

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

**до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

ТЕМА РОБОТИ:

**Модернізація електроприводу шахтної підйомної установки за системою
«тиристорний регулятор напруги – двигун постійного струму»**

Виконав: студент групи ЕЕМ-21-2

Ростислав ЧУПЛАК

Керівник випускної роботи _____

д.т.н., проф. Олег СІНЧУК

Нормо контролер _____

д.т.н., проф. Олег СІНЧУК

Декан ЕТФ _____

к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____

к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Рір 2025 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ЧУПЛАК Ростислав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Модернізація електроприводу шахтної підйомної установки за системою «тиристорний регулятор напруги – двигун постійного струму»

1. Термін подання студентом роботи: 16 червня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є модернізація електроприводу шахтної підйомної установки за системою «тиристорний регулятор напруги – двигун постійного струму».
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Електропривод шахтної підйомної установки; II. Система керування електроприводом шахтної підйомної установки; III. Динамічні режими роботи електроприводу шахтної підйомної установки.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. ШАХТНА ПІДЙОМНА УСТАНОВКА; II. СИЛОВА СХЕМА ДВОДВИГУННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА; III. ШВИДКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ; IV. ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ; V. СТРУКТУРНА СХЕМА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ; VI. ГРАФІКИ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.-

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Олег СІНЧУК		
II	Олег СІНЧУК		
III	Олег СІНЧУК		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Характеристика шахтної підйомної установки	15.05.25
2	Система електроприводу шахтної підйомної установки	17.05.25
3	Вибір обладнання шахтної підйомної установки	19.05.25
4	Система керування шахтною підйомною установкою	21.05.25
5	Структура системи керування	24.05.25
6	Структура системи керування	26.05.25
7	Розрахунок елементів системи керування	31.05.25
8	Налагодження роботи системи керування	04.05.25
9	Принципова схема системи керування	10.06.25
10	Динамічні режими роботи електроприводу	14.06.25

Дата видання завдання 12.05.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Ростислав ЧУПЛАК
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Олег СІНЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Модернізація електроприводу шахтної підйомної установки за системою «тиристорний регулятор напруги – двигун постійного струму»

48 с., 18 рис., 10 літературних джерел

У першому розділі було наведено характеристики шахтної підйомної установки, представлена кінематична схема, перелічено силове обладнання, розглянуто вимоги до системи електроприводу. Найбільш актуальною з представлених систем електроприводу виявилась система «тиристорний регулятор напруги – двигун постійного струму». Для цієї системи на основі розрахунків відповідно до параметрів шахтної підйомної установки було обрано двигун а також тиристорний перетворювач, розраховано статичні характеристики системи електроприводу, побудовано енергетичні характеристики.

У другому розділі було складено структуру системи керування електроприводом шахтної підйомної установки з тиристорним перетворювачем та двигуном постійного струму. Як базовий варіант розглянуто систему підлеглого регулювання частоти обертання й струму двигуна. Розраховано та налаштовано регулятори для замкненої системи керування, обрано її елементну базу.

У третьому розділі було проведено дослідження динамічних режимів роботи електроприводу шахтної підйомної установки. Параметри налаштування регуляторів струму та частоти обертання впливають на якість

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

протікання перехідних процесів. Показники якості лежать у межах допустимих завданням на проектування системи електроприводу.

ШАХТНА ПІДЙОМНА УСТАНОВКА, ЕЛЕКТРОПРИВОД,
ТИРИСТОРНИЙ РЕГУЛЯТОР НАПРУГИ, ДВИГУН ПОСТІЙНОГО
СТРУМУ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Електропривод шахтної підйомної установки	9
1.1. Характеристика шахтної підйомної установки.....	9
1.2. Система електроприводу шахтної підйомної установки	15
1.3. Вибір обладнання шахтної підйомної установки	17
1.4. Система керування шахтною підйомною установкою	21
1.5. Характеристики електроприводу шахтної підйомної установки.....	24
Розділ 2. Система керування електроприводом шахтної підйомної установки	28
2.1. Структура системи керування	28
2.2. Розрахунок елементів системи керування.....	31
2.3. Налагодження роботи системи керування.....	34
2.4. Принципова схема системи керування електроприводом шахтної підйомної установки	39
Розділ 3. Динамічні режими роботи електроприводу шахтної підйомної установки.....	41
3.1. Моделювання динамічних режимів роботи електроприводу шахтної підйомної установки	41
3.2. Аналіз динамічних режимів роботи електроприводу шахтної підйомної установки.....	45
Висновки	47

Вступ

Шахтні підйомні установки вирішують важливе завдання підйому корисних копалин з глибини шахтних горизонтів на поверхню. Це дуже енерговитратний процес, який супроводжується великим споживанням електричної енергії. Тому від ефективності роботи обладнання шахтних підйомних установок залежатиме економічність процесу видобутку корисних копалин.

Вантажомісткість рейсу шахтної підйомної установки складає 50 т, а глибина підйому 1500 м. У цілях економії часу на завантаження та розвантаження, використовують систему автоматизації та керування рухом шахтною підйомною установкою.

Для підвищення показників якості динамічних режимів шахтної підйомної установки застосовують системи регульованого електроприводу. Виходячи з рівню потужності технологічної установки, а також враховуючи той факт, що для приведення у рух шахтної підйомної установки використовується двигун постійного струму, цікавим виявляється можливість застосування тиристорного регулятора напруги у якості джерела його живлення.

Системи на основі тиристорних регуляторів володіють високим рівнем коефіцієнту корисної дії, жорсткими електромеханічними характеристиками та великою перевантажувальною здатністю.

До гідності системи тиристорний регулятор – двигун постійного струму слід також віднести широкий діапазон регулювання частоти обертання привідного двигуна.

Відповідно до особливостей шахтних підйомних установок, одною з необхідних умов є можливість зміни напрямку руху, тобто необхідність у

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реверсуванні електричного двигуна. Для можливості реверсування електричного двигуна у тиристорному електроприводі використовують два комплекти тиристорних елементів. При цьому можливими є режими реверсування як за колом якоря електричної машини, так й у колі збудження. Але в останньому випадку слід враховувати доволі суттєву інерційність шахтної підйомної установки та погоджувати її з часом протікання перехідних процесів у контурі збудження.

Отже, завдяки впровадженню регульованого тиристорного електроприводу для шахтної підйомної установки, можна досягти максимальної стабілізації режимів її роботи з підтримкою найбільш ефективних шляхів використання обладнання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Електропривод шахтної підйомної установки

1.1. Характеристика шахтної підйомної установки

Одна з найважливіших споруд підземного видобутку - це шахтна підйомна установка. Вона використовується для піднімання корисних копалин а також спуску або піднімання персоналу шахти а також обладнання.

Шахтна підйомна установка - це складна електромеханічна система яка містить багато елементів що допомагають виконувати основну функцію тобто підйом або опускання корисного вантажу та людей. Від оптимального вибору елементів шахтної підйомної установки залежить раціональність режимів її роботи.

Вибір кожного з елементів шахтної підйомної установки - це складний процес який супроводжується розглядом великої кількості теоретичних підходів та практичних навичок.

Основним завданням шахтної підйомної установки є піднімання корисних копалин, тому вибір головних елементів обладнання що її складають зосередимо на цьому твердженні.

Маса корисного вантажу що підіймає установка залежить від продуктивності одного підйому.

Для цього розглядається сукупність елементів що складають в шахтну підйомну установку та визначаються кінематичні зв'язки між цими елементами.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 1	Лім.	Лист	Листів
Розробив	Чуплак Р.О.						9	19
Перевірів	Сінчук О.М.							
Реценз.								
Н. Контр.	Сінчук О.М.							
Затвердив	Пересунько І.І.					КНУ ЕЕМ-21-2		

