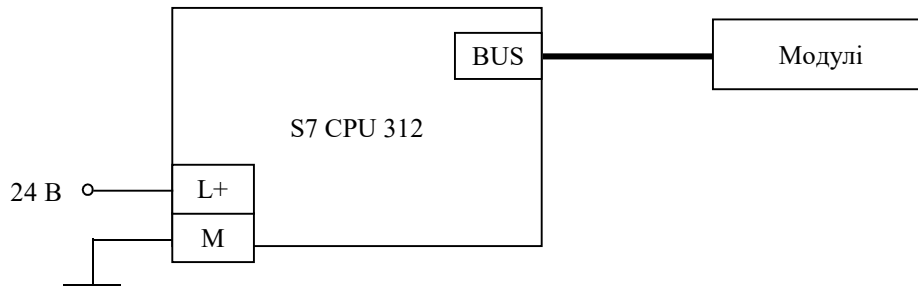


Рисунок 2.2 – Схема підключення S7-312

Також необхідно обрати блок живлення, що живить ПЛК напругою 24 В постійного струму з вихідним струмом не менше 2 А. Таким вимогам відповідає блок живлення Siemens PS 307 2A (6ES7307-1BA00-0AA0), зовнішній вид якого представлено на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Блок живлення PS 307 2A

На рис.2.4 представлена схема підключення блока живлення PS 307 2A:

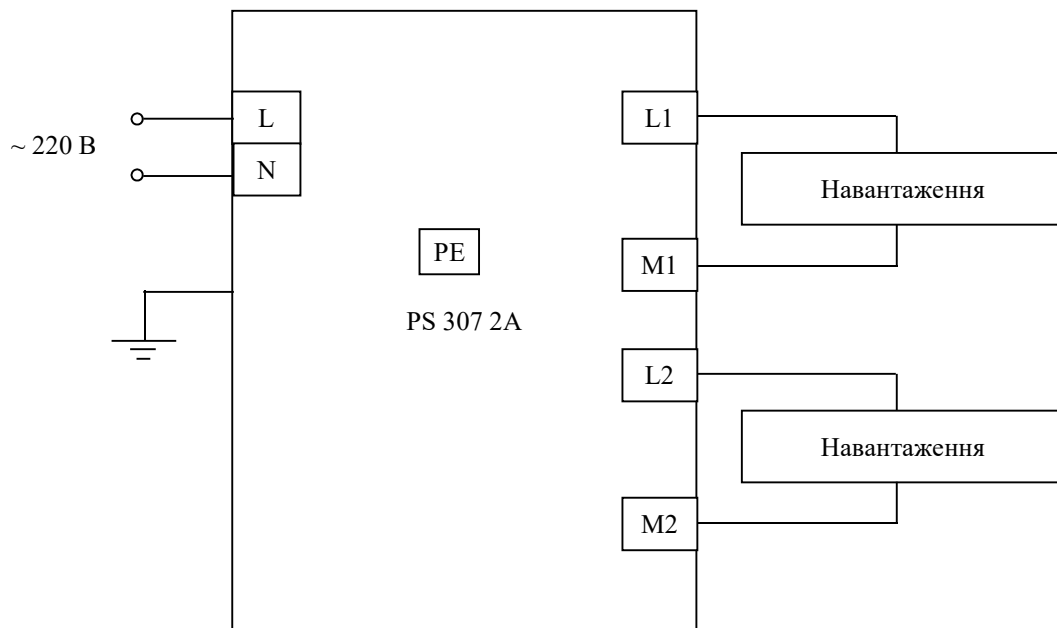


Рисунок 2.4 – Схема підключення PS 307 2A

2.2 Обґрунтування та вибір модулів вводу-виводу даних

Аналогові вхідні сигнали, що обробляються системою автоматичного керування комбайном з винесеною системою подачі:

- Датчик швидкості тягнучого приводу;
- Датчик швидкості приводу, що підтягує;
- Струм в обмотці збудження електромагнітного гальма ковзання тягнучого приводу;
- Струм в обмотці збудження електромагнітного гальма ковзання приводу, що підтягує;
- Струм асинхронного електродвигуна тягнучого приводу;
- Струм асинхронного електродвигуна приводу, що підтягує;

Аналогові вихідні сигнали керування приводами винесеної системи подачі:

- Сигнал управління керованим випрямлячем тягнучого приводу;
- Сигнал управління керованим випрямлячем приводу, що підтягує;

З огляду на кількість вхідних та вихідних аналогових сигналів, доцільно обрати модуль вводу SM 331 AI 8 x 16 Bit (-7NF00-) і модуль виводу SM 332 AO 4 x 16 Bit (-7ND02-), технічні характеристики яких представлені у таблиці додатку.

Схему підключення модуля вводу SM 331 AI 8x16 Bit наведено на рис. 2.5.

Схема підключення модуля виводу SM 332 AO 4 x 16 Bit показана на рис. 2.6.

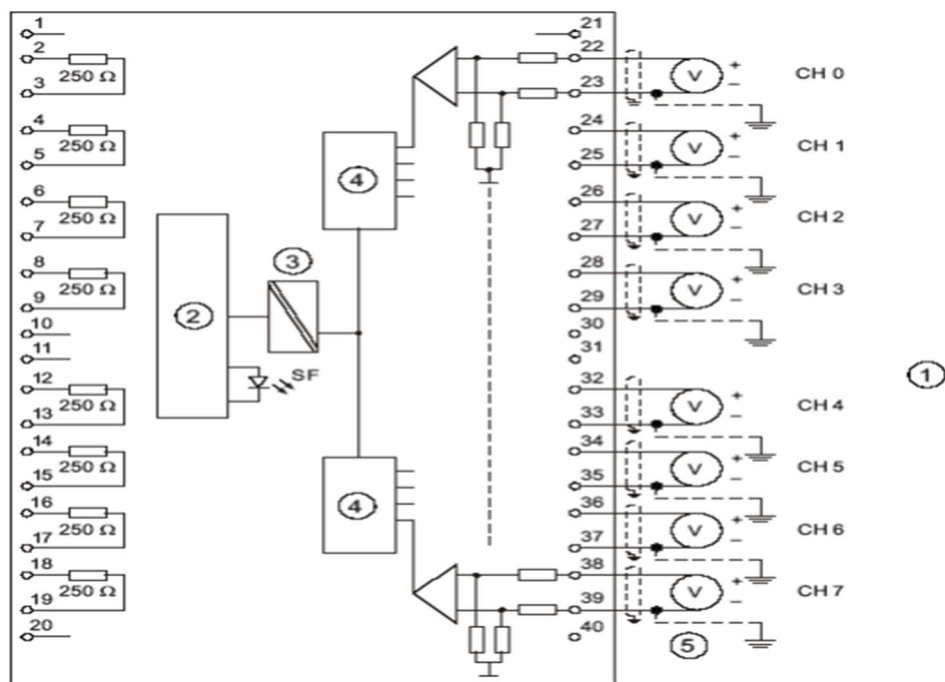


Рис. 6-1. Схема подключения и принципиальная схема

- ① Измерение напряжения
- ② Подключение к задней шине
- ③ Потенциальная развязка
- ④ Аналого-цифровой преобразователь (АЦП)
- ⑤ Выравнивание потенциалов

