

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МЕХАНІЗМІВ»

Виконав:

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

ЛЕВИЦЬКИЙ Дмитро Олегович

Керівник професор

МИХАЙЛОВА Людмила Миколаївна

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

« ____ » _____ 2024 р.

Допускається до захисту:

« ____ » _____ 2024 р.

Гарант освітньо-професійної програми
«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка» спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»
канд. техн. наук, доцент

Павло ПОТАПСЬКИЙ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД В ОБЛАСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МЕХАНІЗМІВ.....	14
1.1 Загальні відомості	14
1.2 Огляд сучасних типів напівпровідникових перетворювачів частоти.....	22
1.3 Безпосередні перетворювачі частоти матричного типу	28
Висновки до розділу	30
2. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ УСТАНОВКИ	31
2.1 Будова грейферного крана	31
2.2 Перетворювачі частоти для вантажопідйомних механізмів.....	35
Висновки до розділу	37
3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ТА ВИБІР СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ	38
3.1 Визначення групи режимів роботи грейферного крану	38
3.2 Вибір електродвигуна.....	40
3.3 Розрахунок параметрів АД	43
Висновки до розділу	48
4. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ МПЧ	49
4.1 Перетворювач частоти	49
4.2 Аналіз методів комутації ключів	55
Висновки до розділу	59
5. ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВОЇ ЧАСТИНИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ.....	60
Висновки до розділу	62
6. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	63
6.1 Розробка моделі в середовищі Simulink	63
6.2 Результати моделювання	70
6.2.1 Дослідження системи МПЧ-АД.....	70

	10
6.2.2 Моделювання двофазної системи розімкненого керування в системі ПЧ-АД	71
6.2.3 Моделювання двофазної системи замкненого керування в системі ПЧ-АД	72
Висновки до розділу	75
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	90
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	92
ДОДАТКИ.....	

АНОТАЦІЇ

В кваліфікаційній роботі проведено узагальнення технічних вимог до електроприводів підйомно-транспортних механізмів. На основі аналітичного огляду перетворювальних пристроїв асинхронних електроприводів обґрунтована доцільність використання матричних перетворювачі частоти в електроприводах руху та підйому підйомно-транспортних механізмів. Здійснено розрахунок потужності електродвигуна та вибір силового електрообладнання, розроблена система керування електроприводом.

Доведена доцільність використання комбінованого алгоритму безпечної комутації силових ключів перетворювача. Проведене порівняльне моделювання динамічних режимів електроприводу з матричним і дволанковим перетворювачами частоти.

ABSTRACTS

The diploma work summarizes the technical requirements for electric drives of lifting and transport mechanisms. On the basis of an analytical review of the converting devices of asynchronous electric drives, the feasibility of using matrix frequency converters in the electric drives of movement and lifting of lifting and transport mechanisms is substantiated. The calculation of the power of the electric motor and the selection of power electrical equipment were carried out, and the control system of the electric drive was developed.

The feasibility of using the combined algorithm of safe switching of the power switches of the converter is proven. Comparative modeling of the dynamic modes of the electric drive with matrix and two-link frequency converters was carried out.

РЕФЕРАТ

ЛЕВИЦЬКИЙ Дмитро Олегович. Дослідження перетворювальних пристроїв електроприводів підйомно-транспортних механізмів. 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Факультет енергетики та інформаційних технологій. Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій – Кам’янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2024.

В кваліфікаційній роботі проведено узагальнення технічних вимог до електроприводів підйомно-транспортних механізмів. На основі аналітичного огляду перетворювальних пристроїв асинхронних електроприводів обґрунтована доцільність використання матричних перетворювачі частоти в електроприводах руху та підйому підйомно-транспортних механізмів. Здійснено розрахунок потужності електродвигуна та вибір силового електрообладнання, розроблена система керування електроприводом.

Доведена доцільність використання комбінованого алгоритму безпечної комутації силових ключів перетворювача. Проведене порівняльне моделювання динамічних режимів електроприводу з матричним і дволанковим перетворювачами частоти.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОПРИВОД, АСИНХРОННИЙ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, МАТРИЧНИЙ, ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНІ МЕХАНІЗМИ, РОЗРОБКА, КЕРУВАННЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ДОСЛІДЖЕННЯ.

ВСТУП

Нині в країнах з розвинутою промисловістю найбільшу частку електроенергії споживають електроприводи. Сучасний електропривод (ЕП) — це електромеханічна система, що включає перетворювач енергії, електродвигун, передавальний механізм і систему керування, основним призначенням якої є привід робочих органів машин і механізмів і керування цим рухом. Враховуючи те, що ЕП є основним споживачем електроенергії, питання енергозбереження стає актуальним. Модернізація механізмів та підвищення техніко-економічних показників ЕП є одними з можливих шляхів вирішення цієї проблеми.

