

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 електромеханічного обладнання вентилятора шахтного
провітрювання ВЦ – 5 в умовах шахти «Покровська»
АТ «Кривбасзалізрудком»

Виконав:

студент групи ЗЕЕМ-22	_____ Мусієнко О.А.
Керівник випускної роботи	_____ д.т.н., проф. В.К. Титюк
Нормоконтролер	_____ д.т.н., проф. В.К. Титюк
Декан ЕТФ	_____ к.т.н., доц. В.О. Федотов
Гарант освітньої програми	_____ к.т.н., доц. І.І. Пересунько

Кривий Ріг
2026 р.

**ЗАВДАННЯ НА
ВИПУСКНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Мусієнку Олександру Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація електромеханічного обладнання вентилятора шахтного провітрювання ВЦ – 5 в умовах шахти «Покровська» АТ «Кривбасзалізрудком»

2. Строк подання здобувачем роботи : 10 червня 2026 р.

3. Мета та завдання випускної роботи:

Мета та завдання випускної роботи – розробка заходів з модернізації електроприводу вентилятора шахтного провітрювання ВЦ – 5 в умовах шахти «Покровська» АТ «Кривбасзалізрудком», аналіз статичних та енергетичних характеристик електроприводу, розрахунок динамічних режимів електроприводу у MATLAB/Simulink.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) :
Опис технологічного устаткування; Електромеханічне обладнання вентилятора шахтного провітрювання; Розрахунки статичних режимів роботи електроприводу; Розрахунок динамічних режимів електроприводу компресорної мережевого насосу; Розрахунок системи електропостачання шахти «Покровська».

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

Слайди презентації у кількості 8 штук _____

3.Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Титюк В.К.	05.05.2026	10.06.2026
II	Титюк В.К.	05.05.2026	10.06.2026
III	Титюк В.К.	05.05.2026	10.06.2026

7.Календарний план виконання роботи та консультацій

№	Назва етапів роботи	Дата виконання
1	Технічні характеристики вентилятора головного провітрювання ВЦ – 5	05.05.2026
2	Обґрунтування доцільності використання регульованого електроприводу вентилятора по системі «вентильний двигун».	15.05.2026
3	Визначення параметрів схеми заміщення, розрахунок статичних та енергетичних характеристик електроприводу вентилятора.	20.05.2026
4	Розрахунок динамічних режимів електропривода вентилятора у розімкненій системі керування	22.05.2026
5	Розрахунок параметрів замкненої системи підпорядкованого керування електропривода вентилятора	25.05.2026
6	Розрахунок динамічних режимів регульованого електроприводу вентилятора у замкненій системі керування.	1.06.2026
7	Розрахунки системи електропостачання	05.06.2026
9	Оформлення пояснювальної записки та презентації випускної роботи. Перевірка на антиплагіат.	10.06.2026

Дата видачі завдання 05.05.2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Мусієнко О.А.

(підпис)(ПІБ)

Керівник роботи _____ Титюк В.К.

(підпис) (ПІБ)

ЗМІСТ

Реферат.....	5
Вступ	7
Розділ 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ УСТАНОВКИ ГОЛОВНОГО ПРОВІТРЮВАННЯ ШАХТИ «ПОКРОВСЬКА» ...	9
1.1 Характеристика відцентрового вентилятора ВЦ – 5 і вимоги до його електропривода.....	9
1.2 Вибір приводного електродвигуна	12
1.3 Загальні вимоги до електропривода вентилятора головного провітрювання	14
1.4 Обґрунтування і вибір системи електропривода	15
1.5 Вибір електрообладнання для силової частини електропривода	17
Висновки до розділу 1.....	20
Розділ 2 АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯТОРА ВЦ-5	21
2.1 Визначення параметрів схеми заміщення вентиляного двигуна.....	21
2.2 Розрахунок електромеханічних характеристик електроприводу вентилятора ВЦ-5.....	23
2.3 Розрахунок енергетичних характеристик електроприводу вентилятора ВЦ-5	24
2.4 Динамічні режими роботи електроприводу вентилятора ВЦ-5	26
2.5 Розробка заходів з енергозбереження електроприводом механізму....	33
Висновки до розділу 2.....	36
Розділ 3 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ГОЛОВНОЇ ВЕНТИЛЯТОРНОЇ УСТАНОВКИ ШАХТИ «ПОКРОВСЬКА».....	38
3.1 Технічні характеристики споживачів електроенергії.....	38
3.2 Визначення електричних навантажень та вибір силових трансформаторів.....	38
3.3 Розрахунок ліній електропостачання	42
3.4 Розрахунок струмів короткого замикання	43
3.5 Вибір високовольтного обладнання	47
3.6 Вибір обладнання низької напруги	50
Висновки до розділу 3	52
Висновки по роботі.....	53
Перелік використаних джерел.....	55

					КНУ РБ.141.26.249с.2.3М			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис		Зміст			
Розроб.		Мусієнко О.А.						
Перевір.		Титюк В.К.						
Реценз.								
Н. Контр.		Титюк В.К.						
Затверд.		Пересулько І.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів	
							4	
					ЕМ гр. ЗЕЕМ-22			

Реферат

55 сторінок, 4 таблиці, 19 рисунків, 8 джерел літератури.

Тема випускної роботи: Модернізація електромеханічного обладнання вентилятора шахтного провітрювання ВЦ – 5 в умовах шахти «Покровська» АТ «Кривбасзалізрудком».

Об'єктом дипломного проекту є електромеханічне обладнання вентилятора головного провітрювання ВЦ – 5 в умовах шахти «Покровська» АТ «Кривбасзалізрудком».

Мета проекту: Обґрунтування та розробка системи регульованого електропривода вентилятора головного провітрювання ВЦ – 5, що забезпечує покращення його техніко-економічних показників шляхом плавного запуску та економічного регулювання швидкості обертання вентилятора.

Рекомендовано до впровадження електропривод вентилятора головного провітрювання по системі «вентильний двигун». Виконано вибір основного електротехнічного обладнання, виконано розрахунки статичних та динамічних режимів роботи електропривода. Виконано розрахунок елементів системи електропостачання шахти «Покровська» АТ «Кривбасзалізрудком».

Ключові слова: вентилятор головного провітрювання, вентильний двигун, підпорядковане керування, статичні характеристики, математичне моделювання, електропостачання.

					КНУ РБ.141.26.249с.2.РФ						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Мусієнко О.А.			Реферат			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Титюк В.К.								5	
Реценз.								ЕМ гр. 3ЕЕМ-22			
Н. Контр.		Титюк В.К.									
Затверд.		Пересунько І.І.									

					Лист	
					6	
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис		КНУ РБ.141.26.249с.2.РФ	

Вступ

Шахта «Покровська» (м. Кривий Ріг), що є структурним підрозділом АТ «Кривбасзалізрудком» та входить до складу ГМК «УкрРудПром», це складний промисловий комплекс, який спеціалізується на видобутку залізної руди. Шахта «Покровська» – велике підприємство зі складною інфраструктурою, будівлі та споруди якого розкинулися на площі 595 гектарів.

Це одне з найбільших підприємств країни з підготовки сировини для металургійного комплексу України та країн Східної Європи.

Промисловий комплекс шахти має у своєму складі родовище підземного видобутку залізних руд, що переробляє цикл у складі дробильно – сортувальної фабрики, підрозділи технологічного автомобільного та залізничного транспорту, ремонтні цехи та інші структури, які забезпечують ритмічність роботи головних цехів.

Основна продукція ш. «Покровська» – мартенівська, кускова доменна і аглоруда (вміст заліза на рівні 57,8 – 62,5%). Середня продуктивність шахти за останні роки складає біля 2 млн. т руди.

Серед споживачів продукції ш. «Покровська» – металургійні підприємства Чехії, Словаччини, Польщі, Румунії, Дніпровський меткомбінат ім. Дзержинського (ДМК), ДМЗ ім. Петровського, меткомбінат «Запоріжсталь».

Підприємство знаходиться в стані безперервного розвитку: вводяться нові виробничі площі, підвищується використання існуючого обладнання, старі замінюється на нові більш продуктивні і потужні, змінюються технології.

					КНУ РБ.141.26.249с.2.ВС						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Мусієнко О.А.			Вступ			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Титюк В.К.								7	
Реценз.								ЕМ гр. 3ЕЕМ-22			
Н. Контр.		Титюк В.К.									
Затверд.		Пересунько І.І.									

«Вузьким місцем» підприємства залишаються важкі умови праці, низький рівень механізації, автоматизації. Для поліпшення ситуації на шахті діє програма оновлення та модернізації гірничо – транспортної техніки. Це дасть можливість збільшувати обсяги випуску продукції та підвищувати її якість.

Відомо, що видобуток руди шкодить навколишньому середовищу, тому завдання інженерів ш. «Покровська» – мінімізувати цю шкоду. Основними пилоутворювальними об'єктами на шахті є вентиляційні викиди шахт. Для локалізації пилу від них передбачені вентиляторні установки шахт «Нова – Південна» і «Нова – Північна», обладнані фільтрами для очищення повітря, що викидається.

Вентиляторні установки, які були введені в експлуатацію ще у 1961 році, потребують заходів по вдосконаленню і модернізації обладнання. Тому метою моєї роботи є впровадження на вентиляторні установки регульованого електропривода, що дозволить знизити невиправдану витрату електроенергії, збільшити строк служби установки, підвищити коефіцієнт корисної дії та забезпечити використання усіх можливих режимів роботи вентилятора.

					КНУ РБ.141.26.249с.2.ВС	Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			8

Розділ 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ УСТАНОВКИ ГОЛОВНОГО ПРОВІТРЮВАННЯ ШАХТИ «ПОКРОВСЬКА»

1.1 Характеристика відцентрового вентилятора ВЦ – 5 і вимоги до його електропривода

Шахтним провітрюванням називають процес з використанням стаціонарного шахтного обладнання (шахтних вентиляторів) для забезпечення обміну повітря у підземних горних виробітках. Процес провітрювання є важливою умовою безпечного виконання робіт людьми і обладнанням у підземних горних виробітках. Машини, за допомогою яких проводять провітрювання, називають вентиляторами. Найбільш поширеним типом вентиляторів для шахтного провітрювання є відцентрові вентилятори–машини для переміщення чистих газів і сумішей газів з мілкими твердими матеріалами, маючих ступінь підвищення тиску не більш як 1,2 при густині потоку $1,3 \text{ кг/м}^3$. Шахтний відцентровий вентилятор головного провітрювання ВЦ – 5 є надійно практичною машиною, що призначена для головного провітрювання шахт та рудників вугільної і горновидобувної промисловості. Вентилятори також можуть застосовуватися у системах вентиляції крупних підприємств металургійної, хімічної, текстильної і в інших галузях промисловості.

Відцентровий вентилятор (рис. 1.1) має ротор, що обертається, який складається з лопаток спіральної форми. Повітря через вихідний отвір засмоктується у ротор, де набуває обертового руху, і за рахунок відцентрових сил і спеціальної форми лопаток, направляється у вихідний отвір спеціального спірального кожуха.

					КНУ РБ.141.26.249с.2.01.P1							
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Мусієнко О.А.			Опис технологічного устаткування				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Титюк В.К.									9	
Реценз.									ЕМ гр. ЗЕЕМ-22			
Н. Контр.		Титюк В.К.										
Затверд.		Пересунько І.І.										

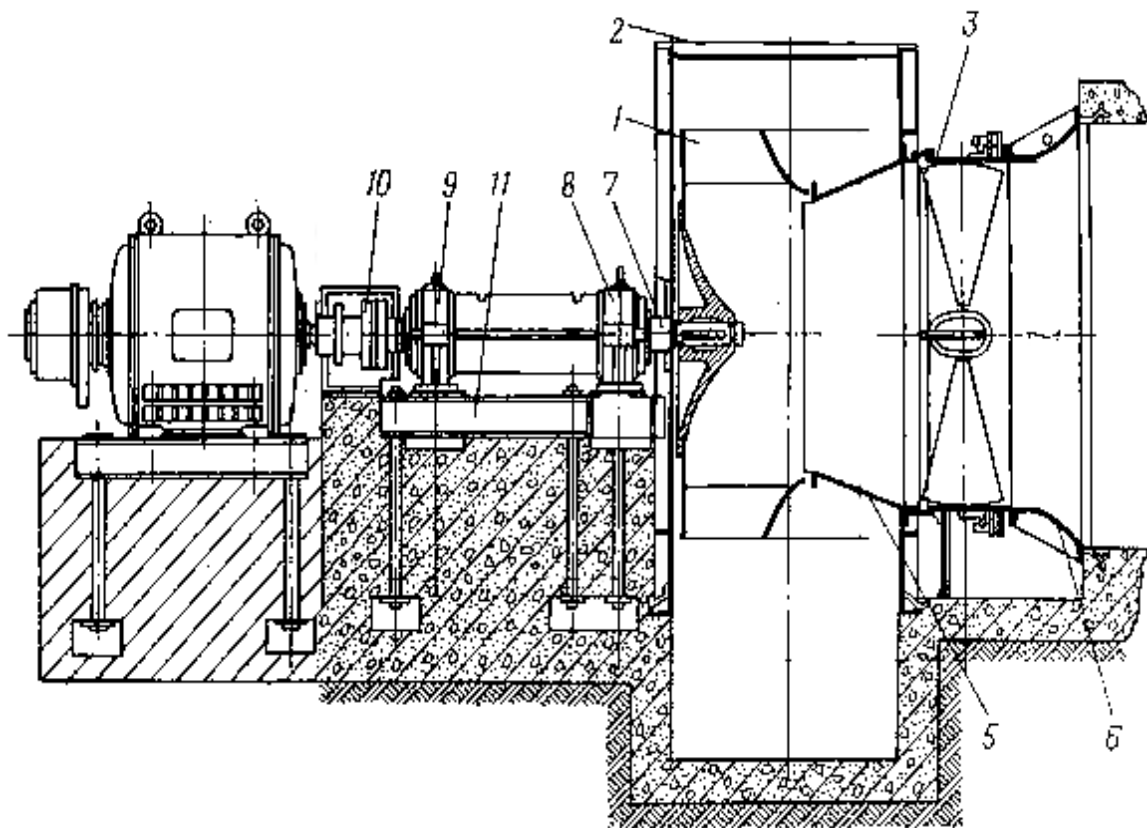


Рисунок 1.1 – Компонівка відцентрового вентилятора ВЦ – 5:

1 – робоче колесо; 2 – корпус; 3 – направляючий апарат; 4 – привод направляючого апарата; 5 – вхідний патрубок; 6 – колектор; 7 – головний вал; 8 – радіальний підшипник; 9 – радіально – опорний підшипник; 10 – муфта; 11 – рама

Таким чином, вихідний потік повітря знаходиться під прямим кутом до вхідного. Робоче колесо вентилятора складається з литої ступиці, яка жорстко закріплена з основним диском. Робочі лопатки закріплені до основного переднього диску, що забезпечує необхідну жорсткість лопатевої решітки. Корпус вентилятора кріпиться до литої або сварної станини, на якій розміщені підшипники несучого валу вентилятора з робочим колесом.