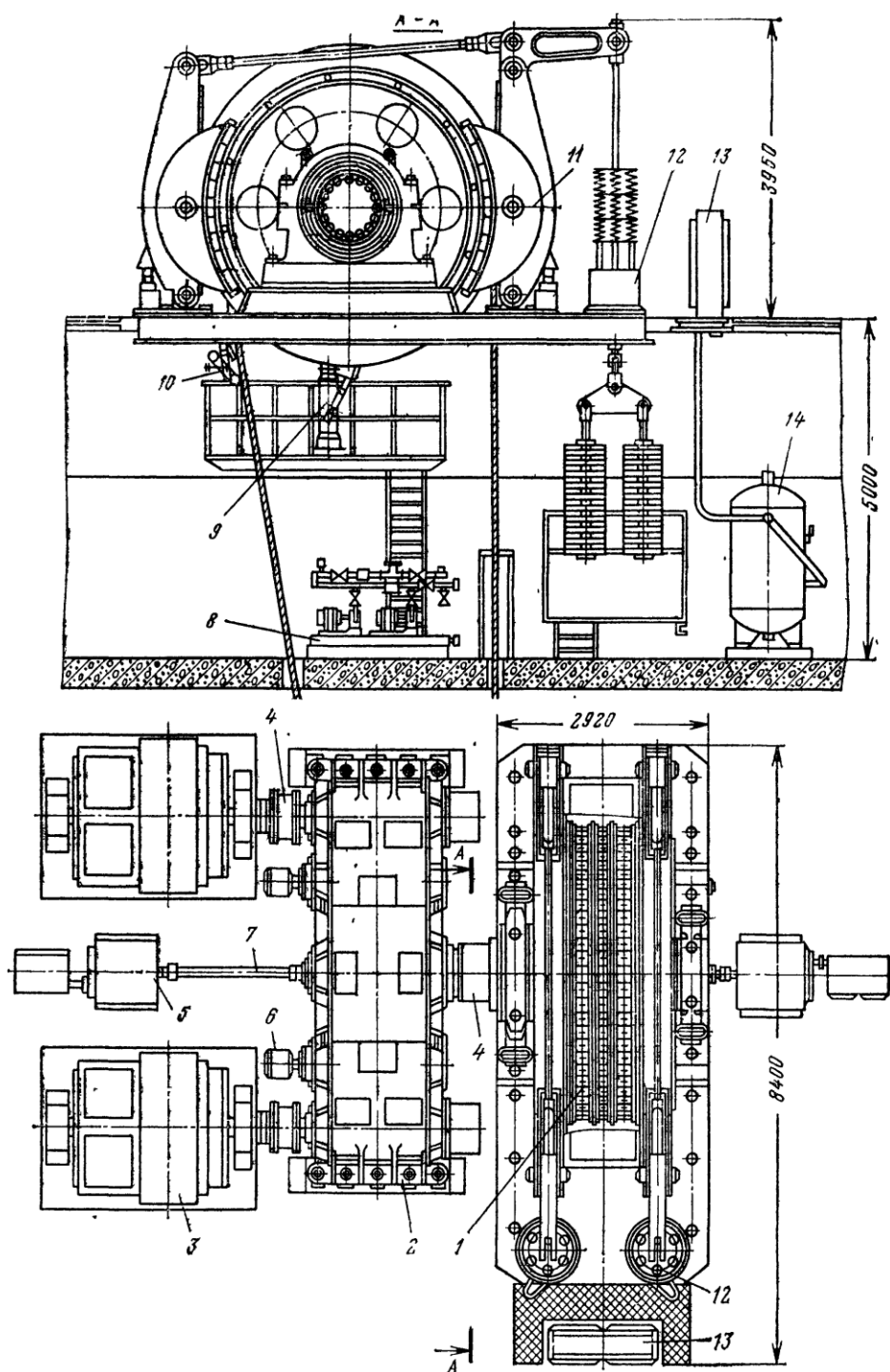


Рисунок 1.1 – Шахтна підйомна установка

Розташування шахтної підйомної установки виконується довкола головного ствола шахти. Використавши ефективну масу одного підйому

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12

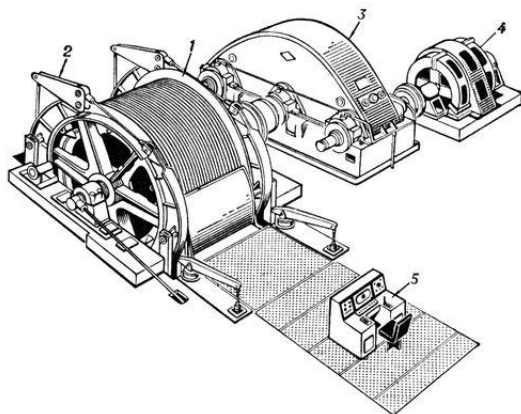
Арк.

10

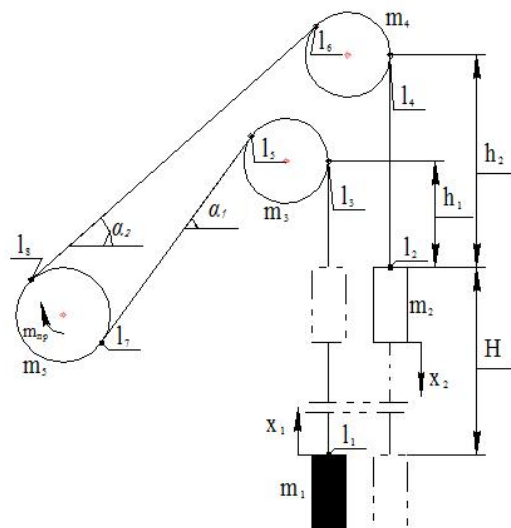
можна розрахувати потужність електричного двигуна шахтної підйомної установки.

Для точного визначення потужності електричної машини скористаємось схемою заміщення елементів конструкції електромеханічної системи шахтної підйомної установки.

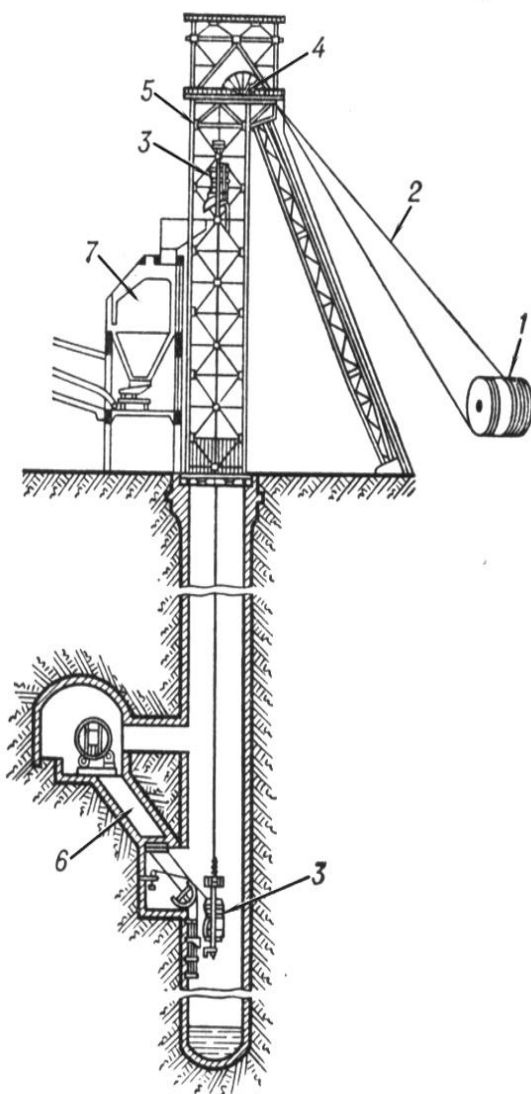
					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



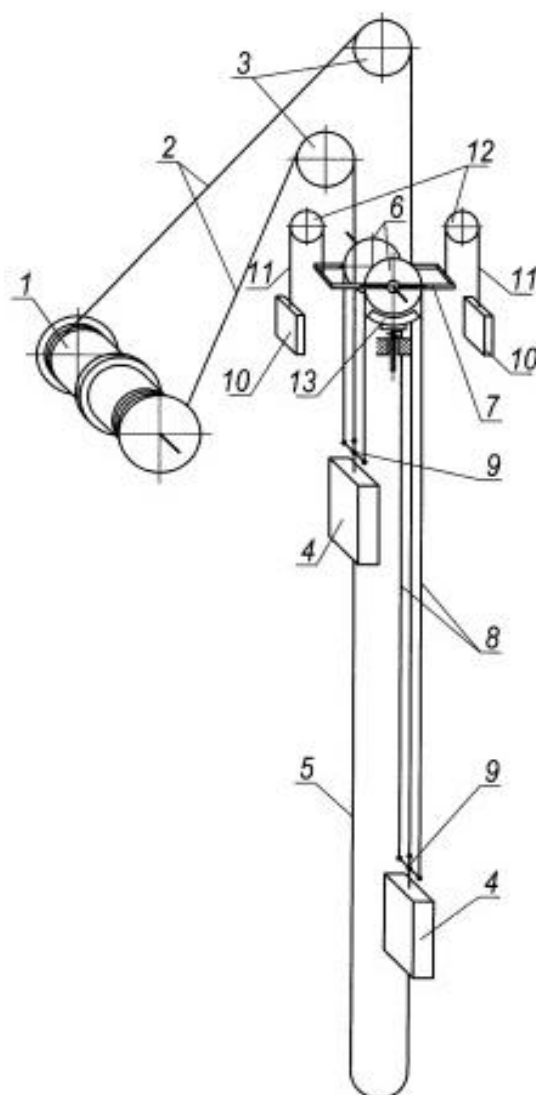
a



a



б



б

Рисунок 1.2 – Структурна схема підйомної установки

Рисунок 1.3 – Кінематична схема підйомної установки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12

Арк.