Рисунок 2.5 – Схема підключення модуля вводу SM 331 AI 8x16 Bit

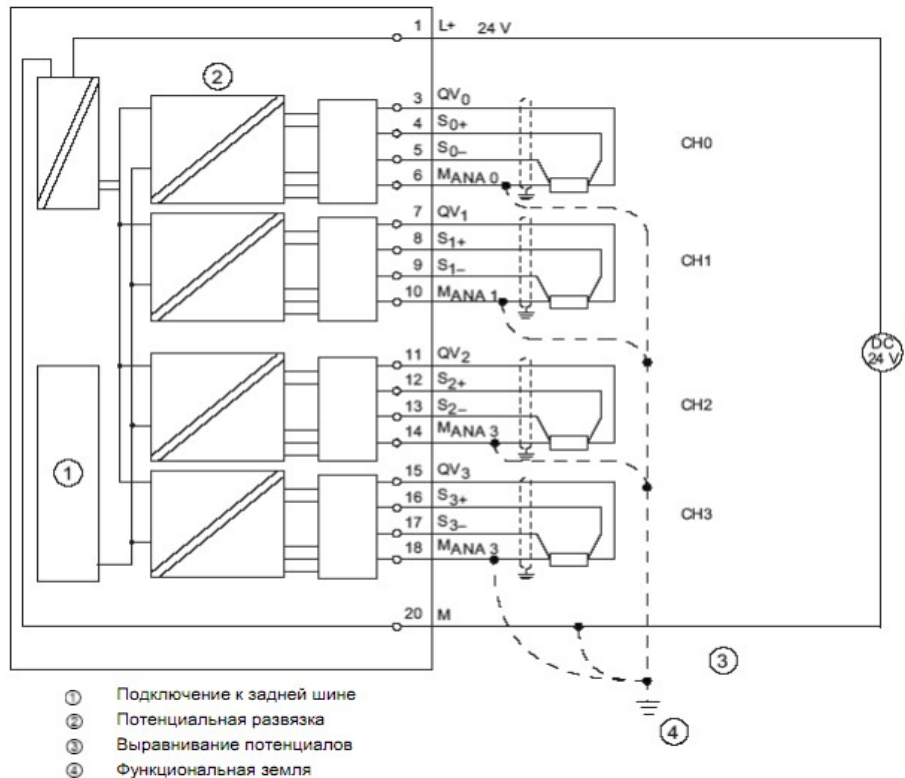


Рисунок 2.6 – Схема підключення модуля виводу SM 332 АО 4 x 16 Bit

2.3 Про датчики струму електродвигунів подачі та комбайна

Датчики струму електродвигунів подачі та комбайна представляють собою трансформатори струму з іскробезпечним виходом, що вимагають правила експлуатації електрообладнання у шахтах небезпечних по газу та пилу. Такі датчики виготовляються підприємствами, що виготовляють гірничу автоматику та сертифікуються державними дозвільними інституціями. Інші моделі датчиків застосовувати забороняється.

2.4 Датчики швидкості приводів подачі

В приводах подачі використовуються індуктивні датчики швидкості на наближення з іскробезпечним виходом чеської фірми Klashka. Такий датчик вбудований в редуктор приводу за допомогою спеціальної конструкції. Такий

датчик видає імпульсний сигнал, частота імпульсів якого пропорційна швидкості обертання вихідного валу привода. Для завдання регулювання швидкості привода датчик має досить високу точність. При мінімальній швидкості подачі комбайна частота вихідних імпульсів датчика 40 Гц, при максимальній – 240 Гц. Немає вагомих причин обирати іншу модель датчика швидкості.

2.5 Висновки

Виконано проектування модернізованої системи автоматичного керування винесеним приводом подачі з електромагнітним гальмом ковзання.

3 СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВИНЕСЕНИМ ПРИВОДОМ ПОДАЧІ

3.1 Математична модель САК винесеним приводом

Виконання завдання синтезу системи автоматичного керування винесеним приводом з електромагнітним гальмом ковзання або муфтою потребує наявності математичної моделі САК. Така модель, як відомо, складається з математичної моделі власне приводу як об'єкта керування та математичної моделі регулятора або пристрою керування.

Математична модель власне приводу отримана в результаті аналізу літературних джерел в першому розділі роботи. Вона має вигляд

$$J\dot{\omega} = M - M_n,$$

$$M(i, S) = M_M \arctg^2(ai) \sqrt[4]{S},$$

$$U_T(u) = Ri + \frac{L_0}{1 + (ai)^2} \frac{di}{dt}$$

$$U_T(u) = \frac{U}{2} \left(1 + \cos \left(\pi - \frac{u}{u_m} \pi \right) \right)$$

де

U - напруга від трансформатора живлення, що підводиться до керованого випрямляча;

u - сигнал управління на вході керованого випрямляча;

u_m - максимальний рівень сигналу управління на вході керованого випрямляча;

ω - кутова швидкість приводу подачі;

M_n - момент навантаження на вихідному валу приводу;

R - активний опір обмотки збудження муфти.

J - приведений до вихідного валу момент інерції веденої частини приводу.

Регулятор швидкості приводу подачі представляє собою ПД регулятор. Вхідним сигналом для нього є фільтрований інерційною ланкою першого порядку сигнал розузгодження по швидкості. Наявність фільтра з постійною часу $T=0,0028\text{с}$ визначається необхідністю захисту каналу зворотного зв'язку по швидкості від наводок мережевої напруги.

Завдання по швидкості може бути подане з пульта машиніста при русі комбайна з постійною швидкістю подачі або від регулятора навантаження приводу виконавчих органів в автоматичному режимі роботи.

Математична модель регулятора швидкості приводу має вигляд:

$$\varepsilon = w_z - k_{zz} w$$

$$\varepsilon_f = \varepsilon - T \dot{\varepsilon}$$

$$u_{PD} = k_r (\varepsilon + k_d \dot{\varepsilon}_f)$$

$$u = \begin{cases} u_{PD}, & |u_{PD}| < u_m, \\ u_m \operatorname{sign}(u_{PD}), & |u_{PD}| \geq u_m \end{cases}$$

де позначено:

ε - сигнал розузгодження по швидкості;

w_z - задана швидкість приводу;

k_{zz} - коефіцієнт передачі зворотного зв'язку;

w - швидкість приводу;

ε_f - фільтрований сигнал розузгодження по швидкості;

k_r - коефіцієнт передачі ПД регулятора;

u_{PD} - сигнал на виході ПД регулятора;

u - сигнал на вході керованого випрямляча.

Таким чином, маємо математичну модель винесеного приводу подачі, яка відповідає існуючій системі автоматичного керування винесеним приводом подачі з електромагнітним гальмом або муфтою ковзання.

Блок-діаграма Simulink моделі, що відповідає наведеній математичній моделі, наведена на рис. 3.1.

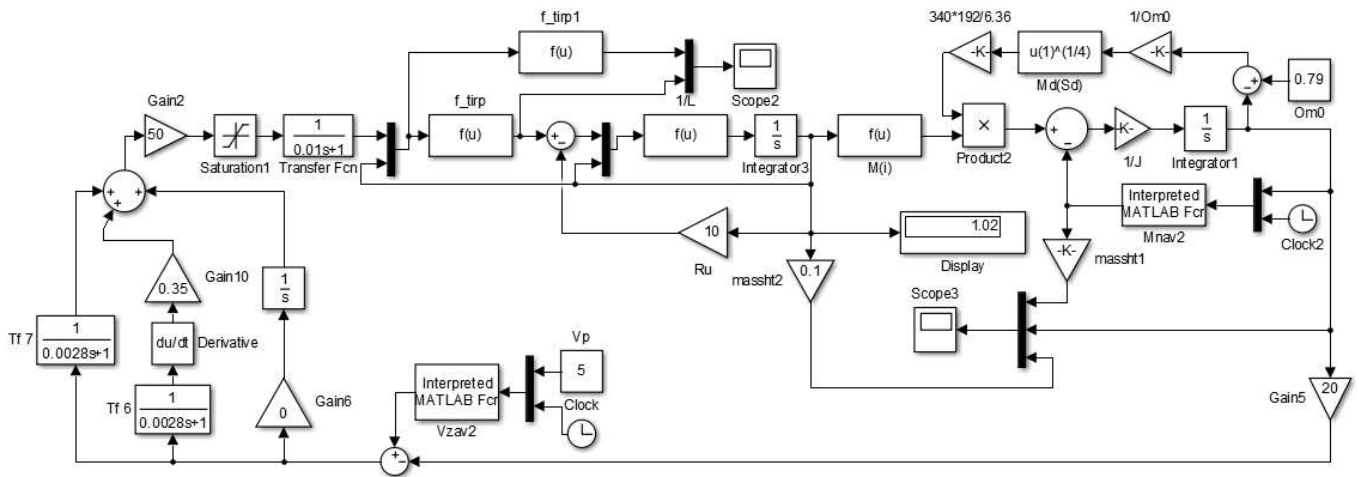


Рисунок 3.1 – Блок-діаграма моделі існуючої САК приводом

Зміст налаштувань блоків моделі та їх призначення, які приховані або неочевидні наступний. Блок Saturation1 формує обмеження сигналу ПД регулятора – сигнал u на вході керованого випрямляча. Налаштування обмежень наведено на рис. 3.2

