

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯТОРА МІСЦЕВОГО ПРОВІТРЮВАННЯ

Виконав:

здобувачка вищої освіти денної форми
навчання освітнього ступеня «Магістр»,
освітньо-професійної програми
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

_____ **Назар СТОРОЖУК**

Керівник: канд. техн. наук, доцент

_____ **Олександр КОЗАК**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

«____» _____ 2024 р.

Гарант освітньої програми

«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент _____ **Павло ПОТАПСЬКИЙ**

м. Кам'янець-Подільський, 2024р.

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
 Факультет енергетики та інформаційних технологій
 Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій
 Освітній ступінь «Магістр»
 Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри,

_____ Ігор ГАРАСИМЧУК

«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ здобувачу вищої освіти

СТОРОЖУКУ Назарію Ігоровичу

1. Тема роботи: «Аналіз підвищення енергетичних показників частотно-регульованого електроприводу вентилятора місцевого провітрювання»

2. Керівник роботи: канд. техн. наук, доцент КОЗАК Олександр Володимирович

Затверджено наказом Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» від 26 лютого 2024 року №104с.

Строк подання закінченої роботи 25 листопада 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Правила влаштування електроустановок.
2. Аналіз іноземних та вітчизняних публікацій.
3. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

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

1 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2 ОГЛЯД МЕТОДИК ТА МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯЦІЇ

3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВЕНТИЛЯТОРА МІСЦЕВОГО ПРОВІТРЮВАННЯ ТА ВИБІР СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

4 РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯТОРА МІСЦЕВОГО ПРОВІТРЮВАННЯ Й ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

ВИСНОВКИ

СПИСОК

ВИКОРИСТАНИХ

ДЖЕРЕЛ

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Презентаційні матеріали по розділах роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
2	Доцент Дубік В.М.		

7. Дата видачі завдання 10 червня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Етапи кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Підпис керівника
1	ВСТУП	10.09.24р.	
2	1 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ	21.09.24 р.	
3	2 ОГЛЯД МЕТОДИК ТА МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯЦІЇ	02.10.24 р.	
4	3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВЕНТИЛЯТОРА МІСЦЕВОГО ПРОВІТРЮВАННЯ ТА ВИБІР СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	17.10.24 р.	
5	4 РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯТОРА МІСЦЕВОГО ПРОВІТРЮВАННЯ Й ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ	29.10.24 р.	
6	ВИСНОВКИ	08.11.24 р.	
7	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	14.11.24 р.	

Здобувач вищої освіти

_____ Назар СТОРОЖУК

Керівник роботи, доцент

_____ Олександр КОЗАК

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ	
1.1 Вентилятори місцевого провітрювання	Ошибка! Закладка не определена.
1.2 Частотно-регульований асинхронний електропривод.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.3 Шляхи збільшення енергоефективності асинхронних двигунів	Ошибка! Закладка не определена.
1.4 Висновки до розділу 1.....	Ошибка! Закладка не определена.
РОЗДІЛ 2 ОБЗОР МЕТОДИК ТА МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯЦІЇ..	
2.1 Розрахунок вентиляції тупикових виробок.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.2 Мінімізація втрат у частотно-регульованому приводі вентиляції	Ошибка! Закладка не определена.
2.3 Підвищення ККД вентиляторів та систем електроприводу	Ошибка! Закладка не определена.
2.4 Проблеми проектування установок місцевого провітрювання для шахти	Ошибка! Закладка не определена.
2.5 Висновки до розділу.....	Ошибка! Закладка не определена.
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВЕНТИЛЯТОРА МІСЦЕВОГО ПРОВІТРЮВАННЯ ТА ВИБІР СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	
3.1 Вибір вентилятора та особливості конструкції .	Ошибка! Закладка не определена.

3.2 Обґрунтування вибору регульованого електроприводу

вентиляційних установок Ошибка! Закладка не определена.

3.2.1 Вибір і визначення параметрів електродвигуна **Ошибка! Закладка не определена.**

3.2.2 Розрахунок робочих параметрів вентилятора при змінній кутовій швидкості робочого колеса **Ошибка! Закладка не определена.**

3.2.3 Структурна схема вентиляторного агрегату з частотно-регульованим електроприводом **Ошибка! Закладка не определена.**

3.3 Розрахунок частотно-регульованого електропривода вентилятора місцевого провітрювання Ошибка! Закладка не определена.