12

Так можна бачити що довкола ствола шахти розташовані спеціальні скіпові елементи які підвищені на канатах також можна бачити ліфт яким користується обслуговуючий персонал для здійснення ремонту устаткування шахтної підйомної установки використовується мостовий кран. Сама по собі шахтна підйомна установка оснащена спеціальним шківом який з'єднано з електричним двигуном.

Кінематична схема шахтної підйомної установки складається з елементів електромеханічної системи що входять до її складу. Так електромагнітний момент від шківу електричної машини передається на канатоведучий вал який приводить до руху головний підйомний канат.

До системи головних підйомних канатів прив'язано підйомні скипи маса яких врівноважується через хвостові канати спеціальним вантажем. Основна частина шахтної підйомної установки приводиться до руху двома електричними машинами. для приводу шахтної підйомної установки встановлено два електричні двигуни постійного струму. У якості привідних використовуються тихохідні електричні машини.

Оскільки для електричного приводу шахтної підйомної установки використовуються двигуни постійного струму, розглянемо можливість модернізації системи електроприводу шахтної підйомної установки за допомогою впровадження перетворювального пристрою для живлення електричних двигунів.

Слід зазначити що до особливостей роботи шахтної підйомної установки можна віднести доволі великий діапазон регулювання швидкості який складає 80. Також слід зазначити велику швидкість руху канатної системи максимальне значення якої складає 16 м/с.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Головним чинником безперебійної роботи шахтної підйомної установки є допустиме прискорення електроприводу при пуску та гальмуванні.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Система електроприводу шахтної підйомної установки

Отже розглянемо властивості тиристорного електроприводу для потреб шахтної підйомної установки. Слід зазначити що враховуючи тихохідність електричних машин ми заздалегідь не розглядаємо можливість застосовувати транзисторні силові ключі оскільки потужність яка буде виділятися на них під час роботи у динамічних режимах буде перевищувати їх термічну стійкість.

Тиристорні перетворювачі зарекомендували себе як надійні елементи електричних приводів великої потужності. Серед можливостей виконувати електропривод шахтної підйомної установки із застосуванням тиристорних ключових елементів можна відзначити їх спроможність працювати з великими динамічними навантаженнями що позитивно впливає на їх обслуговування та експлуатацію.

Однак слід представити також недоліки тиристорного електроприводу. До основних недоліків можна віднести чутливість до перенапруги тиристорних ключів.

Також слід зазначити що для системи тиристорного електроприводу шахтної підйомної установки суттєвим недоліком є необхідність застосовувати два комплекти керованих ключів адже електропривод шахтної підйомної установки є реверсивним та потребує зміни напрямку частоти обертання електричних машин.

Також слід зазначити що імпульсний характер випрямленої напруги тиристорного електроприводу вимагає додаткового встановлення фільтруючих елементів що суттєво збільшує вартість такого проекту.

Але незважаючи на перелічені недоліки тиристорний електропривод для потреб шахтної підйомної установки зможе суттєво підвищити ККД

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використання електричних машин та підвищити також якість роботи електричного приводу у динамічних режимах.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Вибір обладнання шахтної підйомної установки

Таблиця 1.1 – Характеристика шахтної підйомної установки

№ з/п	Найменування	Позначення	Розмірність	Величина
1	2	3	4	5
1.	Висота підйому	H	м	1409
2.	Маса вантажу у скіпу	$m_{\text{в}}$	кг	50000
3.	Маса підйомної судини з причіпними пристроями	$m_{\text{м}}$	кг	44700
4.	Діаметр канатоведучого шківa	$D_{\text{шк}}$	м	5
5.	Маса погонного метра 8 підйомних канатів (8?7,75 кг)	p	кг/м	62
6.	Маса погонного метра 4 врівноважуючих канатів (1,2 – 15 кг, 3,4 – 16 кг)	q	кг/м	62
7.	Вага вантажу у скіпу	$Q_{\text{в}}$	Н	490500
8.	Вага підйомної судини з причіпними пристроями	$Q_{\text{м}}$	Н	438507

Потужність привідного електричного двигуна шахтної підйомної установки будемо визначати за тахограмою руху підйомних скіпів.

Розглянемо найбільш складний випадок коли відбувається підніманням корисних копалин з нижніх горизонтів на поверхню.

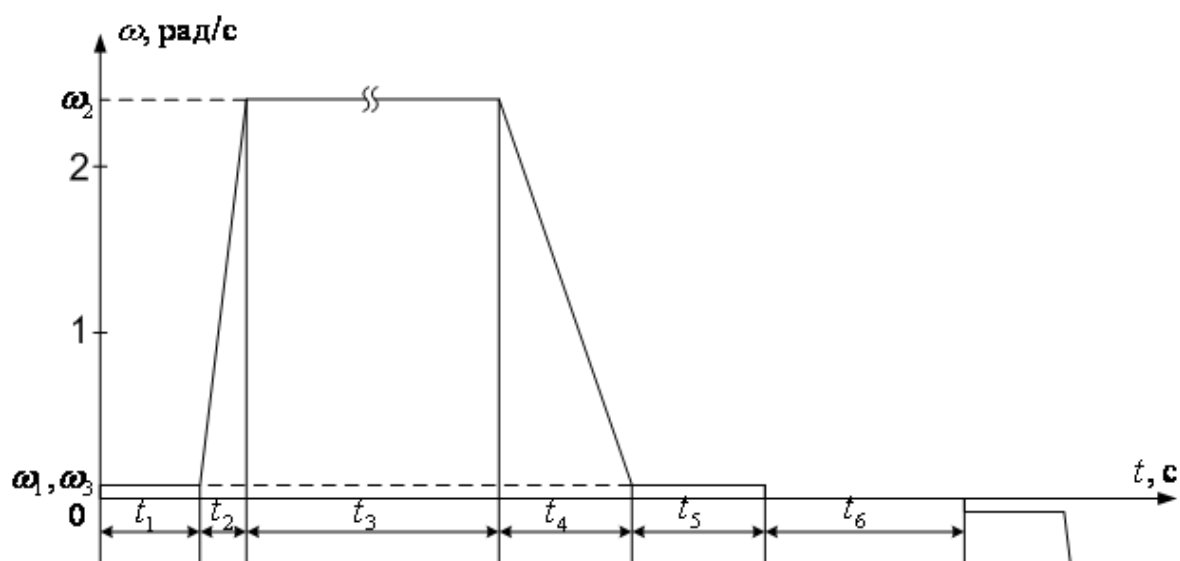


Рисунок 1.4 – Тахограма шахтної підйомної установки

Таблиця 1.2 – Параметри тахограми шахтної підйомної установки

$\omega_1, \text{с}^{-1}$	$\omega_2, \text{с}^{-1}$	$\omega_3, \text{с}^{-1}$	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$t_4, \text{с}$	$t_5, \text{с}$	$t_6, \text{с}$
0,08	2,4	0,08	15	7	226	20	20	30

На тахограмі руху підйомних скіпів можна виділити такі важливі ділянки як розгін рух з постійною швидкістю та уповільнення.

Відповідно необхідно розрахувати значення моменту та діючих сил на цих ділянках.

Складемо розрахункові рівняння та проведемо розрахунки щодо визначення статичних навантажень шахтної підйомної установки.

$$M_{\pi} = M_{\text{ст}} + \Sigma M_i, \quad (1.1)$$

де $M_{\text{ст}}$ – статичний момент опору; ΣM_i – сумарний момент від дії сил інерції.

$$M_{\text{ст}} = Q_E k R_{\text{шк}} = 490500 \cdot 1,15 \cdot 2,5 = 1410187,5 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1.2)$$

$$\Sigma M_i = M_{i\text{пост}} + M_{i\text{об}} \quad (1.3)$$

$$M_{i\text{пост}} = \Sigma m_{\text{пост}} a R_{\text{шк}} \quad (1.4)$$

де $\Sigma m_{\text{пост}}$ – сумарна маса поступально рухомих частин, приведена до кола навивки канатів; a – лінійне прискорення скіпа.

$$M_{i\text{об}} = m_0 a R_{\text{шк}} \quad (1.5)$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_i &= (\Sigma m_{\text{пост}} + m_0) a R_{\text{шк}} = (326382,7 + 3500) \cdot a \cdot 2,5 = \\ &= 824706,75 \cdot a \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned} \quad (1.6)$$

Розрахункова потужність двигуна:

$$P_{\text{розр}} = M_E \cdot a_{\text{шк}} \cdot k_z = 1347,2 \cdot 10^3 \cdot 6,4 \cdot 1,1 = 9484,3 \text{ кВт} \quad (1.7)$$

За проведеними розрахунками оберемо електричні машини що приводитимуть до руху вал шахтної підйомної установки.

