

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МАГНІТНИХ СЕПАРАТОРІВ
РУДОЗБАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ»

Виконав: здобувач вищої освіти групи ЕЕМ-22-1 Олексій ШИНКАРЕНКО

Керівник випускної роботи _____ ст. викладач Олександр ІЛЬЧЕНКО

Нормоконтролер _____ ст. викладач Олександр ІЛЬЧЕНКО

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг

2026 р.

ЗАЯВА
щодо самостійності виконання кваліфікаційної роботи

Я, Шинкаренко Олексій Михайлович, здобувач вищої освіти за першим (бакалаврським) рівнем за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка заявляю, що моя кваліфікаційна робота, яка подана до екзаменаційної комісії для публічного захисту, виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше кваліфікаційних робіт, кандидатських і докторських дисертацій мають відповідні посилання.

Я ознайомлений з діючим Положенням про запобігання і виявлення академічного плагіату. Згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску письмової роботи до захисту та застосування дисциплінарних заходів.

10 червня 2026 р.

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Шинкаренко Олексія Михайловича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження електроприводу магнітних сепараторів рудозбагачувальної фабрики ПАТ «Арселорміттал Кривий Ріг»

2. Строк подання студентом роботи 5 червня 2026 р.

3. Мета та завдання кваліфікаційної роботи

Мета роботи: дослідження електроприводу магнітного сепаратору ПБМ-120/300 ПП.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити)

Розділ 1. Характеристика електромеханічної системи та вибір електрообладнання; опис РЗФ, технічні характеристики об'єкту; характеристика вузлів технологічної схеми секції як об'єктів автоматизації; вибір об'єкту дослідження.

Розділ 2. Аналіз та дослідження системи електропривода технологічного механізму магнітного сепаратору ПБМ-120/300 ПП.

Розділ 3. Розрахунок установленної потужності споживачів електроенергії в цеху та вибір трансформатора; вибір апаратури в мережі більш 1000 В; вибір апаратури в мережі до 1000 В.

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

Лист 1 Коло апаратів РЗФ; технологічна схема секції РЗФ

Лист 2 Барабанний магнітний сепаратор ПБМ-120/300 ПП; технічні характеристики ПБМ-120/300 ПП

Лист 3 Основні параметри пристрою VSI -7,5 CX4A2N0

Лист 4 Схема заміщення електропривода

Лист 5 Графіки перехідних процесів

Лист 6 Електропостачання

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Ільченко О.В.	12.05.2026 р.	17.05.2026 р.
II	Ільченко О.В.	18.05.2026 р.	26.05.2026 р.
III	Ільченко О.В.	27.05.2026 р.	05.06.2026 р.

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	Зробити опис РЗФ, характеристика вузлів технологічної схеми секції як об'єктів автоматизації; вибір об'єкту дослідження.	14.05.2026
2	Вибір об'єкту дослідження;	15.05.2026
3	Обґрунтування вибору електроприводу	19.05.2026
4	Аналіз та дослідження системи електропривода технологічного механізму магнітного сепаратора ПБМ-120/300 ПП	25.05.2026
5	Розрахунок установленної потужності споживачів електроенергії в цеху та вибір трансформатора	29.05.2026
6	Вибір апаратури в мережі вище 1000 В.	02.06.2026
7	Вибір апаратури в мережі до 1000 В.	05.06.2026

Дата видачі завдання 12.05.2026 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Олексій ШИНКАРЕНКО
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Олександр ІЛЬЧЕНКО
(Ім'я, прізвище)

Реферат

____ стор., ____ рис., ____ табл., ____ формула, ____ джерел літератури.

Мета роботи: є дослідження магнітопроводу магнітного сепаратору ПБМ-120/300 ПП.

В першому розділі бакалаврської роботи була описана технологічна схема секції РЗФ. Зроблено опис магнітного сепаратору ПБМ-120/300 ПП. На підставі технічних характеристик барабанного магнітного сепаратору ПБМ-120/300 ПП було обрано для подальшого дослідження і розрахунку приводний двигун АИР132S4, також за умовами роботи вибраний перетворювач частоти - VSI-7,5 CX4A2N0.

У другому розділі було проведено дослідження замкненої та розімкненої системи електропривода. Зроблена схема заміщення асинхронного двигуна, приведені математичне описання та розрахунки:

- механічних характеристик;
- енергетичних характеристик.

Розроблено захист вузлів електроприводу.

В третьому розділі зроблений розрахунок: електричних навантажень, струмів короткого замикання. Обрана: провідникова апаратура; комутаційна апаратура.

Ключові слова: магнітний сепаратор, електропривод, асинхронний двигун, частотний перетворювач, ефективність.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р1.		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата			
Розробив	Шинкаренко О.М.				Реферат	Лім.	Лист
Перевірів	Льченко О.В.						
Реценз.						ЕЕМ-22-1	
Н. Контр.							
Затвердив							

Вступ

Розділ 1. Характеристика електромеханічної системи та вибір електрообладнання

- 1.1 Загальні відомості про підприємство
- 1.2. Опис РЗФ, технічні характеристики об'єкту
- 1.3 Характеристика вузлів технологічної схеми секції як об'єктів автоматизації
- 1.4. Вибір об'єкту дослідження

Розділ 2. Аналіз системи електропривода технологічного механізму

- 2.1 Обґрунтування і вибір системи керування електроприводом
- 2.2 Складання схеми заміщення
- 2.3 Розрахунок електромеханічної і електромагнітної постійних часу
- 2.4 Розрахунок статичних і динамічних характеристик розімкненої системи
- 2.5 Розрахунок замкнутої системи за схемою із загальним суматором
- 2.6 Розрахунок системи підлеглого регулювання
- 2.7 Розрахунок задатчика інтенсивності
- 2.8 Розробка вузлів електричного захисту електроприводу
- 2.9 Захист від короткого замикання
- 2.10 Захист від самозапуску або нульовий захист
- 2.11 Заходи з енергозбереження системи електроприводу магнітного сепаратору

Розділ 3. Електропостачання

- 3.1. Електропостачання
 - 3.2. Розрахунок установленної потужності споживачів електроенергії в цеху та вибір трансформатора
 - 3.3 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі вище 1 кВ
 - 3.4 Вибір апаратури в мережі більш 1000 В
 - 3.5 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1000 В
 - 3.6 Вибір апаратури і струмоведучих частин у мережі до 1000 В
- Список використаних джерел

Вступ

Актуальність теми. Отримання кінцевого продукту після поділу сумішей сипких матеріалів, тобто виділення твердої фракції з рідкого середовища, є одним із важливих етапів технологічного процесу. Ці процеси виконуються за допомогою магнітних сепараторів. Один із видів є барабанний магнітний сепаратор ПБМ-120/300 ПП з системою на постійних магнітах. Магнітний сепаратор встановлений на рудозбачувальній фабриці ПАТ «Арселорміттал Кривий Ріг». Забезпечення безперебійної, коректної роботи пристрою є однією із задач дослідження цієї роботи.

Метою роботи є дослідження магнітопроводу магнітного сепаратору ПБМ-120/300 ПП.

Для розв'язання мети вирішуємо завдання:

- розглянута технологічне коло ділянки РЗФ, де встановлений магнітний сепаратор ПБМ-120/300 ПП;
- для дослідження режимів роботи обраний електричний привод;
- зроблено обґрунтування доцільності обраного електроприводу;
- дослідженні режими роботи електроприводу магнітного сепаратору;
- обрана захисна апаратура для роботи магнітного сепаратору.

Об'єкт дослідження: електричний привод магнітного сепаратора ПБМ-120/300 ПП.

Предмет дослідження: нові технічні рішення; оцінка ефективності роботи магнітного сепаратору ПБМ-120/300 ПП.

Практичне значення одержаних результатів. Приведенні в роботі технічні рішення дозволять підвищити ефективність роботи магнітного сепаратора ПБМ-120/300 ПП.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р1.			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата	Зміст	Лім.	Лист	Листів
Розробив		Шинкаренко О.М.						
Перевірів		Льченко О.В.						
Реценз.						ЕЕМ-22-1		
Н. Контр.								
Затвердив								

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБ’ЄКТУ ТА

ЙОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р1.			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис.</i>	<i>Дата</i>	Розділ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБ’ЄКТУ ТА ЙОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розробив</i>	Шинкаренко О.М							
<i>Перевірів</i>	Ільченко О.В.							
<i>Реценз.</i>						ЕЕМ-22-1		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>								

1.1 Загальні відомості про підприємство

В Україні та світі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», який раніше мав назву «Криворіжсталь» є одним з найбільших підприємств горно-металургійної промисловості, в якому повністю поєднано процеси усіх етапів металургійного циклу.

На час написання дипломної роботи комбінат має три напрямки виробництва, а саме: коксохімічне, гірничо-збагачувальне і металургійне. Також у його складі мається шахтоуправління для підземного видобутку руди. Додатково металургійне виробництво поділяється на аглодоменне, сталеплавильне і прокатне.

Основним напрямком можна виділити виплавку арматурної сталі та виробництво катанки із стандартних та інших, р марок сталей. Варто зазначити, що на окремих фабриках комбінату мається створення інших металургійних продуктів, таких як агломерат, концентрат, кокс, чавун, сталь, доменний шлак та сортопрокат [1].

В склад ПАТ «Арселорміттал Кривий Ріг» входить рудозбагачувальна фабрика, яка є частиною гірничо-збагачувального комбінату. Даний об'єкт зосереджується на видобутку руди на відкритій місцевості, збагаченні магнетитових кварцитів з малим вмістом магнітного заліза. Основним вихідним продуктом виробництва зазначається залізорудний концентрат з вмістом заліза 65% та 68% і вологи 10%.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р1.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Опис РЗФ, технічні характеристики об'єкту

На схемі представлено коло апаратів однієї із секції РЗФ №2

У таблиці 1.1 представлено перелік обладнання позначеного у схемі рис.1.1.

Таблиця 1.1 Перелік обладнання

№	Найменування устаткування	шт
1	Конвеєр стрічковий горизонтальний В=1000, L=8 м, L=20 м	2+2
2	Конвеєр стрічковий похилий В=1000, L=18.7 м, J=19°24'	2
3	Терези конвеєрні стрічкові «Єрмак»(електронні)	2
4	Млин кульова барабанна МШЦ-3600*5500	4
5	Класифікатор механічний односпіральний КС-24*125	2
6	Пульпоподілювач 3-х струмний	4
7	Сепаратор магнітний барабаний ПБМ-120/300 ПП	20
8	Гідроциклон циліндроконічний ГЦК-71 (Д=710мм)	10
9	Пульпоподілювач 4-х струмий	1
10	Насос відцентровий ґрунтовий 1ГрК-400/40, ГРАК-350/40	12
11	Насос відцентровий ґрунтовий 1ГрК-160/31.5, ГРАК-170/40	2
12	Дешламатор магнітний МД-9А (Д=9000мм)	2
13	Технологічні зумпи	5
14	Вакуум-фільтр дисковий ДОО-100-2.5	3
15	Вакуум-ресивер (діаметр — 2.4м, ємністю 11м³)	1
16	Збірна канава загальних хвостів	2

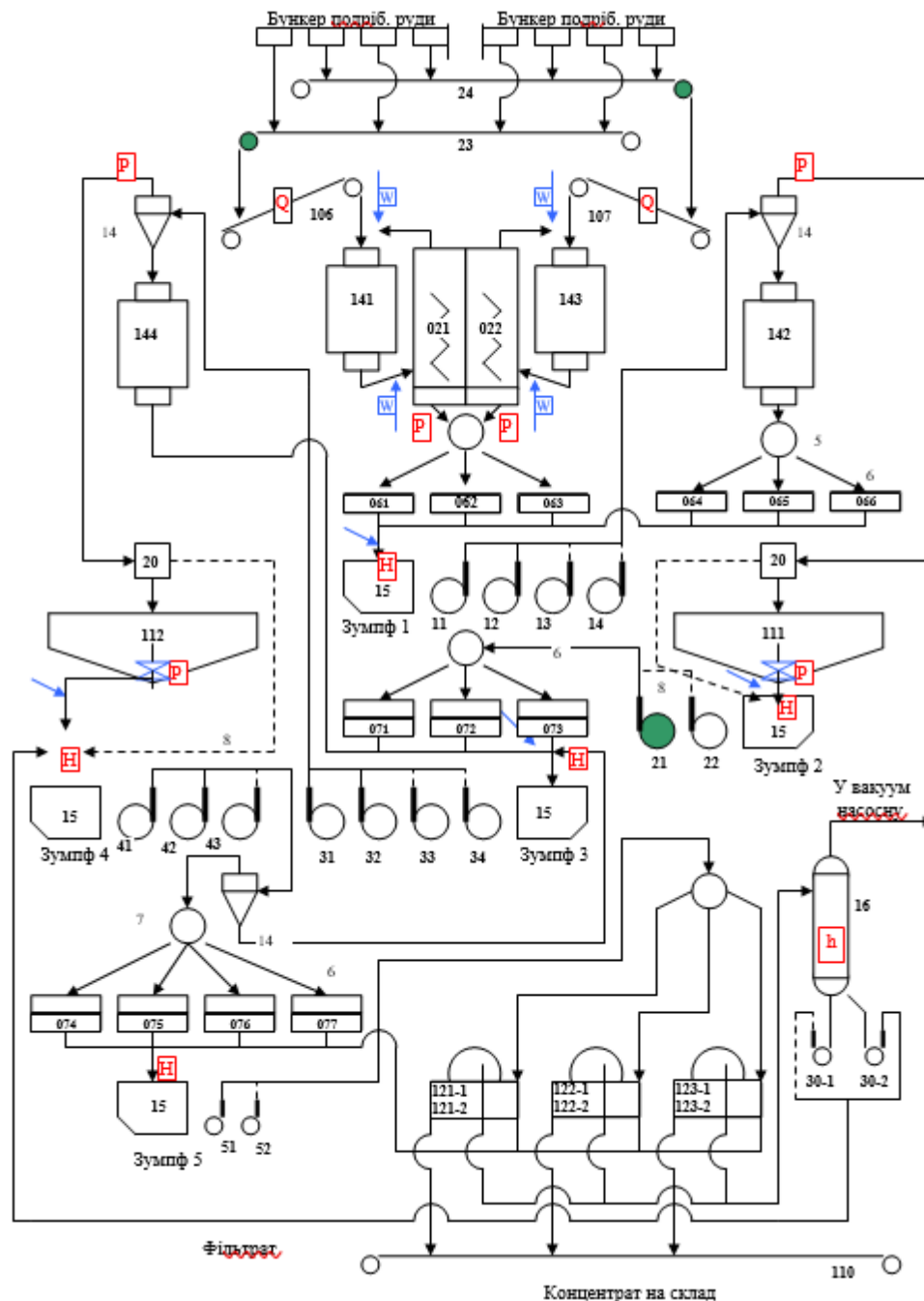


Рисунок 1.1 – Коло апаратів РЗФ

Визначимо технологічні показники роботи РЗФ:

Якщо дивитися на схему з технологічного погляду, то подрібнення І стадії є головним для отримання якісного вихідного продукту (загальний склад вихідного концентрату, вміст заліза та вологість). До складу І стадії подрібнення входить ключовий ряд механізмів, які є визначальним у збагачувальному процесі [1].

До даного ряду входять:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р1.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- млин,
- живильники, які подають до млина руду,
- трубопровід, який подає воду,
- спіральний класифікатор, який слугує зворотнім зв'язком (технологічним), щоб повертати надто великі шматки руди у млин,
- пристрій подачі шарів.

На даному етапі подрібнення використовуються:

- датчиків,
- конвейєрні ваги на живильнику,
- датчик виміру швидкості стрічки живильника,
- плотноміри на зливі спірального класифікатора для визначення співвідношення води та руди у складі пульпи,
- лічильники витрати води у млині.

Для технологічного забезпечення стабільної продуктивності млинів однією з найважливіших умов є підтримування співвідношення вода-руда в межах допустимих значень. У I, II, III секціях РЗФ співвідношення твердих та рідких речовин у млині має бути 1/2,7; 1/3; 1/3,2 відповідно. В залежності від виду руди даний показник може змінюватися.

Зазвичай технологічні лінії збагачення складаються із кількох послідовно розміщених секцій, кожна з яких виконує важливі особливі функції (стадій). Це є подрібнення, класифікація та магнітна сепарація.

Процес збагачення руди на кожній стадії можна описати наступним чином: спершу відбувається подрібнення до заданого розміру в барабанних млинах, далі на спіральних класифікаторах або гідроциклонах розділяється кондиційний і некондиційний помел, на магнітних сепараторах отриманий кондиційний помел поділяють на порожню за вмістом металу породу (хвости) і промпродукт, який являє собою початкову форму концентрату.

Одночасно відбувається поділ. Некондиційний за розміром продукт (піски гідроциклона) потрапляє на доподрібнення в барабанний млин II стадії і після цього відправляється на вхід магнітного сепаратора. У результаті отриманий

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р1.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

продукт сепаратора надходить разом із продуктом сепаратора I стадії у зумпф, а нові хвости відводяться до відвалів. Некондиційний продукт буде повторювати даний цикл збагачення до моменту, коли уся порода буде подрібнена та розділена на продукт і пусту породу. Паралельно до цього процесу кондиційний за розміром продукт, що виходить зі зливу гідроциклона потрапляє на дешламатор для прибирання надто малих частинок руди. Далі вихідний продукт надходить до магнітного сепаратора II стадії.

III стадія здрібнювання і магнітної сепарації повністю повторює хід збагачення на II стадії. Після даного процесу кінцевим продуктом стають якісний концентрат і хвости сепаратора I стадії. Перед відправкою концентрату до складів його необхідно висушити (позбавити надлишкового вмісту вологи), тому для цього застосовується вакуум-фільтр. Він відділяє воду від концентрату, яка в подальшому циркулює на технологічних лініях для збагачення нової видобутої руди.

Також у кінці лінії виробництва відбувається оцінка якості хвостів за вмістом магнітного заліза.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р1.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

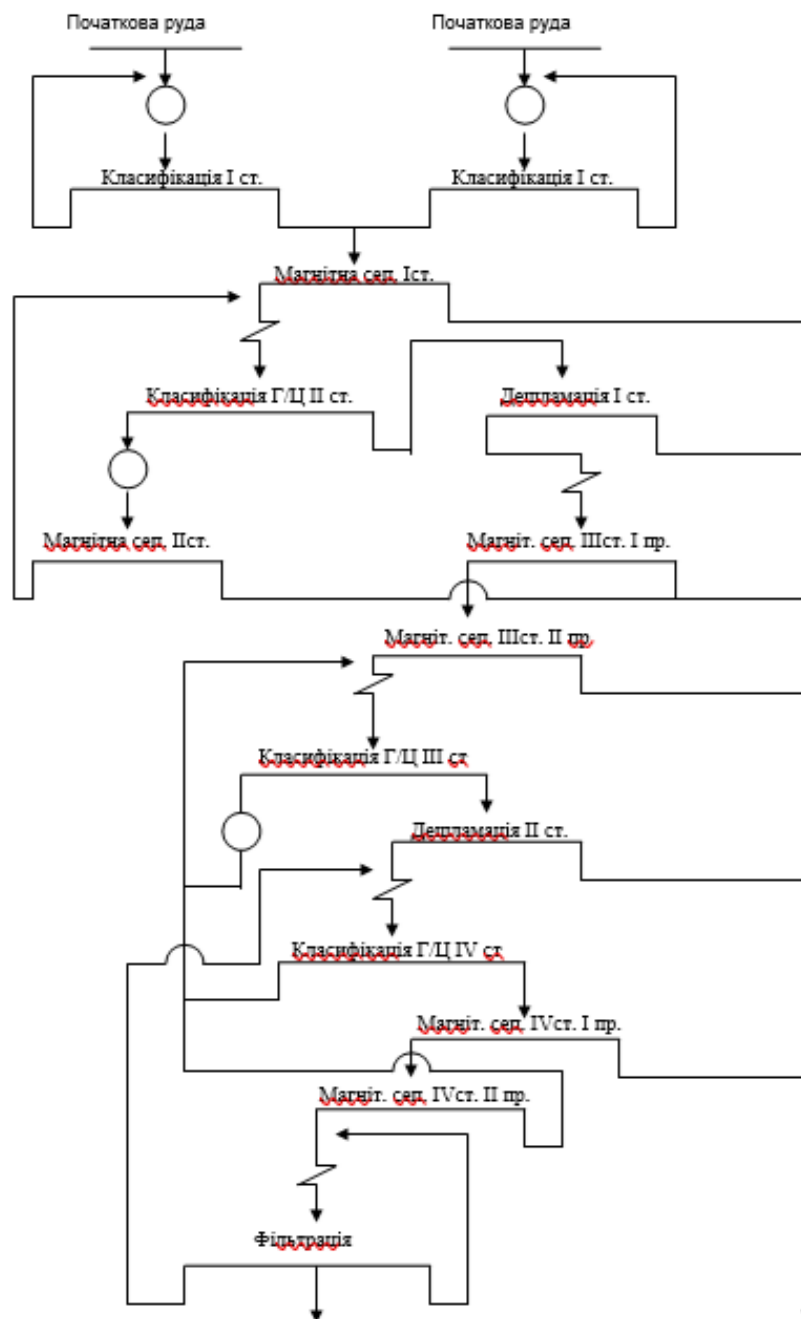


Рисунок 1.2 - Технологічна схема секції РЗФ

На даній схемі руда розмірами в межах 0 – 25 мм подається із двох циліндричних бункерів за допомогою конвеєрів – живильників (ширина стрічки В - 800 мм) та похилих конвеєрів (В - 1000 мм) до двох паралельно працюючих млинів МШЦ 3600х5500 I стадії подрібнення. Зазначений млин працює у замкнутому циклі разом з односпіральними класифікаторами 2400х12500.

Злив класифікаторів об'єднується у пульпорозподільвачах, звідки надалі потрапляє на три однобарабанних сепаратори типу ПБМ-ПП 120/300 I стадії

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р1.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

магнітної сепарації. Продукт I стадії МС потрапляє у зумпф II стадії подрібнення та класифікації, де встановлений ще один млин МШЦ 3600x5500, котрий працює у замкненому циклі з гідроциклонами ГЦ – 710. Після цього пульпа подається до класифікаторів завдяки чотирьом насосам ГРТ - 400/40 (два насоси в робочому стані, два використовуються в якості резерву), які у власну чергу окремо поєднані з одним гідроциклоном. Розвантажений продукт млина II стадії потрапляє на II стадію МС, яка працює всередині циклу подрібнення.

Злив гідроциклонів II стадії подрібнення і класифікації потрапляє до дешламатора МД – 9 (I стадія дешламації). Піски дешламатору відправляються до зумпфу III стадії МС, де встановлено три двобарабанных сепаратори ПБМ – ПП – 120/300. Промпродукт III стадії МС потрапляє у технологічний зумпф III стадії подрібнення, який працює у замкненому циклі з III та IV стадіями класифікації у гідроциклонах.

Злив гідроциклонів III стадії класифікації потрапляє до дешламатора II стадії, звідки піски потрапляють у зумпф IV стадії класифікації. Піски гідроциклонів IV стадії повертаються у зумпф III стадії, де злив потрапляє на МС IV стадії, де працюють чотири двобарабанных сепаратори ПБМ-ПП-120/300.

Вологий концентрат насосами ГРТ-160/31,5 перекачується до пульпорозподілювача фільтрації, де він зневоднюється на трьох вакуум-фільтрах Д-100. Кінцевий продукт вакуум-фільтрів потрапляє на зборний конвеєр концентрату. Фільтрат із ресивера (технологічна вода, яка містить частинки концентрату, реагенти) насосами ГРТ-160/31,5 перекачується у зумпф IV стадії класифікації по насосам ГРТ-160/31,5.

За керуванням основною спільністю трьох стадій подрібнення і магнітної сепарації стає той факт, що здрібнений й відкласифікований потік в I стадії або повторно відкласифікований і доздрібнений у II і III стадіях матеріал надходить потім на відповідну стадію МС. Представлення технологічної лінії як стадії здрібнювання і магнітної сепарації, які розміщені послідовно дозволяє дещо розширити вплив результатів однієї з стадій на інші.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р1.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Властивістю процесу збагачення є існування зворотніх зв'язків між кожною стадією.

Схема 1.2 показує, що дані зв'язки в основному використовуються для некондиційного продукту за крупністю, якій треба повторно подрібнювати. Рецикли найбільші за об'ємом спостерігаються на початку технологічної лінії, на I стадії подрібнення і магнітної сепарації. На II і III стадіях подрібнення і МС рецикли мають менші об'єми, ніж на I стадії. Це пов'язано з більшою часткою хвостів, які скидаються у секціях I стадії.

Величина рециклів може змінюватися. Це залежить від фізичних і хімічних властивостей породи. На практиці вміст заліза в концентраті і вихід концентрату значно коливаються відносно запланованого значення через зміни частки заліза в руді. Також на ці показники впливає подрібненості руди.

Мета керування технологічною лінією полягає у стабільному виробництві якісного концентрату. Також в отриманні якомога більшого об'єму при зміні фізико-механічних і хіміко-мінералогічних властивостей руди на вході. У робочих умовах існує певний ряд обмежень процесу збагачення. Особливим правилом є обмеження втрати магнетиту в хвостах РЗФ.

Процес збагачення руди є непередбачуваним через деякі фактори:

- непередбачена зміна хімічного складу, фізичних властивостей руди, що може призвести до необхідного регулювання подачі руди на вході, стадіях переробки;
- наявність рециклів, що робить проблематичним визначення впливу корекцій до технологічних ліній збагачення;
- повільна реакція системи на швидкі зміни.

Дані чинники приводять до того, що отримання даних, які відповідають дії моделей статичних і динамічних характеристик окремих збагачувальних агрегатів, або окремих ділянок технологічної лінії майже нездійсненні.