3.3.1 Розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна **Ошибка! Закладка не определена.**

3.3.2 Розрахунок параметрів структурної схеми частотно-регульованого електроприводу **Ошибка! Закладка не определена.**

3.3.3 Розрахунок статичних характеристик асинхронного частотно-регульованого електроприводу вентилятора агрегату..... **Ошибка! Закладка не определена.**

3.4 Висновки до розділу..... Ошибка! Закладка не определена.

РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСТОТНО-

РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯТОРА

МІСЦЕВОГО ПРОВІТРЮВАННЯ Й ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ..... Ошибка! Закладка не определена.

4.1 Розробка структурної моделі частотно-регульованого електропривода вентиляційної установки місцевого провітрювання Ошибка! Закладка не определена.

4.2 Розробка імітаційної моделі регульованого та нерегульованого електроприводу вентиляційних установок для визначення споживання електроенергії Ошибка! Закладка не определена.

4.3 Висновки до розділу..... Ошибка! Закладка не определена.

ВИСНОВКИ 11

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 13

АНОТАЦІЯ

Частотно-регульований привід має високу точність, широкий діапазон регулювання швидкості обертання електродвигуна, забезпечує плавний пуск і гальмування, тому є найбільш ефективним способом управління. Найкращий засіб – застосування частотного управління, який дозволяє не тільки підвищити експлуатаційний коефіцієнт корисної дії вентилятора, але і забезпечити мінімізацію втрат в приводі за допомогою енергозберігаючих алгоритмів управління.

ANNOTATION

The Frequency-managed occasion has high exactness, wide range of adjusting of velocity of circulation of electric motor, provides the smooth starting and braking, that is why is the most effective method of management. The best means are application of frequency management, that allows not only to promote an operating output-input of ventilator ratio but also provide minimization of losses in an occasion by means of energykeeping algorithms of management.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи складається з:

77 стор., 8 таблиць, 23 рисунки., 20 літературних джерел.

Тема роботи: **Аналіз підвищення енергетичних показників частотно-регульованого електроприводу вентилятора місцевого провітрювання**

У результаті застосування ПЧ значно знижуються експлуатаційні витрати. При зміні частоти обертання, продуктивність вентилятора також зміниться, створюваний тиск зміниться в два рази, а споживана потужність в три рази. ККД вентилятора залишається незмінним. Даний спосіб регулювання є найбільш економічно вигідним.

Розроблена імітаційна модель для дослідження процесів споживання електричної енергії вентиляторного агрегату місцевого провітрювання є універсальною для вентиляторних установок різного призначення. Фактично треба знати потрібний тиск вентилятора протягом доби й ввести номінальні значення параметрів стосовно продуктивності, тиску, кутової швидкості, коефіцієнтів корисної дії вентилятора, двигуна та силового перетворювача.

Отримані залежності дозволили сформулювати екстремальний закон частотного управління, застосування якого дає зниження втрат енергії на 5-10% в порівнянні з традиційним законом скалярного управління приводу з вентиляторним навантаженням.

За допомогою комп'ютерного моделювання показано, що додатковий енергозберігаючий ефект дає застосування спеціальних законів пуску двигуна, які дозволяють мінімізувати втрати енергії в приводі під час пуску і підвищити коефіцієнт потужності за рахунок зниження споживаної реактивної потужності.

Ключові слова: ВЕНТИЛЯТОР МІСЦЕВОГО ПРОВІТРЮВАННЯ, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АД – асинхронний двигун

АВК – асинхронний-вентильний каскад

АСУ – автоматизована система управління

АІН – автономний інвертор напруги

АІС – автономний інвертор струму

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ВВП – валовий внутрішній продукт

ВГП – вентилятори головного провітрювання

ВМП – вентилятор місцевого провітрювання

ГВУ – головна вентиляційна установка

ДМ – датчик потужності

ЕРС – електрорушійна сила

ЗП – задаючий пристрій

ЗІ – задатчик інтенсивності

ККД – коефіцієнт корисної дії

ОУ – об'єкт управління

ПЧ – перетворювач частоти

ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор

ПІД-регулятор – пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор

ПЧ – перетворювач частоти

РН – регулятор напруги

САУ – систему автоматичного управління

ТПН – тиристорний перетворювач напруги

ФП – функціональний перетворювач

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція

ВСТУП

Актуальність теми. У зв'язку з тим що серед регульованих електроприводів домінуюче становище займають частотно-регульовані асинхронні електроприводи, їх масове застосування дозволяє вирішувати не тільки технологічні завдання, а й проблему енергозбереження. В останні роки багато країн в цьому зацікавлені та приділяється велика увага теоретичним і практичним питанням енергозбереження. Це пов'язано в першу чергу з тим, що оцінюють питомі витрати енергії на одиницю вартості валового внутрішнього продукту (ВВП).