Таблиця 1.3 – Характеристика двигунів шахтної підйомної установки

№ з/п	Найменування	Позначення	Розмірність	Величина
1.	Номінальна потужність	P_{κ}	кВт	4800
2.	Номінальна напруга якоря	U_{κ}	В	900
3.	Номінальний струм якоря	I_{κ}	А	5720
4.	Номінальний момент	M_{κ}	кН•м	750
5.	Номінальна частота обертання	n_{κ}	об/хв	61
6.	К.к.д. двигуна	η	%	92,8
7.	Напруга збудження	U_z	В	220/110
8.	Струм збудження	I_z	А	192/384
9.	Опір обмоток ланцюга збудження	R_z	Ом	1,14/0,28
10.	Момент інерції	$J_{\text{ш}}$	кг•м ²	60000

1.4. Система керування шахтною підйомною установкою

Розглянемо схему силової частини перетворювального пристрою для живлення електричних машин постійного струму для потреб приведення до руху валу шахтної підйомної установки.

У системі електроприводу використовуються два перетворювальні агрегати що складаються з двох комплектів ключів які виконують живлення електричних машин.

Для живлення перетворювальних агрегатів використовуються силові трансформатори що приєднуються до шин електричної підстанції.

Для згладжування випрямленої напруги використовується система фільтрів яка складається з індуктивних елементів у колі якоря електричних машин.

Для живлення обмоток збудженням використовується окремо розташований перетворювальний пристрій.

Живлення обмоток збудженням кожної з електричних машин виконується із застосуванням незалежного джерела електричної енергії.

Відповідно до типу електричних машин проведемо вибір елементів перетворювальних пристроїв для живлення кола якоря та кола обмотки збудження.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.4 – Параметри перетворювача електроприводу шахтної підйомної установки

№ з/п	Найменування	Позначення	Розмірність	Величина
1.	Вихідна напруга перетворювача	$U_{\text{м}}$	В	1050
2.	Номінальний випрямлений струм	$I_{\text{м}}$	А	2500
3.	К.к.д. агрегату	$\eta_{\text{м}}$	%	96,9

Таблиця 1.5 – Параметри тиристорного збудника електроприводу шахтної підйомної установки

№ з/п	Найменування	Позначення	Розмірність	Величина
1.	Номінальна напруга збудження збуджувача	$U_{\text{пз}}$	В	460
2.	Номінальний струм збудження збуджувача	$I_{\text{пз}}$	А	200

Також зробимо розрахунок елементів захисту електричних машин у аварійних режимах роботи.

Таблиця 1.6 – Параметри шунта електроприводу шахтної підйомної установки

№ з/п	Найменування	Позначення	Розмірність	Величина
1.	Номінальний струм	$I_{\text{шк}}$	А	6000
2.	Номінальний опір	$R_{\text{шк}}$	мкОм	16,7

Таблиця 1.7 – Параметри шунта електроприводу шахтної підйомної установки

№ з/п	Найменування	Позначення	Розмірність	Величина
1.	Номінальний струм	$I_{\text{шоз}}$	А	200
2.	Номінальний опір	$R_{\text{шоз}}$	мкОм	375
3.	Маса	$m_{\text{шоз}}$	кг	0,4

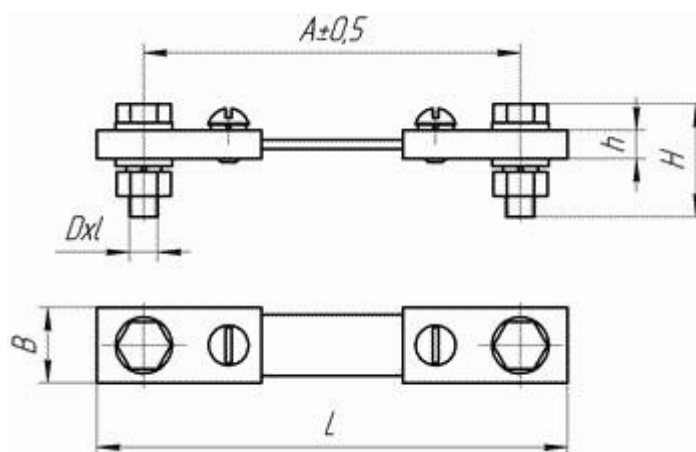


Рисунок 1.5 – Шунт для системи електроприводу шахтної підйомної установки

1.5. Характеристики електроприводу шахтної підйомної установки

Використовуючи систему статичних рівнянь та скориставшись схемою заміщення кола якоря електричної машини постійного струму проведемо розрахунки для отримання швидкісних та механічних характеристик електроприводу шахтної підйомної установки. Розрахунки будемо вести для одної з двох електричних машин що приводять у рух вал шахтної підйомної установки.

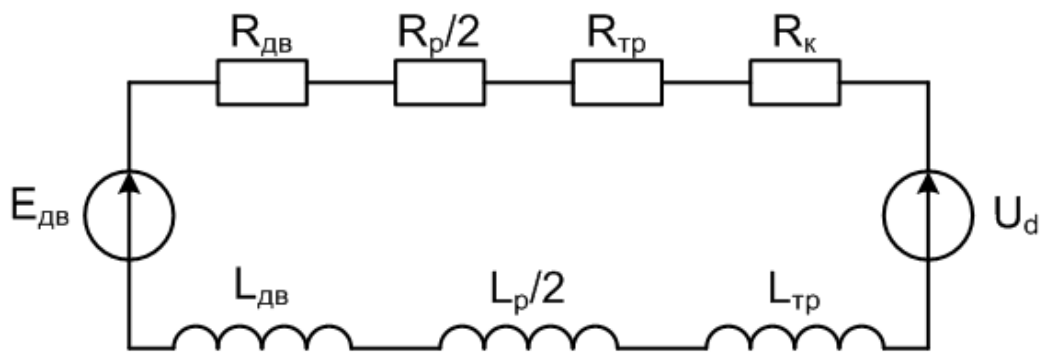


Рисунок 1.6 – Схема заміщення електроприводу шахтної підйомної установки

Коефіцієнт підсилення:

$$k_{\pi} = \frac{U_{\pi}}{U_y} = \frac{1050}{12} = 87,5, \quad (1.8)$$

Постійну часу $T_{\pi} = 0,01\text{с}$.

$$R_{\Sigma} = R_{\Sigma} + \frac{R_p}{2} + R_{\text{тр}} + \frac{mX_{\text{тр}}}{2\pi} = 0,00566 + \frac{0,00025}{2} + 2,011 \cdot 10^{-3} + \frac{6 \cdot 0,018933}{2 \cdot 3,14} = 0,0259 \text{ Ом}, \quad (1.9)$$

де:

$$R_{\text{дв}} = 0,5(1 - \eta_{\text{н}}) \frac{U_{\text{двн}}}{I_{\text{двн}}} = 0,5(1 - 0,928) \frac{900}{5720} = 0,00566 \text{ Ом} \quad ; \quad (1.10)$$

$$R_{\text{тп}} = \frac{P_{\text{из}} U_{\text{тп}}^2}{S_{\text{тп}}^2} = \frac{25000 \cdot 902^2}{3180000^2} = 2,011 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}, \quad (1.11)$$

$$X_{\text{тп}} = \frac{U_{\text{из}} U_{\text{тп}}^2}{100 S_{\text{тп}}} = \frac{7,4 \cdot 902^2}{100 \cdot 3180000} = 0,018933 \text{ Ом} \quad ; \quad (1.12)$$

$$L_k = L_{\text{дв}} + \frac{L_{\text{р}}}{2} + \frac{X_{\text{тп}}}{\omega_c} = 0,77 \cdot 10^{-3} + 0,8 \cdot 10^{-3} + \frac{0,018933}{314} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}, \quad (1.13)$$