Автоматизація виробничих процесів і вдосконалення механізмів тісно пов'язані між собою з розвитку електроприводу. Що забезпечує заощадження електроенергії за рахунок оптимізації перехідних процесів, більш ефективні стійкі режими роботи при зниженні втрат. На даний момент найбільш перспективним серед усіх видів є електропривод змінного струму з частотним регулюванням [1].

Частотні перетворювачі (ПЧ), використовувані в їх можна розділити на дві групи:

- дволінійні перетворювачі (ДПЧ), які перетворюють електричну енергію в два етапи. Включає незалежно керований випрямляч і інвертор. Різниця потужностей на вході та виході поглинається або віддається накопичувачем енергії в колі постійного струму [1, 2];

- прямі інвертори (БПЧ), особливістю яких є одноразове перетворення електроенергії, міняючи проміжну ланку постійного струму, які не потребують накопичення енергії, на відміну від дволінійні перетворювачі ДПЧ [3]. Найбільш універсальною можна вважати схему БПЧ, засновану на штучному перемиканні двонаправлених ключів - так званий матричний перетворювач частоти (МПЧ) [5].

Актуальність роботи. Про актуальність поставленої мети свідчить значна кількість публікацій у відомих наукових виданнях, присвячених даній темі.

Варто зазначити, що особливу увагу приділено найбільш перспективним на сьогодні методам просторово-векторної модуляції.

Мета роботи та завдання дослідження. Мета – вивчити можливість використання МПЧ в системах керування електроприводами підйому та транспортування вантажів підйомно -транспортних механізмів (ПТМ), забезпечення цих перетворювачів електромагнітної сумісності та підвищення енергоефективності в умовах роботи промислових підприємств.

Об’єкт дослідження: процеси перетворення та керування енергією в електроприводах підйому та транспортування вантажів ПТМ.

Методи дослідження. У роботі використовуються методи математичного моделювання, системного аналізу та експертних оцінок. Для підтвердження отриманих результатів теоретичними та практичними методами використано система числові моделювання пакет застосовується Програми MATLAB/Simulink.

Наукова новизна: аналіз можливості застосування комбінованого алгоритму комутації силових ключів МПЧ, який поєднує в собі позитивні властивості чотиристоронніх методів комутації за напругою та струмом; визначення способу корекції тривалості імпульсів управління ШІМ, що дозволяє компенсувати затримку перемикавання, характерну для чотирьох поточних методів перемикавання.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі розроблено систему керування асинхронним електроприводом мостового грейферного крана.

1. За результатами аналізу різних видів підйомно-транспортних засобів та ознайомлення на підприємстві в зоні переддипломної практики з налаштувальним пристроєм було вирішено розробити проект модернізації електроприводу мостового грейферного крана. Описано принцип дії такого механізму та його класифікацію, окреслено умови розробки системи автоматичного керування технологічним процесом. Основними вимогами до перетворювачів частоти в ПТМ є забезпечення жорсткості механічних характеристик, плавність пуску, точність позиціонування та можливість режиму відновлення. Отже, сформульовано вимоги до електроприводу.

2. Проведено аналітичний огляд різних типів напівпровідникових перетворювачів частоти. З метою економії та забезпечення виконання всіх вимог було вирішено використовувати матричний перетворювач частоти.

3. Для вибору елементів електроприводу розраховується вантажопідйомність механізму підйому крана.

4. За отриманим значенням статичної потужності вибрано асинхронний електродвигун 4A200M4Y3 та розраховано номінали та параметри Т-подібної схеми заміщення. Потім ці дані були використані в моделюванні. За значеннями номінальної потужності АД і вихідної напруги джерела живлення був обраний серійний матричний перетворювач частоти фірми Yaskawa CIMR-AC4A0139TAA.

5. У програмному середовищі MatLab Simulink розроблено модель системи керування трифазним асинхронним двигуном з матричним перетворювачем. Проведено моделювання перехідних процесів електроприводу з параметрами узгодженої машини.

6. Виконане моделювання динамічних режимів електромеханічної системи включає:

- вивчення динамічних характеристик АД при виконанні траєкторії кутової швидкості;
- Дослідження жорсткості механічних характеристик АД при застосуванні моменту навантаження.

7. Для перевірки адекватності використаної моделі МПЧ проведено порівняння трифазної системи керування з двофазною відкритою та закритою системами керування АД. Отримані результати підтвердили працездатність розробленої системи електроприводу та її придатність для підйомно-транспортних механізмів, а також доцільність використання МПЧ як альтернативи існуючим системам частотного регулювання асинхронних електроприводів.