Розглянемо основні властивості руди у таблиці 1.2.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р1.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 Характеристики руди

Найменування	Показник
Вихід концентрату, %	45,80
Вміст заліза, %:	
у руді загального	35,23
у руді магнетитового	27,46
у концентраті	64,23
у хвостах загального	10,72
у хвостах магнетитового	1,51
Витяг заліза у концентрат, %	
загального	83,50
магнетитового	97,00
Вологість, %	
руди	2,0
концентрату	10,0

Умови експлуатації:

- 1.Підвищена вологість.
- 2.Хімічно активне абразивне середовище.
- 3.Вібрація.
- 4.Вплив низьких температур.

1.3 Характеристика вузлів технологічної схеми секції як об'єктів автоматизації

Вузол 1 Подачі руди

У табл.1.3 наведені основні параметри та коротка характеристика процесу подачі руди.

Таблиця 1.3 Основні параметри подачі руди

Ширина стрічки конвеєрів живильників	800 мм.
Ширина стрічки похилих конвеєрів	1000 мм.
Продуктивність ліній подачі руди у млин не більше	100 т/год.
Загрузка руди на похилый конвеер перед вагами у одній точці. Система регулювання витрат руди повинна враховувати транспортне пізнення і можливі зміни висоти шару руди на конвеєрі – живильнику.	

Вузол 2 І-ї стадії подрібнення

І стадія являє собою два окремих одне від одного млина у замкненому циклі з класифікатором. На магнітні сепаратори постачається зливи від млинів які об'єднуються в єдиний потік.

Основною метою системи керування є підтримка оптимальної густини пульпи у млинах. Це на випадок можливої зміни густини зливу класифікаторів, продуктивності секції.

Є чотири основних фактори, які обмежують роботу системи керування:

1. вихід руди зі спіралей класифікаторів;
2. мінімальна кількість води, що подається до млина;
3. робоча (номінальна) пропускна здатність млинів;
4. площа поверхні пульпи у класифікаторі.

Для І черги робоча продуктивність на млин І стадії подрібнення знаходиться в межах від 90 до 105 т/год в залежності від міцності та вмісту магнетиту в руді.

Густина пульпи розвантаження млинів І стадії повинна підтримуватися в межах від 2350 до 2450 г/л.

Густина зливу класифікаторів має бути в межах від 1450 до 1500 г/л.

Густина пульпи під час розвантаження млина і на зливі класифікатору забезпечується регулюванням подачі води у млин та класифікатор.

Витрати води мають підтримуватися в межах 300 – 400 м³/год.

В залежності від стану футіровки та кульового заповнення зміна навантаження буде відрізнятися для кожного агрегату якій використовується.

Вузол 3 подрібнення класифікації ІІ стадії.

Працюють два насоси типу ГРТ-400/40, які під'єднані до гідроциклонів ГЦ-710. Їхня продуктивність дорівнює 390 м³/год.

Густина пульпи розвантаження млинів на ІІ стадії повинна бути в межах від 1990 до 2200 г/л.

Густина зливу гідроциклонів не повинна бути більше 1200 г/л.

Рівень пульпи у зумпфах не повинен бути менше чім 0,75% висоти зумпфа.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р1.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрата води (загальна) секції за цикл, II стадії подрібнення повинна бути в межах від 280 до 400 м³/год.

Вузол 4 Подрібнення класифікації III стадії.

Залучені зумпфи №3 і №4, які оснащені тільки системами для стабілізації рівня пульпи подачі додаткової води. Дешламатор, у якого є система стабілізації густини розвантаження пісків.

Тиск пульпи на вході до гідроциклонів: 1,2 – 2,5 кг/см².

Витрачена вода у секції на цикл, III стадії подрібнення в межах 200 – 450 м³/год.

Вузол 5 Магнітної сепарації.

На I, II та IV стадії сепарації потоки пульпи, які надходять до секцій залишаються відносно стабільними завдяки попереднім системам регулювання. Додаткова вода регулюється за допомогою ручних зсувів.

На III стадію сепарації технологічний об'єм надходячої пульпи становить приблизно 250 м³/год. Тут встановлений насос ГРТ–400/40. Він працює на відкритий трубопровід (висотою підйому 10 м). При оснащенні насосу системою стабілізації рівня пульпи додатковою водою, тоді максимальна продуктивність секції здатна підвищитися до 600 м³/год [1,2].

Загальна характеристика стадій сепарації зазначена у табл. 1.4.

Таблиця 1.4 Характеристика стадій магнітної сепарації

	I	II	III	IV
Оптимальна густина живлення сепарації	1200-1350 г/л	1600-1650 г/л	1250-1350 г/л	I черга: 1250-1350 г/л; II черга: 1150-1250 г/л
Витрати води по секції на магнітну сепарацію	250 – 420 м ³ /год	100 – 250 м ³ /год	200 – 280 м ³ /год	150 – 200 м ³ /год
Вміст твердої речовини у пульпі	23 - 36%	50 - 55%	25 - 35%	I черга: 20 - 25%; II черга: 18 - 22%

Вузол 5 Регулювання розвантаження дешламаторів .

Радіоізотопний плотномір ПР-1025М використовується для визначення щільності пісків на виході дешламатора. Параметр щільності заснований на залежності ступеня ослаблення потоку іонізуючого випромінювання робочого джерела гамма-випромінювання БГД-75 щільністю контрольованого середовища.

Наступні дані за дешламацією трьох прийомів (табл. 1.5).

Табл. 1.5. Характеристики дешламації I, II, III прийомів

	I прийом	II прийом	III прийом
Густина живлення	1100 – 1150 г/л	1050 – 1100 г/л	-
Вміст твердої речовини у живленні	9 – 17 %	7 – 15%	-
Густина розвантаження пісків	1700 – 1800 г/л	1900 – 2000 г/л	1900 – 2000 г/л
Вміст твердої речовини у пісках дешламатора	53 – 57%	до 63%	до 63%

Вузол 6 автоматичного пуску-зупину насосів технологічних зумпфів.

Чотирма насосами типу ГРТ-400/40 виконується подача пульпи до класифікаторів. Два насоса є робочі, два - резервними. Автоматичний пуск насосів здійснюється за допомогою автоматичного управління донними затворами виконується автоматичний пуск .

Вузол 6 фільтрації

Густина живлення вакуум-фільтрів складає 1700-1800 г/л. Оптимальна швидкість обертання дисків - 0,45-0,5 об/хв. Вакуум у мережі повинен бути на рівні 0,7 – 0,8 кгс/см².

Щоб реалізувати і підтримувати стабільну роботу вузла 4 магнітної сепарації ми обираємо барабанний магнітний сепаратор ПБМ-120/300 ПП.

Основною робочою складовою у даному магнітному сепараторі є магнітна система. Магнітна система створює електромагнітне поле необхідної напруженості. Це зроблено для розділення частинок руди в залежності від вмісту металу. Дана система складеться з постійних магнітів. В залежності від призначення, конструкції може складатися з електромагнітів[3].

Спрощено принцип дії обладнання можна розкласти наступним чином:

1. Потік сипучої суміші або пульпи надходить у зону магнітного поля.
2. Під дією магнітного поля на сепарації відбувається поділ на магнітний (кондиційний) та немагнітний (некондиційний) матеріал.
3. Магнітний продукт переміщається технологічною лінією, одночасно немагнітні домішки виводяться з процесу.

1.4. Вибір об'єкту дослідження

Магнітну сепарацію можна поділити на кілька етапів за послідовністю:

1. Спочатку працює магніт слабкої потужності, він витягує частинки з великим вмістом металу.
2. Потім підключаються магніти середньої та великої потужності, щоб уловити елементи із середніми та незначними магнітними якостями.
3. Якщо ж в суміші переважають елементи із сильним магнетизмом, зазвичай обмежуються використанням слабого магніту.



Рисунок 1.3. - Барабанний магнітний сепаратор ПБМ-120/300 ПП

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р1.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.6. Технічні характеристики ПБМ-120/300 ПП

№	Технічні характеристики	Одиниці виміру
1	Продуктивність по вихідній твердій сировині	120 т/год (залежно від типу пульпи та фракції може досягати до 250–350 т/год)
2	Діаметр барабана	1200 мм
3	Довжина барабана	3000 мм
4	Кількість робочих барабанів	1 шт
5	Крупність живлення (максимальний розмір часток)	0–1 мм (в окремих схемах переробки до 6–12 мм)
6	Магнітна індукція на поверхні барабана	не менше 0,160 Тл (1600 Гс)
7	Маса сепаратора у зборі	7 тонн
8	Габаритні розміри (ДхШхВ)	4000 х 2700 х 2600 мм
9	Номінальна потужність електродвигуна (приводу)	7,5 кВт

За умовами технічних характеристик барабанного магнітного сепаратора ПБМ-120/300 ПП і подальшого дослідження режимів роботи ми повинні обрати приводний двигун на 7,5 кВт[3,4].

Обираємо двигун АИР132S4.



Рисунок 1.4 - Асинхронний двигун АИР132S4

Таблиця 1.7 Технічні характеристики АИР132S4.

№		
2	Електродвигун з короткозамкненим ротором	AIP132S4
3	Кількість фаз	3
4	Потужність	7,5 кВт
5	Частота валу	1500 об/хв
6	Діаметр валу	38 мм
7	Номинальний струм при напрузі 380/660 або 220/380	15,6А
8	Підключення до мережі зіркою/трикутником	зіркою/трикутником
9	Вага	74 кг
10	Кількість пар полюсів	2
11.	Режим роботи	S1 (тривалий, без частих зупинок)

Двигуни AIP132S4 розраховані для вимогливих технологічних процесів. У них низькі пускові моменти, розраховані на тривалий режим роботи. Коефіцієнт корисної дії 87%[3,6].

Вибір перетворювача частоти

Перетворювач частоти обираємо:

$$I_{вих.пч} \geq I_{1н}; \quad (1.1)$$

$$U_{вих.пч} \geq U_{1н}; \quad (1.2)$$

Цім умовам (1.1) і (1.2) підходить ПЧ VSI-7,5 CX4A2N0

Цей ПЧ використовують для плавного пуску. Також для більш економічної регулювання продуктивності секції. Це виконується завдяки можливості змінювати частоту обертання приводу (АД). Тому що відсутні кратні пускові струми. Пускові струму, як відомо у 6-7 разів більше номінальних значень. Меншою становить загальна дія на мережу. Зберігається високий ККД магнітного сепаратора, приводного двигуна на протязі їх роботи.

Забезпечуються ці умови зміною частоти обертання АД (приводного двигуна)враховуючі роботу ПЧ VSI-7,5 CX4A2N0[8].

ПЧ регулює значення частоти, струму, напруги на статорі АД. Також обраної нами ПЧ VSI зможе перетворити параметри електроенергії мережі живлення.

ПЧ VSI є двоблоковим перетворювачем частоти.

Перший блок це діодний міст, який перетворює змінну напругу в однонаправлену (пульсуючу).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р1.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі ця напруга фільтрується в окремому колі на конденсаторах, де вона випрямляється і стає фактично постійною.

Потім вона потрапляє до блоку перетворювача на змінну напругу на БТІЗ (біполярний транзистор з ізолюваним затвором). Транзистор БТІЗ на виході видає трифазну симетричну змінну напругу амплітуди і частоти, яка необхідна для роботи електродвигуна.

Споживана потужність з мережі перетворювача частоти майже повністю активна.

Блок сполучення, керування електродвигуном працює за допомогою програмованого мікропроцесора.

Мікропроцесор є керуючим елементом ПЧ, який формує сигнали керування електродвигуном силовими БТІЗ (біполярні транзистори з ізолюваним затвором) відповідно до встановлених параметрів і сигналів, що приходять з панелі управління.

Блок сполучення і управління керується схемою ШІМ (широотно-імпульсна модуляція). Він подає керуючі імпульси на БТІЗ. Підсилювач посилює управляючі імпульси, які поступають вже від СИФУ до БТІЗ.

Таблиця 1.8 Пристрій VSI -7,5 CX4A2N0 (данні)

Найменування параметра	Величина
Номинальна вихідна потужність ПЧ, кВт	7,5
Номинальний струм навантаження, А	18
Номинальна напруга на вході, В	380(+10%-15%)
Діапазон регулювання напруги, В	0 – $U_{\text{мержі}}$
Частота мережі живлення, Гц	$50 \pm 5\%$
Діапазон регулювання частоти, Гц	0,5 – 60
Коефіцієнт потужності в номінальному режимі, не менше	0,94
Кратність струму перевантаження	$1,5 I_{\text{ном}}$

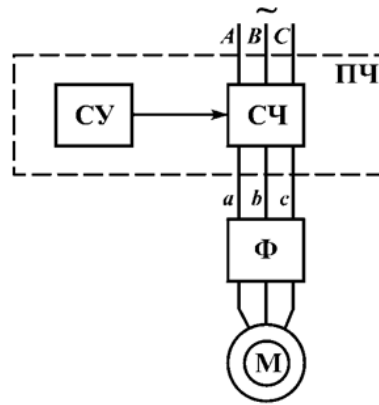


Рисунок 1.5 - Схема перетворювача частоти

Блок керування, сполучення електродвигуном служить:

- для реалізації управління;
- регулювання;
- захисту;
- автоматизації;
- надійної роботи.