Технічні характеристики вентилятора ВЦ – 5:

					КНУ РБ.141.26.249с.2.01.P1	Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			10

Діаметр робочого колеса – 5000 мм;

Частота обертання – 300 об/хв.;

Продуктивність – 110 – 305 м³/с;

Тиск – 330 мм вод. ст.;

Число лопаток – 24;

ККД – 0,85.

На рис. 1.2 наведені аеродинамічні характеристики вентилятора ВЦ – 5.

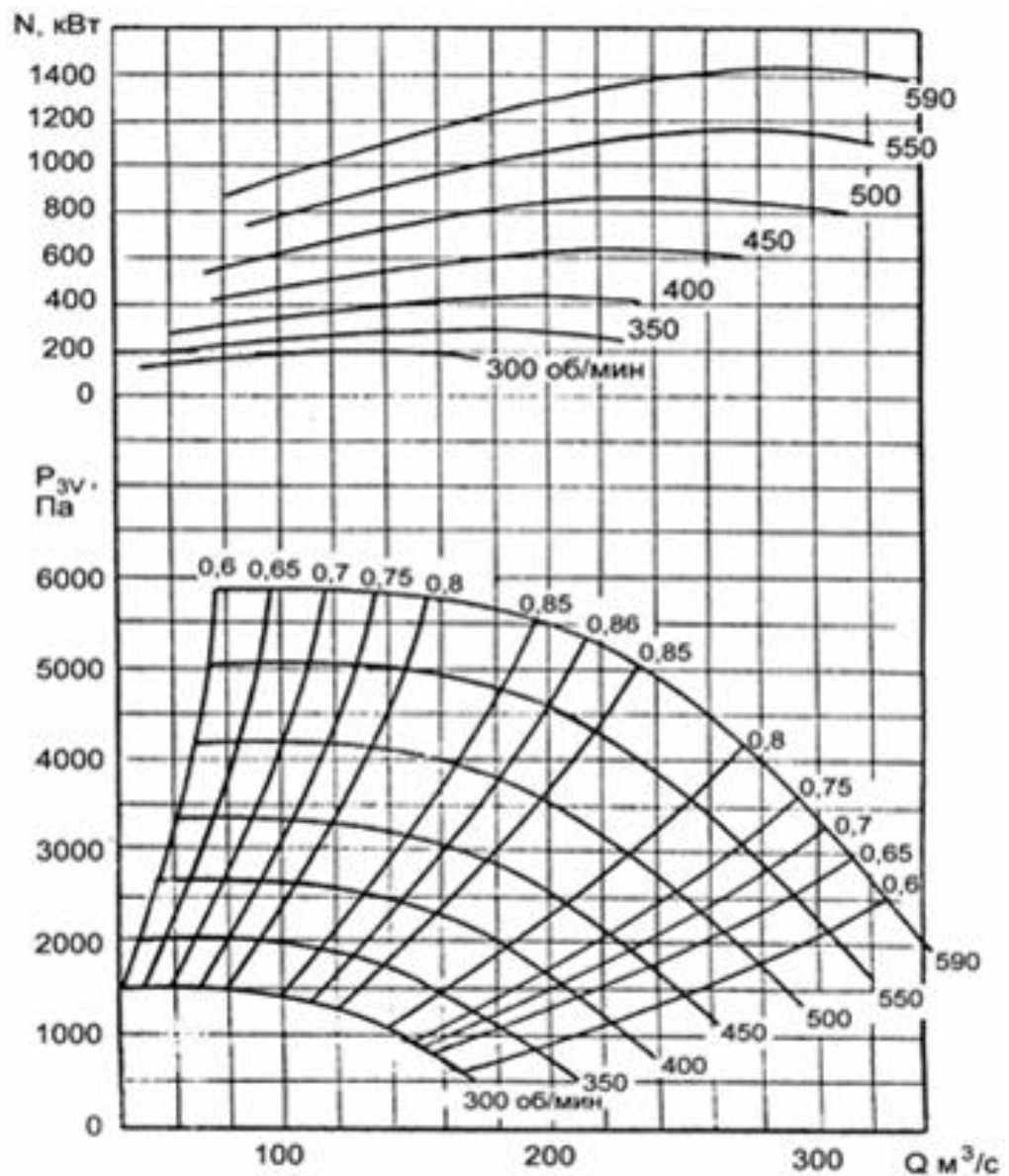


Рисунок 1.2 – Аеродинамічні характеристики відцентрового вентилятора ВЦ – 5

1.2 Вибір приводного електродвигуна

Потужність приводного двигуна:

$$P_{\text{роз}} = \frac{Q \cdot H}{\eta} \cdot 10^{-3}, \quad (1.2)$$

де Q – продуктивність вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$;

H – тиск вентилятора, Па;

η – ККД вентилятора.

$$P_{\text{роз}} = \frac{305 \cdot 3234}{0,85} \cdot 10^{-3} = 1160 \text{ кВт.}$$

Приводний двигун обираємо за умови:

$$P_{\text{дв}} \geq P_{\text{роз}}; \quad (1.2)$$

У якості приводного двигуна для вентилятора ВЦ – 5 використовується синхронний двигун типу СДМ5-1250-20-10 УХЛ4.

Двигуни спроектовані із застосуванням надійних сучасних електротехнічних і ізоляційних матеріалів і технологій, що дозволяють збільшити експлуатаційні властивості електродвигунів і надійність ізоляції їх обмоток, тим самим продовжуючи термін експлуатації двигуна.

Двигуни розраховані для роботи від мережі змінного струму частотою 50 Гц напругою 6000 В, в тривалому режимі S1 по ГОСТ 183, з коефіцієнтом потужності $\cos \varphi = 0,9$ (випереджаюче).

Конструктивне виконання двигунів за ступенем захисту корпусу - IP21 (ГОСТ17494); по кліматичному виконанню і категорії розміщення - УХЛ4 (ГОСТ 15150).

Охолодження двигунів здійснюється в режимі самовентиляції - ICA01 (ГОСТ 20459).

Навколишнє середовище невогнебезпечне, невибухонебезпечне, не містить агресивних газів і пари, відповідна типу атмосфери II по ГОСТ 15150. Концентрація інертного пилу - не більше 0,2 мг/м3.

					КНУ РБ.141.26.249с.2.01.P1	Лист
						12
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

Нагрівостійкість ізоляційних матеріалів обмотки статора і ротора двигунів - не нижче класу " F".

Збудження двигунів здійснюється від тиристорних збудників.

Конструктивне виконання двигунів за способом монтажу:

СДМ5-1250-20-10 УХЛ4 - на фундаментній плиті, з двома стояковий підшипниками ковзання з комбінованою мастилом, з двома підп'ятниками, на піднятих лапах, з одним фланцевим кінцем валу.

Технічні характеристики приводного двигуна СДМ5-1250-20-10 УХЛ4:

Активна потужність – 1250 кВт;

ККД – 0,948;

Частота обертання – 300 об/хв;

Напруга статора – 6 кВ;

Струм статора – 84,6 А;

Струм збудження – 175 А;

Напруга збудження – 95 В;

Кратність пускового струму – 7,0.

Кратність пускового моменту – 1,4.

Кратність максимального моменту – 2,4.

Коефіцієнт корисної дії - 94,8 %

Момент інерції ротора – 2270 кГм².

Момент інерції з механізмом – 7960 кГм².

Габаритні та приєднувальні розміри електродвигунів СДМ5 зображено на рис. 1.3.

					КНУ РБ.141.26.249с.2.01.Р1	Лист
						13
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

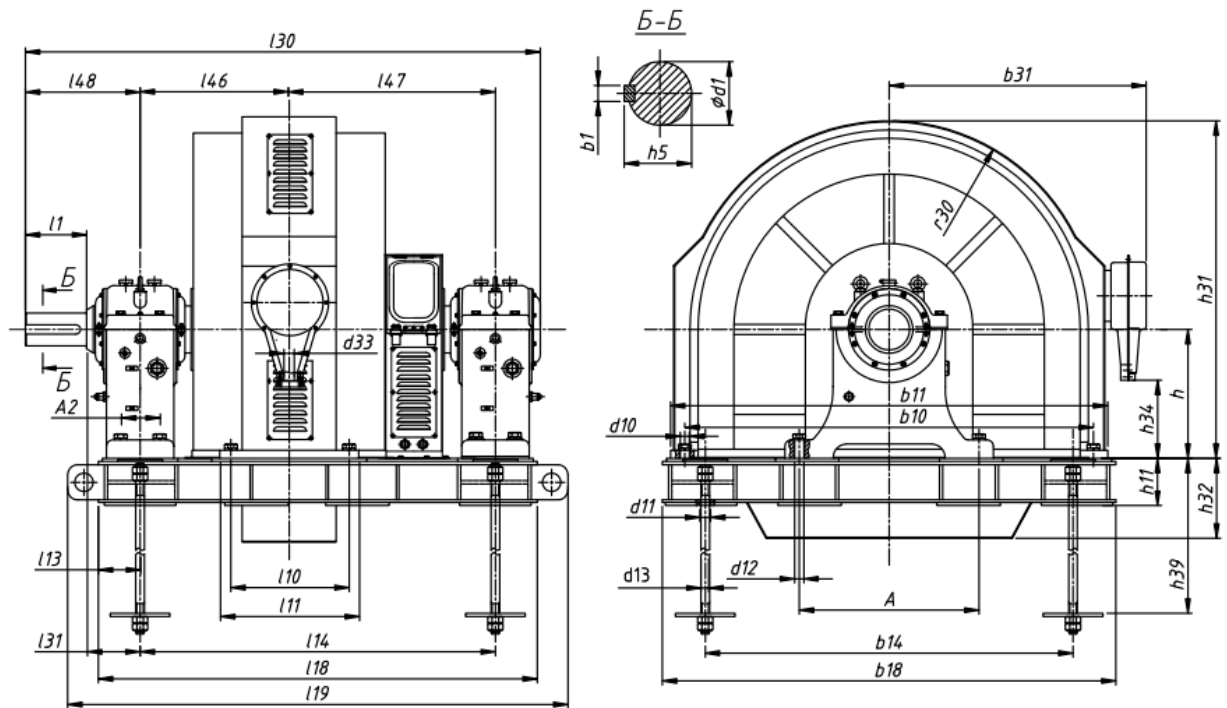


Рисунок 1.3 - Габаритні та приєднувальні розміри електродвигунів СДМ5

http://www.zzem.com.ua/img/UserFiles/synchronous_motors.pdf

1.3 Загальні вимоги до електропривода вентилятора головного провітрювання

Вентилятори – механізми з тривалим режимом роботи, з великим числом годин роботи в рік, навантаження на валу двигуна спокійне, без перевантажень. Швидкість обертання робочого колеса крупних вентиляторів не перевищує 600 об/хв. Вентилятори – механізми з великим маховими масами, що зумовлює особливості запуску і зупинки механізму. Навантаження на валу механізму носить чисто вентиляторний характер, тобто статичний момент опору на валу пропорційний квадрату швидкості. Важливою вимогою до електропривода є можливість регулювання швидкості обертання робочого колеса, внаслідок чого регулюється продуктивність машини, що дозволяє заощадити значну кількість електроенергії, збільшити строк служби установки, підвищити К.К.Д., спростити конструкцію машини (виключення направляючих апаратів), забезпечити паралельну роботу декількох вентиляторів. Необхідний діапазон регулювання швидкості вентиляторів не

перевищує 0,5, більш глибоке регулювання недоцільно, враховуючи кубічну залежність потужності, що споживається, від швидкості.

Можна виділити наступні причини застосування регульованого електропривода вентилятора, які пов'язані з технологічним процесом:

1) Розвиток системи гірничих виробок, що призводить до зменшення еквівалентного опору, тобто до підвищення опору шахтної вентиляційної мережі і необхідності підвищення напору вентилятора;

2) Перехід на новий горизонт розробки, що приводить до різкого збільшення еквівалентного опору;

3) Випадкові зміни еквівалентного опору внаслідок відкриття шахтних дверей тощо.;

4) Зміна газовиділення у шахті з причин геологічного характеру, зміни об'єму добутку копалин, технології очисних (вибухових) робіт;

5) Розпорядок робіт у шахті: перерва між змінами, ремонтні зміни. Для подібних випадків кількість повітря, що подається у шахту, можна значно змінити.

Привод вентилятора доцільно виконати нереверсивним, що можна пояснити неможливістю вентилятора (через особливості його конструкції) реверсувати потік повітря при реверсі електропривода.

Пуск в хід вентиляторів можна проводити як при розвантаженій машині (з закритим направляючим апаратом) так і за нормальної роботи на мережу. При цьому в першому випадку максимальний момент при пуску дорівнює 0,4 від номінального, а у другому – номінальному.

Електропривод вентиляторів вимагає високої економічності внаслідок безперервної роботи механізму на протязі великого відрізка часу.