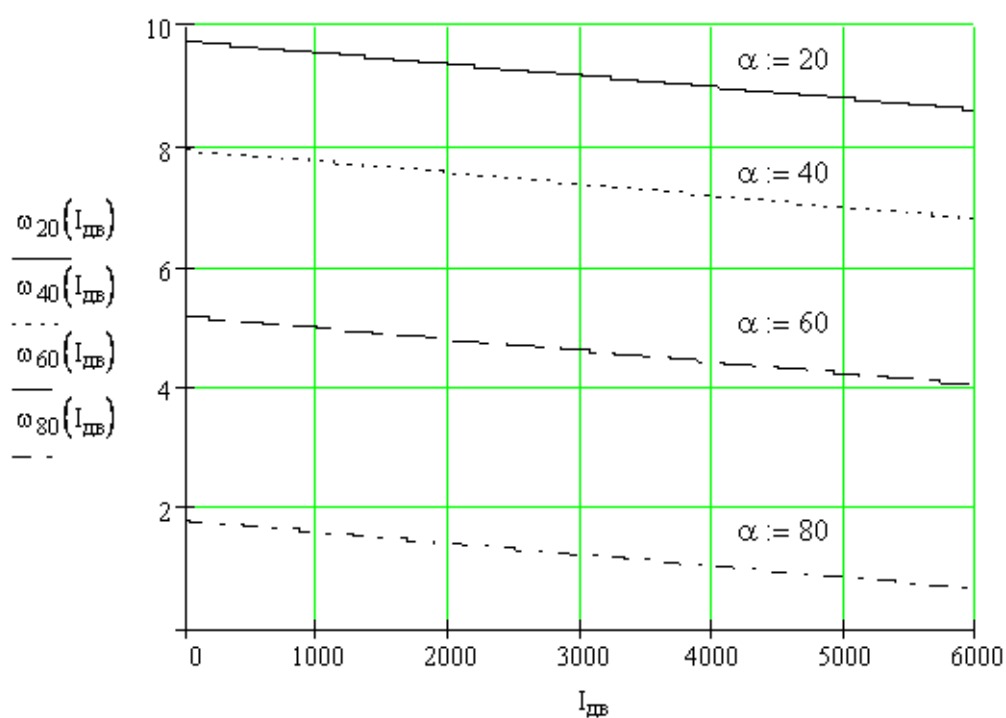


Рисунок 1.7 – Швидкісні характеристики системи електроприводу шахтної підйомної установки

Виходячи з умов статичної стійкості можна зазначити що електропривод шахтної підйомної установки у розімкненому варіанті не задовольняє умовам статичної стійкості.

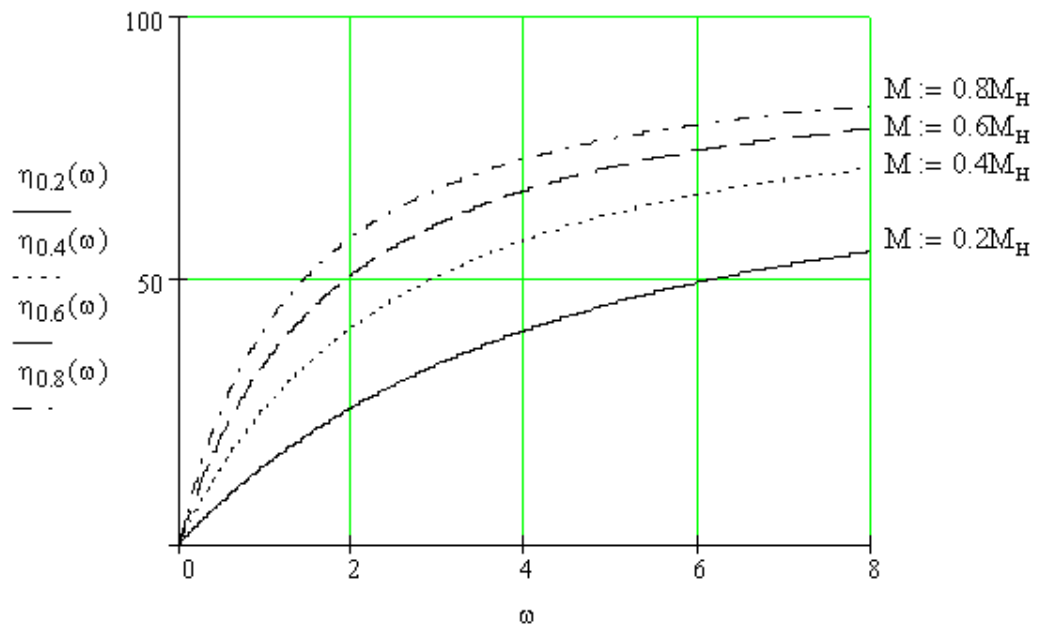


Рисунок 1.8 – Енергетичні характеристики системи електроприводу шахтної підйомної установки

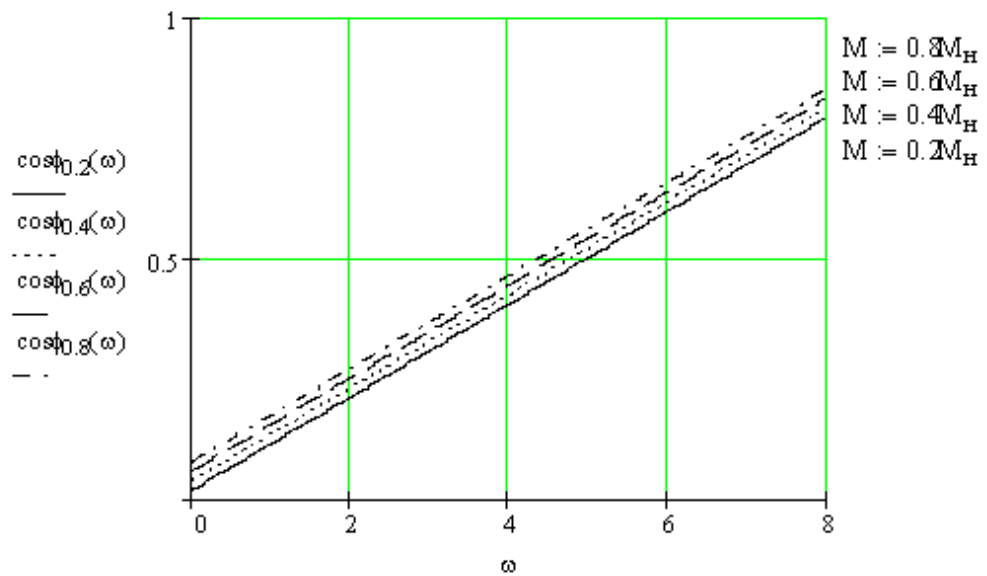


Рисунок 1.9 – Енергетичні характеристики системи електроприводу шахтної підйомної установки

Енергетичні характеристики у свою чергу показують високу ефективність використання тиристорно-регульованого електроприводу для потреб забезпечення режимів роботи шахтної підйомної установки.

Розділ 2. Система керування електроприводом шахтної підйомної установки

2.1. Структура системи керування

Виходячи із загальних вимог до системи електроприводу шахтної підйомної установки що обумовлені особливостями режимів її роботи та були розглянуті у попередніх розділах спробуємо використати систему із загальним суматором для вирішення завдань керування динамічними процесами при роботі електричного обладнання шахтної підйомної установки.

Ключовими моментами системи електроприводу із загальним суматором буде наявність зворотних зв'язків за основними параметрами електричних машин.

Розглянемо такі параметри як струм якоря частота обертання ЕРС та магнітний потік електричних двигунів.

Розглянемо також можливість розрахунку та налаштуванням регуляторів зазначених фізичних величин.

Для зменшення сигналів розсогласуванням між електричними параметрами розглянемо можливість застосування алгоритмів розрахунку цих параметрів за вдосконаленими виразами.

Для чого зробимо розподіл фізичних величин на задаючі та залежні створивши як мінімум два контури регулювання параметри електричної машини при цьому один з контурів буде підпорядковуватись іншому.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив	Чуплак Р.О.				Розділ 2	Літ.	Лист	Листів
Перевірів	Сінчук О.М.						28	13
Реценз.								
Н. Контр.	Сінчук О.М.							
Затвердив	Пересунько І.І.					КНУ ЕЕМ-21-2		