Для забезпечення таких можливостей як:

- складання імпульсів управління ПЧ з використанням заданим алгоритмів роботи керованого випрямляча, який є керованим та інвертора струму;
- автоматичних процесів пуску і відключення ПЧ.
- складання команд управління вимикачами на вході ПЧ і на виході;
- за необхідністю перемикаання АД на живлення винятково від мережі ПЧ можна шунтувати за допомогою вимикача;
- регулювання вихідної частоти ПЧ за сигналами регулювальника, також при режимі ручного керування;
- при несправності, аварійному відключення повинна бути відображена інформація про режими роботи ПЧ;
- до диспетчерського пункту потрібна автоматична передача сигналупро стан ПЧ.

Вибираємо струмообмежувальний реактор з умови:

$$I_{ТОРНOM} \geq I_{1H}; \quad (1.3)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р1.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибираємо реактор: РТСТ – 41

Таблиця 1.9 Параметри реактора РТСТ – 41

Параметри	Одиниці виміру
Номінальний струм	41 А
Індуктивність	$0,763 \cdot 10^{-3}$ Гн
Активний опір	0,0708 Ом

Висновки: В першому розділі бакалаврської роботи була описана технологічна схема секції РЗФ. Зроблено опис магнітного сепаратору ПБМ-120/300 ПП. На підставі технічних характеристик барабанного магнітного сепаратору ПБМ-120/300 ПП було обрано для подальшого дослідження і розрахунку приводний двигун АИР132S4, також за умовами роботи вибраний перетворювач частоти VSI-7,5 CX4A2N0.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

ТЕХНОЛОГІЧНОГО МЕХАНІЗМУ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р2.			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	Шинкаренко О.М.				Розділ 2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТЕХНОЛОГІЧНОГО МЕХАНІЗМУ	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевірів</i>	Ільченко О.В.							
<i>Реценз.</i>						ЕЕМ-22-1		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>								

2.1 Обґрунтування і вибір системи керування електроприводом

2.2 Складання схеми заміщення

Для того, щоб знайти відсутні параметри та зробити аналіз та дослідження електроприводу магнітного сепаратора ПБМ-120/300 ПП потрібно скласти схему заміщення[4,8].

Схема заміщення:

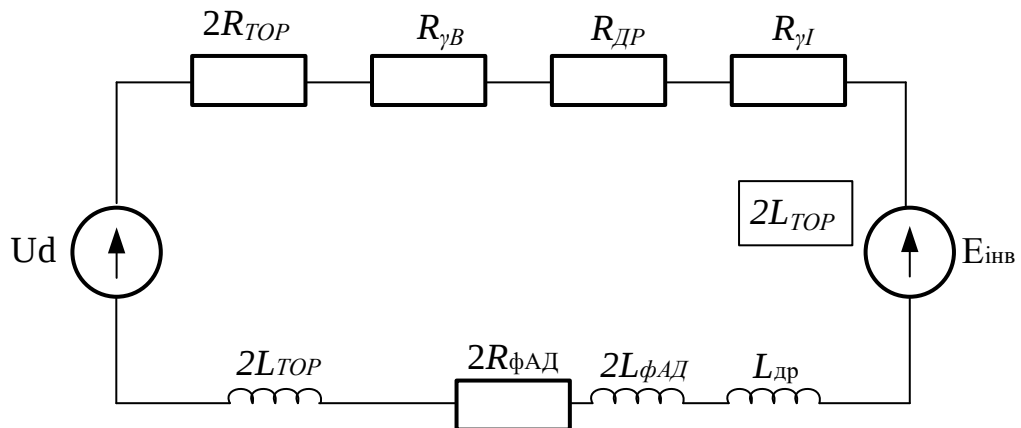


Рисунок 2.1- Схема заміщення електропривода

Розрахуємо загальний опір кола.

$$R_0 = 2 \cdot R_{\Phi.AД} + R_{\gamma И} + R_{\gamma В} + 2 \cdot R_{TOP}; \quad (2.1)$$

R_{TOP} – активний опір струмообмежувального реактора;

$R_{\gamma И}$ – комутаційний опір інвертора;

$R_{\gamma В}$ – комутаційний опір випрямляча;

$R_{др}$ – активний опір дроселя;

$R_{\Phi.AД}$ – активний опір фази асинхронного двигуна.

Активний опір струмообмежувального реактора РТСТ-41:

$$R_{TOP}=0,0708 \text{ Ом};$$

Активний опір фази асинхронного двигуна:

$$R_{\Phi.AД}=0,607 \text{ Ом};$$

Комутаційний опір випрямляча:

$$R_{\gamma В} = \frac{m \cdot X_{TOP}}{2 \cdot \pi} \quad (2.2)$$

$$m = 6;$$

X_{TOP} – індуктивний опір реактора що обмежує струм:

$$X_{TOP} = 2 \cdot \pi \cdot f_C \cdot L_{TOP}; \quad (2.3)$$

f_C – частота мережі живлення;

L_{TOP} – індуктивність реактора що обмежує струм.

Тоді:

$$X_{TOP} = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,763 \cdot 10^{-3} = 0,24 \text{ Ом};$$

$$R_{\gamma_B} = \frac{6 \cdot 0,24}{2 \cdot \pi} = 0,229 \text{ Ом}.$$

Комутаційний опір інвертора:

$$R_{\gamma_I} = \frac{m \cdot X_C}{2 \cdot \pi}; \quad (2.4)$$

де X_C – перехідний опір асинхронного двигуна:

$$X_C = \frac{U_{1\phi}}{\lambda_i \cdot I_{1H}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 5,5 \cdot 10,3} = 1,71 \text{ Ом};$$

$$R_{\gamma_{II}} = \frac{6 \cdot 2,574}{2 \cdot \pi} = 2,458 \text{ Ом};$$

$$R_0 = 2 \cdot 0,607 + 0,229 + 2,458 + 2 \cdot 0,0708 = 4,043 \text{ Ом}.$$

$$L_0 = 2 \cdot L_{\phi.AД} + 2 \cdot L_{TOP}; \quad (2.5)$$

де $L_{\phi.AД}$ – індуктивний опір фази АД;

L_{TOP} – індуктивний опір реактора, що обмежує струм.

$$L_{\phi.AД} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ Гн};$$

$$L_0 = 2 \cdot 0,007 + 2 \cdot 0,000763 = 15,526 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

2.3 Розрахунок електромеханічної і електромагнітної постійних часу

Електромагнітна постійна часу:

$$T_e = \frac{L_0}{R_0} = \frac{0,015526}{4,043} = 0,0038 \text{ с}; \quad (2.6)$$

Коефіцієнт моменту двигуна:

$$k_M = \frac{M_H}{I_H \frac{\pi}{\sqrt{6}}} = \frac{62}{10,3 \cdot 1,28} = 4,7 \text{ Нм/А}; \quad (2.7)$$

$$\text{Коефіцієнт ЕРС:} \quad k_E = \frac{U_H \frac{3\sqrt{2}}{\pi}}{\omega_0} = \frac{380 \cdot 1,35}{105} = 4,89 \text{ Вс/рад}; \quad (2.8)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р2.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт передачі двигуна по керуванню:

$$k_D = \frac{1}{k_E} = \frac{1}{4,89} = 0,204 \text{ рад/Вс}; \quad (2.9)$$

Механічна постійна часу:

$$T_M = \frac{J_0 R_0}{k_E k_M} = \frac{0,2 \cdot 4,043}{4,89 \cdot 4,7} = 0,035 \text{с}; \quad (2.10)$$

Коефіцієнт посилення перетворювача:

$$U_d = U \cos \alpha_{dmax}; \quad (2.11)$$

$$U_{dmax} = U_{2Amp} \cdot 1,35; \quad (2.12)$$

$$K_{mn} = \frac{\Delta U_d}{\Delta U_y} = \frac{380,295 - 220,235}{3,978 - 2,2} = 90 \quad (2.13)$$

2.4 Розрахунок статичних і динамічних характеристик розімкненої системи

Знаючи основне рівняння динаміки знайдемо похибку регулювання:

$$\omega = \frac{U_n}{K_e} - \frac{M_n R_0}{K_e K_m} = \omega_0 - \Delta\omega; \quad (2.14)$$

Розглянемо 2 випадки:

1) $M=0$:

$$\omega_0 = \frac{U_d}{k_E} = \frac{380}{4,89} = 105 \text{ рад/с}; \quad (2.15)$$

2) $M=M_H$:

$$\Delta\omega = \frac{M_H R_0}{k_E k_M} = \frac{62 \cdot 4,043}{4,89 \cdot 4,7} = 11 \text{ рад/с}; \quad (2.16)$$

Статизм характеристик:

зверху:

$$\Delta = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \cdot 100\% = \frac{11}{105} \cdot 100\% = 10,5\%; \quad (2.17)$$

знизу:

$$\Delta^* = \frac{\Delta\omega \cdot D}{\omega_0} \cdot 100\% = \frac{11 \cdot 7}{105} \cdot 100\% = 73,5\%; \quad (2.18)$$

де $D=7$ – діапазон регулювання.

Складімо структурну схему розімкненої системи[10]:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р2.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

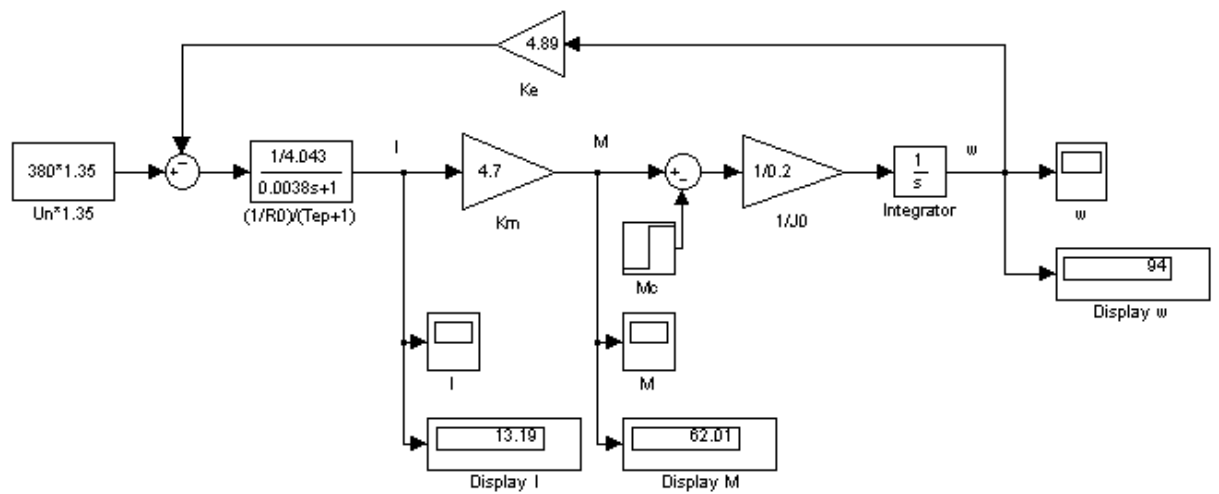


Рисунок 2.2. Структурна схема розімкненої системи

Промодельювали та отримали графіки перехідного процесу по струму:

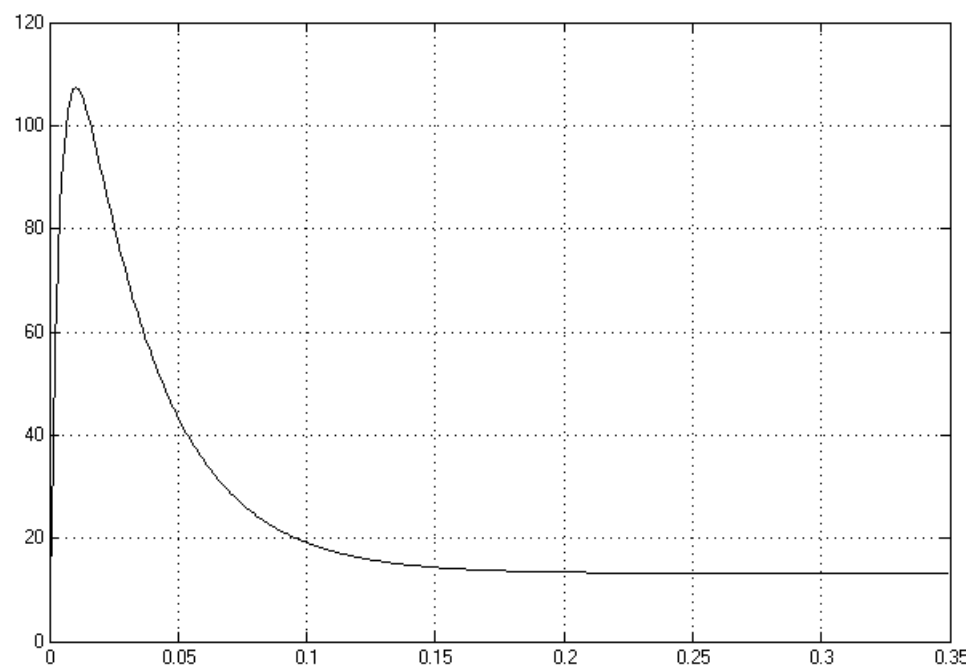


Рисунок.2.3 - Перехідний процес по струму

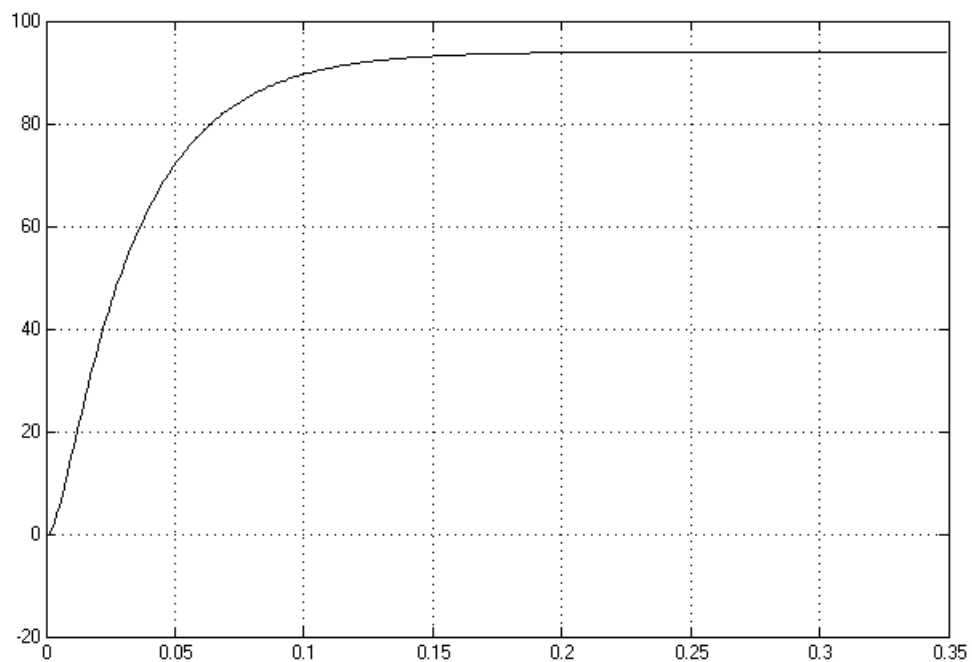


Рисунок 2.4 - Перехідний процес за швидкістю

Статичні характеристики виглядають таким чином:

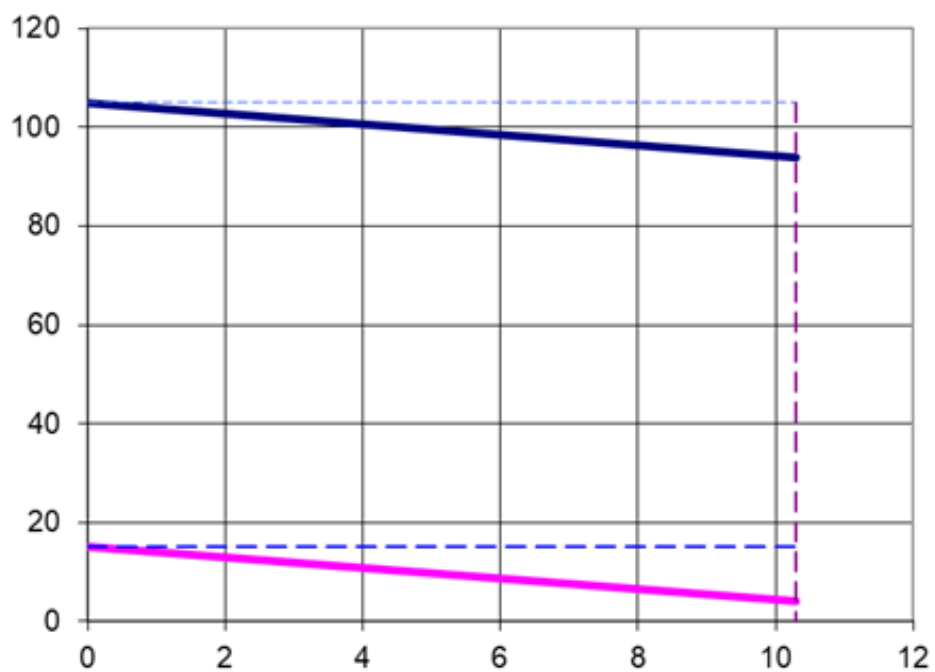


Рисунок 2.5 - Статичні характеристики

2.5 Розрахунок замкнутої системи за схемою із загальним суматором.

2.5.1 Розрахунок жорсткого зворотного зв'язку за швидкістю

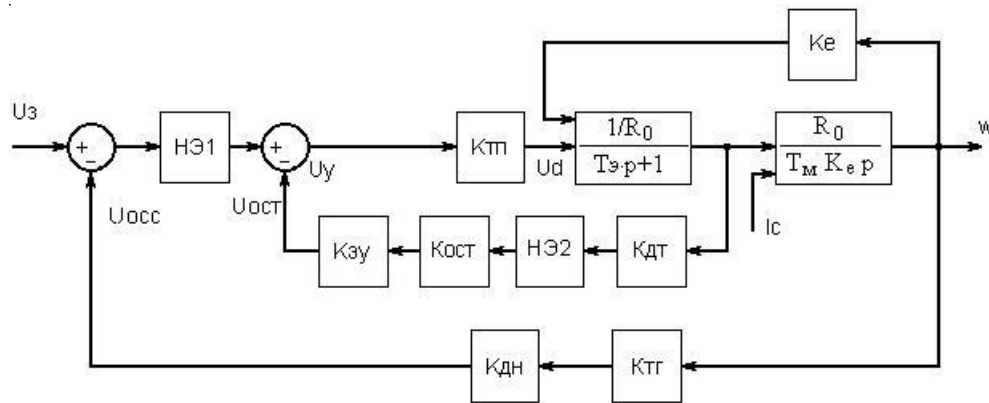


Рисунок 2.6 - Структурна схема замкнутої системи

Для стабілізації швидкості в системі визначаємо параметри жорсткої ОС, ПЧ-АД, які забезпечують похибку регулювання 3% в діапазоні $D=7$.

Тахогенератор ПС (постійного струму) СТ-22 використовуємо в якості датчика швидкості, за параметрами[8,10]:

Таблиця 2.1 Параметри тахогенератору СТ-22

Данні	
номінальна напруга	230В
номінальний струм якоря	0,2А
номінальна швидкість	1500 об/хв
струм збудження	0,35 А
$R_{я}$	42,3 Ом
$R_{ог}$	127 Ом

Виходячи з умовами був вибраний тахогенератор:

$$\omega_{нтг} \geq \omega_{ндв}. \quad (2.19)$$

Коефіцієнт посилення тахогенератора:

$$K_{тг} = \frac{U_{тг}}{\omega_{тг}} = \frac{230}{105} = 2,19 \text{ Вс/рад}; \quad (2.20)$$

Коефіцієнт, якій необхідний для посилення замкнутої системи:

$$K_{mp} = \frac{\Delta_p \cdot D}{\Delta_3^*} - 1 = \frac{10,5 \cdot 7}{3} - 1 = 23,5A \quad (2.21)$$

Коефіцієнт напруги:

$$K_{\partial n} = \frac{K_{mp}}{K_{mn} \cdot K_{\partial} \cdot K_{mz}} = \frac{23,5}{90 \cdot 0,204 \cdot 2,19} = 0,585; \quad (2.22)$$

Коефіцієнт дільника напруги менше 1, тоді на вході ПЧ не потрібен електронний підсилювач.

Опір дільника напруги:

$$R_{ДН} \geq \frac{U_{ТГ}}{I_{ТГ}} = \frac{230}{0,2} = 1150 \text{ Ом}; \quad (2.23)$$

Дільником напруги обираємо дріт'яний резистор з опором $R=1,2 \text{ кОм}$.

Отримуємо:

$$r_{\partial n} = R_{ДН} K_{ДН} = 1200 \cdot 0,585 = 702 \text{ Ом}. \quad (2.24)$$

Обмеження форсировок замкнутої системи

За керуючою дією коефіцієнт посилення:

$$K_3^{y6} = \frac{K_{mn} K_{\partial}}{1 + K_{mn} K_{\partial} K_{mz} K_{\partial n}} = \frac{90 \cdot 0,204}{1 + 90 \cdot 0,204 \cdot 2,19 \cdot 0,585} = 0,749; \quad (2.24)$$

Напруга замкнутої системи:

$$U_{3zc} = \frac{\omega_0}{K_3^{y6}} = \frac{105}{0,749} = 140,19B; \quad (2.25)$$

Напруга розімкненої системи:

$$U_{3pc} = \frac{\omega_0}{K_{mn} K_{\partial}} = \frac{105}{90 \cdot 0,204} = 5,72B; \quad (2.26)$$

Коефіцієнт форсировки за напругою:

$$K_{форс} = \frac{U_{3zc}}{U_{3pc}} = \frac{140,19}{5,72} = 24,5. \quad (2.27)$$

Вхідний вузол повинен витримати 25-кратну форсировку, замість допустимої двократної. Також має бути захищений. Для того, щоб обмежити форсировку для підсумовуючого вузла зробимо шунтування. Виконаємо за допомогою нелінійного елемента «обмеження». Цей елемент створюється має вигляд двох стабілітронів, які включаються зустрічно. У стабілітронів напруга пробою відповідає рівню:

$$U_{упрmax} \leq K_{форс.дон} \cdot U_{3zc} = 2 \cdot 5,72 = 11,44B$$

Враховуючи умови обираємо два стабілітрони серії КС147А. Рівень нечутливості - 10 В.

2.5 Визначення стійкості системи

Склали структурну схему (спрощену) замкненої системи[10,11]:

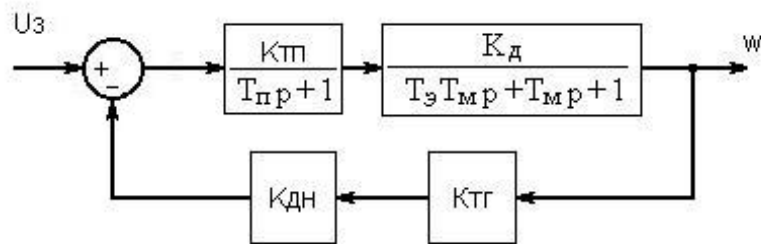


Рисунок 2.7 - Структурна схема замкненої системи

Передаточна функція керуючій дії:

$$\begin{aligned}
 W_3^{y6} &= \frac{\frac{K_{mn}K_{\Delta}}{(T_n p + 1)(T_{\Delta} T_M p^2 + T_M p + 1)}}{1 + K_{m2}K_{\Delta n} \frac{K_{mn}K_{\Delta}}{(T_n p + 1)(T_{\Delta} T_M p^2 + T_M p + 1)}} = \\
 &= \frac{K_{mn}K_{\Delta}}{T_{\Delta} T_M T_n p^3 + p^2(T_M T_n + T_{\Delta} T_M) + p(T_n + T_M) + (1 + K_{m2}K_{\Delta n}K_{mn}K_{\Delta})} = \\
 &= \frac{183,6}{0,0000133p^3 + 0,000483p^2 + 0,045p + 24,522} \quad (2.29)
 \end{aligned}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0,000483 & 24,522 \\ 0,00000133 & 0,045 \end{vmatrix} = -0,0000109 < 0$$

Тому що $\Delta < 0$ система нестійка.