1.4 Обґрунтування і вибір системи електропривода

Для привода вентиляторів великої потужності широко застосовується синхронний привод змінного струму.

					КНУ РБ.141.26.249с.2.01.Р1	Лист
						15
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

Синхронні двигуни застосовуються в регульованих електроприводах з тривалим режимом роботи із – за якісних енергетичних показників і високого коефіцієнту потужності. При необхідності регулювання швидкості обертання можна застосовувати керований перетворювач частоти.

Поряд з традиційним частотним керуванням, коли двигун отримує живлення від інвертора з незалежним завданням частоти, широко застосовується керування, що залежить від обертання ротора, коли частота вихідної напруги (струму) інвертора задається частотою обертання ротора за допомогою датчика положення ротора. Синхронний двигун з таким інвертором є оберненою машиною постійного струму, в якій нерухомий статор є якорем, а ротор – джерело магнітного поля. За такої схеми включення двигун називають «вентильним двигуном». В порівнянні з колекторними двигунами постійного струму він має кращі динамічні, габаритні і економічні характеристики, із – за відсутності колекторного вузла.

Принцип роботи ВД оснований на тому, що контролер ВД комутує обмотки статора так, щоб вектор магнітного поля статора завжди був перпендикулярний вектору магнітного поля ротора. Контролер управляє струмом, що протікає через обмотки ВД, тобто вектором магнітного поля статора, і таким чином регулюється момент, діючий на ротор ВД. Знак кута між векторами визначає напрям моменту, діючого на ротор.

Комутація проводиться так, що потік збудження ротора підтримується постійним щодо потоку якоря. В результаті взаємодії потоку якоря і збудження створюється обертовий момент M , який прагне розвернути ротор так, щоб потоки якоря і збудження збіглися, але при повороті ротора під дією датчика положення ротора відбувається перемикання обмоток і потік якоря повертається на наступний крок. В цьому випадку і результуючий вектор струму буде зрушений і нерухомий щодо потоку ротора, що і створює момент на валу двигуна.

В руховому режимі роботи МРС статора випереджає МРС ротора на кут

					КНУ РБ.141.26.249с.2.01.Р1	Лист
						16
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

90⁰ , який підтримується за допомогою ДПР. В гальмівному режимі МРС статора відстає від МРС ротора, кут 90⁰ так само підтримується за допомогою ДПР.

Система «вентильний двигун» передбачає:

- 1) регулювання частоти обертання двигуна у діапазоні 1:10;
- 2) тривалу роботу з усталеною частотою обертання у межах вказаного діапазону регулювання, стабілізацію частоти обертання з точністю, що визначається тахометричним приладом;
- 3) гальмування приводного двигуна з рекуперацією енергії у мережу, наприклад при зупинці механізму;
- 4) повторне включення електропривода при обертанні електродвигуна на вибіг у робочому діапазоні частоти обертання;
- 5) автоматичну синхронізацію приводного двигуна з мережею за принципом точної синхронізації;
- 6) обмеження струму і моменту двигуна в усталених і перехідних режимах.

Відцентровий вентилятор працює з постійною швидкістю, що дозволяє застосовувати електропривод без регулювання швидкості. Але для економії електроенергії доцільно знижувати продуктивність вентилятора, зменшивши швидкість його обертання.

Саме тому пропонується застосовувати систему вентильного двигуна, що дозволить при необхідності реалізувати регулювання швидкості обертання вентилятора, реалізувати гальмівні режими, синхронізувати роботу декількох вентиляторів.

1.5 Вибір електрообладнання для силової частини електропривода

1.5.1 Структурна схема силової частини електропривода «вентильний двигун»

Структурна схема силової частини електропривода по системі «вентильний двигун» наведена на рисунку 1.4 і має вигляд:

					КНУ РБ.141.26.249с.2.01.Р1	Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			17

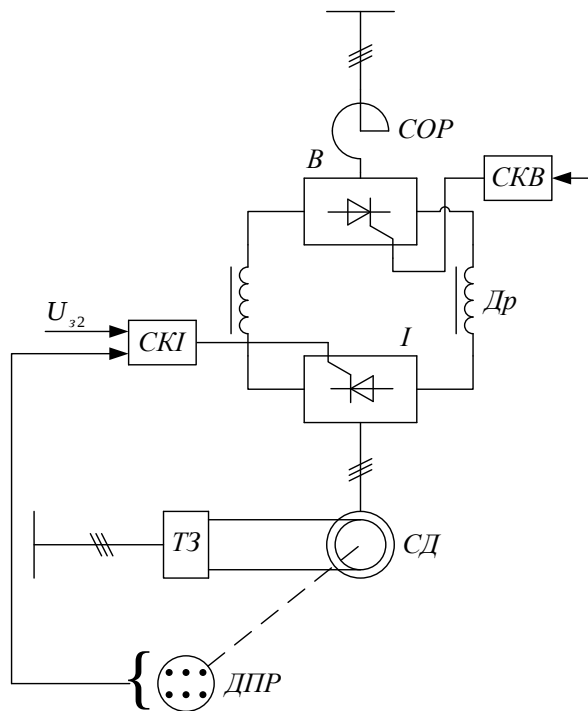


Рисунок 1.4 – Структурна схема силової частини вентильного двигуна

На рис.1.4 використано наступні позначення:

СКВ – система керування випрямлячем;

СОР – струмообмежуючий реактор;

В – випрямляч;

І – інвертор;

Др – згладжуючий дросель;

СКІ – система керування інвертором;

СД – синхронний двигун;

ТЗ – тиристорний збуджував;

ДПР – датчик положення ротора.

1.5.2 Вибір перетворювача частоти

Вибираємо перетворювач частоти за умовою:

$$I_{\text{вих}} \geq I_{\text{н}}, U_{\text{вих}} \geq U_{\text{н}}. \quad (1.3)$$

Згідно з цими умовами вибираємо перетворювач частоти СТА – В9.HVI:

напруга мережі – 6 кВ;

номінальний струм – 154 А;

діапазон регулювання частоти – 1:10.

Перетворювач частоти включає в себе випрямляч та інвертор, і забезпечує:

1) регулювання частоти обертання двигуна у діапазоні 1:10;

2) частотний пуск у два етапи: асинхронний і синхронний пуск з нерухомого стану до швидкості обертання, що відповідає 5 Гц, при струмі статора не більше подвоєного номінального; синхронний частотний пуск від 5 Гц до будь – якої заданої частоти обертання робочого діапазону;

3) тривалу роботу електродвигуна з усталеною частотою обертання у межах вказаного діапазона регулювання, стабілізацію усталеної частоти обертання з точністю $\pm 5\%$ без застосування тахометричного пристрою.

1.5.3 Вибір згладжуючого дроселя

Вибір дроселя проводимо виходячи з умови:

$$I_{\text{др.н.}} \geq I_{\text{н}} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}}; \quad (1.4)$$

Обираємо згладжуючий дросель ФРОС – 65/0,5УЗ:

номінальний струм – 250 А;

номінальна індуктивність – 1,5 мГн;

активний опір – 6,8 мОм.

1.5.4 Вибір струмообмежуючого реактора

Вибір проводимо виходячи з умови:

$$I_{\text{р}} \geq I_{\text{н}}; \quad (1.5)$$

Обираємо реактор РТСТ – 6 – 200 – 2,0УЗ:

напруга мережі – 6 кВ;

номінальний струм – 200 А;

реактивний опір – 2 Ом.

1.5.5 Вибір тиристорного збуджувача

Вибір проводимо виходячи з умов:

$$I_{\text{тз.н.}} \geq I_{\text{в.н.}}, U_{\text{тз.н.}} \geq U_{\text{в.н.}} \quad (1.6)$$

Обираємо тиристорний збуджував ВТЕ – 315/115Т – 6МУХЛ4:

номінальний випрямлений струм – 315 А;

номінальна випрямлена напруга – 115 В;

номінальна випрямлена потужність – 36,2 кВт;

ККД при номінальному навантаженні – 93,7%;

Висновки до розділу 1

У першому розділі наведено технічні характеристики електромеханічного об'єкту, були сформовані загальні вимоги до електроприводу вентилятора головного провітрювання і на їх основі було проведено обґрунтування та вибір системи електропривода. Для вентилятора ВЦ-5 виконано розрахунок потужності електроприводу, обрано синхронний двигун типу СДМ5-1250-20-10 УХЛ4 потужністю 1250 кВт. В якості системи електроприводу обрано електропривод по системі «вентильний двигун», яка дозволить при необхідності реалізувати регулювання швидкості обертання вентилятора, реалізувати гальмівні режими, синхронізувати роботу декількох вентиляторів.

Розроблено структурну схему силової частини електропривода, проведений вибір обладнання силової частини.

					КНУ РБ.141.26.249с.2.01.Р1	Лист
						20
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

Розділ 2 АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯТОРА ВЦ-5

2.1 Визначення параметрів схеми заміщення вентильного двигуна

Схема заміщення електропривода приведена на рисунку 2.1.

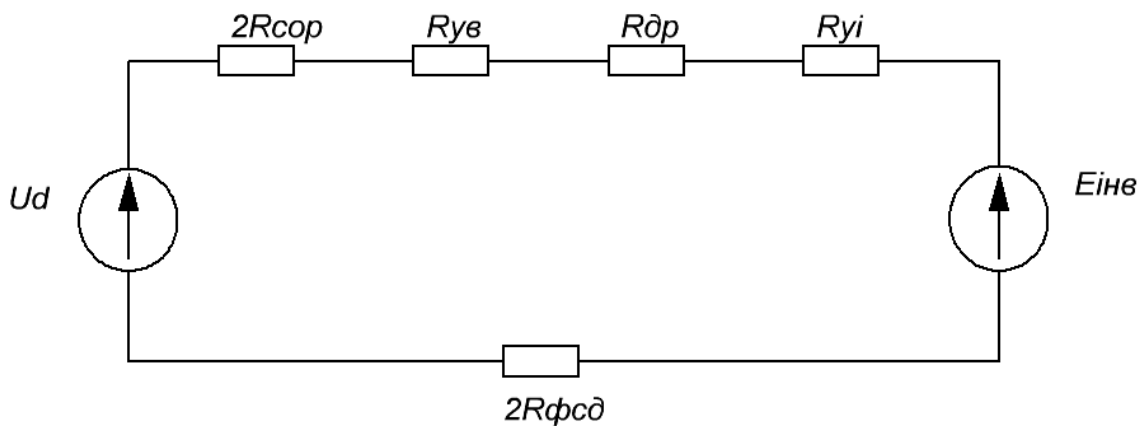


Рисунок 2.1 - Схема заміщення вентильного двигуна

На рис.2.1 позначено : R_{cor} – активний опір струмообмежуючого реактора; R_{yv} – комутаційний опір випрямляча; R_{yi} – комутаційний опір інвертора; R_{dr} – активний опір дроселя; $R_{фсд}$ – активний опір фази синхронного двигуна.

Розрахуємо параметри схеми заміщення.

Активний опір струмообмежуючого реактора:

$$R_{cor} = 0,01 \cdot X_{cor} = 0,01 \cdot 2 = 0,02 \text{ Ом}, \quad (2.1)$$

де X_{cor} – індуктивний опір струмообмежуючого реактора.

					КНУ РБ.141.26.249с.2.02.P2		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Режими роботи		
Розроб.		Мусієнко О.А.					
Перевір.		Титюк В.К.					
Реценз.							
Н. Контр.		Титюк В.К.					
Затверд.		Пересунько І.І.			ЕМ гр. 3ЕЕМ-22		
					Літ.	Арк.	Аркушів
						21	

Активний опір фази синхронного двигуна:

$$R_{\text{фсд}} = \frac{0,5 \cdot P_{\text{н}} \cdot (1 - \eta_{\text{н}})}{3 \cdot I_{\text{н}}^2}, \quad (2.2)$$

де $P_{\text{н}}$ – номінальна потужність двигуна;

$I_{\text{н}}$ – номінальний струм статора;

$\eta_{\text{н}}$ – номінальний ККД синхронного двигуна.

Тоді:

$$R_{\text{фсд}} = \frac{0,5 \cdot 1250 \cdot 10^3 \cdot (1 - 0,948)}{3 \cdot 84,6^2} = 1,5 \text{ Ом.}$$

Активний опір дроселя:

$$R_{\text{др}} = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.} \quad (2.3)$$

Комутаційний опір випрямляча:

$$R_{\gamma\text{в}} = \frac{m \cdot X_{\text{сop}}}{2 \cdot \pi}, \quad (2.4)$$

де m – кількість пульсацій ($m = 6$) для трифазної мостової схеми;

$X_{\text{сop}}$ – індуктивний опір струмообмежуючого реактора.

Тоді:

$$R_{\gamma\text{в}} = \frac{6 \cdot 2}{2 \cdot \pi} = 1,91 \text{ Ом.}$$

Комутаційний опір інвертора:

$$R_{\gamma\text{i}} = \frac{m \cdot X_{\text{с}}}{2 \cdot \pi} \cdot \nu, \quad (2.5)$$

де $X_{\text{с}}$ – сверхперехідний опір синхронного двигуна:

$$X_{\text{с}} = 1,25 \text{ Ом;} \quad (2.6)$$

ν – відносна частота обертання ротора вентильного двигуна:

$$\nu = \frac{\omega}{\omega_0}, \quad (2.7)$$

де ω – робоча швидкість двигуна;

ω_0 – синхронна швидкість двигуна.

Тоді отримуємо:

$$R_{\gamma i} = \frac{6 \cdot 1,25}{2 \cdot \pi} \cdot v = 1,19 \cdot v. \quad (2.8)$$

Напруга на виході випрямляча:

$$U_d = K_{cx} \cdot U_c \cdot \cos \alpha, \quad (2.9)$$

де U_c – напруга мережі;

$K_{cx} = 1.35$ – коефіцієнт мостової схеми.