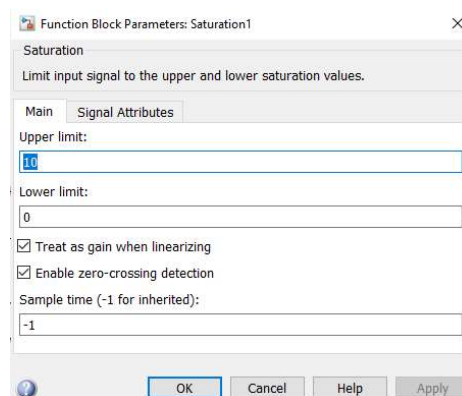


Рисунок 3.2 – Налаштування обмежень блоку Saturation1

Блоки Transfer Fcn та f_tirp є лінійною моделлю керованого випрямляча. Функція блоку останнього є $8*u(1)*(u(2)>=0)$, тобто, максимальна напруга

$U_T(u)$ становить 80 В при вхідному сигналі $u=10$, при цьому максимальний струм управління становить 8А. Блок `f_tirp1` є нелінійною моделлю керованого випрямляча, його функція $40 \cdot (1 + \cos(\pi - u(1) \cdot 0.1 \cdot \pi)) \cdot (0 + (u(2) \leq 8))$. Цей блок використовується для дослідження впливу нелінійної характеристики випрямляча на динамічні властивості приводу.

Обмотка управління муфти (гальма) ковзання моделюється послідовно включеними блоками суматор, мультиплексор, функціональний блок $1/L$, Integrator3 та блоком R_u (активний опір обмотки управління) у зворотному зв'язку згідно з нелінійним диференціальним рівнянням обмотки збудження $U_T(u) = Ri + \frac{L_0}{1+(ai)^2} \frac{di}{dt}$. Функція блоку $1/L$ є $u(1) \cdot (1 + 0.45 \cdot u(2) \cdot 0.45 \cdot u(2)) / 14$.

Решта блоків прямого контуру блок-діаграми утворюють модель власне приводу відповідно до розглянутої вище математичної моделі. Функція блоку $M(i)$ є $\text{atan}(1.2 \cdot u) \cdot \text{atan}(1.2 \cdot u)$, значення блоку $1/j$ дорівнює 0.0000242, блоку $1/\Omega_m$ - 1.266, блоку $340 \cdot 192 / 6.36 - 28000$.

Момент навантаження приводу формується m -функцією, що зручно в проведенні модельних досліджень, звертання до якої виконується в блоці `Mnav2`, як це показано на рис. 3.3.

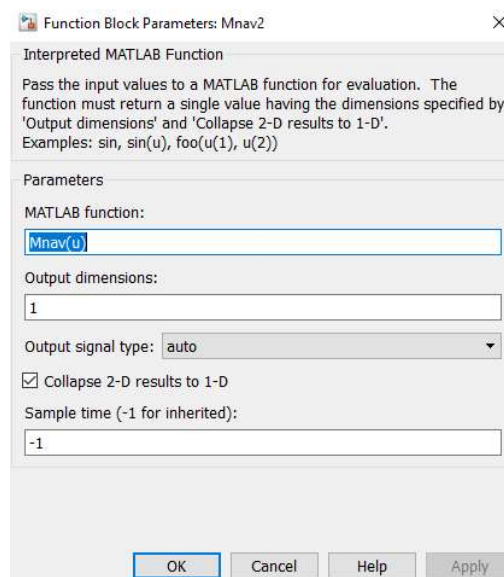


Рисунок 3.3 – Виклик функції завдання моменту навантаження приводу

Лістинг функції:

```
function [ mn ] = Mnav(u )
% Момент навантаження привода
%
mn=20000;

if u(2)>3
    mn=25000;
end
if u(2)>5
    mn=20000;
end
if u(1)<=0.02
    mn=2000*u(1);
end
if u(2)>10
    mn=25000;
end
if u(2)>12
    mn=20000;
end
```

Масштабний множник по моменту навантаження `massht1` дорівнює $1e-5$.

Вплив завдання по швидкості у певні моменти часу формується у `m`-функції `Vzav`, виклик якої здійснюється в блоці `Vzav2`, як це наведено на рис. 3.4.

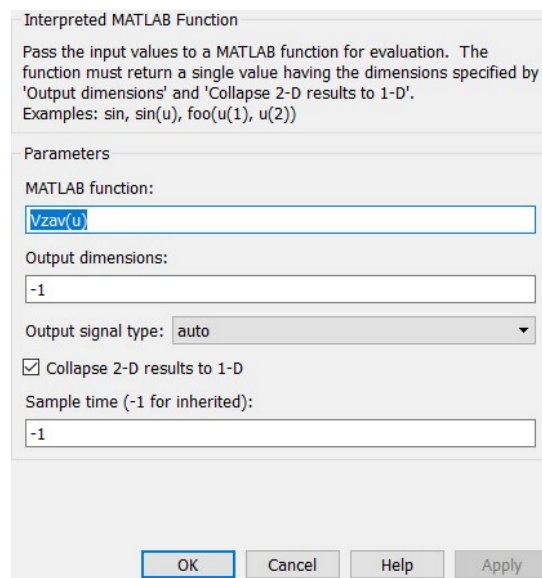


Рисунок 3.4 – Виклик функції завдання швидкості приводу подачі

Лістинг `m`-функції `Vzav`:

```

function [ yr] = Vzav( u )
% Завдання впливу по швидкості привода
% від регулятора або з пульта машиніста комбайна
yr=u(1);
if u(2)>=7
    yr=u(1)*2;          %8.2;      % 1.4*u(1);
end
%
%
%
if u(2)>=14
    yr=u(1);           % 8.2;      %1*u(1);
end

```

Початкова швидкість привода задається блоком Vp. Результати моделювання САК винесеним приводом наведені на рис. 3.5.

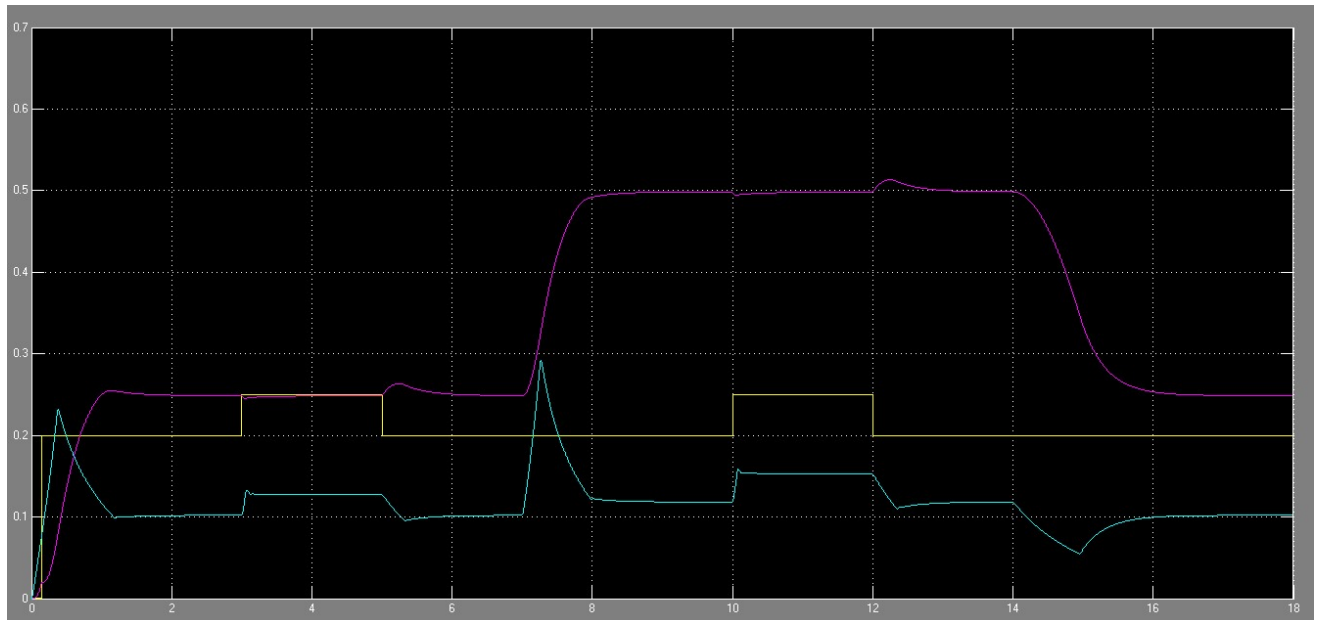


Рисунок 3.5 – Результати моделювання вихідної САК приводом подачі

Масштабування виведених змінних зрозуміло з блок-діаграми моделі. У вікні позначено: пурпурова лінія – кутова швидкість вихідного валу привода (масштаб 1:1); жовта лінія – момент навантаження привода (масштаб 1:1e-5); блакитна лінія – струм управління в обмотці збудження (масштаб 1:10). Як видно з рисунка, САК досить якісно відпрацьовує зміну впливу завдання на 7 секунд з 0,25 рад/с на 0,5 рад/с та навпаки на 14 секунд, що відповідає швидкості подачі комбайна 2,25 м/хв та 4,5 м/хв.