У деяких літературних джерелах в систематизованому вигляді викладено комплекс питань, пов'язаних з можливостями енергозбереження при використанні частотно-регульованих асинхронних електроприводів, головним чином досягти підвищення енергетичних показників, шляхом застосування енергозберігаючого електроприводу. Намічені схемні рішення, що забезпечують енергозбереження при управлінні різними технологічними процесами і вентиляційними механізмами.

Енергозбереження стало одним з пріоритетних напрямків технічної політики у всіх розвинених країнах світу. Це пов'язано, по-перше, з обмеженістю і поновлювані основних енергоресурсів, по-друге, з безперервно зростаючими складнощами їх видобутку та вартістю, по-третє, з глобальними екологічними проблемами.

Частотно-регульований привід має високу точність, широкий діапазон регулювання швидкості обертання електродвигуна, забезпечує плавний пуск і гальмування, тому є найбільш ефективним способом управління. Найкращий засіб – застосування частотного управління, який дозволяє не тільки підвищити експлуатаційний ККД вентилятора, але і забезпечити мінімізацію втрат в приводі за допомогою енергозберігаючих алгоритмів управління.

Мета кваліфікаційної роботи. Підвищення енергетичних показників частотно-регульованого електроприводу для вентиляції.

Для досягнення мети поставлено такі **завдання**:

- розглянути проблеми експлуатації вентиляторів головного провітрювання та місцевого провітрювання;
- ознайомлення з сучасними регульованим електроприводом вентиляторів;
- розглянути енергоефективні способи регулювання і стабілізації режиму роботи вентилятора за критерієм мінімум втрат енергії;
- визначити особливості конструкції та ознайомлення з розповсюдженням для провітрювання тупикових виробок вентилятором місцевого провітрювання типу ВМ;
- скласти універсальну імітаційну модель для визначення споживання електроенергії вентиляторним агрегатом місцевого провітрювання з регульованим електроприводом.

Об'єкт дослідження. Електротехнічні системи і комплекси, що включають в себе вентиляційні установки та частотно-регульований електропривод.

Область дослідження: принципи і засоби управління електротехнічними комплексами та системами.

Предметом дослідження є система управління вентиляторної установки частотно-регульованого електроприводу.

Апробація роботи. Матеріали кваліфікаційної роботи обговорені і апробовані на IV Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції "Ефективне використання енергії; стан і перспективи" ЗВО «ПДУ». За результатами дослідження опублікована наукова теза.

ВИСНОВКИ

Отримано механічні та електромеханічні характеристики обраного асинхронного двигуна, побудовані за розрахунковими і каталожними значенням.

Також вироблено моделювання робочого процесу вентилятора в програмному середовищі MatLab Simulink. Побудовані динамічні характеристики.

У результаті застосування ПЧ значно знижуються експлуатаційні витрати. При зміні частоти обертання, продуктивність вентилятора також зміниться, створюваний тиск зміниться в два рази, а споживана потужність в три рази. ККД вентилятора залишається незмінним. Даний спосіб регулювання є найбільш економічно вигідним.

Ефективність впровадження частотно-регульованого електроприводу визначається не тільки економією електроенергії, підвищенням надійності роботи обладнання та зниженням експлуатаційних витрат. Важливою перевагою є можливість оптимізації режимів роботи, підвищення рівня автоматизації, а також зручність і простота впровадження.

Застосування регульованого електроприводу вентиляторного агрегату замість нерегульованого дає економію споживаної електроенергії до 50%. При цьому, цей показник тим більше, чим більше час роботи вентилятора із необхідною зменшеною швидкістю протягом доби.

Розроблена імітаційна модель для дослідження процесів споживання електричної енергії вентиляторного агрегату місцевого провітрювання є універсальною для вентиляторних установок різного призначення. Фактично треба знати потрібний тиск вентилятора протягом доби й ввести номінальні значення параметрів стосовно продуктивності, тиску, кутової швидкості, коефіцієнтів корисної дії вентилятора, двигуна та силового перетворювача.

Отримані залежності дозволили сформулювати екстремальний закон частотного управління, застосування якого дає зниження втрат енергії на 5-10%

в порівнянні з традиційним законом скалярного управління приводу з вентиляторним навантаженням.