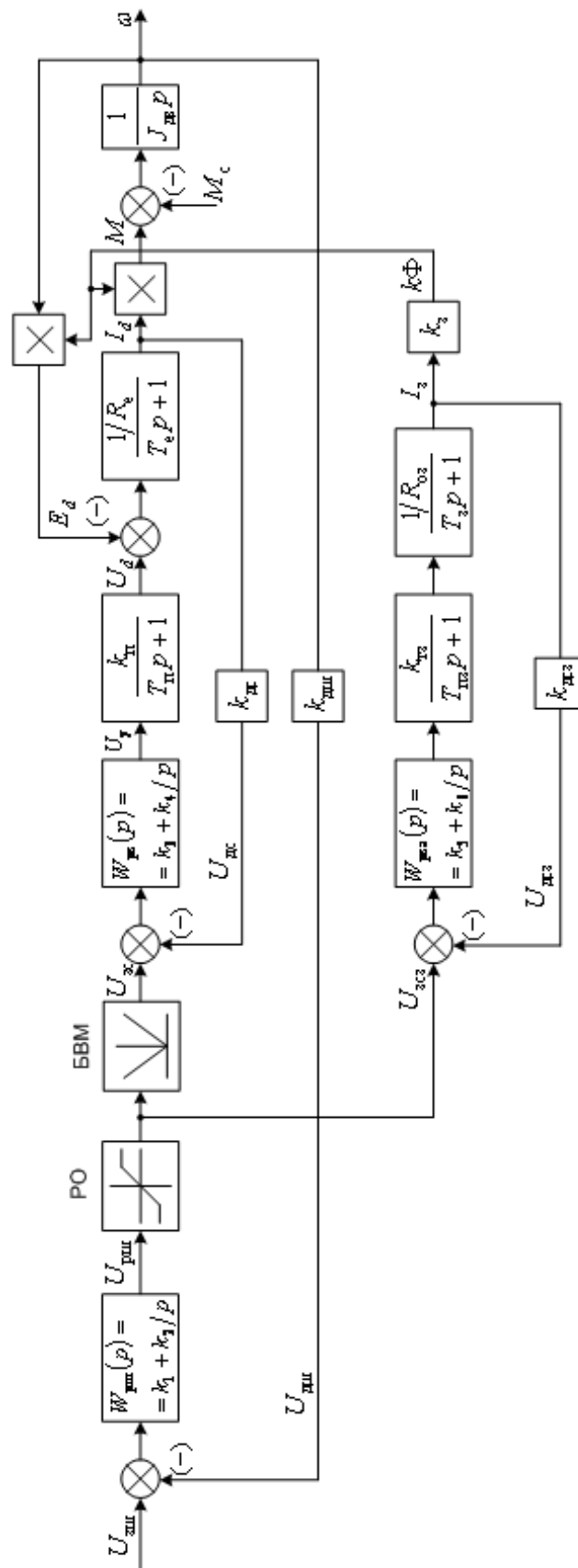


Рисунок 2.1 – Система керування електроприводом шахтної підйомної установки

Виходячи з потреб змінювати напрямок обертання шахтної підйомної установки у системі керування виконаємо можливість реверсування електричних машин за допомогою зміни напрямку протікання струму збудження.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Розрахунок елементів системи керування

Система підлеглого керування складається з декількох контурів регулювання електричних величин. Для кожного з цих контурів необхідно визначити передатні функції та зробити вибір параметрів регуляторів. Параметри замкнених контурів маємо обирати таким чином щоб показники перехідних процесів за даною величиною задовольняли умовам роботи електричного приводу.

Розглянемо структурні рівняння внутрішніх та зовнішніх контурів регулювання системи електроприводу з тиристорним перетворювачем та двигуном постійного струму.

Зазвичай внутрішнім контуром обирають контур струму електричної машини.

Для контуру струму розраховується передатна функція регулятора.

$$W_{pc}(p) = \frac{R_e(T_e p + 1)}{2T_{\mu} p k_{\mu} k_{\pi}} = 0,653 + 10,57 \frac{1}{p}, \quad (2.1)$$

Також складається схема регулювального пристрою.

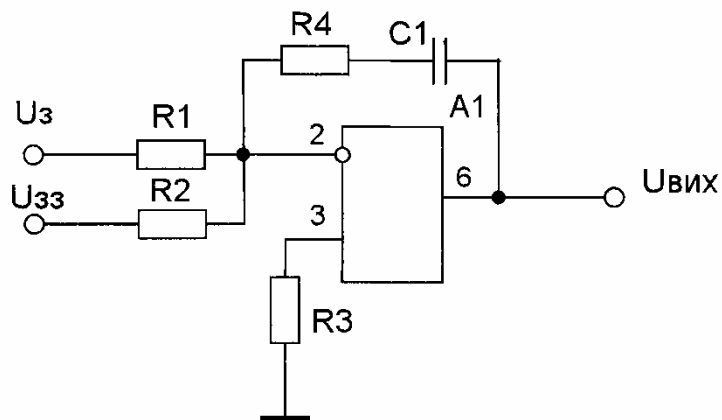


Рисунок 2.2 – Схема регулювального пристрою

Розрахунок регуляторів інших контурів керування виконується за подібним принципом.

$$W_{\text{рш}}(p) = \frac{T_m \cdot k\Phi \cdot p \cdot k_{\text{ш}}}{k_{\text{ши}} \cdot R_s} \cdot \frac{4T_{\mu}p + 1}{8T_{\mu}^2 p^2} = \frac{T_m \cdot k\Phi \cdot k_{\text{ш}}}{2T_{\mu} \cdot k_{\text{ши}} \cdot R_e} + \frac{T_m \cdot k\Phi \cdot k_{\text{ш}}}{8T_{\mu}^2 \cdot k_{\text{ши}} \cdot R_e \cdot p} \quad (2.2)$$

Також складаються схеми регулювальних пристроїв та обирається їх елементна база.

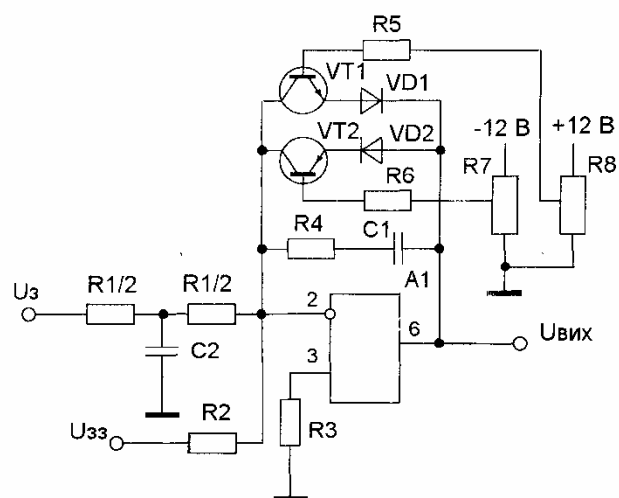


Рисунок 2.3 – Схема регулювальних пристроїв

2.3. Налагодження роботи системи керування

Замкнена система електроприводу шахтної підйомної установки має у своїй структурі реверсивний перетворювач що живить двигуни постійного струму.

Живлення реверсивного перетворювача відбувається від силового трансформатора.

Система містить запобіжні заходи щодо аварійних режимів які можуть виникнути при порушенні роботи електричного обладнання шахтної підйомної установки.

Обмотка збудження двигуна постійного струму який приводить до руху вал шахтний підйомної установки має живитись від окремого тиристорного збудника, який виконано за трифазною мостовою схемою та підключено до окремого трансформатору.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система керування електроприводом шахтної підйомної установки складається з трьох контурів регулювання.

Основним контуром є контур швидкості підйому. Також присутні контури струму електричних машин та контур їх збудження.

Система керування містить датчики та контури зворотних зв'язків, які допомагають у точності визначення фізичних параметрів електричної машини. Оскільки у системі електроприводу шахтної підйомної установки мають застосовуватись аналогові датчики струму напруги та частоти обертання то для потреб роботи мікропроцесорної системи керування отримані сигнали обробляються у аналогово-цифрових перетворювачах.

Для успішного застосування системи зворотнього зв'язку отримані перетворені сигнали потрапляють до обчислювального блоку де за спеціально складеними алгоритмами виконуються операції щодо розрахунку та корекції завдання керування режимами роботи шахтної підйомної установки.

Мікропроцесорна система керування електроприводом шахтної підйомної установки являє собою складну розгалужену структуру яка містить порти в воду та виводу інформації шини даних постійні та оперативні запам'ятовуючі пристрої а також мікропроцесорний пристрій який обробляє розраховує та відтворює керування усіма процесами у системі електроприводу.

Для роботи мікропроцесорної системи керування електроприводом шахтної підйомної установки складаються спеціальні алгоритми які виконуються за спеціальними обчислювальними виразами. До зазначених виразів входять додатні функції об'єктів керування та регуляторів параметрів електроприводу. Зазначені функції складаються у цифровій формі представлення виразів та заносяться до блоку центрального процесору. У

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

блоці пам'яті формується програма роботи та обробки отриманої інформації протягом функціонування режимів роботи електроприводу.