Також має місце якісне відпрацювання східчастих збурень по моменту навантаження: на 3 секунді момент навантаження збільшується стрибком з 2000 Нм до 2500 Нм, на 5 секунді зменшується у зворотному напрямку, таким же чином виконується зміна моменту навантаження на 10 та 12 секундах. Як при відпрацюванні впливу завдання так і по збуренню, мають місце аперіодичні перехідні процеси або монотонні або з несуттєвим перерегулюванням. Подібні результати були отримані в статті [10], що підтверджує адекватність моделі, і, отже, можливість її використання для завдань синтезу нової САК приводом.

3.2 Синтез та дослідження САК винесеним приводом подачі

Відповідно до мети роботи завданням синтезу нової САК є покращення показників якості регулювання швидкості приводу подачі – перерегулювання та часу перехідного процесу. Вище доведено моделюванням, що існуюча система автоматичного керування має аперіодичні перехідні процеси або монотонні або близькі до них і більш того збільшенням коефіцієнту при похідній можна неважко отримати виключно монотонні перехідні процеси без перерегулювання, щоправда це збільшить тривалість останніх.

Найбільш важливим параметром в перехідних процесах швидкості є час відпрацювання зменшення швидкості приводу. Чим меншим буде час зниження швидкості, тим менший час привід виконавчих органів буде під перевантаженням через збільшення опірності вугілля різанню або внаслідок зустрічі виконавчих органів з породним включенням або прошарком у вугільному пласті. Відповідно вірогідність перекидання електродвигуна виконавчих органів зменшується при зниженні часу зниження швидкості подачі комбайна.

Ідеєю роботи є зменшення часу перехідного процесу зниження швидкості приводу подачі за рахунок використання двополярного керованого випрямляча замість однополярного, який має місце в існуючій системі.

$8 * u(1) * ((u(2) \geq 0) \vee (u(1) \geq 0))$. Логічна умова у цьому виразі забезпечує коректне функціонування керованого випрямляча, зокрема, позитивні значення струму в обмотці збудження гальма. До того ж обмеження сигналу на вході керованого випрямляча відповідає двополярному керуванню, що показано на рис. 3.7

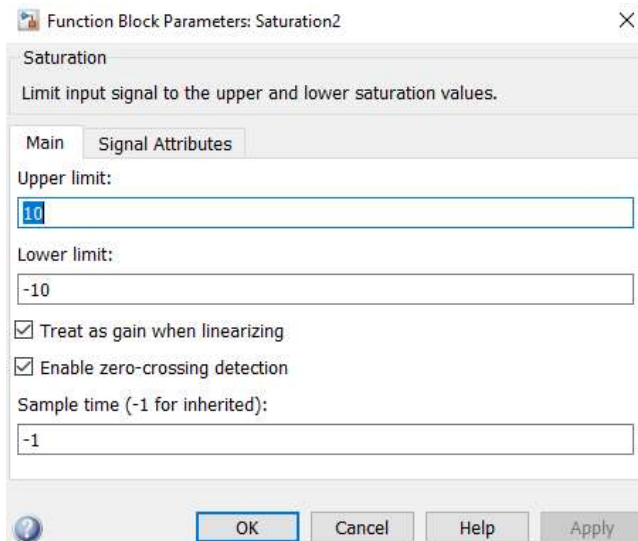


Рисунок 3.7 – налаштування блоку Saturation2 для керування двополярним керованим випрямлячем.

Остання відмінність двох моделей систем – значення коефіцієнту при похідній в ПД регуляторі. У синтезованій системі його зменшено до 0,15 замість 0,35 в вихідній системі. Це стало можливим через збільшення швидкодії приводу по керуванню при забезпеченні аперіодичних перехідних процесів та практичній відсутності перерегулювання.

Результати порівняльного моделювання вихідної та синтезованої системи наведено на рис.3.8. На осцилограмі позначено для змінних вихідної системи: пурпурова лінія – швидкість приводу (масштаб 1:1), червона лінія – момент навантаження приводу (масштаб 1:1e-5), блакитна лінія – струм управління в обмотці збудження (масштаб 1:10). Змінні синтезованої системи: зелена лінія – швидкість приводу, червона лінія – момент навантаження приводу, рожева лінія – струм управління в обмотці збудження.

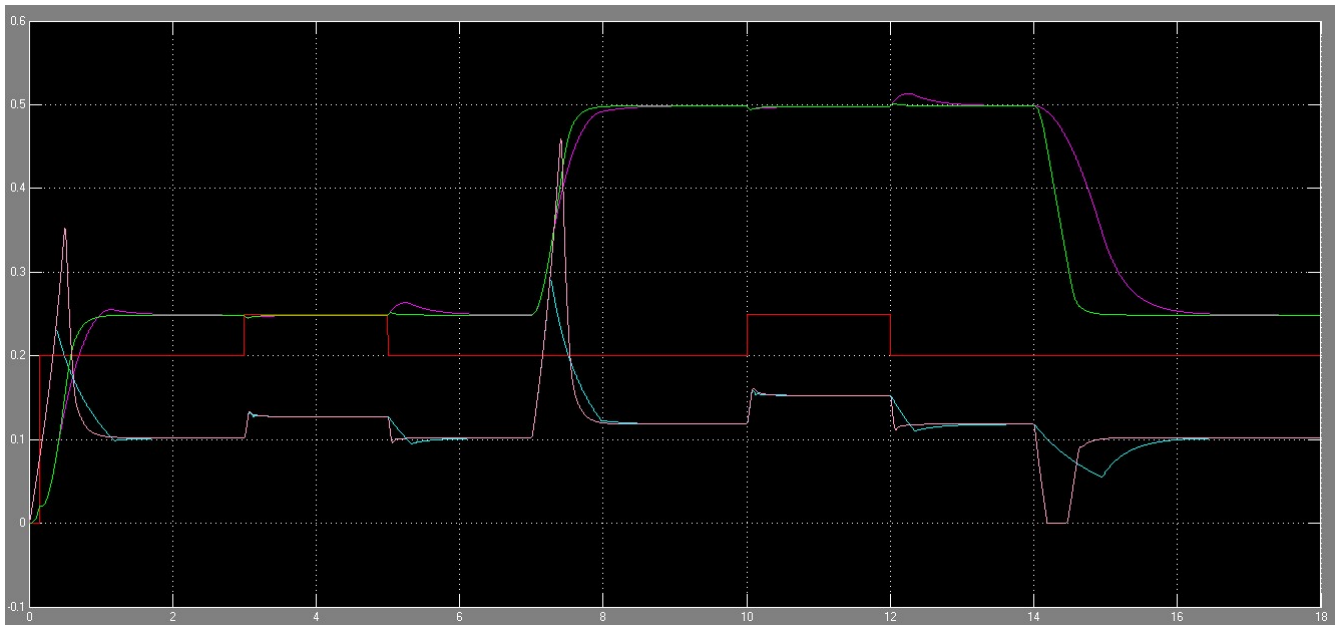


Рисунок 3.8 – Порівняльне дослідження перехідних процесів у вихідній та синтезованій САК приводом подачі

Зміна завдання швидкості та моменту навантаження у часі ідентичні описаним у модельному експерименті попереднього розділу.

Наведені результати свідчать, що в синтезованій системі перехідні процеси швидкості виключно аперіодичні та монотонні як при відпрацюванні зміни впливу завдання так і при відпрацювання збурень по навантаженню.