Тоді:

$$U_d = 1,35 \cdot 6000 \cdot \cos \alpha = 8100 \cdot \cos \alpha. \quad (2.10)$$

Знайдемо ЕРС інвертора:

$$E_{инв} = K_{cx} \cdot E_{ст.сд} \cdot \cos \beta, \quad (2.11)$$

де $E_{ст.сд}$ – ЕРС фази статора синхронного двигуна (при номінальному струмі збудження):

$$E_{ст.сд} = E_{ст.сд.н} \cdot \hat{i}_B \cdot v = 6900 \cdot v, \quad (2.12)$$

$$\text{де } \hat{i}_B = \frac{i_B}{i_{BH}} = 1; \quad (2.13)$$

$$E_{ст.сд.н} = 1,15 \cdot U_H = 1,15 \cdot 6000 = 6900 \text{ В}. \quad (2.14)$$

Тоді ЕРС інвертора:

$$E_{инв} = 1,35 \cdot 6900 \cdot v \cdot \cos \beta = 9315 \cdot v \cdot \cos \beta. \quad (2.15)$$

2.2 Розрахунок електромеханічних характеристик електроприводу вентилятора ВЦ-5

Запишемо вираз для швидкісної характеристики:

$$v = \frac{U_{dmax} \cdot \cos \alpha - I_d \cdot R_{\gamma B} - 2 \cdot I_d \cdot (R_{др} + R_{фсд} + R_{сop})}{K_{cx} \cdot E_{ст.сд} \cdot \cos \beta + I_d \cdot \frac{m \cdot X_{сop}}{2 \cdot \pi}} \quad (2.16)$$

де α – кут керування випрямлячем; β – кут керування інвертором.

Електромеханічні характеристики вентильного двигуна у першій і другій зонах керування приведено на рисунках 2.2.

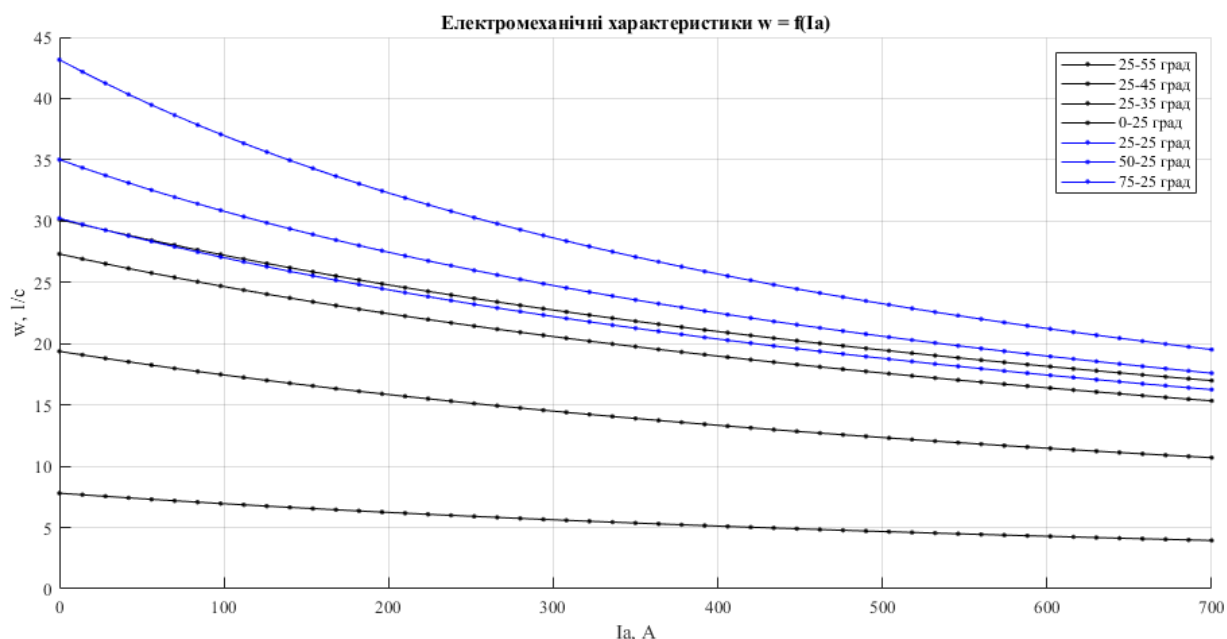


Рисунок 2.2 - Електромеханічні характеристики вентилювального двигуна у першій і другій зонах керування (відповідно чорний та синій кольори)

2.3 Розрахунок енергетичних характеристик електроприводу вентилюватора ВЦ-5

Визначаємо ККД за формулою:

$$\eta = \frac{M \cdot \omega}{M \cdot \omega + \Delta P_c + \Delta P_v}, \quad (2.20)$$

де ΔP_c – постійні втрати:

$$\begin{aligned} \Delta P_c &= P_H \cdot \frac{1 - \eta_H}{\eta_H} - 3 \cdot I_H^2 \cdot R_{фсд} = 1250 \cdot 10^3 \cdot \frac{1 - 0.914}{0.914} - 3 \cdot 146.221^2 \cdot 0.838 \\ &= 63860 \text{ Вт}; \end{aligned} \quad (2.21)$$

ΔP_v – змінні втрати:

$$\Delta P_v = 2 \cdot I_d^2 \cdot (R_{др} + R_{фсд} + R_{сop}) = 1.73 \cdot I_d^2. \quad (2.22)$$

Визначаємо коефіцієнт потужності:

$$K_M = K_B \cdot K_3, \quad (2.23)$$

де $K_B = 0.955$ – коефіцієнт викривлення;

$$K_3 = \cos\left(\alpha + \frac{\gamma}{2}\right) - \text{коефіцієнт зсуву}, \quad (2.24)$$

$$\text{де кут комутації } \gamma = \arccos\left(\cos\alpha - \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot I_d \cdot X_{\text{сop}}}{U_L}\right) - \alpha \quad (2.25)$$

Енергетичні характеристики вентильного двигуна наведено на рис. 2.3 та 2.4.

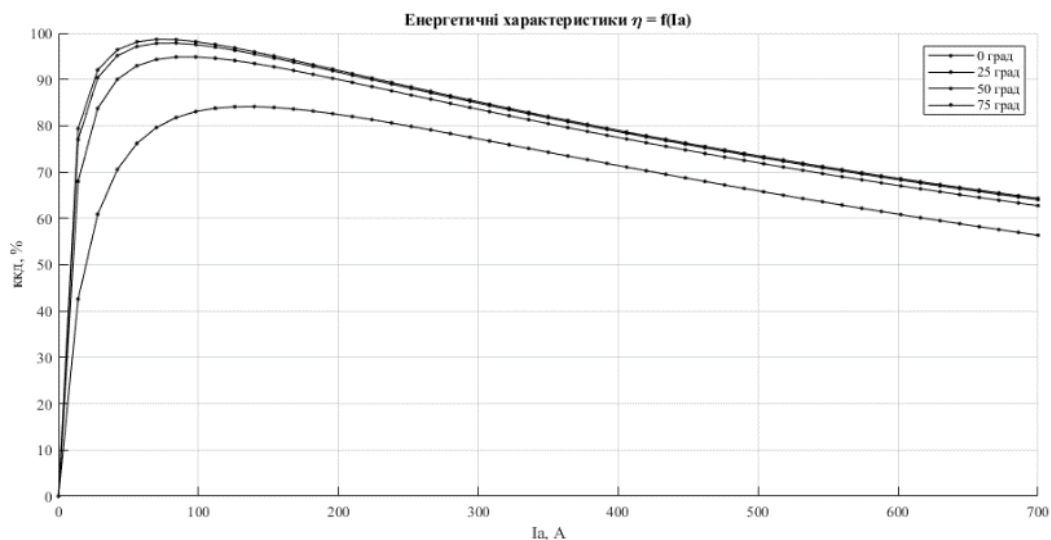


Рисунок 2.3 – Залежність ККД вентильного двигуна від струсу в ланці постійного струму при регулюванні кутової швидкості

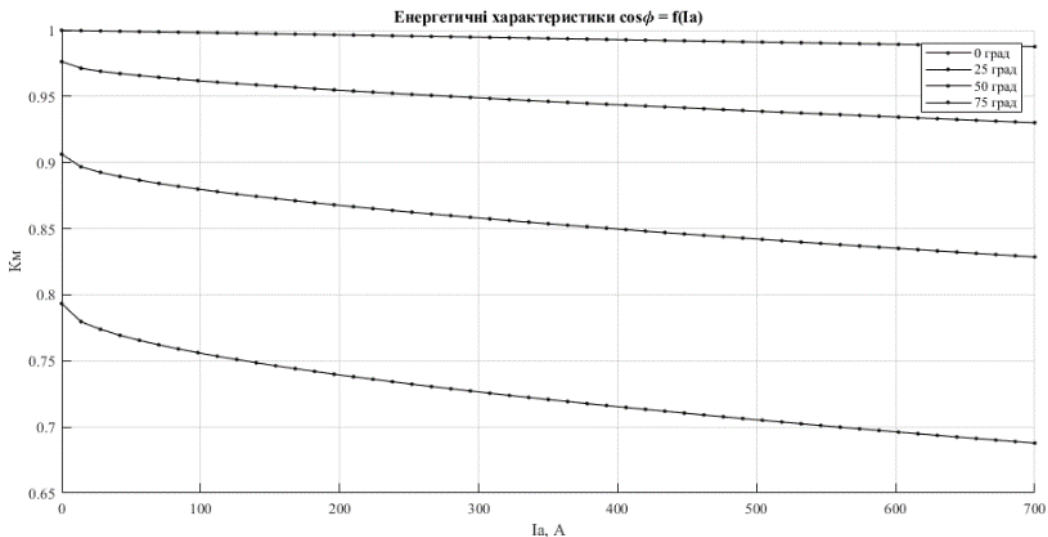


Рисунок 2.4 – Залежність мережевого коефіцієнту потужності вентильного двигуна від струсу в ланці постійного струму при регулюванні кутової швидкості

2.4 Динамічні режими роботи електроприводу вентилятора ВЦ-5

2.4.1 Розрахунок розімкненої системи керування електроприводом

Для розрахунків використаємо узагальнену структурну схему по постійному струму, котра при певних допущеннях буде справедливою для більшості систем електроприводу, в тому числі і для вентильного двигуна.

Розрахунки будемо проводити для розімкненої системи, тому структурну схему вентильного двигуна можна спростити до вигляду, рис.2.5:

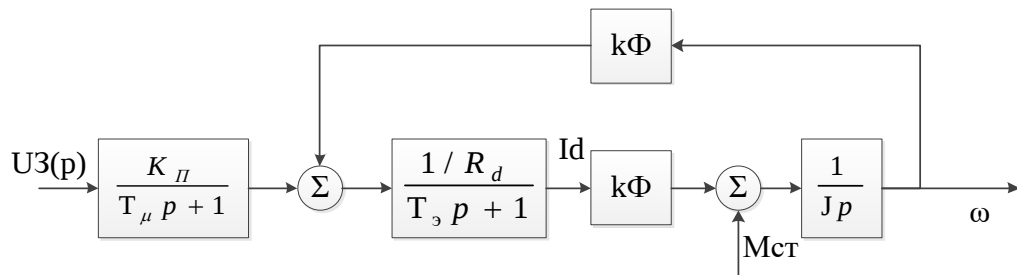


Рисунок 2.5. Лінеаризована структурна схема системи електропривода «вентильний двигун».

Коефіцієнт підсилення перетворювача:

$$K_1 = \frac{U_H}{U_{3 \max}} = \frac{6000}{10} = 600. \quad (2.26)$$

Коефіцієнт моменту двигуна:

$$K_2 = \frac{1.35 \cdot E_{\text{ст.сд}}}{\omega_c \cdot \cos \beta_i} = \frac{1.35 \cdot 6900}{31.4 \cdot \cos (25)} = 327.3. \quad (2.27)$$

Коефіцієнт ЕДС:

$$K_4 = K_2 = 327.3. \quad (2.28)$$

Постійна часу перетворювача:

$$T_1 = 0.01 \text{ с} \quad (2.29)$$

Електромагнітна постійна часу визначається за формулою:

$$T_E = \frac{L_\Sigma}{R_\Sigma} = \frac{2 \cdot L_{\text{ст}} + L_{\text{др}} + L_{\text{кор}}}{R_{\text{др}} + 2 \cdot R_{\text{фст}} + 2 \cdot R_{\text{кор}} + R_{\gamma \text{в}} + R_{\gamma \text{і}}}, \quad (2.30)$$

де $L_{\text{сop}} = \frac{X_{\text{сop}}}{2 \cdot \pi \cdot f_c} = \frac{2}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.0064 \text{ Гн}$ – індуктивність струмообмежуючого реактора; (2.31)

$$L_{\text{ст}} = \frac{X_{\text{ст}}}{2 \cdot \pi \cdot f_c} - \text{індуктивність фази статора.} \quad (2.32)$$

Визначимо індуктивний опір статора:

$$X_{\text{ст}} = \sqrt{Z_{k1}^2 - (R_{\text{фсд}} + r'_{21})^2}, \quad (2.33)$$

де $Z_{k1} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot k_i \cdot I_H} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 2.2 \cdot 146.221} = 10.769 \text{ Ом}$ – повний опір двигуна при нерухомому роторі ($k_i = 2.2$ – кратність пускового струму);(2.34)

$$r'_{21} = \frac{(P_H + \Delta P_{\text{мех}}) \cdot \lambda_m}{3 \cdot (1 - s_H) \cdot k_i^2 \cdot I_H^2} - \text{приведений активний опір ротора,} \quad (2.35)$$

де $\Delta P_{\text{мех}} = 0.01 \cdot P_H = 0.01 \cdot 1250 \cdot 10^3 = 12.5 \text{ кВт}$ – механічні втрати потужності;(2.36)

$\lambda_m = 6$ – кратність пускового моменту; (2.37)

$s_{\text{ном}} = 0$ – ковзання СД. (2.38)