Безпосереднє керування силовими тиристорами перетворювального пристрою виконується за допомогою блоків імпульсно-фазового регулювання. Окремо до кола керування додаються апарати захисту та контролю параметрів. Регулювання параметрів електричного приводу виконується заздалегідь складеною та записаною у базу програмованого пристрою програмою. Блок-схеми алгоритмів програми керування представлені відповідними процедурами.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

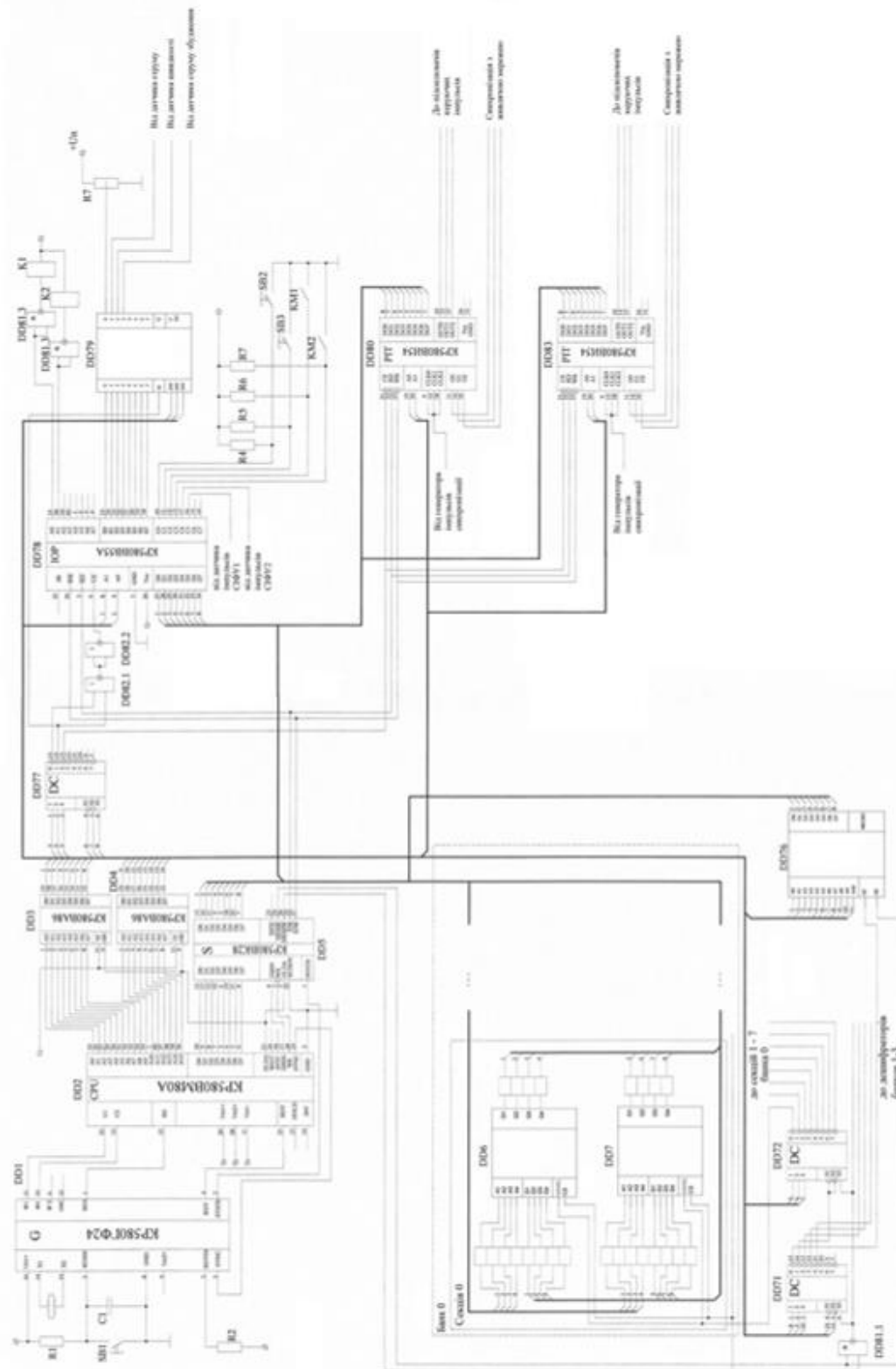


Рисунок 2.5 – Мікропроцесорна система керування електроприводом шахтної підйомної установки

2.4. Опис принципової схеми системи керування електроприводом шахтної підйомної установки

Робота системи керування електроприводом шахтної підйомної установки засновано на попередньо розглянутих в особливостях режимів її функціонування із зазначенням обмежень при використанні електромеханічного обладнання.

Ключовими елементами розробленої системи є обмеженням динамічних ривків при роботі пуску та гальмуванні а також можливість реверсувати електричні машини із заданими показниками динаміки.

Оскільки вимоги до показників динаміки електроприводу шахтної підйомної установки виявляють необхідність реверсування багато інерційної механічної складової то з міркувань безпеки передбачено відтворенням режиму реверсування електричних машин за контуром обмотки збудження.

До системи керування електроприводом шахтної підйомної установки додаються раніше складені структурні схеми силових блоків регуляторів з розрахованими та обраними елементами що їх складають.

Сигнали з датчиків пропорційні значенням фізичних величин електричної машини надходять до блоку керування після чого виконується формування заданих функцій відкриттям тиристорних ключів.

Особливістю тиристорного електроприводу шахтної підйомної установки є можливість забезпечити одночасним реверсуванням двох електричних машин.

Для чого блоки формування сигналів тиристорних перетворювачів кожної з машини мають бути узгоджені та виконувати відповідні перемикання у паралельному режимі унеможливаючи при цьому

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

створенням міжконтурних зв'язків що будуть сприяти виникненню над струмів та створенню аварійних ситуацій.

Керування контурами здійснюється від загального регулюючого блоку який враховує сигнали розсогласування та вносить коригуючий вплив.

Контроль параметрів вихідних сигналів виконується за значенням та полярністю випрямленої напруги живлення привідних двигунів шахтної підйомної установки.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 3. Динамічні режими роботи електроприводу шахтної підйомної установки

3.1. Моделювання динамічних режимів роботи електроприводу шахтної підйомної установки

Розглянемо структуру моделі контурів регулювання параметрів електроприводу шахтної підйомної установки. Особливої уваги заслуговує контур регулювання струмів збудження оскільки саме цей контур відповідає за якість та своєчасність процесу реверсування електричних машин.

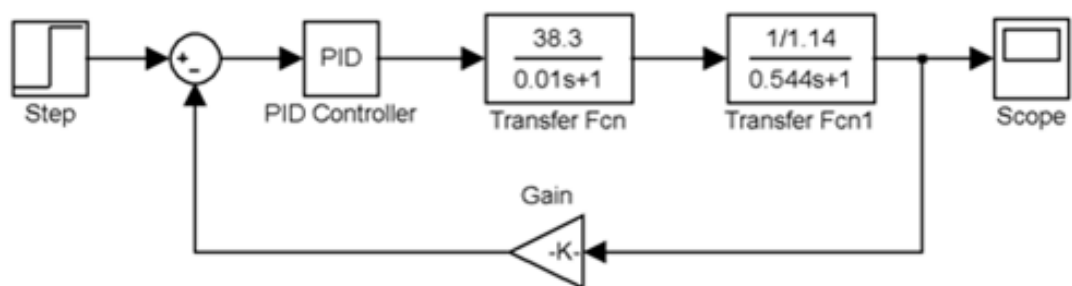


Рисунок 3.1 – Модель контуру збудження

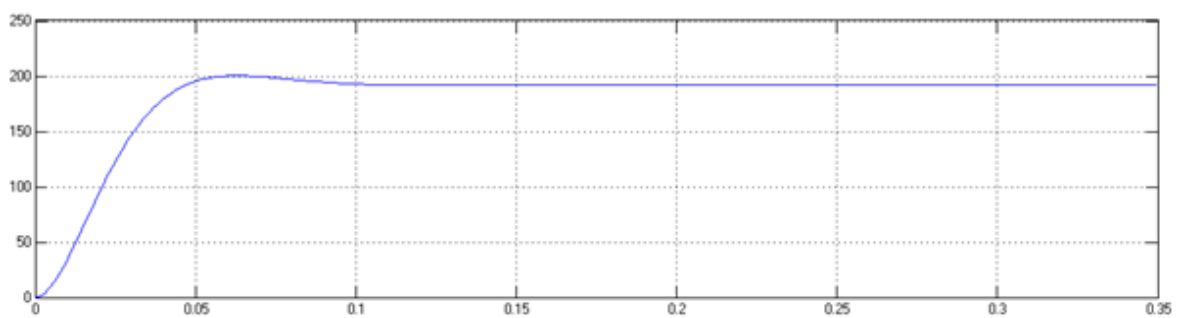


Рисунок 3.2 – Графік струму збудження

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12							
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат								
Розробив		Чуплак Р.О.			Розділ 3				Лім.	Лист	Листів	
Перевірів		Сінчук О.М.									41	6
Реценз.									КНУ ЕЕМ-21-2			
Н. Контр.		Сінчук О.М.										
Затвердив		Пересунько І.І.										