Час перехідних процесів зменшено:

- при відпрацюванні збільшення навантаження на 0,25 с;
- при відпрацюванні зменшення навантаження на 1 с;
- при відпрацюванні збільшення завдання по швидкості на 0,6 с;
- при відпрацюванні зменшення завдання по швидкості на 1,5 с;

Таким чином, досягнуто суттєве зменшення часу перехідного процесу на 1,6 с в найбільш важливому перехідному процесі.

Проведений вище модельний експеримент виконано для моменту навантаження 20000 Нм, що відповідає зусиллю у тяговому ланцюгу 133 кН, що в свою чергу відповідає робочому режиму комбайна при довжині тягового

ланцюга ≈ 120 м. Сучасна тенденція збільшення лав до 300 м вимагає щоб привід подачі розвивав тягове зусилля до 300 кН, що відповідає моменту навантаження приводу 45000 Нм. Через це є необхідність виконати дослідження перехідних процесів для максимального моменту навантаження. Моделювання саме такого режиму, де навантаження східчасто змінюється від 35000 до 45000 Нм, наведено на рис. 3.9. Налаштування моделі в цьому експерименті ідентичні попередньому експерименту за виключенням значення та варіації моменту навантаження приводу.

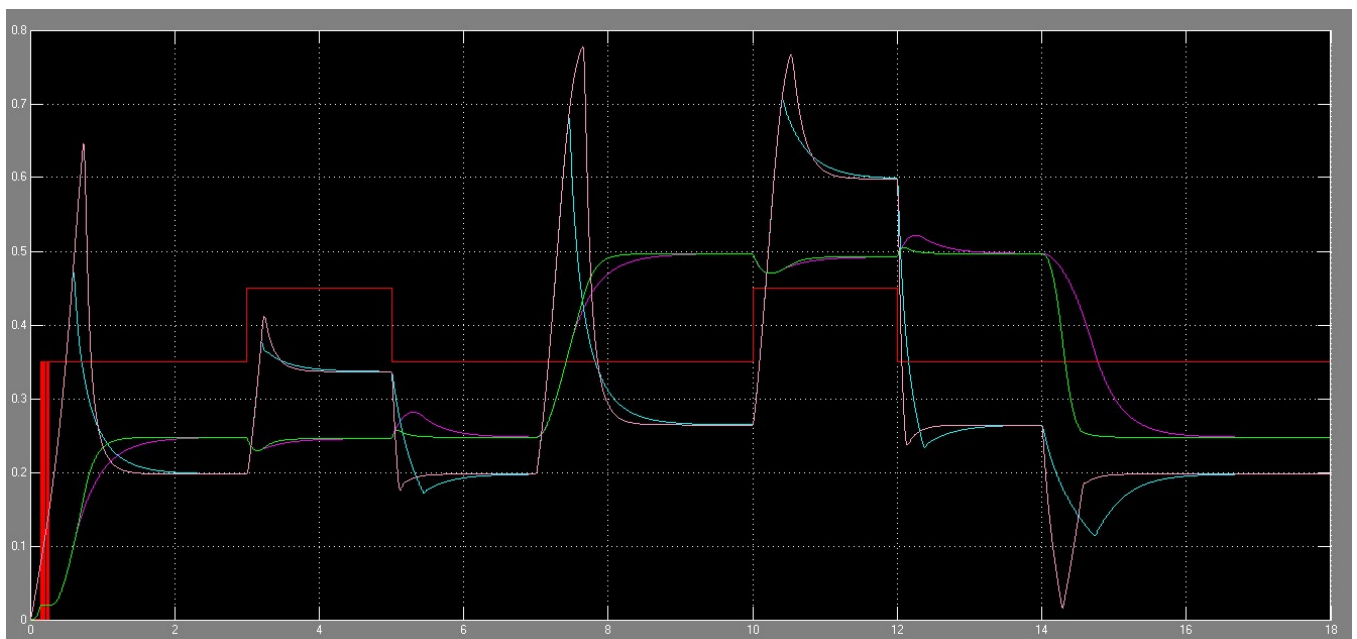


Рисунок 3.9 – Порівняльне дослідження перехідних процесів у вихідній та синтезованій САК приводом подачі при максимальному моменті навантаження

Отримані результати свідчать, що й при максимальному навантаженні синтезована система зберігає усі переваги перед існуючою, що розглянуті у попередньому експерименті. Зазначимо, що при наявності тягового ланцюга динамічні характеристики приводу та показники якості регулювання будуть кращими за рахунок здатності ланцюга накопичувати енергію.

Іншим важливим питанням синтезованої системи автоматичного керування винесеним приводом подачі є дослідження впливу реального керованого випрямляча на динамічні процеси в системі. Для вказаного дослідження розроблено модель у Simulink, яка дозволяє виконати порівняння системи з ідеальним керованим випрямлячем, який по суті представляє собою пропорційну ланку, та функціонально реальним лінійним керованим випрямлячем. Блок – діаграма такої моделі наведена на рис. 3.10.

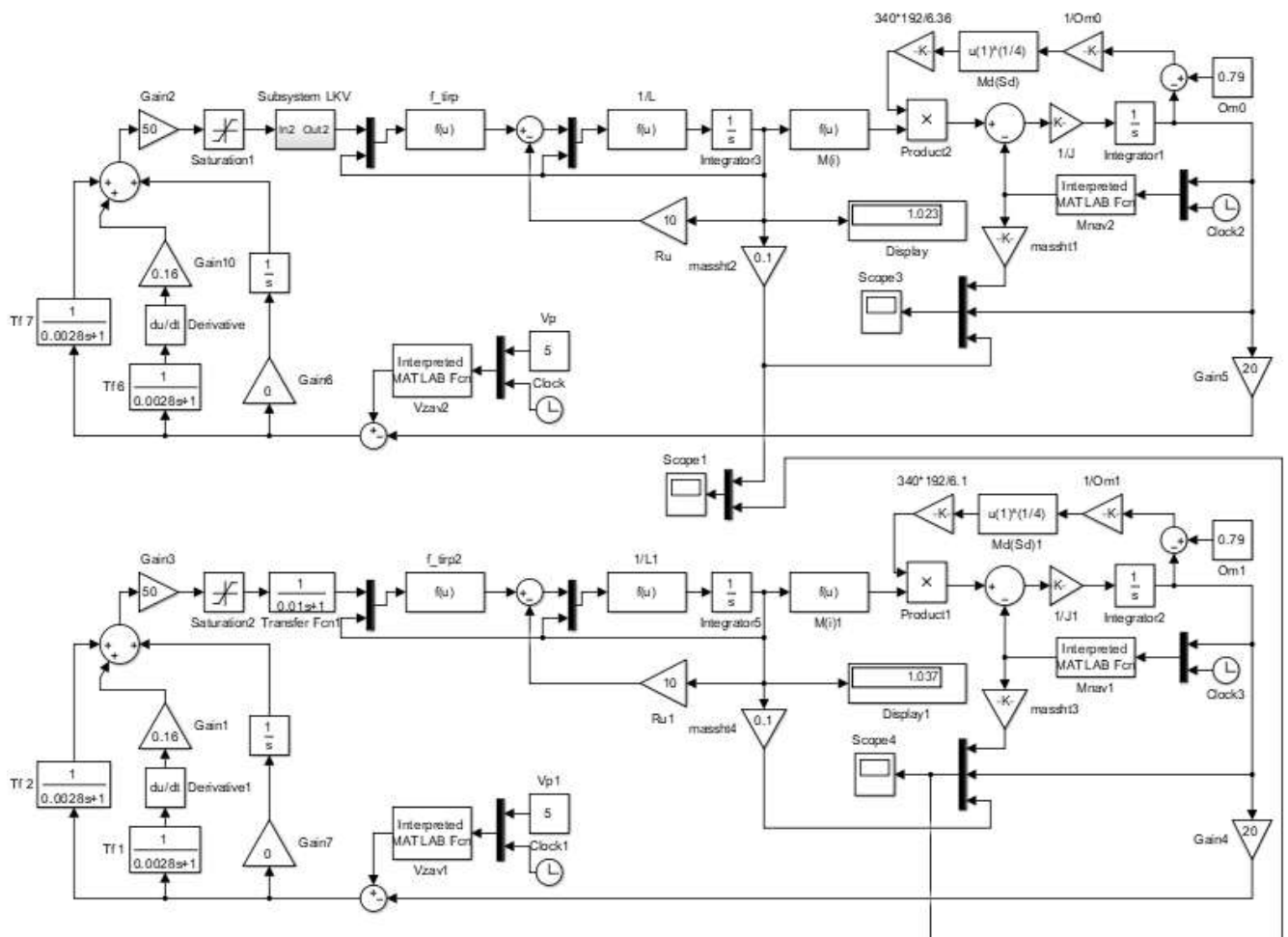


Рисунок 3.10 – Порівняльне дослідження перехідних процесів у синтезований САК приводом подачі з ідеальним та функціонально реальним лінійним керованим випрямлячем

Зміст модельного експерименту та налаштування синтезованої моделі описано вище на сторінках 42-44, а результати моделювання наведені на рис. 3.8.