Тоді:

$$r'_{21} = \frac{(1250 + 12.5) \cdot 6 \cdot 10^3}{3 \cdot 2.2^2 \cdot 146.221^2} = 2.44 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір статора:

$$X_{\text{ст}} = \sqrt{10.769^2 - (0.838 + 2.44)^2} = 10.258 \text{ Ом.}$$

Індуктивність фази статора:

$$L_{\text{ст}} = \frac{10.258}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.033 \text{ Гн.}$$

Сумарний активний опір системи:

$$\begin{aligned} R_{\Sigma} &= R_{\text{др}} + 2 \cdot R_{\text{фсд}} + 2 \cdot R_{\text{сop}} + R_{\gamma_B} + R_{\gamma_i} = \\ &= 6.8 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0.838 + 2 \cdot 0.02 + 1.91 + 3.77 = 7.4 \text{ Ом.} \end{aligned} \quad (2.39)$$

Тоді електромагнітна постійна часу:

$$T_E = \frac{L_\Sigma}{R_\Sigma} = \frac{2 \cdot L_{\text{ст}} + L_{\text{др}} + L_{\text{кор}}}{R_{\text{др}} + 2 \cdot R_{\text{фст}} + 2 \cdot R_{\text{кор}} + R_{\gamma\text{в}} + R_{\gamma\text{i}}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 0.033 + 1.5 \cdot 10^{-3} + 0.0064}{7.4} = 0.01 \text{ с.} \quad (2.40)$$

Розрахуємо момент інерції двигуна:

$$J_{\text{дв}} = 20500 \cdot \frac{P_H^{1.26}}{n_H^2} = 20500 \cdot \frac{1250^{1.26}}{300^2} = 1818 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (2.41)$$

Механічна постійна часу визначається за формулою:

$$T_M = \frac{(J_{\text{дв}} + J_{\text{вент}}) \cdot R_A}{k\Phi^2}, \quad (2.42)$$

де момент інерції вентилятора $J_{\text{вент}} \approx 4J_{\text{дв}} = 4 \cdot 1818 = 7272 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ (2.43)

$$K\Phi = \frac{U_H - I_H \cdot R_\Sigma}{\omega_H} = \frac{6000 \cdot 146.221 \cdot 7.4}{31.4} = 156.6. \quad (2.44)$$

Отримаємо:

$$T_M = \frac{(1818 + 7272) \cdot 7.4}{156.6^2} = 2.75 \text{ с.}$$

Схема симуляційної моделі вентильного двигуна з урахуванням вентиляторного типу моменту опору приведена на рис. 2.6.

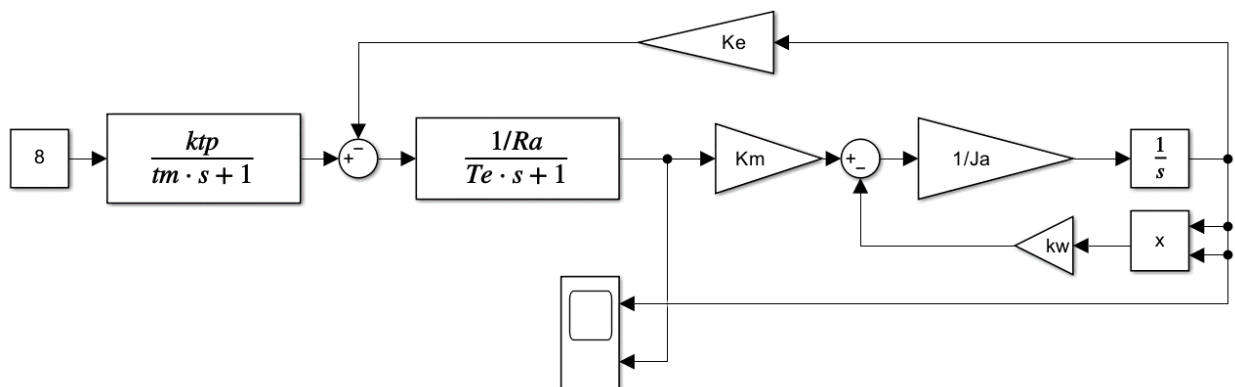


Рисунок 2.6 – Симуляційна модель для розрахунку перехідних процесів вентильного двигуна в розімкненій системі керування

На рис.2.7 зображено перехідний процес прямого пуску вентильного двигуна вентилятора ВЦ-5 з урахуванням вентиляторного моменту навантаження.

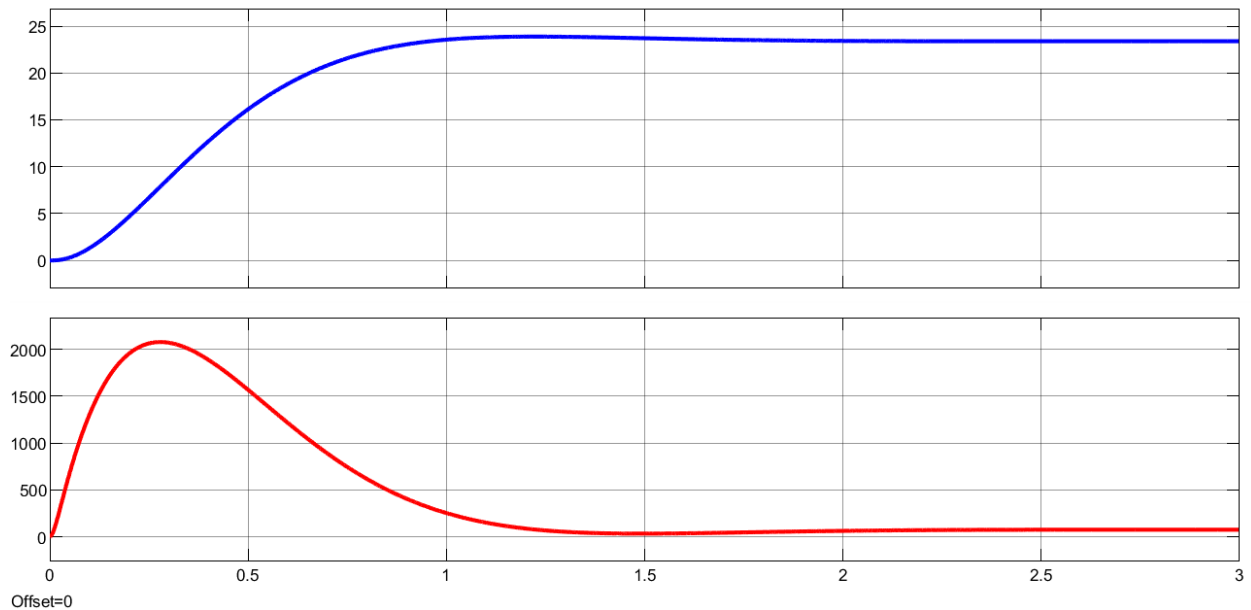


Рисунок 2.7 - Перехідні процеси за кутовою швидкістю та струмом при прямому пуску вентильного двигуна вентилятора ВЦ-5 з урахуванням вентиляторного моменту навантаження

Прямий пуск вентилятора супроводжується значними пусковими струмами, що негативно впливатиме на роботу мережі електропостачання та на роботу напівпровідникового перетворювача.

Для зменшення пускових струмів використаємо замкнену систему керування кутовою швидкістю вентилятора зі струмообмеженням на допустимому рівні.

2.4.2 Розрахунок замкненої системи з підпорядкованим керуванням

При розрахунку регулятора струму нехтують зворотнім зв'язком за е.р.с.

Контур струму двигуна налагоджується на модульний оптимум (МО), через що передавальна функція регулятора струму визначається:

$$W_{pc}(p) = \frac{R_{\Sigma}(T_e p + 1)}{2T_k p k_k k_{dc}} = \frac{7.4 \cdot (0.01 \cdot p + 1)}{2 \cdot 0.001 \cdot 600 \cdot 0.034 \cdot p} = \frac{0.074 \cdot p + 7.4}{0.041 \cdot p}, \quad (2.45)$$

де R_{Σ}, T_e – опір і стала часу якірного кола двигуна;

T_k – некомпенсована стала часу;

k_k – коефіцієнт передачі об'єкту регулювання;

k_{dc} – коефіцієнт датчика струму.

ПІ – регулятор, приведений на рис. 2.8, має елементи: R_{zc} – вхідний опір регулятора по завданню струму каналу, R_c – вхідний опір регулятора по зворотному зв'язку струму, C_{zc} – ємність регулятора по зворотному зв'язку струму.

Приймаючи $C_{zc} = 0,5 - 5$ мкФ, можна знайти:

$$R_{zc} = \frac{T_e}{C_{zc}} = \frac{0.01}{0.5 \cdot 10^{-6}} = 20000 \text{ Ом}. \quad (2.46)$$

Вхідні опори регулятора струму по завданню і зворотньому зв'язку визначаються:

$$R_c = \frac{2T_k k_k k_{dc} R_{zc}}{R_{\Sigma} T_e} = \frac{2 \cdot 0.001600 \cdot 0.034 \cdot 2000}{7.4 \cdot 0.01} = 11030 \text{ Ом}. \quad (2.47)$$

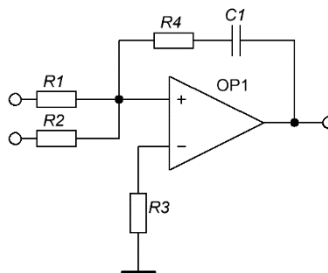


Рисунок 2.8 – Принципова схема аналогового регулятора струму

Для подальших розрахунків передавальна функція замкненого контуру струму приймається у вигляді:

$$W_{kc}(p) = \frac{1}{(2T_k p + 1)k_{dc}} = \frac{1}{(T_c p + 1)k_{dc}} = \frac{1}{(0.002p + 1) \cdot 0.034}, \quad (2.48)$$

де $T_c = 2 \cdot T_k$ – стала часу контуру струму.

Передавальна функція регулятора швидкості для симетричного оптимуму визначається:

$$W_{pш}(p) = \frac{T_M k_{дс} k_{\Phi}}{2 T_c R_{\Sigma} k_{дш}} \cdot \frac{4 T_c p + 1}{4 T_c p} = \frac{R_{ззш}}{R_{зш}} \cdot \frac{4 T_c p + 1}{4 T_c p} = \frac{2000}{1103} \cdot \frac{4 \cdot 0.002 p + 1}{4 \cdot 0.002 p} = \frac{16 p + 2000}{8.824 p}.$$

Схема ПІ – регулятора швидкості приведена на рисунку 2.9.

При розрахунку, приймаючи $C_{ззш} = 0,5 - 5$ мкФ, знаходимо вхідні опори регулятора швидкості:

$$R_{зш} = \frac{8 T_c^2 R_{\Sigma} k_{дш}}{C_{ззш} T_M k_{дс} k_{\Phi}} = \frac{8 \cdot 0.002^2 \cdot 7.4 \cdot 0.318}{0.5 \cdot 10^{-6} \cdot 0.371 \cdot 0.034 \cdot 156.6} = 76.242 \text{ Ом.} \quad (2.49)$$

Потім визначаємо опір зворотного зв'язку регулятора:

$$R_{ззш} = \frac{4 T_c}{C_{ззш}} = \frac{4 \cdot 0.002}{0.5 \cdot 10^{-6}} = 160000 \text{ Ом.} \quad (2.50)$$

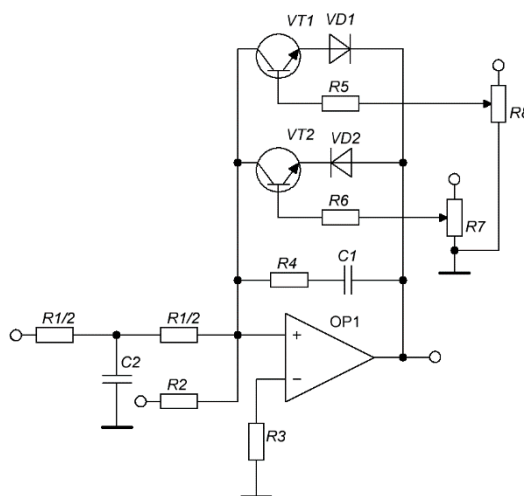


Рисунок 2.9 – Принципова схема аналогового регулятора швидкості

На вхід завдання регулятора швидкості для зменшення перерегулювання необхідно включити фільтр з передавальною функцією:

$$W_{фзш}(p) = \frac{1}{4 \cdot T_c \cdot p + 1} = \frac{1}{0.008 \cdot p + 1}. \quad (2.51)$$

У системі підпорядкованого регулювання обмежують вихідний сигнал регулятора швидкості на необхідному рівні. У результаті цього при зростанні сигналу $U_{вх}$ вище напруги пробою напруга $U_{вих}$ не змінюється. Саме таким чином реалізується обмеження струму на необхідному рівні. В нашому випадку струм обмежується на рівні $2 \cdot I_{НОМ}$.

Симуляційна модель електропривода з двоконтурною системою підлеглого керування зображена на рисунку 2.10.

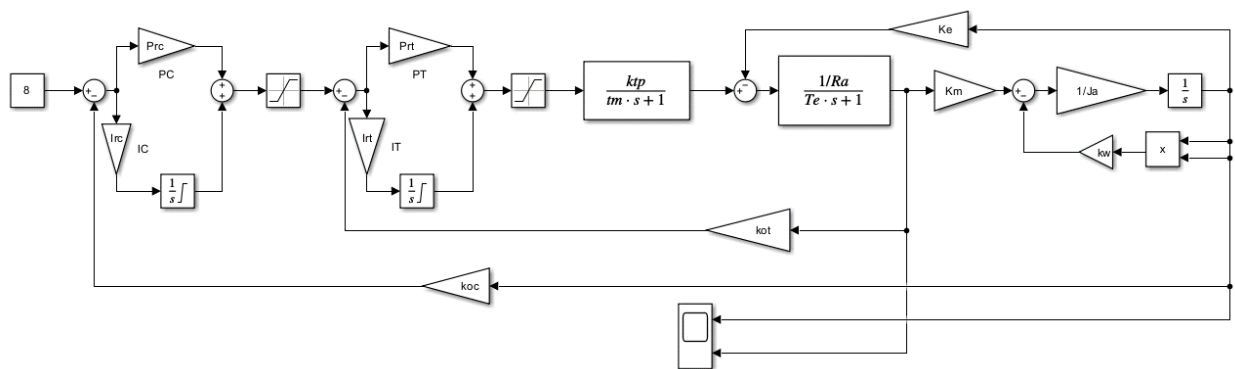


Рисунок 2.10 – Симуляційна модель для розрахунку перехідних процесів вентильного двигуна в замкненій двохконтурній системі підлеглого керування

На рис.2.11 зображено перехідний процес пуску вентильного двигуна вентилятора ВЦ-5 х в замкненій системі підпорядкованого керування урахуванням вентиляторного моменту навантаження та обмеженням струму на рівні $2 \cdot I_{НОМ}$.