За допомогою комп'ютерного моделювання показано, що додатковий енергозберігаючий ефект дає застосування спеціальних законів пуску двигуна, які дозволяють мінімізувати втрати енергії в приводі під час пуску і підвищити коефіцієнт потужності за рахунок зниження споживаної реактивної потужності.

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

Здобувач вищої освіти _____ **Назар СТОРОЖУК**

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адаменко А.І. Методи дослідження несиметричних асинхронних машин / А.І. Адаменко. - К.: Наукова думка, 1969. - 356 с.
2. Башарин А.В. Управління електроприводами: навчальний посібник для студ. внз / А.В. Башарин, В. А. Новіков, Г. Г. Соколовський. - Л.: Мальва, Львів. Від-ня, 1992. - 392 с.
3. Герман-Галкін С. Г. Комп'ютерне моделювання напівпровідникових систем в MatLab 6.0: навчальний посібник для студ. внз / С. Г. ГерманГалкин. - Одеса: КОРОНА принт, 2001. - 320 с.
4. Герман-Галкін С. Г. Силова електроніка: Лабораторні роботи на ПК: навчальний посібник для студ. внз / С. Г. Герман-Галкін. - Одеса: КОРОНА принт, 2002. - 304 с.
5. Герман-Галкін С. Г. Matlab & Simulink. Проектування мехатронних систем на ПК: навчальний посібник для студ. внз / С. Г. ГерманГалкин. - Одеса: Корона-століття, 2008. - 368 с.
6. Герман-Галкін С. Г. Електричні машини: лабораторні роботи на ПК: навчальний посібник для студ. внз / С. Г. Герман-Галкін. - Одеса: КОРОНА принт, 2003. - 256 с.
7. Електропривод: [підручник для студ. вищ. навч. закл.]/Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко, О.Ю. Синявський, Д.Г. Войтюк, В.П. Лисенко: за ред. Ю.М. Лавріненка. – К.: Ліра-К, 2009. – 504 с.
8. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: [підручник для студ. вищ. навч. закладів] / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Ларіненко, О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк: за ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.
9. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / М.Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань. — Тернопіль: Підручники @ посібники, 2001. — 984с.
10. Малащенко В. О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків: Навч. посібник. — Львів: Львівська політехніка, 2006. — 196 с.

11. Регульовані асинхронні електродвигуни в сільськогосподарському виробництві / В. Н. Андрианов, Д.Н. Бистрицький, А.В. Павлов, Е.М. Чебуркіна; під ред. Д.Н. Бистрицкого. — К.: Енергія, 1995. — 400 с.
12. Сиротин А.А. Автоматичне управління електроприводами / А.А. Сиротин. — К.: Енергія, 1999. — 560 с.
13. Системи автоматизованого управління електроприводами: [навчань. посібник для студ. вищ.] / Гульков Г. І., Петренко Ю.Н., Раткевич Е.П., Симоненкова О. Л.; під ред. Ю.Н. Петренко. — Миколаїв: Нове знання, 2004. — 384 с.
14. Довідник по перетворюючій техніці / [Чиженко І.М., Андрієнко П. Д., Бран А.А. та ін.]; під ред. І.М. Чиженко. — К.: Техніка, 1998. — 447 с.
15. Соколовський Г. Г. Електроприводи змінного струму з частотним регулюванням: підручник для студ. вищ. / Г. Г. Соколовський. — К.: АСАДЕМА, 2006. — 264 с.
16. Теорія електропривода: [підручник для студ. вищ. навч. закл.] М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В. А. Гаврилюк, О. М. Желдак, О. В. Ковальчук, Є.П. Красовський, С. М. Пересада, М.В. Печеник, В. І. Теряєв, В. М. Пижов: за ред. М.Г. Поповича. — К.: Вища шк., 1993. — 494 с.
17. Чорних І.В. Simulink : Інструмент моделювання динамічних систем / І.В. Чорних. — К.: Солон-прес, 2005. — 576 с.
18. Чорних І.В. Моделювання електротехнічних пристроїв в Matlab, SimPowerSystems і Simulink / І.В. Чорних. — К.: ДМК Прес, 2008. — 288 с.
19. Системи плавного пуску : [Електрон. ресурс]. — Режим доступу : [http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/5f3e374d2275dfcd c12571a0003e9ca8/\\$file/advlocmansoftst.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/5f3e374d2275dfcd c12571a0003e9ca8/$file/advlocmansoftst.pdf)
20. Motor Controllers Industrial, 2 - Phase Motor Reversing Type RR2A.: [Електрон. ресурс]. - Режим доступу: <http://www.productselection.net/PDF/UK/mcrr 2a.pdf>