Характеристичне рівняння системи потрібно розділити на a_0 :

$$p^3 + 363,158p^2 + 33834,586p + 18437593,98$$

$$b_1 = 363,158;$$

$$b_2 = 33834,586;$$

$$b_3 = 18437593,98.$$

$$M = \frac{b_1}{\sqrt[3]{b_3}} = \frac{363,158}{\sqrt[3]{18437593,98}} = 1,37$$

$$N = \frac{b_2}{\sqrt[3]{b_3^2}} = \frac{33834,586}{\sqrt[3]{18437593,98^2}} = 0,0052 \quad (2.30)$$

Нехтуємо коефіцієнтом передаточної функції по управляючий дії при p^3 .
Ділимо чисельник і знаменник на вільний член знаменника:

$$W_3^{y6} = \frac{183,6}{0,000483p^2 + 0,045p + 24,522} = \frac{7,487}{0,00002p^2 + 0,0018p + 1} \quad (2.31)$$

$$\alpha = 0,00002; \beta = 0,0018.$$

Частота очікуваних коливань:

$$\Omega = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} = \frac{1}{\sqrt{0,00002}} = 223,607 \text{ Гц} \quad (2.32)$$

Коефіцієнт загасання:

$$\varepsilon = \frac{\beta}{2\sqrt{\alpha}} = \frac{0,0018}{2\sqrt{0,00002}} = 0,201 \quad (2.33)$$

Кут навантаження:

$$\phi = \arcsin \sqrt{1 - \varepsilon^2} = \arcsin \sqrt{1 - 0,201^2} = 78,4^\circ \quad (2.34)$$

Графіка перехідного процесу за аналітичними розрахунками у ВО має вигляд:

$$\begin{aligned} \omega^*(t) &= 1 - \frac{1}{\sin \phi} e^{-\varepsilon \cdot \Omega t} \sin(\sqrt{1 - \varepsilon^2} \Omega t + \phi) \\ &= 1 - 1,021 \cdot e^{-46,32t} \cdot \sin(219,04t + 78,4^\circ). \end{aligned}$$

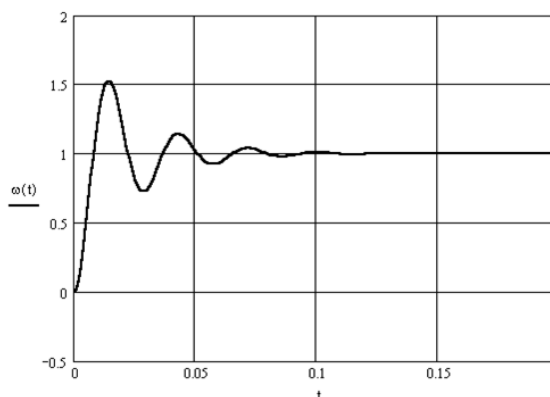


Рисунок 2.8 - Графік перехідного процесу за швидкістю

2.6 Розрахунок системи підлеглого регулювання

2.6.1 Розрахунок зворотного зв'язку по струму і регулювальника струму

Для того щоб забезпечити в замкненій системі показники до заданих необхідно понизити постійну часу електричного приводу до мінімуму. Для реалізації задачі задаємося масштабним множником $T_{\mu}=0,04$ с. Цей множник не має впливу на форму перехідного процесу. Він служить загальною мірою швидкодії системи. Регулювання реалізоване за допомогою УБСР-АИР з уніфікованим виходом датчика 10В.

Коефіцієнт зворотному зв'язку по струму:

$$K_{\partial m} = \frac{U_a}{I_{dn}} = \frac{10}{10,3} = 0,97 \text{ В/А} \quad (2.35)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю:

$$K_{\partial c} = \frac{U_a}{\omega_0} = \frac{10}{105} = 0,095 \text{ Вс/рад} \quad (2.36)$$

Тому що $T_M > 4T_e$, тоді передавальна функція матиме вигляд:

$$W_{\partial m}(p) = \frac{K_{mn}K_{\partial m}}{R_0(T_{\partial}p+1)} \quad (2.37)$$

Модульний оптимум має більшу швидкодію. Синтез регулювальника струму проводиться по модульному оптимуму:

$$\begin{aligned} W_{pm}^{mo}(p) &= \frac{3_n(o)}{Числ(o) \cdot 2T_{\mu}p} = \frac{R_0(T_e p + 1)}{K_{mn}K_{\partial m}2T_{\mu}p} = \\ &= \frac{4,043 \cdot 0,0038 \cdot p}{90 \cdot 0,97 \cdot 2 \cdot 0,004 \cdot p} + \frac{4,043}{90 \cdot 0,97 \cdot 2 \cdot 0,004 \cdot p} = \frac{5,78}{p} + 0,022. \end{aligned} \quad (2.38)$$

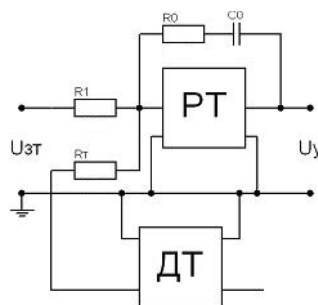


Рисунок 2.9 - Принципова схема регулювальника струму

Визначаємо опори та ємності:

$$\frac{R_0}{R_1} = II; \quad (2.39)$$

$$\frac{1}{R_1 C_0} = II; \quad (2.40)$$

$$R_T = R_1; \quad (2.41)$$

Приймемо $C_0=1\text{мкФ}$, тоді:

$$R_1 = R_T = \frac{1}{5,78 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 170\text{кОм};$$

$$R_0 = 0,0022 \cdot 170 \cdot 10^3 = 0,374\text{кОм},$$

R_T – погоджувальний резистор. Його використовують, при елементах з різними уніфікованими виходами.

2.6.2 Розрахунок зворотного зв'язку за швидкістю і регулювальника швидкості.

Статизм регулювальника швидкості. Його синтезують по модульному оптимуму:

$$\Delta_3^* = \Delta_p D \frac{2T_{\mu c}}{T_m} = 10,5 \cdot 7 \cdot \frac{2 \cdot 0,004}{0,035} = 16,8\%. \quad (2.42)$$

Статизм замкнутої системи по модульному оптимуму не задовольняє поставленому завданню. Тому синтезуємо регулювальник на симетричний оптимум.

$$W_{pc}^{co}(p) = \frac{T_m K_E K_{\partial m} (4T_{\mu c} p + 1)}{8T_{\mu c}^2 R_0 K_{oc} p} = \frac{0,035 \cdot 4,89 \cdot 0,97 (4 \cdot 0,004 \cdot p + 1)}{8 \cdot 0,004^2 \cdot 4,043 \cdot 0,095 \cdot p} = 53,69 + \frac{3356,13}{p}; \quad (2.43)$$

На вході системи отримуємо передавальну функцію фільтру:

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{4T_{\mu c} p + 1} = \frac{1}{0,016p + 1}. \quad (2.44)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р2.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

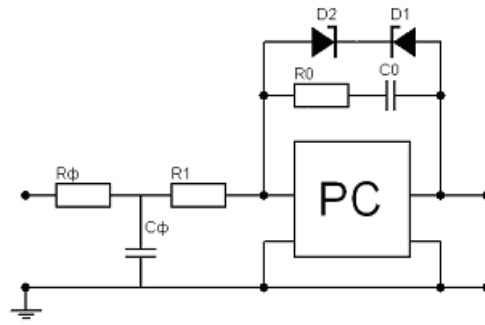


Рисунок 2.10 - Схема регулювальника швидкості

Коефіцієнти посилення регулювальника:

$$\frac{R_0}{R_1} = 53,69;$$

$$\frac{1}{R_1 C_0} = 3356,13;$$

Прийняв $C_0 = 1 \mu\text{кФ}$ и $R_1 = R_\phi$

Отримуємо:

$$R_1 = \frac{1}{3356,13 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 297,96 \Omega;$$

$$R_0 = 297,96 \cdot 53,69 = 16 \text{к}\Omega;$$

$$C_\phi = 45 \text{пФ}.$$

2.7 Розрахунок задатчика інтенсивності

Спосіб струмообмеження полягає у подачі на схему заданої напруги не стрибком. Напруга подається у вигляді наростаючого трапециїдального сигналу. Зростання та темп цього сигналу визначається при умові, що динамічний струм не перевищує максимально допустимого. Пристрій за допомогою якого реалізується цей закон керування є задатчик інтенсивності (ЗІ).

$$\Delta t = \frac{J_0 \omega_0}{2 I_n K_M} = \frac{0,2 \cdot 105}{2 \cdot 10,3 \cdot 4,7} = 0,22 \text{сек} \quad (2.45)$$

2.8 Розробка вузлів електричного захисту електроприводу

Захист електроприводу повинен забезпечувати задану швидкодію, бути точним та надійним, селективними.

2.9 Захист від короткого замикання

Захист від КЗ (максимальний струмовий захист) виконується за допомогою:

- автоматам з електромагнітним розчіплювачем;
- запобіжникам.

Також є спосіб використання двох реле максимального струму. Ці реле одночасно захищають двигун від великих кидків струму. За допомогою автоматів з тепловим розчіплювачем отримаємо захист від перегріву, які виникають при перевантаженні по струму. Автомати з тепловим розчіплювачем використовують при тривалому режимі роботи.

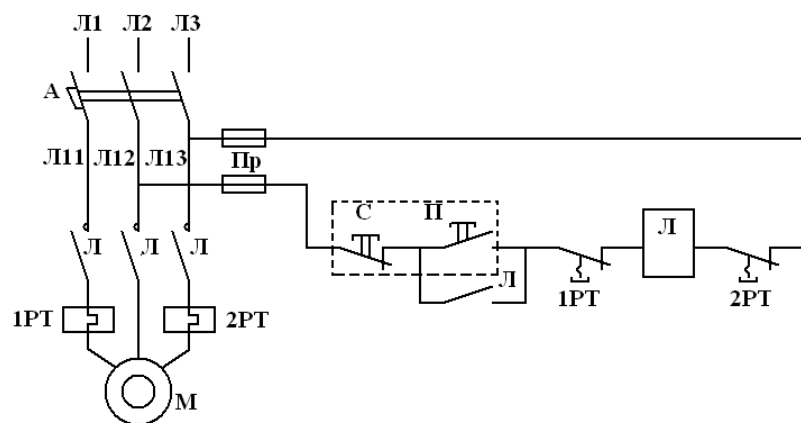


Рисунок 2.11 - Принципова схема реалізації захисту АД

Струм уставки реле струму обираємо:

$$I_{уст} = (1.1 \div 1.3) I_{пуск}$$

Пусковий струм дорівнює $I_{пуск} = 15,6$ А, то струм уставки реле дорівнюватиме $I_{уст} = 18$ А. Вибираємо запобіжник марки ПР2, виконання 2, $I_n = 25$ А. Запобіжники оперативного кола вибираємо НПН2-60, номінальний струм – 5 А.

2.10 Захист від самозапуска або нульовий захист

Нульовий захист (від надмірного пониження і зникнення напруги) здійснюється за допомогою лінійних контакторів, які вимикають схему. В

пусковій схемі є команда контролер то даний вигляд захисту відключає схему. І повторний запуск відбувається лише при установці команди контролера у вихідне нульове положення[11].

2.11 Заходи з енергозбереження системи електроприводу магнітного сепаратору.

При роботі навантаження на двигун змінюється до 80%. Енергозбереження регулюванням електроприводу дуже важливе питання. Питання постає для споживання потужності, яка є необхідної для коректної роботи приводного механізму у момент часу в системах з різним навантаженням. Досягнути мети ми можемо за допомогою ПЧ регулюванням електроприводу Перетворювач частоти сприяє зміні співвідношення напруги і частоти живлення, які подаються на двигун.

Двигун споживає в момент часу потужність, яка є необхідною потужності на навантаження. Зміну потужності, яка споживається можна виконати вручну з допомогою пульта управління ПЧ. Також автоматично За зворотного зв'язку від датчиків тиску це робиться автоматично.

Від 35 до 65% отримаємо економію електричної енергії. Також отримаємо заощаджування води, тепло - біля 15%.

Якщо тонко настроїти ПЧ в електричному приводі з цілковим навантаженням можливо також зекономити електроенергію. За широким діапазоном зміни навантаження і швидкості двигуни працюють з оптимальними ККД.

Висновки: У другому розділі було проведено дослідження замкненої та розімкненої системи електропривода. Складена схема заміщення асинхронного двигуна, зроблений математичний опис та розрахунки механічних і енергетичних характеристик, розроблено захист вузлів електроприводу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.Р2.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.РЗ.			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата				
Розробив	Шинкаренко О.М.				Розділ 3 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	Літ.	Лист	Листів
Перевірів	Ільченко О.В.							
Реценз.						ЕЕМ-22-1		
Н. Контр.								
Затвердив								

3.1. Розрахунок потужності споживачів

Вибір трансформатора.

Два трансформатора у яких однакова потужність встановлюємо на підстанції, вони призначені для споживачів двох категорій (I та II категорії).

Завантаження потрібно (номінальний режим роботи трансформаторів) на 60-70%, тому якщо не працює одна із ліній до якої підключені трансформатори, друга лінія повинна забезпечити роботу підприємства без зупинок[12,13].

За коефіцієнтом попиту встановлюється та розраховується потужність, яка споживається електроспоживачами. Однолінійна схема споживання РЗФ рис.3.1.

По встановленій потужності електроспоживачів (таблиця 3.1, додаток) робимо розрахунок потужності трансформаторів, яка необхідна:

$$P_{роз} = \sum P_n \cdot k_c ; \quad Q_{роз} = P_{роз} \cdot \operatorname{tg} \varphi ; \quad S_{роз} = \sqrt{P_{роз}^2 + Q_{роз}^2} \quad (3.1)$$

Окремі споживачи:

k_c - коефіцієнт попиту;

$\operatorname{tg} \varphi$ - коефіцієнт навантаження.

Для забезпечення електропостачання::

- коефіцієнт використання електроспоживачів $k_n = 0,65$,

- коефіцієнт потужності $\operatorname{tg} \varphi = 0.75$.

За умови розрахованих потужностей трансформаторів:

$$S_{нтр} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{зм} \cdot S_{роз}}{\eta_c \cdot K_{пер}}, \quad (3.2)$$

$K_{1-2} = 0,8$ - коефіцієнт, з врахуванням споживачів (I, II категорії);

$K_{зм} = 0,85$ - коефіцієнт зміщення тах навантаження;

$K_{пер} = 1,1 \div 1,3$ - коефіцієнт перевантаження;

$\eta_c = 0.9$ - коефіцієнт мережі.