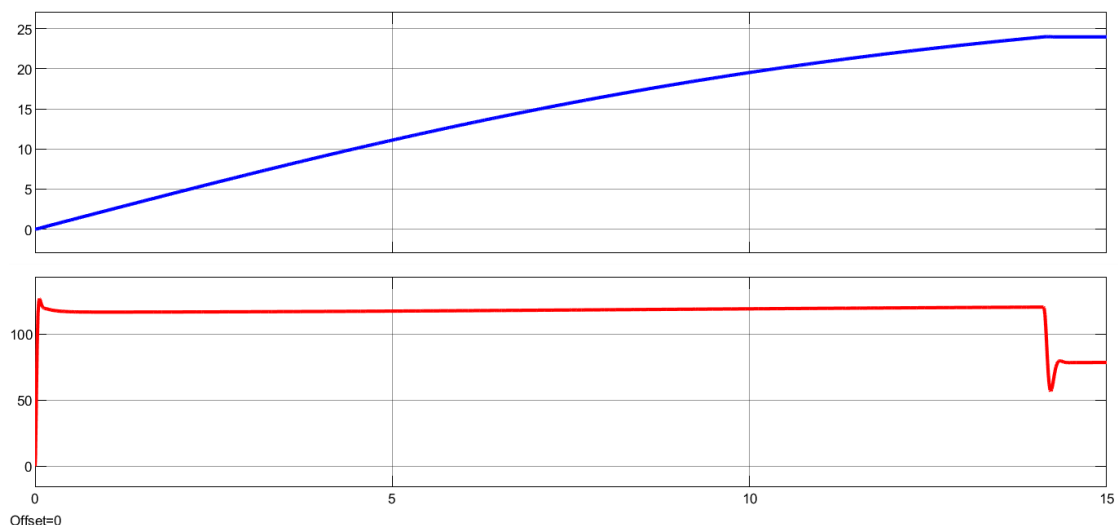


Рисунок 2.11 - Перехідний процес пуску вентиляного двигуна
вентилятора ВЦ-5 х в замкненій системі підлеглого керування

2.5 Розробка заходів з енергозбереження електроприводом механізму

Більшість електродвигунів працюють в нерегульованому режимі, а отже з низькою ефективністю. Тому в даний час особливого значення набувають питання розробки і широкого впровадження методів і способів управління енергоефективністю (енергозбереженням) засобами промислового електропривода, тому що з одного боку стала гострою проблема економії електроенергії, а з іншого – з'явилася реальна можливість її ефективного вирішення стосовно до головного її споживача електропривода. Ефективність енергозберігаючих заходів споживачів електроенергії може бути значно вище, тому що більше 90% виробленої енергії споживається системами електроприводу, електротехнологічними і освітлювальними установками. Найбільші резерви енергозбереження закладені в удосконаленні електроприводу, на частку якого припадає близько 60% всієї споживаної електроенергії.

Сумарна встановлена потужність приводних двигунів вентиляторів, компресорів, насосів складає близько 20% від потужності всіх електростанцій України, при цьому тільки вентилятори споживають близько 10% від усієї енергії.

Обстеження Криворізького басейну показали, що більшість вентиляційних установок шахт мають ККД значно нижче норми (0,6, а в деяких 0,3 ... 0,4). Тільки 22% вентиляторів працюють в зоні економічного використання. Фактично питомі витрати потужності в 1,5...2 рази перевищують допустиму величину, а загальна вартість перевитрати електроенергії приводами головних вентиляторів становить четверту частину витрати електроенергії всіма установками за рік.

Шляхами економії електроенергії в вентиляторних установках є: узгодження режиму роботи вентилятора з характеристикою вентиляційної мережі, підвищення ККД вентиляційної мережі, підвищення експлуатаційного ККД вентиляторних установок, регулювання продуктивності вентиляторних установок.

Регулювання продуктивності вентиляторних установок може здійснюватися аеродинамічними способами і зміною частоти обертання робочого колеса вентилятора за допомогою регульованого електроприводу. Найбільш перспективним є регулювання зміною швидкості обертання робочого колеса. Області економічної роботи відцентрових і осьових вентиляторів в залежності від способу регулювання представлені на рисунку 2.12: 1 – ВЦД-3,5 і 2 – ВЦД-32 – регулювання напрямним апаратом;

3 – ВОД -30 – регулювання напрямних апаратом і поворотом лопаток колеса;

4 – ВЦД-32 – регулювання швидкості обертання за допомогою регульованого електроприводу.

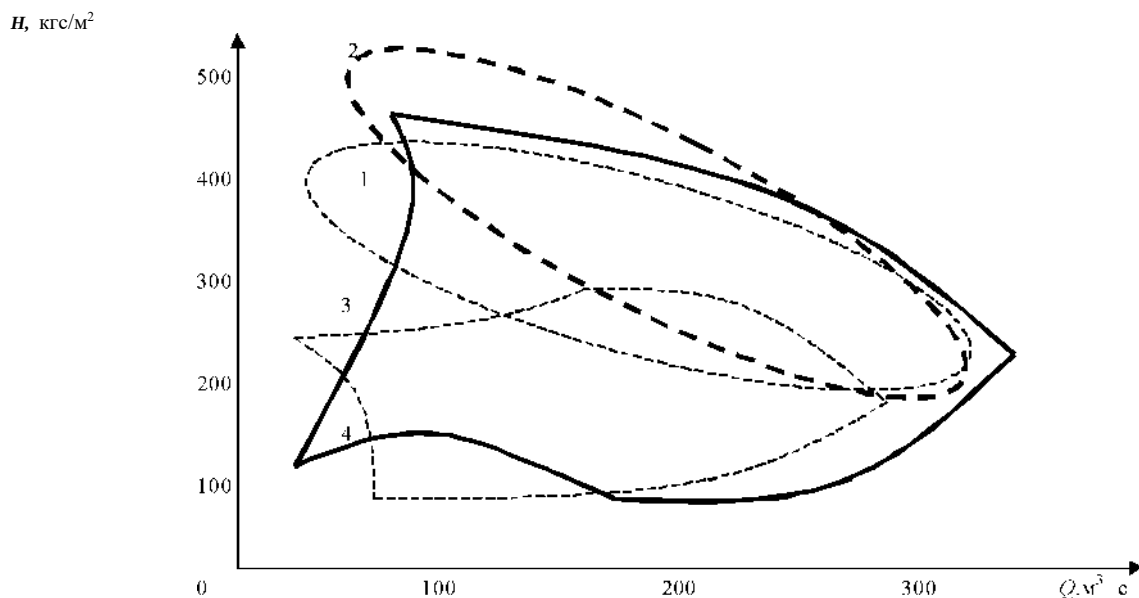


Рисунок 2.12 – Области економічної роботи вентиляторів

З рисунку 2.12 видно, що найбільша зона економічної роботи у відцентрового вентилятора з регулюванням швидкості роботи. Розширення зони економічної роботи дозволяє з більшою ймовірністю забезпечити економічність знову проєктованої або підвищити ККД діючої установки. Сформовані традиції застосування синхронних двигунів для потужних турбомеханізмів з метою підтримки високих загальношахтних енергетичних показників при мінімальних витратах і вимоги регулювання продуктивності зміною частоти обертання робочого колеса свідчать про актуальність використання регульованого безколекторного приводу змінного струму з СД.

Одним з найбільш перспективних і універсальних типів електроприводів з синхронними машинами є безколекторний або безконтактний вентильний двигун, в якому регулювання швидкості і моменту здійснюється підводимою напругою, струмом збудження і кутом випередження включення вентилів при самоврядуванні за частотою живлення. Він має регульовальні якості машин постійного струму і надійність систем змінного струму.

ВД не поступається приводу постійного струму, вигідно відрізняючись від нього практично необмеженим діапазоном потужностей і частот обертання, більшою надійністю і простотою. Використання ВД відкриває нові можливості в області пуску надпотужних синхронних машин і створення низько і високошвидкісних безредукторних регульованих приводів великої потужності.

Основною складовою частиною ВД є синхронна машина, що володіє більш високими енергетичними показниками, ніж інші машини. Вона характеризується високим ККД, можливістю роботи з випереджаючим коефіцієнтом потужності, високою надійністю по мірі більшої величини повітряного зазору, пропорційною залежністю статичної перевантажувальної здатності від напруги живлення.

Надійність звичайного СД вище надійності будь – якої іншої машини, а за вартістю вона поступається тільки асинхронній з короткозамкненим

ротором. Безконтактність СД забезпечується як звичайним способом (за допомогою безщіточних систем збудження з обертовими випрямлячами), так і новими (застосуванням постійних магнітів на роторі, а також застосуванням кігтеподібного ротора і обмотки збудження на статорі і т.д.).

До перетворювачів ВД не пред'являється особливих вимог до динамічних властивостей тиристорів. Використання машинної комутації (за рахунок ЕРС синхронного двигуна) дозволяє підвищити граничну потужність комутатора, його надійність, спростити силові кола і систему управління, знизити вартість.

Висновки до розділу 2

У другому розділі виконано розрахунки статичних характеристик вентильного двигуна вентилятора ВЦ-5.

Згідно розрахунків і графічних побудов можна сказати, що механічні і швидкісні характеристики є більш м'якими, в порівнянні зі звичайним синхронним приводом. Це пов'язано з більшим еквівалентним опором системи «вентильний двигун». Застосований привод має велику плавність регулювання швидкості, що можна пояснити використанням тиристорних перетворювачів. Привод має значний діапазон регулювання швидкості, а також можливе регулювання швидкості вниз і вгору від номінальної. Привод має задовільну перевантажувальну здібність, яка становить приблизно 2,5. Технічне обладнання системи забезпечує плавний пуск і гальмівні режими привода.

З отриманих характеристик видно, що ККД зі збільшенням кута керування падає, але у режимах, близьких до номінального, ККД залишається високим, чим можна пояснити високу енергоефективність системи. З поглибленням регулювання збільшується реактивна потужність, що споживається з мережі. З урахуванням вентиляторного навантаження на валу та енергетичних показників, можна сказати, що технологічний процес буде виконуватися з великими енергетичними і експлуатаційними параметрами.

					КНУ РБ.141.26.249с.2.02.Р2	Лист
						36
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

Розраховано перехідні процеси вентильного двигуна у розімкненій та замкненій системах керування.

Згідно отриманих графічних залежностей можна сказати, що час усіх перехідних процесів в системі привода досить невеликий, перехідні процеси є плавними, без ривків і коливань по швидкості і струму. Стрибки по струму виявились досить значними, але вони є допустимими для встановленого обладнання. Такі параметри перехідних процесів у приводі повністю відповідають вимогам технологічного процесу, що гарантує якісне виконання процесу з високими енергетичними показниками.

Система підлеглого керування значно збільшила швидкодію схеми, зменшила стрибки по струму, та забезпечила більш плавний пуск механізму.

					КНУ РБ.141.26.249с.2.02.Р2	Лист
						37
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

Розділ 3 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ГОЛОВНОЇ ВЕНТИЛЯТОРНОЇ УСТАНОВКИ ШАХТИ «ПОКРОВСЬКА»

3.1 Технічні характеристики споживачів електроенергії

Споживачі електроенергії, які експлуатуються на гірничому підприємстві на поверхні, в основному стаціонарні установки, характеризуються такими параметрами, як: встановлена потужність установки P , кВт; напруга споживання U , кВ; коефіцієнт потужності $\cos\varphi$; коефіцієнт попиту K_p ; категорія роботи в залежності від безперебійності електропостачання.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика споживачів

Споживачі	P_n , кВт	U , кВ	$\cos\varphi$	K_p	Категорія
Конвеєрний транспорт	650	6	0.7	0.65	II
Скіповий підйом	1600	6	0.8	0.75	II
Клітьовий підйом	2000	6	0.9	0.8	I
Компресорна станція	1800	6	0.8	0.8	II
ЦПП	3400	6	0.7	0.65	I
Головна вентиляторна	1250	6	0.75	0.75	I
Акумуляторна	50	0.4		0.65	
Вентилятори (6шт)	120	0.4	0.8	0.5	I
Насоси (4шт)	48	0.4	0.75	0.7	I
Особисті потреби	55	0.4	0.7	0.7	
Освітлення	32	0.127	1	1	III
Механічні майстерні	80	0.4	0.83	0.3	III

3.2 Визначення електричних навантажень та вибір силових трансформаторів

3.2.1 Електричні навантаження споживачів 0,4 кВ

Розраховуємо активну потужність для кожної групи споживачів:

					КНУ РБ.141.26.249с.2.03.РЗ							
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Мусієнко О.А.			Електропостачання				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Титюк В.К.									38	
Реценз.									ЕМ гр. ЗЕЕМ-22			
Н. Контр.		Титюк В.К.										
Затверд.		Пересунько І.І.										

$$P_p = P_n \cdot K_n, \quad (3.1)$$

де P_n – потужність споживача;

K_n – коефіцієнт попиту споживача.