Отже розглянемо процеси у системі збудження електричної машини електроприводу шахтної підйомної установки.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

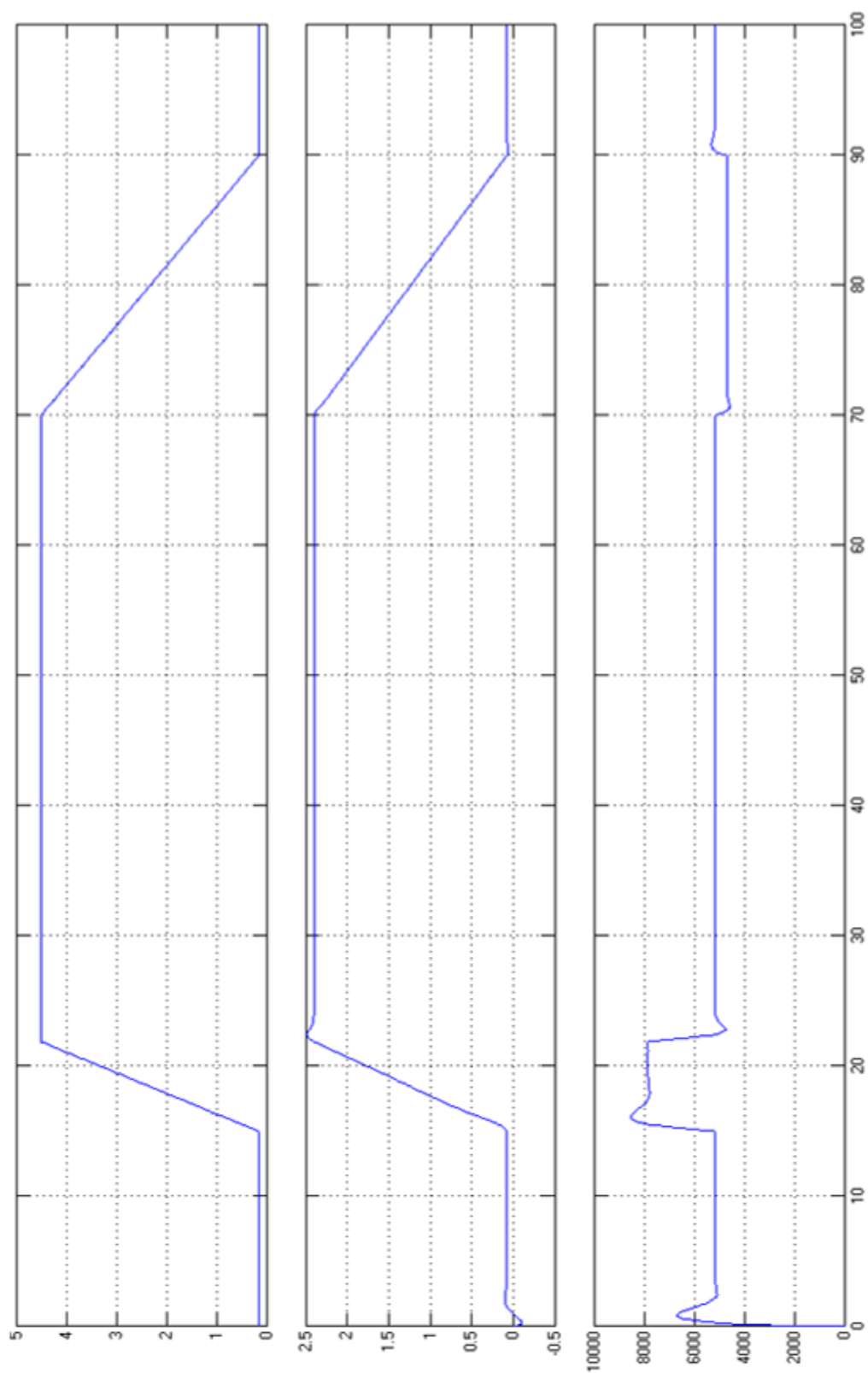


Рисунок 3.3 – Процеси у системі керування збудженням електричної машини електроприводу шахтної підйомної установки

Розглянуті процеси будемо використовувати для перевірки якості проведених розрахунків щодо налаштування параметрів контурів регулювання.

При дослідженні перехідних процесів будемо використовувати номінальне значення статичного моменту на валу електричної машини. Крім цього важливим також є за значенням основних параметрів динамічних процесів а саме прискоренням та зміни струму у контурі регулювання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Аналіз динамічних режимів роботи електроприводу шахтної підйомної установки

Щодо якості показників регулювання у контурі збудження електричної машини шахтної підйомної установки можна зазначити що у контурі швидкості який виробляє безпосередньо сигнал завданням для контуру збудження перерегулюванням за розрахованою величиною знаходиться у межах допустимого значення.

Оскільки показники перерегулювання величин інших контурів регулювання також задовольняють умовам безаварійного функціонування шахтної підйомної установки то можна стверджувати що розглянуті контури системи керування були розраховані вірно.

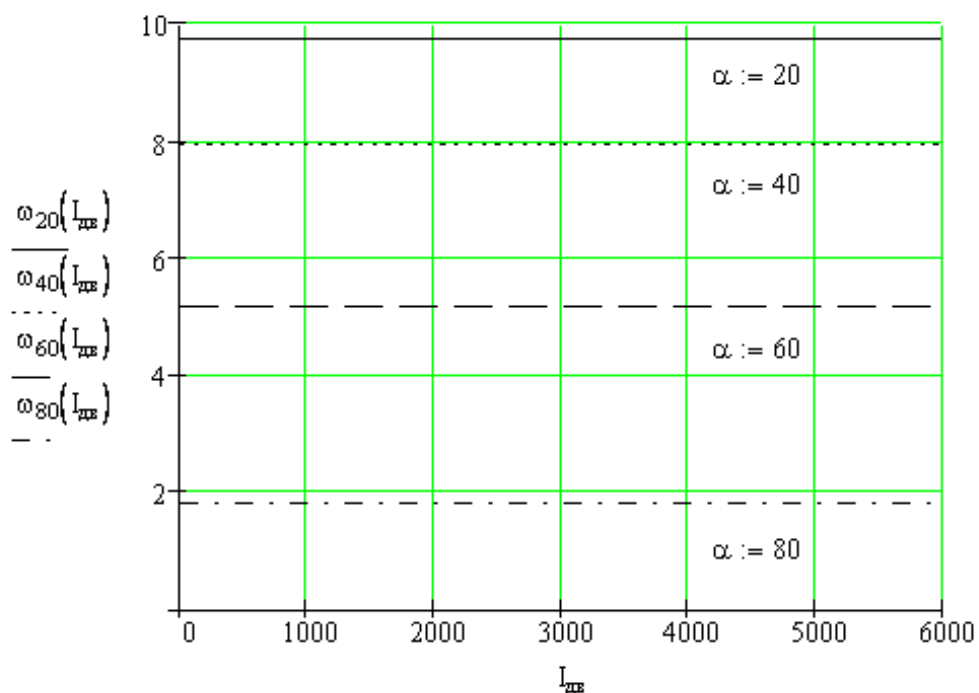


Рисунок 3.4 – Статичні характеристики замкненої системи електроприводу шахтної підйомної установки

Статичні характеристики показують що статизм замкненої системи практично відсутній що позитивним чином впливає на режими роботи шахтної підйомної установки.

Слід зазначити що це сприяє стабільності роботи шахтної підйомної установки із заданою швидкістю підйому та стабілізує контур регулювання частотою обертання електричного двигуна.

Отже розглянута система керування шахтною підйомною установкою дозволяє регулювати параметри електроприводу доволі широкому діапазоні та задовольняємо вимогам щодо якості перехідних процесів у контурах регулювання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У першому розділі було наведено характеристики шахтної підйомної установки, представлена кінематична схема, перелічено силове обладнання, розглянуто вимоги до системи електроприводу.

Найбільш актуальною з представлених систем електроприводу виявилась система «тиристорний регулятор напруги – двигун постійного струму».

Для цієї системи на основі розрахунків відповідно до параметрів шахтної підйомної установки було обрано двигун а також тиристорний перетворювач, розраховано статичні характеристики системи електроприводу, побудовано енергетичні характеристики.

У другому розділі було складено структуру системи керування електроприводом шахтної підйомної установки з тиристорним перетворювачем та двигуном постійного струму.

Як базовий варіант розглянуто систему підлеглого регулювання частоти обертання й струму двигуна.

Розраховано та налаштовано регулятори для замкненої системи керування, обрано її елементну базу.

У третьому розділі було проведено дослідження динамічних режимів роботи електроприводу шахтної підйомної установки.

Параметри налаштування регуляторів струму та частоти обертання впливають на якість протікання перехідних процесів.

Показники якості лежать у межах допустимих завданням на проектування системи електроприводу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-12	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		