Розраховуємо потужність трансформаторів:

I, IV лінії:

$$S_{нтр(1)} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{зм} \cdot S_{роз}}{\eta_c \cdot K_{пер}} = \frac{0,8 \cdot 0,85 \cdot 74}{0,9 \cdot 1,1} = 51 \text{ кВА}; \quad (3.3)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.РЗ.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

II лінія:

$$S_{нтр(2)} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{зм} \cdot S_{роз}}{\eta_c \cdot K_{пер}} = \frac{0,8 \cdot 0,85 \cdot 1032}{0,9 \cdot 1,1} = 710 \text{ кВА}; \quad (3.4)$$

III лінія:

$$S_{нтр(2)} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{зм} \cdot S_{роз}}{\eta_c \cdot K_{пер}} = \frac{0,8 \cdot 0,85 \cdot 874}{0,9 \cdot 1,1} = 600 \text{ кВА}; \quad (3.5)$$

V лінія:

$$S_{нтр(2)} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{зм} \cdot S_{роз}}{\eta_c \cdot K_{пер}} = \frac{0,8 \cdot 0,85 \cdot 1130}{0,9 \cdot 1,1} = 776 \text{ кВА}; \quad (3.6)$$

Секція 6кВ:

$$S_{нтр(2)} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{зм} \cdot S_{роз}}{\eta_c \cdot K_{пер}} = \frac{0,8 \cdot 0,85 \cdot 6946}{0,9 \cdot 1,1} = 4037 \text{ кВА}. \quad (3.7)$$

Обираємо трансформатори, паспортні значення приведенні (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 Паспортні дані СТ

№ пп	Тип трансфор- матору	Номін. потужність, кВА	Номинальна напруга, кВ		Втрати трансформатору, кВт		Напруга короткого замикання, u _к , %	Струм холостого ходу, I _{хх} , %
			U _{1н}	U _{2н}	ΔP _{хх}	ΔP _{кз}		
1.	ТМ	63	6	0,4	0,26	1,28	4,5	2,8
2.	ТМ	1000	6	0,4	2,35	12,2	6,5	1,5
3.	ТМ	630	6	0,4	2,7	7,6	6,0	1,97
4.	ТМ	1000	6	0,4	2,35	12,2	6,5	1,5
5.	ТМ	4000	35	6,3	5,7	33,5	7,5	1,0

3.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі вище 1 кВ

Для знаходження струмів короткого замикання склали схему заміщення системи.

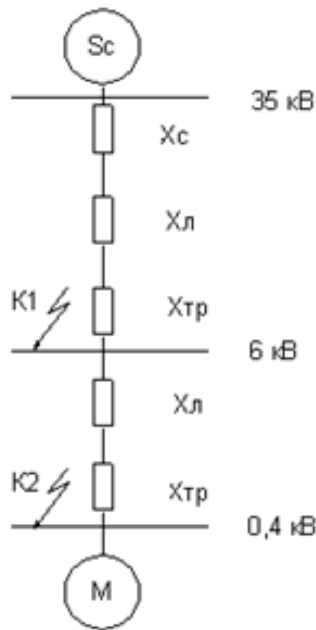


Рисунок 3.1 Схема заміщення системи.

3.3. Визначення реактивних опорів, які приведені до базисної напруги.

Розрахуємо за допомогою базисних величин.

Базисна потужність: $S_6 = 100 \text{ МВА} = S_c$

Базисна напруга $U_6 = 6,3 \text{ кВ}$

Базисний струм:

$$I_6 = \frac{S_6}{1,73 \cdot U_6} = 9,2 \text{ кА} \quad (3.8)$$

Знаходимо величини (в відносних базисних одиницях), що потребують розрахунку:

- Опір системи:

$$X_c = \frac{X_c \% \cdot S_6}{100 \cdot S_{нс}} = \frac{3 \cdot 100}{100 \cdot 32} = 0,094 \quad (3.9)$$

- Опір трансформатора:

$$X_{тр} = \frac{u_k \% \cdot S_6}{100 \cdot S_{нс}} = \frac{7,5 \cdot 100}{100 \cdot 4} = 1,875 \quad (3.10)$$

- Опір кабельної лінії 6,3 кВ:

$$X_L = \frac{X_{ол} \cdot l_l \cdot S_{\delta}}{U_n^2} = \frac{0,274 \cdot 3 \cdot 100}{6,0^2} = 2,3 \quad (3.11)$$

$X_{ол} = 0,274$ Ом/км- індуктивний питомий опір кабельної лінії 6 та 10 кВ;

$l_l = 3$ км - довжина повітряної лінії.

Сумарний опір у точці К1.

Сторона 6 кВ

$$X_{\Sigma 1} = X_c + X_{mp} + X_L = 0,094 + 1,875 + 2,3 = 4,3 \quad (3.12)$$

Струм КЗ.:

$$I_{кз1} = \frac{I_{\delta}}{X_{\Sigma 1}} = \frac{9,2}{4,3} = 2,14 \text{ кА} . \quad (3.13)$$

Ударний струм КЗ:

$$I_{y1} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{кз1} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 2,14 = 5,43 \text{ кА} \quad (3.14)$$

Потужність КЗ:

$$S_{кз} = \frac{S_{\delta}}{X_{\Sigma 1}} = \frac{100}{4,3} = 23,25 \text{ МВА} \quad (3.15)$$

Повна потужність за розрахунками:

$$S_p = 6946 \text{ кВА} .$$

Струм:

$$I_p = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{6946}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 637 \text{ А}; \quad I_{p1} = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{1967}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 180,5 \text{ А};$$

$$I_{p2} = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{1734}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 160 \text{ А}; \quad I_{p3} = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{1800}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 165 \text{ А};$$

$$I_{p4} = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{1382}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 127 \text{ А}; \quad I_{p5} = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{63}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 6 \text{ А}.$$

Динамічний струм на шинах:

$$I_d = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{кз1} + 6,5 \cdot I_p = 9,57 \text{ кА} .$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.РЗ.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4. Вибір апаратури в мережі більш 1000 В

Вибір струмоведучих шин

Враховуючі розрахунковий струм $I_p = 637\text{А}$ обираємо:

Алюмінієві шини на струмове навантаження 665 А.

З параметрами:

$$h = 5\text{см}, b = 0,5\text{см};$$

відстань між ізоляторами $L=250\text{ мм}$;

відстань між шинами $a=150\text{ мм}$.

Робимо перевірку шин на динамічну стійкість:

$$i_{\text{дн}} = \sqrt{\frac{10 \cdot G \cdot W \cdot a}{1,76} \cdot \frac{10}{L}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 90 \cdot 2,1 \cdot 150 \cdot 10}{1,76 \cdot 250}} = 80,3\text{кА} \quad (3.16)$$

Припустима напруга в матеріалі шини $G=90\text{ МПа}$;

Момент опору шини відносно осі - W:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,5 \cdot 25}{6} = 2,1 \quad (3.17)$$

Стійкість прийнятих шин за каталожними даними:

$$9,57 < 80,3\text{ кА}.$$

Потрібно перевірити переріз шин за термічною стійкістю:

$$S_{\text{ш}} = \frac{I_{\text{кзш}} \cdot \sqrt{t_{\text{пр}}}}{c} = \frac{2140 \cdot \sqrt{0,05}}{85} = 5,63\text{мм}^2 \quad (3.18)$$

$c = 85\text{ Ас}^2/\text{мм}^2$ - коефіцієнт, враховує різницю теплоти, яка утворюється у алюмінієвих шинах до і після КЗ.

Вибираємо ізолятори враховуючи переріз шин:

$$S = h \cdot b = 50 \cdot 5 = 250\text{мм}^2.$$

Обрали ізолятор типу ОМА-6:

номінальна напруга 6 кВ;

з розривним навантаженням $F_p = 4\text{кН}$.

За умовами механічної міцності потрібно, щоб розрахункова електродинамічна сила $F_{\text{розр}}$ на ізолятор не була вище припустимого на нього навантаження[12].

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.РЗ.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Робимо перевірку припустимого зусилля:

$$F_{розр} \leq F_{np} = 0,6 \cdot F_p ,$$

де $F_{розр}$ - тах зусилля на ізолятор при ударному струмі КЗ.

$$F_{розр} = \frac{1,73 \cdot L \cdot I_{\partial}^2 \cdot 0,1}{a \cdot k_h} ,$$

де $k_h = 1$ - коефіцієнт, враховуючий розташування шин на ізоляторах;

I_{∂} , кА- ударний струм ТКЗ;

L – відстань між ізоляторами;

a - відстань між шинами

$$F_{розр} = \frac{1,73 \cdot L \cdot I_{\partial}^2 \cdot 0,1}{a \cdot k_h} = \frac{1,76 \cdot 250 \cdot 5,43^2 \cdot 0,1}{150 \cdot 1} = 8,5 \text{ Н} \quad (3.18)$$

$F_p = 4000 \text{ Н}$ – з паспорту

$$F_{розр} < 0,6 \cdot F_p .$$

Повітряна лінія зроблена з сталевого дроту АС -300:

- перетин 24,4 мм²

- розрахована на номінальний струм $I_H=690 \text{ А}$.

Вибір кабелів

Робимо за величиною розрахункового струму для кожної лінії вибір живильних кабелів. Струм для алюмінієвої жили $i_{дон} = 3 \text{ А/мм}^2$, вважаємо тривало припустимий.

I Лінія $I_{p1} = 180,5 \text{ А}$.

Беремо: трьохжильний алюмінієвий кабель типу АСБ 70 мм² :

- напруга 6кВ

- з тривало припустимим струмом 190 А.

Перевіряємо кабель на термічну стійкість до струмів КЗ

При сталому струмі:

$$S_{\min} = \frac{I_{кзк} \cdot \sqrt{t_{np}}}{c_k} = \frac{2140 \cdot 0,22}{85} = 5,6 \text{ мм}^2 \quad (3.19)$$

II Лінія $I_{p2} = 160 \text{ А}$.

Беремо трьохжильний алюмінієвий кабель типу АСБ 70 мм² :

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.РЗ.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- на напругу 6кВ
- з тривало припустимим струмом 190 А.

Перевіряємо на термічну стійкість кабель до струмів к.з.:

III Лінія $I_{p3} = 165A$.

Обираємо трьохжильний алюмінієвий кабель типу АСБ 70 мм² :

- на напругу 6кВ
- з тривало припустимим струмом 190 А.

IV Лінія $I_{p3} = 127A$.

Беремо трьохжильний алюмінієвий кабель типу АСБ 50 мм²:

- на напругу 6кВ з
- тривало припустимим струмом 155 А.

V Лінія $I_{p3} = 6A$.

Обираємо трьохжильний алюмінієвий кабель типу АСБ 6 мм² :

- на напругу 6кВ
- з тривало припустимим струмом 80 А.

Вибір високовольтних вимикачів

На кожен ліній обираємо вимикачі типу ВМЕ-6:

- з номінальним струмом 200 А
- на напругу 6 кВ
- із припустимим ударним струмом $I_y = 16,8 \text{ кА}$, $S_n = 15 \text{ МВА}$
- струмом вимкнення 1,4 кА.

Робимо перевірку по стійкості для струмів КЗ усіх електричних апаратів.

Електричні апарати обираємо за робочими параметрами.

Струм вимкнення: $I_{\max} > I_{\text{кзроз}}$.

Значення ударного струму КЗ - тах амплітудне, $I_{\text{уном}} > I_{\text{уроз}}$.

Перевірка за термічної стійкості:

Час=10 сек.

$$I_{t=10} = \sqrt{I_k^2 \cdot \frac{t_{np}}{t}} = \sqrt{2,14^2 \cdot \frac{4,55}{10}} = 0,15 \text{ кА} \quad (3.20)$$

Обираємо:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.РЗ.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розмикач типу РЛН-6/200:

- з електродинамічною стійкістю 15 кА;
- термостійкістю $I_{тем.ст.10с} = 5кА$.

Короткозамикач типу КЗ-35 (двополюсний):

- $U_n = 35$ кВ;
- $I_{ел.дин} = 42кА$;
- $I_{терм.ст.} = 18кА$.

За вимогами ПУЕ опір заземлення в установках $R_3 = 0,5$ Ом струми замикання на землю ($I_3 > 500А$):

Заземлювач типу ЗОН-110М-1-400:

- $U_n = 110$ кВ;
- $I_n = 500$ А;
- $I_{пр.ст.} = 16кА$;
- $I_{т.ст} = 6,3кА$.

Роз'єднувач РВР-III-10/2000 УЗ:

- $U_n = 10$ кВ;
- $U_{р.мах} = 12$ кВ;
- $I_{ер.ск.} = 85кА$;
- $I_{тр.ст.} = 31,5кА$.

Силові запобіжники напруга вище 1000 В зовнішнього обладнання тип ПК – 6И:

- $U_n = 6$ кВ;
- $I_n = 30$ А;
- $I_{відкл} = 20$ кА.

3.5. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1000 В

Для розрахунку струмів КЗ (короткого замикання) в мережі до 1кВ, враховуємо індуктивні і активні опори споживачів. Розглянемо II лінію, до якої ввімкнений магнітний сепаратор ПБМ-120/300 ПП [12,13].