Відмінністю верхньої моделі від нижньої є наявність моделі лінійного керованого випрямляча, оформленого у вигляді підсистеми Subsystem LKV, блок-діаграма якої наведена на рис. 3.11.

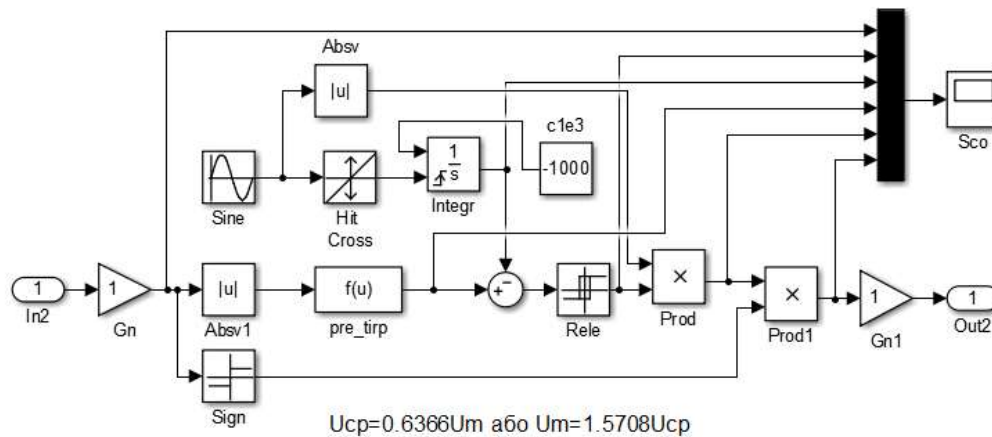


Рисунок 3.11 – Блок-діаграма моделі лінійного керованого випрямляча у вигляді підсистеми Subsystem LKV

Результати порівняльного моделювання перехідних процесів у синтезованій САК приводом подачі з ідеальним та функціонально реальним лінійним керованим випрямлячем наведені на рис. 3.12.

На осцилограмі позначено для змінних синтезованої системи з ідеальним лінійним випрямлячем: блакитна лінія – швидкість приводу (масштаб 1:1), пурпурова лінія – момент навантаження приводу (масштаб 1:1e-5), червона лінія – струм управління в обмотці збудження (масштаб 1:10). Змінні синтезованої системи з функціонально реальним лінійним випрямлячем: зелена лінія – швидкість приводу (на рисунку не видно через ідентичність графіків швидкості обох варіантів синтезованої системи), пурпурова лінія – момент навантаження приводу, жовта лінія – струм управління в обмотці збудження.

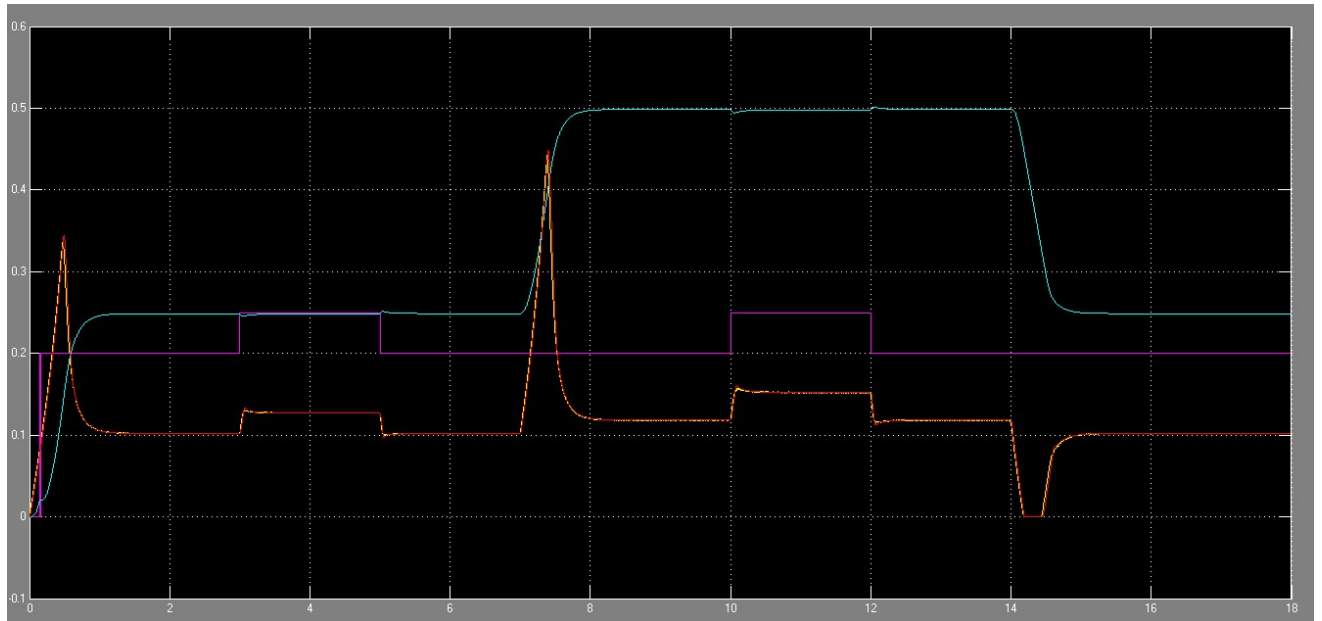


Рисунок 3.12 – Результати порівняльного дослідження перехідних процесів у синтезованій САК приводом подачі з ідеальним та функціонально реальним лінійним керованим випрямлячем

Як видно з рисунка 3.12, є єдина відмінність в порівнянні двох моделей – наявність дуже невеликих пульсацій струму керування в обмотці збудження гальма. Тобто, моделі практично ідентичні. Це дозволяє зробити висновок, що при існуючих параметрах моделі приводу подачі модель ідеального лінійного керованого випрямляча є цілком коректною. Це суттєво прискорює продуктивність моделювання через значно більший крок інтегрування системи диференціальних рівнянь системи, що розглядається.

Наведені порівняльні дослідження доводять, що мета роботи досягнута.

3.3 Висновки

- 1) Отримано математичну модель винесеного приводу подачі з електромагнітним гальмом ковзання та доведено її адекватність.
- 2) Синтезовано нову систему автоматичного керування з кращими динамічними характеристиками ніж у існуючій системі.
- 3) У найбільш важливому перехідному процесі відпрацювання зменшення завдання по швидкості у синтезованій системі час перехідного процесу зменшено на 1,5 с в порівнянні з існуючою системою.