1) Акумуляторна:

$$P_{p1} = 50 \cdot 0,65 = 32,5 \text{ кВт};$$

2) Вентилятори:

$$P_{p2} = 20 \cdot 6 \cdot 0,5 = 60 \text{ кВт};$$

3) Насоси:

$$P_{p3} = 11 \cdot 4 \cdot 0,7 = 33,6 \text{ кВт};$$

4) Власні потреби:

$$P_{p4} = 55 \cdot 0,7 = 38,5 \text{ кВт};$$

5) Освітлення:

$$P_{p5} = 32 \cdot 1 = 32 \text{ кВт};$$

6) Механічні майстерні:

$$P_{p6} = 80 \cdot 0,3 = 24 \text{ кВт}.$$

Розраховуємо сумарну активну потужність споживачів:

$$\sum P_p = P_{p1} + P_{p2} + P_{p3} + P_{p4} + P_{p5} + P_{p6}; \quad (3.2)$$

$$\sum P_p = 32,5 + 60 + 33,6 + 38,5 + 32 + 24 = 220,6 \text{ кВт}.$$

Розраховуємо реактивну потужність кожної групи споживачів:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.3)$$

де P_p – розрахункова активна потужність споживача,

$\operatorname{tg} \varphi$ – у відповідності $\cos \varphi$.

1) Акумуляторна:

$$Q_{p1} = 32,5 \cdot 1 = 32,5 \text{ квар};$$

2) Вентилятори:

$$Q_{p2} = 60 \cdot 0,7 = 42 \text{ квар};$$

3) Насоси:

$$Q_{p3} = 33,6 \cdot 0,88 = 30 \text{ квар};$$

4) Власні потреби:

$$Q_{p4} = 38,5 \cdot 1 = 38,5 \text{ квар};$$

5) Освітлення:

$$Q_{p5} = 25 \cdot 0 = 0 \text{ квар};$$

6) Механічні майстерні:

$$Q_{p6} = 24 \cdot 0,62 = 15 \text{ квар}.$$

Розраховуємо сумарну реактивну потужність споживача:

$$\sum Q_p = Q_{p1} + Q_{p2} + Q_{p3} + Q_{p4} + Q_{p5} + Q_{p6}; \quad (3.4)$$

$$\sum Q_p = 32,5 + 42 + 30 + 38,5 + 0 + 15 = 158 \text{ квар}.$$

Розраховуємо повну потужність:

$$S_p = \sqrt{\sum Q_p^2 + \sum P_p^2}, \quad (3.5)$$

де $\sum Q_p$ – сумарна реактивна потужність;

$\sum P_p$ – сумарна активна потужність.

$$S_p = \sqrt{220,6^2 + 158^2} = 271 \text{ кВА}.$$

По розрахунковій потужності $S_p = 271$ кВА приймаємо до установки два трансформатора типу ТМ – 400/6.

3.2.2 Електричні навантаження споживачів 6 кВ

Розраховуємо активну потужність для кожної групи споживачів за формулою 3.1:

1) Конвеєрний транспорт:

$$P_{p1} = 650 \cdot 0,65 = 422,5 \text{ кВт};$$

2) Скіповий підйом:

$$P_{p2} = 1600 \cdot 0,75 = 1200 \text{ кВт};$$

3) Клітьовий підйом:

$$P_{p3} = 2000 \cdot 0,8 = 1600 \text{ кВт};$$

4) Компресорна станція:

					КНУ РБ.141.26.249с.2.03.РЗ	Лист
						40
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

$$P_{p4} = 1800 \cdot 0,8 = 1440 \text{ кВт};$$

5) ЦПП:

$$P_{p5} = 3400 \cdot 0,65 = 2210 \text{ кВт};$$

6) Головна вентиляторна установка:

$$P_{p6} = 1250 \cdot 0,75 = 937,5 \text{ кВт}.$$

Визначаємо сумарну активну потужність споживачів за формулою 3.2:

$$\sum P_p = 422,5 + 1200 + 937,5 + 1440 + 2210 + 1600 = 7810 \text{ кВт}.$$

Розраховуємо реактивну потужність за формулою 3.3:

1) Конвеєрний транспорт:

$$Q_{p1} = 442,5 \cdot 1 = 442,5 \text{ квар};$$

2) Скіповий підйом:

$$Q_{p2} = 1200 \cdot 0,7 = 840 \text{ квар};$$

3) Клітьовий підйом:

$$Q_{p3} = 1600 \cdot 0,48 = 768 \text{ квар};$$

4) Компресорна станція:

$$Q_{p4} = 1440 \cdot 0,7 = 1008 \text{ квар};$$

5) ЦПП:

$$Q_{p5} = 2210 \cdot 1 = 2210 \text{ квар};$$

6) Головна вентиляторна установка:

$$Q_{p6} = 937,5 \cdot 0,88 = 825 \text{ квар};$$

Розраховуємо сумарну реактивну потужність за формулою 3.4:

$$\sum Q_p = 422,5 + 840 + 825 + 2210 + 1008 + 768 = 6074 \text{ квар}.$$

Розраховуємо повну потужність з урахуванням потужності трансформатора ТМ – 400/6:

$$S_p = \sqrt{\sum Q_p^2 + \sum P_p^2} + S_{\text{ном}} ; \quad (3.6)$$

$$S_p = \sqrt{6074^2 + 7810^2} + 400 = 9877 \text{ кВА}.$$

По розрахунковій потужності $S_p = 9877$ кВА, приймаємо до установки два трансформатора типу ТЦГ – 10000/154 потужністю по 10000 кВА.

Дані та результати обчислень зводимо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Дані розрахунків потужності споживачів

Найменування груп споживачів	P_n , кВт	K_p	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Розрахункові навантаження		
					P_p , кВт	O_p ,	S_p ,
Конвеєрний транспорт	650	0.65	0.7	1	422.5	422.5	597.50
Скіповий підйом	1600	0.75	0.8	0.7	1200	840	1464.78
Клітьовий підйом	2000	0.8	0.9	0.48	1600	768	1774.7
Компресорна станція	1800	0.8	0.8	0.7	1440	1008	1757.74
ЦПП	3400	0.65	0.7	1	2210	2210	3125.42
Головна вентиляторна	1250	0.75	0.75	0.88	937.5	825	399.61
Акумулятор	50	0.65	0.7	1	32.5	32.5	45.96
Вентилятори (6 шт.)	120	0.5	0.8	0.7	60	42	73.23
Насоси (4 шт.)	48	0.7	0.75	0.88	33.6	30	45.04
Особисті погребі	55	0.7	0.7	1	38.5	38.5	54.44
Освітлення	32	1	1	0	32	0	32
Механічні майстерні	80	0.3	0.85		24	15	28.30
Всього					8030	6231	9916

3.3 Розрахунок ліній електропостачання

Розраховуємо провід повітряної ЛЕП по допустимому струму навантаження $I_d \geq I_p$:

$$I_{\text{роз}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (3.7)$$

де $S_{\text{ном}}$ – номінальна потужність;

$U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга мережі;

$$I_{\text{роз}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 154} = 38 \text{ А.}$$

Приймаємо сталевалюмінієвий провід марки АС – 35, допустимий струм навантаження якого $I_d = 175 \text{ А}$.

Розраховуємо переріз проводу ЛЕП на економічну щільність струму:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{роз}}}{j_{\text{ек}}}, \quad (3.8)$$

де $I_{\text{роз}}$ – струмове навантаження;

$j_{\text{ек}}$ – щільність струму;

$$S_{\text{ек}} = \frac{38}{1,1} = 34,5 \text{ мм}^2.$$

Виходячи з цього приймаємо стандартне значення щільності 35 мм^2 .

Розрахунок кабельної лінії для вентиляторної установки.

Вибір кабелю по довготривалому розрахунковому струму:

$$I_{\text{роз}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi}, \quad (3.9)$$

де P – потужність споживача;

$U_{\text{ном}}$ – напруга живлення;

η – к.к.д. двигуна;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності;

$$I_{\text{роз}} = \frac{1250}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,914 \cdot 0,9} = 146,221 \text{ А},$$

Приймаємо кабель марки АСБ 3х50, $I_{\text{д}} = 155 \text{ А}$.

Розраховуємо поперечний перетин кабелю за економічною щільністю струму за формулою 3.8:

$$S_{\text{ек}} = \frac{146,221}{1,6} = 91,4 \text{ мм}^2.$$

Остаточного приймаємо кабель марки АСБ 3х95 з поперечним перерізом 95 мм^2 та струмом навантаження $I_{\text{д}} = 225 \text{ А}$.

3.4 Розрахунок струмів короткого замикання

Для розрахунку складаємо принципову схему електропостачання, яка наведена на рисунку 3.1.

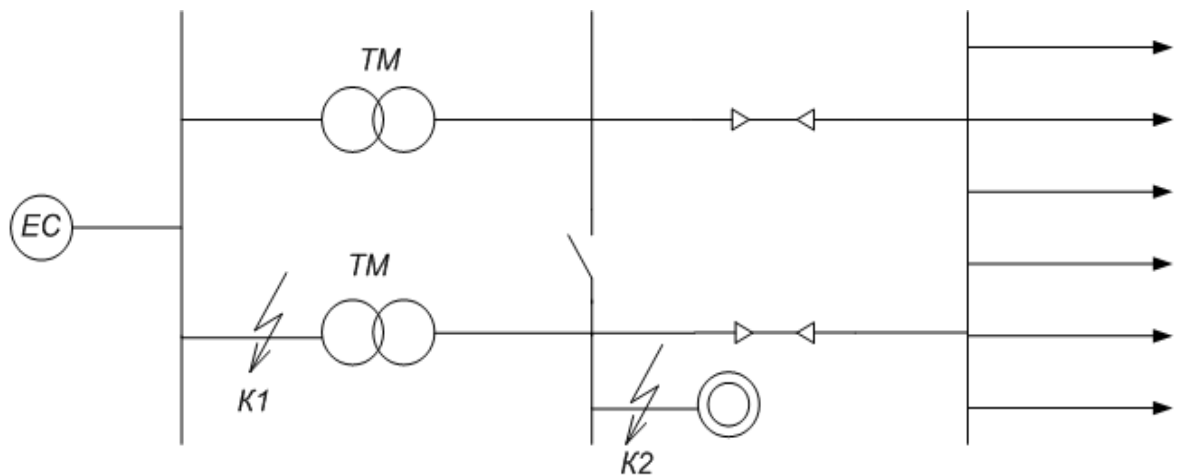


Рисунок 3.1 – Принципова схема електропостачання

Вибираємо базисні величини:

$$S_{\text{б}} = 100 \text{ МВА}; \quad U_{\text{б1}} = 154 \text{ кВ}; \quad U_{\text{б2}} = 6,3 \text{ кВ}.$$

Визначаємо базисний струм:

$$I_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{б}}}; \quad (3.10)$$

$$I_{\text{б1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 154} = 0,38 \text{ кА};$$

$$I_{\text{б2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,3 \text{ кА}.$$

Розрахунок струмів к.з. в точці K₁

Складаємо схему заміщення для точки K₁ (рис.3.2).



Рисунок 3.2 – Схема заміщення для точки K₁

Визначаємо опір живлячої системи:

$$x_{\text{с}} = \frac{S_{\text{б}}}{S}, \quad (3.11)$$

де S_6 – базисна потужність;

S' – потужність на шинах районної підстанції;

$$x_c = \frac{100}{700} = 0,14.$$

Індуктивний опір лінії 154 кВ:

$$x_{\text{л}} = x_o \cdot \ell \cdot \left(\frac{S_6}{U_{61}^2} \right), \quad (3.12)$$

де x_o – індуктивний опір 1 км лінії електропостачання;

ℓ – довжина лінії;

S_6 – базисна потужність;

U_{61} – напруга лінії електропередач;

$$x_{\text{л}} = 0,4 \cdot 134 \cdot \left(\frac{100}{154^2} \right) = 0,22.$$

Індуктивний опір трансформатора:

$$x_{\text{тр}} = \frac{U_k \cdot S_6}{100 \cdot S_{\text{н.тр}}}, \quad (3.13)$$

де U_k – напруга короткого замикання, %;

$S_{\text{н.тр}}$ – потужність трансформатора;

$$x_{\text{тр}} = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 10} = 1,05.$$

Сумарний індуктивний опір від системи до точки K_1 :

$$x_1 = x_c + x_{\text{л}}. \quad (3.14)$$

$$x_1 = 0,14 + 0,22 = 0,36.$$

Розрахуємо струм короткого замикання:

$$I_{\text{кз1}} = \frac{I_{61}}{x_1}; \quad (3.15)$$

$$I_{кз1} = \frac{0,38}{0,36} = 1,056 \text{ кА.}$$

Визначаємо ударний струм к.з.:

$$I_{кз1у} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{кз1}, \quad (3.16)$$

де $k_y = 1,3$ – ударний коефіцієнт;

$$I_{кз1у} = 1,3 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,056 = 1,941 \text{ кА.}$$

Розрахуємо потужність к.з.:

$$S_{кз1} = \frac{S_6}{x_1}. \quad (3.17)$$

$$S_{кз1} = \frac{100}{0,36} = 277,77 \text{ МВА.}$$

Розрахунок струмів к.з. в точці K_2

Складаємо схему заміщення для точки K_2 (рис.3.3).



Рисунок 3.3 – Схеми заміщення для точки K_2

Сумарний індуктивний опір від системи до точки K_2 :

$$x_1 = x_c + x_l + x_{тр}. \quad (3.18)$$

$$x_1 = 0,14 + 0,22 + 1,05 = 1,41.$$

Розрахуємо струм короткого замикання:

$$I_{кз2} = \frac{I_{62}}{x_2}; \quad (3.19)$$

$$I_{кз2} = \frac{9,3}{1,41} = 6,6 \text{ кА.}$$

Визначаємо ударний струм к.з.:

$$I_{кз2у} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{кз2}; \quad (3.20)$$

$$I_{кз2у} = 1,3 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,6 = 12,14 \text{ кА.}$$

Розрахуємо потужність к.з.:

$$S_{кз2} = \frac{S_6}{x_2}; \quad (3.21)$$

$$S_{кз2} = \frac{100}{1,41} = 70,92 \text{ МВА.}$$

3.5 Вибір високовольтного обладнання

3.5.1 Вибір токоведучих шин

Шини вибирають по довготривалому допустимому струму і перевіряють на динамічну і термічну стійкість при струмах к.з.