Базисні величини:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.РЗ.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- напруга $U_{\delta} = 0,4 \text{ кВ}$;

потужність $S_{\delta} = 100 \text{ МВА}$.

Базисний струм

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{1,73 \cdot U_{\delta}} = \frac{100}{1,73 \cdot 0,4} = 144,45 \text{ кА} \quad (3.21)$$

Реактивні опори струмів, потужності КЗ:

II лінія

- реактивний опір трансформатора (6/0,4) у ВО

$$X_{\text{тр}(0,4)} = \frac{u_{\kappa} \% \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_{\text{H}}} = \frac{6,5 \cdot 100}{100 \cdot 1} = 6,5 \quad (3.22)$$

- активний опір трансформатора (6/0,4) у ВО

$$r_{\text{тр}(0,4)} = \frac{\Delta P_{\text{M}} \cdot S_{\delta}}{S_{\text{H}} \cdot S_{\text{H}}} = \frac{12,2 \cdot 100}{400 \cdot 400} = 1,22 \quad (3.23)$$

- відносний базисний опір системи, який відноситься до цехового трансформатора: $X_{\text{c}} = 0$

- відносний базисний опір трансформатора підстанції (35/6):

$$X_{\text{тр}(6)} = \frac{u_{\kappa} \% \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_{\text{Hc}}} = \frac{7,5 \cdot 100}{100 \cdot 4} = 1,875 \quad (3.24)$$

- активний опір трансформатора (35/6):

$$r_{\text{тр}(6)} = \frac{\Delta P_{\text{M}} \cdot S_{\delta}}{S_{\text{H}} \cdot S_{\text{H}}} = \frac{33,5 \cdot 100}{4000 \cdot 4000} = 0,21 \quad (3.25)$$

- відносний реактивний опір кабельної лінії 6,3 кВ (II лінія)

$$X_{L(6)} = \frac{X_{\text{ол}} \cdot l_{\text{л}} \cdot S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = \frac{0,24 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 100}{0,4^2} = 0,075 \quad (3.26)$$

Індуктивний опір кабеля 70 мм² $X_{\text{ол}} = 0,24 \text{ мОм/км}$;

Довжина кабельної лінії від трансформатора до точки КЗ $l_{\text{л}} = 0,5 \text{ км}$;

Відносний активний опір кабеля 70 мм²

$$r_{L(6)} = \frac{r_{\text{ол}} \cdot l_{\text{л}} \cdot S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = \frac{0,47 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 100}{0,4^2} = 0,147 \quad (3.27)$$

$r_{\text{ол}} = 0,47$ - мОм/км- активний опір кабеля 70 мм² ;

- індуктивний опір шин 6 кВ перерізом 50x5 мм

$$X_{\text{ш}(6)} = \frac{X_{\text{ош}} \cdot l_{\text{ш}} \cdot S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = \frac{0,156 \cdot 10^{-3} \cdot 0,05 \cdot 100}{0,4^2} = 0,0049 \quad (3.28)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.РЗ.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$X_{oui} = 0,156 \text{ мОм/м}$ - індуктивний питомий опір шини 50x5 мм;

$l_{ш} = 0,05 \text{ км}$ - довжина шини;

- відносний активний опір алюмінієвих шин 6 кВ перерізом 50x5 мм

$$r_{u(6)} = \frac{r_{oui} \cdot l_{ш} \cdot S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = \frac{0,142 \cdot 10^{-3} \cdot 0,05 \cdot 100}{0,4^2} = 0,00444 \quad (3.29)$$

$r_{oui} = 0,142 \text{ мОм/м}$ - активний питомий опір алюмінієвих шин 80x8 мм;

- значення перехідного опору контактів рубильника

$$r_{p(6)} = \frac{r_{op} \cdot S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = \frac{0,08 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{0,4^2} = 0,05 \quad (3.30)$$

$r_{op} = 0,08 \text{ мОм}$ - перехідний опір контактів при номінальному струмі більшому 1000 А;

Визначаємо сумарний реактивний опір у т. К2 на стороні 0,4 кВ

$$X_{\Sigma 0,4} = X_{mp(6)} + X_{L(6)} + X_{mp(0,4)} + X_{u(6)} = 6,5 + 1,875 + 0,075 + 0,0049 = 8,45.$$

Сумарний активний опір у точці К2 на стороні 0,4 кВ

$$\begin{aligned} r_{\Sigma 0,4} &= r_{mp(6)} + r_{L(6)} + r_{mp(0,4)} + r_{u(6)} + r_p \\ &= 1,22 + 0,21 + 0,147 + 0,00444 + 0,05 = 1,631 \end{aligned}$$

Визначаємо повний опір у точці К2:

$$z = \sqrt{(X_{\Sigma 0,4})^2 + (r_{\Sigma 0,4})^2} = \sqrt{8,45^2 + 1,631^2} = 8,6 \quad (3.31)$$

Струм КЗ у т. К2 дорівнює

$$I_{K32} = \frac{I_{\delta}}{z} = \frac{144,5}{8,6} = 16,8 \text{ кА} \quad (3.32)$$

Ударний струм к.з. визначаємо за формулою

$$I_{y2} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{K32} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 16,8 = 42,64 \text{ кА} \quad (3.33)$$

Визначимо ударний струм з урахуванням двигунів магнітного сепаратора ПБМ-120/300 ПП. Номінальний струм двигунів

$$I_{H\partial} = \frac{n \cdot P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \phi_H} = \frac{400000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,885 \cdot 0,88} = 780 \text{ А} \quad (3.34)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.РЗ.	Лист
ЗМН.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Величина динамічного струму у шинах:

$$I_y = k_y \cdot 1,41I_{кз2} + 6,5I_{нд} = 1,8 \cdot 1,41 \cdot 42,64 + 6,5 \cdot 780 = 48 \text{ кА.}$$

Потужність КЗ на стороні 0,4 кВ

$$S_{кз0,4} = \frac{S_{\sigma}}{X_{\Sigma 2}} = \frac{100}{8,45} = 11,8 \text{ МВА} \quad (3.35)$$

За параметрами обраного трансформатора розраховується повна потужність (табл.3.1.).

S=4000 кВА – всієї системи.

Розрахункова потужність II лінія S₂=1734 кВА

Розрахунковий струм:

$$\text{II лінії:} \quad I_{p2} = \frac{S_{p2}}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{1734}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2,5 \text{ кА;} \quad (3.36)$$

$$\text{Магнітного сепаратора:} \quad I_{pмс} = \frac{S_{p2}}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{7500}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 57 \text{ А} \quad (3.37)$$

Вибір апаратури і струмоведучих частин у мережі до 1000 В

Вибір струмоведучих шин.

За розрахункового струму $I_{p2} = 2,5 \text{ кА}$ обираємо:

Алюмінієві шини:

Струмове навантаження - 2500 А;

Розмір - $h = 12 \text{ см}$, $b = 1 \text{ см}$;

Відстанню між ізоляторами- $L=250 \text{ мм}$;

Відстань між шинами $a=150 \text{ мм}$.

Робимо перевірку шин на динамічну стійкість:

$$i_{\partialн} = \sqrt{\frac{10 \cdot G \cdot W \cdot a}{1,76} \cdot \frac{10}{L}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 90 \cdot 24 \cdot 150 \cdot 10}{1,76 \cdot 250}} = 271 \text{ кА} \quad (3.38)$$

Припустима напруга в матеріалі шини G=90 МПа

Момент опору шини відносно осі W:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{1 \cdot 144}{6} = 24$$

Стійкість прийнятих шин за каталогом:

48 < 271 кА.

Перевірка перерізу шин за термічною стійкістю:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.РЗ.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{ш} = \frac{I_{кзи} \cdot \sqrt{t_{np}}}{c} = \frac{16800 \cdot 0,22}{85} = 43,5 \text{ мм}^2, \quad (3.39)$$

Вибір кабелів

Для магнітного сепаратору обираємо кабель для підключення за урахуванням величини розрахункового струму.

Кабель:

- з паперовою просоченою ізоляцією;
- у свинцевій оболонці;
- трьохжильний з мідними жилами (3х240 мм²)
- I_н = 57 А.

Перевіряємо кабель на термічну стійкість струму КЗ враховуючі сталі значення

$$S_{\min} = \frac{I_{кзк} \cdot \sqrt{t_{np}}}{c_k} = \frac{16800 \cdot 0,22}{85} = 23,1 \text{ мм}^2 \quad (3.40)$$

$$S_{\min} < S_{\text{расч}}, 23,1 \text{ мм}^2 < 240 \text{ мм}^2.$$

Вибір пуско-захисної апаратури для двигунів магнітного сепаратора[14]:

Номінальний струм двигуна магнітного сепаратора:

$$I_{нд} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_n \cdot \cos \phi_n} = \frac{75000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,885 \cdot 0,88} = 78 \text{ А}$$

За умови обираємо плавку вставку:

$$I_{вс} \geq I_p;$$

$$I_{вс} \geq \frac{I_n}{k},$$

k=1,6 при захисті двигунів.

За I умовою $I_{вс} = 100 > I_{нд} = 78 \text{ А},$

за II умовою $I_{вс} \geq \frac{I_n}{k} \geq \frac{78}{1,6} = 48,75 \text{ А}.$

За II умовою: плавка вставка $I_{вс} = 100 \text{ А}.$

U_н = 380 В, I_н = 100 А.

Робимо перевірку дроту перерізом 240 мм²

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.РЗ.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Захист від перенавантаження:

$$I_{don} \geq \frac{k_3 I_3}{k} \quad (3.41)$$

де $k_3 = 1$, $k = 1$ - номінальні умови прокладки дроту.

Тому що $\frac{k_3 I_3}{k} = \frac{1 \cdot 100}{1} = 100 > I_n = 78$ А, тоді обраний дріт перерізом $s=24$ мм² буде захищений від перевантаження.

Захист автоматичними вимикачами[12,13].

Вимикачі обираються за певними умовами:

- за значенням тривалого розрахункового струму $I_{el} \geq I_p$ обирається комбінований розчеплювач або електромагнітний розчеплювач;
- за піковим струмом лінії $I_{сел} \geq k I_n$, $k=1,25$, струм спрацьовування (відсічки) для більшості автоматів.

$$I_{сел} \geq k I_n = 1,25 \cdot 78 = 97,5 \text{ А.}$$

Вибираємо автоматичний вимикач ВА 50:

- номінальний струм вимикача 40-160 А;
- напівпровідниковий розчеплювач.

Висновки: У третьому розділі зроблений розрахунок:

- електричних навантажень;
- струмів короткого замикання;

Обрана:

- провідникова апаратура;
- комутаційна апаратура.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.РЗ.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Смирнов В.О., Білецький В.С. С-50 Проектування збагачувальних фабрик (видання друге). Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. 269 с
2. Проектування електричних машин : навч. посіб. / Д.В. Ципленков, О.Б. Іванов, О.В. Бобров, В.В. Кузнецов, В.В. Артемчук, М.О. Баб'як. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. 408 с.
3. Остапешевський М.О., Юр'єва О.Ю. Електричні машини і трансформатори: навч.посіб. / ред. В. І. Мілих. Харків: ФОП «Панов А.М.», 2018. 452 с.
4. Белікова Л.Я., Шевченко В.П. Електричні машини: навч. посіб. Одеса : Наука і техніка, 2012. 480 с.
5. Електричні машини і апарати: навч. посіб./ Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлєв та ін. Київ: «Аграрна освіта», 2013. 449 с.
6. Лагутін В. М. Випробування електричних машин і трансформаторів в електроенергетичних системах: навч. посіб. / В. М. Лагутін, В. Ц. Зелінський, О. Б. Бурикін. Вінниця : ВНТУ, 2010. 115 с.
7. Мілих В. І. Літерні позначення величин та параметрів електричних машин: методичні вказівки до використання в навчальному процесі кафедри «Електричні машини» для студентів і викладачів електротехнічних спеціальностей. Харків: НТУ «ХП», 2007.57с.
8. Основи електропривода виробничих машин та комплексів: навч. посіб./В.Е. Воскобойник, В.А. Бородай, Р.О. Боровик, О.Ю. Нестерова. Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2021.254с.
9. Основи електропривода: підручник / Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, О.Ю. Синявський, Д.Г. Войтюк, В.В. Савченко, І.М. Голодний.– К.: Видавництво Ліра-К, 2017. – 524 с.
10. Чорний О. П. Моніторинг і діагностика електромеханічних об'єктів: навч. посіб. / О. П. Чорний, Ю. В. Зачепа, В. К. Титюк, О. А. Чорна. Кременчук: ПП Щербатих А. В., 2019.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.С.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Яцун М. А. Експлуатація та діагностування електричних машин і трансформаторів: навч. посіб. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. 180 с.

12. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електропостачання: Навч. посіб. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. - 324с.

13. Загальні відомості. Базові стандарти. Допустимі відхилення. Режим доступу: <https://nkmehz.com.ua/uk/catalog/obshie-tehnicheskie-svedeniya/obshie-svedeniya-standarty/> .

14. Стандарти електродвигунів. Режим доступу: <https://ua.hanzelmotor.net/news/electric-motor-standars-73302009.html>.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.247с18.05.26.7.С.	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		