ВИСНОВКИ

- 1) Виконано аналіз існуючих САК винесеним приводом подачі, наукових досліджень та розробок з цієї тематики, які свідчать про актуальність теми роботи.
- 2) Зниження часу перехідних процесів швидкості та їх аперіодична монотонна форма дозволить знизити динамічність навантажень в приводах виконавчих органів та подачі та підвищити продуктивність комбайна за рахунок зменшення простоїв та ремонтів приводу.
- 3) Виконано проектування САК винесеним приводом подачі.
- 4) Отримано математичну модель винесеного приводу подачі з електромагнітним гальмом ковзання та доведено її адекватність.
- 5) Синтезовано нову систему автоматичного керування з кращими динамічними характеристиками ніж у існуючій системі.
- 6) У найбільш важливому перехідному процесі відпрацювання зменшення завдання по швидкості у синтезованій системі час перехідного процесу зменшено з 2,5с до 1,0с, тобто, на 1,5 с в порівнянні з існуючою системою.
- 7) У додатку розглянуто заходи з охорони праці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Рикман И.В. Исследование и создание механизма подачи с электромагнитными муфтами скольжения для очистных комбайнов: автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. / Рикман И.В. – МГИ, 1972. – 18 с.
2. Поцепаев В.В. Исследование динамики и выбор рациональных параметров вынесенного привода подачи очистных комбайнов: дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. / Поцепаев В.В. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1985. – 197 с.
3. Ковальчук А.Н. Протокол заводских испытаний блока вынесенной системы подачи БП ВСП за 24.08.2006 г., / А.Н. Ковальчук - ОАО «ХМЗ «Свет шахтера», г. Харьков. 2006. – 35с.
4. Куц Г.І. Дослідження та розробка адаптивної системи автоматичного управління приводом в винесеній системі подачі видобувного комбайна: кваліфікаційна робота магістра / Г.І. Куц. – Покровськ: ДонНТУ, 2018. – 76с.
5. Вынесенная система подачи комбайна УКД – 250 типа ВСПК [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.shaht.kharkov.ua/files/index_1.html. /
6. Апаратура КД-А [Электронный ресурс]. – Режим доступа до статті: <http://mzsha.inf.ua/>
7. Поцепаев, В. В. Математическая модель вынесенного привода подачи комбайнов для тонких пластов / В.В. Поцепаев // Научн.тр.ИГД им. А. А. Скочинского. – 1983. – Вып. 218. – С.56–62.
8. Величко В.І. Дослідження та розробка системи автоматичного управління винесеним приводом подачі очисного комбайну: кваліфікаційна робота магістра / В.І. Величко. – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – 116с.

9. Апаратура РЭТ УХЛ5 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <http://elektro-mehanik.ru/files/file/45-apparatura-ret-ukhl5/>
10. Поцєпаєв В.В. Адаптивна система автоматичного управління приводом подачі з електромагнітним гальмом ковзання/ В.В. Поцєпаєв , Ю.Б. Шмідт, Р.Р. Мамєдов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. – Покровськ, 2017 № 1(30)’2017 с.17-27.
11. Поцєпаєв В.В. Исследование форсированного управления встроенной системой подачи с электромагнитными тормозами скольжения очистных комбайнов/ В.В. Поцєпаєв , Ю.Б. Шмідт // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. – Покровськ, 2016 № 1(29)’2016 с.18-27.
12. Косинський І.С. Дослідження способу вдосконалення динамічних характеристик системи автоматичного управління видобувним комбайном з приводом подачі з електромагнітним гальмом ковзання [Текст] / І.С. Косинський// Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених «ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп’ютерно-інтегровані технології, 29-30 листопада 2017 р.: збірник доповідей. – ДВНЗ «ДонНТУ», м. Покровськ 2017. – С. 218 – 221.
13. Стоян Є.В., Поцєпаєв В.В. Дослідження та розробка компенсаційного регулятора навантаження видобувного комбайна [Текст] / Є.В. Стоян // Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених «ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп’ютерно-інтегровані технології, 29-30 листопада 2017 р.: збірник доповідей. – ДВНЗ «ДонНТУ», м. Покровськ 2017. – С. 232 – 236 .
14. Матеріали по продуктам MATLAB & Toolboxes. Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://matlab.exponenta.ru/>
15. А.с. 1461919 (СССР). Способ управления вынесенной системой подачи очистного комбайна / Донавтоматгормаш. Авт. изобрет. С.В. Дубинин,

В.В. Поцеваев, Л.Я. Красик, И.Т. Сидоренко Заявл. 04.03.87, № 4204123.
опубл. в Б.И. 1989, № 8.

- 16.Костюченко М.П. “Основи охорони праці”, “Охорона праці в галузі”. Ч.1.
Загальні питання та менеджмент охорони праці: Навч.-методичний
посібник. – Донецьк: Вид-во ДУІ і ІШ, 2010. – 158с.
- 17.Безпека промислових підприємств. Загальні положення та вимоги. ДСТУ
3273-95// Наказ Держстандарту України від 19 грудня 1995 р. № 434.

Додаток А

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Потенційні небезпеки і шкідливості на об'єкті дослідження

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

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

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

До НШВЧ на підприємстві відносяться:

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

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

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

4.2 Основні шкідливі виробничі фактори, що впливають на умови праці робітників відділу АСУ ТП

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

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

4.3 Заходи щодо поліпшення умов праці робітників відділу АСУ ТП

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

50-60% за допомогою кондиціонування, для підлоги використовувати матеріали з антистатичного матеріалу; дотримуватися параметрів: площа на одного працюючого – 6 м², об'єм – 20 м³; відстань від робочого місця з ПК до стіни з вікном повинна становити не менше ніж 1,5 м, від інших стін – на відстані 1 м, а відстань між столами – 1,5 м; не застосовувати для обробки приміщення полімерні матеріали, що виділяють шкідливі хімічні речовини; відстань від екрану комп'ютера до очей повинна складати 50-70 см; час праці за ПК не повинен перевищувати 20 годин на тиждень, при цьому робити перерву кожні 45 хвилин на 5 хвилин.

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

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

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

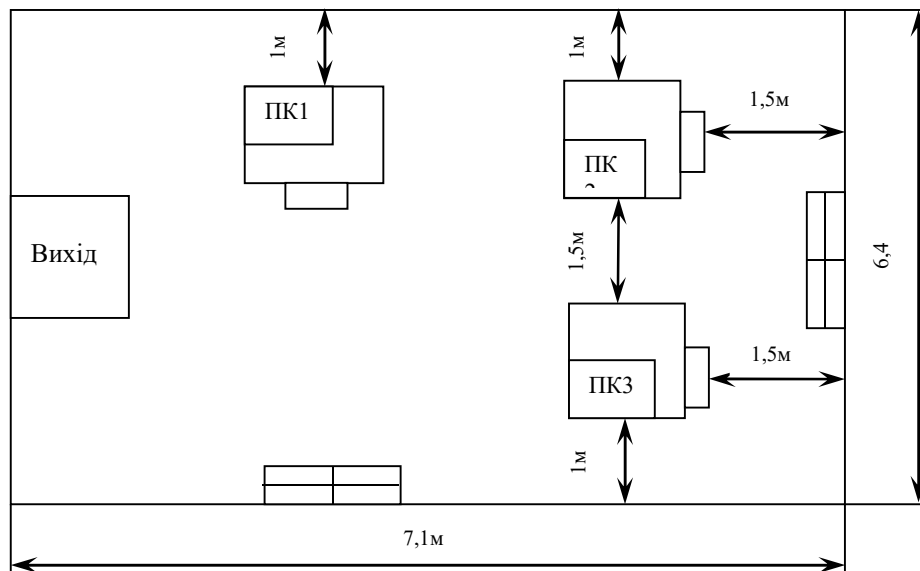


Рисунок 4.1 – Облаштованість робочих місць із ПК відділу

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

4.4 Розрахунок кондиціонування та вентиляції для відділу АСУ ТП

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

$$L = \frac{Q_{над}}{c \cdot p (t_в - t_н)}, \quad (4.1)$$

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

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

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

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

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

Розрахуємо надлишкове надходження тепла по формулі:

$$Q_{над} = Q_{уст} + Q_{пер} + Q_{осв} + Q_{ср}, \quad (4.2)$$

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

$Q_{пер}$ - виділення тепла робітниками;

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

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

Визначимо виділення тепла від устаткування по формулі:

$$Q_{уст} = P \cdot K_a \cdot K_b \cdot 860 \text{ ккал/год}, \quad (4.3)$$

де P - сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a - коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_b - коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$Q_{уст} = [(x_1 \cdot k_1) + (x_2 \cdot k_2) + (x_3 \cdot k_3) + (x_4 \cdot k_4)] \cdot K_a \cdot K_b \cdot 860 \text{ ккал/год}, \quad (4.4)$$

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

Розрахуємо:

$$Q_{уст} = [(3 \cdot 0,5) + (3 \cdot 0,1) + (1 \cdot 0,4) + (1 \cdot 6,3)] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 490,2 \text{ ккал/год}. \quad (4.5)$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою формули:

$$Q_{пер} = n \times g, \quad (4.6)$$

де n - кількість працюючих;

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

Розрахуємо:

$$Q_{\text{пер}} = 6 \times 100 = 600 \text{ ккал/год.} \quad (4.7)$$

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення по формулі:

$$Q_{\text{осв}} = E_{\text{м}} \cdot g_1 \cdot S, \quad (4.8)$$

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

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

S – площа приміщення, м².