Розрахунковий струм навантаження на шинах ГПП:

$$I_{роз} = \frac{S_{роз}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (3.22)$$

де $S_{роз}$ – потужність підстанції;

$U_{ном}$ – напруга мережі;

$$I_{роз} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 962,25 \text{ А.}$$

Приймаємо алюмінієві шини прямокутного перерізу. Розмір однополюсних шин $60 \times 8 \text{ мм}$, $I_{доп} = 1025 \text{ А}$, $S_{виб} = 480 \text{ мм}^2$.

Перевіряємо шини на динамічну стійкість

$$i_{дн} = \sqrt{\frac{10 \cdot G \cdot W \cdot a}{1,76} \cdot \frac{10}{L}}, \quad (3.23)$$

де $G=90 \text{ МПа}$ – припустима напруга в матеріалі шини;

W – момент опору шини відносно вертикальної осі:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,8 \cdot 6^2}{6} = 4,8 \text{ см}^2; \quad (3.24)$$

L – відстань між ізоляторами, мм;

a – відстань між шинами, мм;

$$i_{\text{дн}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 90 \cdot 24 \cdot 30}{1,76} \cdot \frac{10}{120}} = 175,2 \text{ кА.}$$

За паспортними даними стійкість прийнятих шин:

$$175,2 < 190 \text{ кА.}$$

Перевіряємо переріз шин за термічною стійкістю

$$S_{\text{ш}} = \frac{I_{\text{кз1}} \cdot \sqrt{t_{\text{пр}}}}{c}, \quad (3.25)$$

де $t_{\text{пр}} = 2,8 \text{ с}$ – час дії струму к.з.;

$c = 85 \text{ Ас}^2/\text{мм}^2$ – коефіцієнт, який відповідає різниці теплоти, виділеної в алюмінієвих шинах до і після к.з.;

$$S_{\text{ш}} = \frac{1056 \cdot \sqrt{2,8}}{85} = 20,8 \text{ мм}^2.$$

Так як вибраний переріз $S_{\text{виб}} = 480 \text{ мм}^2 > S_{\text{ш}} = 20,8 \text{ мм}^2$, то шини по термічній стійкості також підходять.

3.5.2 Вибір ізоляторів

Ізолятори призначені для кріплення струмоведучих частин ізоляції між собою і по відношенні до землі. Ізолятори вибирають по напрузі, роду установки і допустимому механічному навантаженні.

Приймаємо опорні ізолятори ОФ – 6 – 375УЗ: О – опорний;

Ф – фазовий; 6 – клас напруги; 375 – мінімальне руйнующе зусилля на згинання, даН; УЗ – кліматичне виконання.

Вибраний ізолятор перевіряємо на допустимі механічні навантаження:

$$F_{\text{роз}} \leq 0,6 \cdot F_{\text{руйн}}; \quad (3.26)$$

$$F_{\text{роз}} = \frac{1,76 \cdot L \cdot I_{\text{кзлу}}^2 \cdot 0,1}{a} = \frac{1,76 \cdot 120 \cdot 1,941^2 \cdot 0,1}{30} = 2,6 \text{ даН};$$

$$2,6 \leq 0,6 \cdot 375;$$

$$2,6 \leq 225.$$

3.5.3 Вибір роз'єднувачів

Роз'єднувачі призначені для відключення високовольтних мереж без навантаження і для створення видимого розриву між частиною електроустановки і частинами, що знаходиться під напругою.

По розрахунковому струму і номінальній напрузі вибираємо роз'єднувач РВР – 3 – 10/1000.

Розрахункові та каталожні дані приведені у таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Розрахункові та каталожні данні

Розрахункові	Паспортні
$U_{\text{ном уст}} = 6 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном уст}} = 962,25 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$i_{\text{у роз}} = 1,941 \text{ кА}$	$i_{\text{у доп}} = 85 \text{ кА}$

3.5.4 Вибір силових вимикачів

Силові вимикачі призначені для відключення високовольтних мереж під навантаженням і для внутрішньої установки.

По розрахунковому струму і номінальній напрузі вибираємо силовий вимикач ВМПІ – 10 – 1000 – 20У2.

Розрахункові та каталожні данні приведені у таблиці 3.4

Таблиця 3.4 – Розрахункові та каталожні данні

Розрахункові	Паспортні
$U_{\text{ном уст}} = 6 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{роз}} = 962,25 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$i_{\text{у роз}} = 1,941 \text{ кА}$	$i_{\text{у доп}} = 52 \text{ кА}$

3.5.5 Вибір заземлювача

За вимогами ПУЕ опір заземлення в установках зі струмами замикання на землю $I_{\zeta} > 500 \text{ А}$ дорівнює $R_{\zeta} = 0,5 \text{ Ом}$.

Вибираємо заземлювач типу ЗОН – 110 М – 1 – 400:

- номінальна напруга $U_i = 110 \text{ кВ}$;
- номінальний струм $I_i = 2000 \text{ А}$;
- амплітуда граничного струму $I_{i \text{ д.н.д.}} = 16 \text{ кА}$;
- номінальний струм термічної стійкості $I_{o.n.} = 50 \text{ кА}$.

3.6 Вибір обладнання низької напруги

3.6.1 Вибір автоматичних вимикачів

Автомати вибирають по номінальній напрузі мережі, номінальному струму і перевіряють по струму відключення.

Обираємо вимикачі виходячи з умов:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\zeta}; \quad (3.27)$$

$$U_{p \text{ ном}} = U_{\zeta}; \quad (3.28)$$

$$I_{oa} \geq 1,2 \cdot I_{\kappa}, \quad (3.29)$$

де $I_{\text{ном}}$ – номінальний струм вимикача;

I_{ζ} – струм захищаємої мережі;

$U_{p \text{ ном}}$ – номінальна напруга котушки незалежного розщеплювача;

U_{ζ} – номінальна напруга мережі;

I_{oa} – відключаємий струм автомата;

I_{κ} – струм трифазного к.з. на вивідних зажимах автомата;

$$I_{\kappa} = \frac{I_{\text{т.ном}}}{U_{\kappa} \cdot 100}, \quad (3.30)$$

де $I_{\text{т.ном}}$ – номінальний струм вторинної обмотки трансформатора;

U_{κ} – напруга к.з. трансформатора.

					КНУ РБ.141.26.249с.2.03.РЗ	Лист
						50
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

3.6.2 Вибір пускачів

Пускачі вибирають по номінальній напрузі мережі, номінальному струму під'єднаної мережі, а також по потужності і режиму роботи електродвигунів.

Обираємо пускачі виходячи з умов:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{с}}; \quad (3.31)$$

$$U_{\text{ном}} = U_{\text{с}}; \quad (3.32)$$

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{дв}}, \quad (3.33)$$

де $I_{\text{ном}}$ і $U_{\text{ном}}$ – номінальний струм і напруга на які розрахований пускач;

$P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність двигуна;

$P_{\text{дв}}$ – номінальна потужність двигуна, для якого вибирається пускач;

$I_{\text{с}}$ – струм підключаємої мережі;

$U_{\text{с}}$ – напруга підключаємої мережі;

Вибраний пускач перевіряють по струму відключення:

$$I_{\text{в}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{к max}}, \quad (3.34)$$

де $I_{\text{к max}}$ – розрахунковий струм трифазного к.з. на затискачах пускача.

Уставка струмового захисту захищаємого пускача:

$$I_{\text{о}} = \frac{I_{\text{е}}}{1,5}, \quad (3.35)$$

де $I_{\text{к}}$ – струм двофазного к.з. в кінці лінії, що живиться пускачем.

3.6.3 Розрахунок провода живлення

Провід вибирається по номінальному струму навантаження:

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi}. \quad (3.36)$$

Розрахунок струму для вентиляторів

$$I_{\text{н}} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87 \cdot 0,89} = 39,2 \text{ А.}$$

Вибираємо відкритий провід з мідними жилами: січення жили 4 мм²,
I_н = 41 А.

Розрахунок струмів для насосів

$$I_{\text{н}} = \frac{11000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87 \cdot 0,89} = 22,6 \text{ А.}$$

Вибираємо відкритий провід з алюмінієвими жилами: перетин жили 2,5 мм², I_н = 24 А.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі була зазначена технічна характеристика споживачів електроенергії. Проведений розрахунок електричних навантажень та вибрані силові трансформатори. Проведений розрахунок ліній електропередач: повітряної ЛЕП, силових кабелів, виконана їх перевірка. Розраховані струми короткого замикання у двох точках.

Проведений вибір обладнання розподільчих пристроїв високої напруги: шин, ізоляторів, силових вимикачів, роз'єднувачів та заземлювача.

Було обрано обладнання розподільчого пристрою низької напруги: автоматичні вимикачі, пускачі, вибір плавки – вставки та живлячого проводу.

Висновки по роботі

У першому розділі наведено технічні характеристики електромеханічного об'єкту, були сформовані загальні вимоги до електроприводу вентилятора головного провітрювання і на їх основі було проведено обґрунтування та вибір системи електропривода. Для вентилятора ВЦ-5 виконано розрахунок потужності електроприводу, обрано синхронний двигун типу СДМ5-1250-20-10 УХЛ4 потужністю 1250 кВт. В якості системи електроприводу обрано електропривод по системі «вентильний двигун», яка дозволить при необхідності реалізувати регулювання швидкості обертання вентилятора, реалізувати гальмівні режими, синхронізувати роботу декількох вентиляторів.

Розроблено структурну схему силової частини електропривода, проведений вибір обладнання силової частини.

У другому розділі виконано розрахунки статичних характеристик вентильного двигуна вентилятора ВЦ-5.

Згідно розрахунків і графічних побудов можна сказати, що механічні і швидкісні характеристики є більш м'якими, в порівнянні зі звичайним синхронним приводом. Це пов'язано з більшим еквівалентним опором системи «вентильний двигун». Застосований привод має велику плавність регулювання швидкості, що можна пояснити використанням тиристорних перетворювачів. Привод має значний діапазон регулювання швидкості, а також можливе регулювання швидкості вниз і вгору від номінальної. Привод має задовільну перевантажувальну здібність, яка становить приблизно 2,5. Технічне обладнання системи забезпечує плавний пуск і гальмівні режими привода.

					КНУ РБ.141.26.249с.2.ВН						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Мусієнко О.А.			Висновки			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Титюк В.К.								53	
Реценз.								ЕМ гр. ЗЕЕМ-22			
Н. Контр.		Титюк В.К.									
Затверд.		Пересунько І.І.									

З отриманих характеристик видно, що ККД зі збільшенням кута керування падає, але у режимах, близьких до номінального, ККД залишається високим, чим можна пояснити високу енергоефективність системи. З поглибленням регулювання збільшується реактивна потужність, що споживається з мережі. З урахуванням вентиляторного навантаження на валу та енергетичних показників, можна сказати, що технологічний процес буде виконуватися з великими енергетичними і експлуатаційними параметрами.

Розраховано перехідні процеси вентилярного двигуна у розімкненій та замкненій системах керування.

Згідно отриманих графічних залежностей можна сказати, що час усіх перехідних процесів в системі привода досить невеликий, перехідні процеси є плавними, без ривків і коливань по швидкості і струму. Стрибки по струму виявились досить значними, але вони є допустимими для встановленого обладнання. Такі параметри перехідних процесів у приводі повністю відповідають вимогам технологічного процесу, що гарантує якісне виконання процесу з високими енергетичними показниками.

Система підлеглого керування значно збільшила швидкодію схеми, зменшила стрибки по струму, та забезпечила більш плавний пуск механізму.

У третьому розділі була зазначена технічна характеристика споживачів електроенергії. Проведений розрахунок електричних навантажень та вибрані силові трансформатори. Проведений розрахунок ліній електропередач: повітряної ЛЕП, силових кабелів, виконана їх перевірка. Розраховані струми короткого замикання у двох точках.

Проведений вибір обладнання розподільчих пристроїв високої напруги: шин, ізоляторів, силових вимикачів, роз'єднувачів та заземлювача.

Було обрано обладнання розподільчого пристрою низької напруги: автоматичні вимикачі, пускачі та живлячого проводу.

Перелік використаних джерел

1. І. М. Голодний, Ю. М. Лавріненко, В. В. Козирський, Л. С. Червінський, Д. А. Абдураманов, А. В. Торопов, О. В. – Регульований електропривод [Текст] : підручник. – Київ : Ліра-К, 2015. – 504 с.
2. О. М. Возняк – Сучасні системи електроприводів [Текст] : навчальний посібник : у 2 ч. – Вінниця : ТВОРИ, 2021. – Ч. 1. – 280 с.
3. С. П. Денисюк – Системи силової електроніки та засоби електромеханіки [Текст] : навчальний посібник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 120 с.
4. Chornyi, O. Tolochko, V. Tytyuk., D. Rodkin, G. Chekavskiy Mathematical models and specifics of numerical calculations of dynamic characteristics of electric drives with induction motors: monograph / – Kremenchuk: PE Shcherbatykh O.V. – 302 p. [in Ukrainian], 2016.
5. Мелешин В. І. Транзисторна перетворювальна техніка. - М.: Техносфера, 2005. – 632с.
6. Казачковський М. М. Комплектний електропривод. – Дніпропетровськ: НГУ, 2003. – 226 с.
7. Довідник з електричних машин: Навч. посібник для студ. освітніх установ середньої проф. освіти / Кацман М. М. - М.: "Академія"., 2005. – 480с.
8. Зеленов А.Б. Теорія електропривода. Луганськ: Ноулідж, 2010, с. 670.

					КНУ РБ.141.26.249с.2.ДЖ							
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Мусієнко О.А.			Перелік використаних джерел				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Титюк В.К.									55	
Реценз.									ЕМ гр. ЗЕЕМ-22			
Н. Контр.		Титюк В.К.										
Затверд.		Пересуňко І.І.										