Розрахуємо:

$$Q_{\text{осв}} = 400 \cdot 0,05 \cdot 45,44 = 908,8 \text{ ккал/год.} \quad (4.9)$$

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна по формулі:

$$Q_{\text{ср}} = F \cdot g_2 \cdot K_{\text{осл}}, \quad (4.10)$$

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

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

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

Розрахуємо:

$$Q_{\text{ср}} = 1,55 \cdot 65 \cdot 0,4 = 40,3 \text{ ккал/год.} \quad (4.11)$$

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{\text{над}} = 490,2 + 600 + 908,8 + 40,3 = 2039,3 \text{ кал/год.} \quad (4.12)$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{2039,3}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (26-18)} = 877,31 \text{ м}^3 / \text{год} \quad (4.13)$$

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

4.5 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання

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

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою:

$$h_0 = H - h_c = 3 - 0,5 = 2,5 \text{ м.} \quad (4.14)$$

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

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 2,5 - 0,7 = 1,8 \text{ м.} \quad (4.15)$$

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

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками:

$$L = 0,7h = 0,7 \cdot 1,8 = 1,26 \text{ м.} \quad (4.16)$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників:

$$N = \frac{ab}{L^2} = \frac{7,1 \cdot 6,4}{1,16^2} = 33,77 \approx 35 \quad (4.17)$$

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

5) Світловий потік лампи світильника визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} \text{ ккал / год} \quad (4.18)$$

де E - нормативна освітленість, лк;

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

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

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

N - кількість світильників;

n - кількість ламп у світильнику;

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

6) Визначимо показник приміщення для кожної зони:

$$i = \frac{ab}{h(a+b)} = \frac{7,1 \cdot 6,4}{1,8 \cdot (7,1 + 6,4)} = 1,8 \quad (4.19)$$

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

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

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{400 \cdot 45,44 \cdot 1,5 \cdot 1,15}{35 \cdot 0,52} = 1722,73 \text{ лм} \quad (4.20)$$

9) З таблиці 3.27 [2] обираємо лампу БК (біспіральна криптонова) потужністю 100 Вт, світловий потік якої становить 1450 лм. Хоча це значення менше розрахованого на 14%, однак не перевищує встановлену норму (-

$0\% < \Delta\Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$\Sigma P_{\text{св}} = P \cdot N = 100 \cdot 35 = 3,5 \text{ кВт.} \quad (4.21)$$

4.6 Пожежна безпека

У приміщенні відділу АСУ ТП основні міри для забезпечення пожежної безпеки визначає Інструкція про заходи пожежної безпеки для службових приміщень. Вона є обов'язковою для виконання всіма співробітниками. В інструкції про засоби пожежної безпеки для службових приміщень забороняється: улаштовувати тимчасові електромережі, застосовувати саморобні плавкі вставки в запобіжниках, прокладати електричні проводи безпосередньо по пальній основі, експлуатувати світильники зі знятими ковпаками (розсіювачами), використовувати саморобні подовжувачі, що не відповідають вимогам Правил пристрою електроустановок; пристосовувати вимикачі, штепсельні розетки для підвішування одягу й інших предметів, обгортати електролампи і світильники, заклеювати ділянки електромережі пальною тканиною, папером; використовувати побутові електрокип'ятильники, чайники тощо без непалених підставок, залишати без нагляду включеними в електромережу кондиціонери, комп'ютери, рахункові і друкарські машинки і т.п.; захаращувати підступи до засобів пожежогасіння, використовувати пожежні крани, рукави і пожежний інвентар не за призначенням, зберігати документи, різні матеріали, предмети й інвентар у шафах (нішах) інженерних комунікацій; курити (крім спеціально відведених для цього адміністрацією місць, позначених написом «Місце для паління» і забезпечених урною чи попільницею з непаленого матеріалу), проводити зварювальні й інші вогневі роботи без оформлення відповідного дозволу, застосовувати легкозаймисті рідини.

4.7 Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи і виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не 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, 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 факторі пожежі (критичних температур, ступені задимлення, зниження концентрації кисню и т.п.). Число евакуаційних виходів повинно бути не менш двох. Вони повинні розташовуватися розосереджено.

Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися у напрямку виходу із будівлі. У кожному приміщенні на видному місці повинен бути вивішений план евакуації при пожежі. При пожежі обов'язково необхідно враховувати небезпечні чинники і механізм їх дії на людину. Користуватися ліфтом категорично забороняється. Шахта ліфта є шляхом для поширення диму і

отруйних продуктів горіння, до того ж при пожежі ліфт часто відключають і можна опинитися в пастці при пожежі.

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

Якщо приміщення все ж заповнено димом, необхідно підповзти до вікна, закрити при цьому рот та ніс змоченою тканиною, яка грає роль фільтру та в певній 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).

Додаток Б

Таблиця – Технічні характеристики S7 CPU312

Параметр	Значення
Робоча пам'ять	36 КБ
Завантажена пам'ять (ММС)	64 КБ – 4 МБ
Час виконання операцій	Логічні: 0.2 мкс Зі словами: 0.4 мкс З фікс. точкою: 5.0 мкс З плав. точкою: 6.0 мкс
Кількість флагів/таймерів/лічильників	1024/128/128
Макс. кількість каналів вводу-виводу (дискретних/аналогових)	256/64
Вбудовані інтерфейси	MPI
Макс. кількість активних комунікаційних з'єднань	6
Вбудовані дискретні входи/виходи	Немає
Вбудовані аналогові входи/виходи	Немає
Макс. кількість модулів	8
Мови програмування	LAD, FBD, STL
Габарити	40 x 125 x 130 мм
Вага	270 г
Номинальна напруга живлення	24 В
Споживання струму	60 мА
Струм включення	2 А

Додаток В

Таблиця – Технічні характеристики блоку живлення PS 307 2A

Параметр	Значення
Габарити	50 x 125 x 120 мм
Вага	420 г
Номінальна вхідна напруга	АС 120/230 В (+10% або -15%)
Частота мережі	50/60 Гц ($\pm 2\%$)
Вхідний струм	0.8 А при 120 В, 0.5 А при 230 В
Струм пуску	20 А
Вихідна напруга	DC 24 В
Вихідний струм	2 А
Захист від короткого замикання	Електрона, без фіксації
Остаточні пульсації	150 мВ
Клас захисту	Згідно з ІЕС 536
Гальванічна розв'язка	Схема з безпечною наднизькою напругою
ККД	83%
Потужність	58 Вт

Додаток Г

Технічні характеристик модулів вводу - виводу

Таблиця – Технічні характеристик модуля вводу SM 331 AI 8x16 Bit

Параметр	Значення
Число входів	8
Роздільна здатність	15 бітів + знак
Види замірів	Напруга, струм, температура
Види виводів	Поканально: напруга
Підтримка режиму тактової синхронізації	Ні
Параметр. діагностика	Ні
Контроль граничних значень	Ні
Потенційні зв'язки	Гальванічна розв'язка з інтерфейсом задньої шини, напругою навантаження
Ізоляція перевірена напругою	DC 500 В
Вхідні діапазони (та вхідний опір)	Напруга: 0..10 В (100 КОм) Опір: 10 кОм (10 МОм) Температура: Pt 100 (10 МОм)

Таблиця – Технічні характеристик модуля виводу SM 332 AO 4 x 16 Bit

Параметр	Значення
Число виходів	16
Роздільна здатність	15 бітів + знак
Види замірів	Напруга, струм, температура
Види виводів	Поканально: напруга
Підтримка режиму тактової синхронізації	Ні
Параметр. діагностика	Ні
Контроль граничних значень	Ні
Потенційні зв'язки	Гальванічна розв'язка з інтерфейсом задньої шини, напругою навантаження
Ізоляція перевірена напругою	DC 500 В
Вихідний діапазон (напруга, струм)	1...5 В; 0..10 В; ±10 В 0...20 мА; 4...20 мА; ±20 мА