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

Здобувач вищої освіти _____ Дмитро ЛЕВИЦЬКИЙ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жигулін О. А., Махмудов І. І., Жигуліна Н. О. Підйомно-транспортні машини: Навчальний посібник. Ніжин, 2020. 150 с.
2. Кошель С. О., Ковальов Ю., Манойленко О. П. Проектування промислових роботів та маніпуляторів. Київ: Видавництво «Центр навчальної літератури» 2019. 256 с.
3. Поліщук М. М., Ткач М. М. Робототехнічні системи: проектування і моделювання [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 112 с.
4. Сукач М.К. Будівельні машини і обладнання. Київ: Ліра-К, 2020. 390 с.
5. Електропривод: підручник / Ю. М. Лавріненко, О.С. Марченко, П. І. Савченко, О. Ю. Синявський, Д. Г. Войтюк, В. П. Лисенко; За ред. Ю.М. Лавріненка. Київ: Видавництво «Ліра-К», 2009. 504 с.
6. Гідравлічні і аеродинамічні машини / [М. І. Колотило, О. М. Романюк, Г. П. Вербицький, та інш.] Кіровоград, 1997. 176 с.
7. Павленко Т. П., Донець О. В., Петренко О. М. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка). Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. 132 с.
8. Будівельна техніка: Довідник. Режим доступу: <https://budtehnika.pp.ua/ekspluatatsiya-budivelnnykh-mashyn/ekspluatatsiyaekskavatoriv/>.
9. Колб А. А., Колб А. А. Теорія електроприводу: Навч. посібник. Дніпропетровськ: НГУ, 2006. 511 с.
10. Кошель С. О., Ковальов Ю., Манойленко О. П. Проектування промислових роботів та маніпуляторів. Київ: Видавництво «Центр навчальної

літератури» 2019. 256 с.

11. Хруцький А.О., Громадський В. А., Чумак Ю.І., Сулімовський М.Д. Дослідження параметрів кар'єрних екскаваторів типу ЕКГ. Гірничий вісник, вип. 107, 2020. С. 132–138.

12. Баладінський В. Л., Русан І. В., Гаркавенко О. М., Вольтерс О. Ю. Пристрої та механізми вантажопідйомних машин: Навчальний посібник. Київ: КНУБА, 2005. 136 с.

13. Автоматизація технологічних процесів підземних гірничих робіт. Підручник/А. В. Бубліков, М. В. Козарь, С. М. Проценко та ін., під заг. ред. В. В. Ткачова. Дніпро: Національний гірничий університет, 2012. 304 с.

14. Бобух А.О. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: навч. посібн. Харків: ХНАМГ, 2006. 185 с. 34. Павленко І. І., Мажара В. А. Роботизовані технологічні комплекси: Навчальний посібник. Кіровоград: КНТУ, 2010. 392 с

15. Системи регулювання параметрів та підвищення ефективності роботи насосних, вентиляторних та компресорних установок: навч. посібник Т. В. Коренькова, П. В. Лузан, Д.А. Михайличенко, А. Л. Перекрест, О. О. Сердюк. Кременчук: КДПУ, 2006. 152 с.

16. Коренькова Т. В. Насоси. Особливості включення. Характеристики насосів і режимів енергоспоживання при перемінній швидкості обертання. навч. посібник. Кременчук: КДПУ, 2002. 56 с.

17. Машини для земляних робіт: навчальний посібник / Хмара Л. А., Кравець С.В., Нічке В. В., Назаров Л. В., Скоблюк М. П., Нікітін В. Г. / за ред. 153 Хмари Л. А. та Кравця С. В. Рівне-Дніпропетровськ-Харків, 2010. 867 с

18. Видмиш А.А., Трошин О.А. Теорія електропривода. Лабораторний практикум/ Навчальний посібник. Видмиш А.А., Трошин О.А – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 135 с.

19. Аракелян А.К. Електропривод із матричним перетворювачем / А.К. Аракелян, Н.В. Кокорін // Електрика. 2008. №10. С.57-60.

20. Душин, РЄ. Теорія автоматичного управління: навч. для вузів/РЄ.

Душин, Н.З Зотов, Д.Х. Імаєв та ін. К.: Вища школа, 2003. 567 с.

21. Єфімов, А.А. Активні перетворювачі в регульованих електроприводах змінного струму / О.О. Єфімов за ред. Р.Т. Шрейнер. Новоуральськ: Вид-во НДТІ. 2001.

22. Соколовський, Г.Г. Електроприводи змінного струму із частотним регулюванням: підручник для студ. вищ. навч. закладів/Г.Г. Соколовський. К: Вид-во Академія. 2006. 272 с.

23. Чехет, Е.М. Безпосередні перетворювачі частоти для електроприводу/Е.М. Чехет, В.П. Мордач, В. Н. Соколов. Київ: Думка, 1988. 224 с.

24. Бєлов, Г.А. Вплив вхідного фільтра на динаміку імпульсного перетворювача/Г.А. Бєлов, І.В. Ільїн // Електрика. 2005. №12. С.59-67.

25. Шрейнер Р.Т. Концепція побудови дволанкових безпосередніх перетворювачів частоти для електроприводів змінного струму/Р.Т. Шрейнер, А.А. Єфімов, А.І. Калигін та ін. // Електротехніка. 2002. №12.

26. Шрейнер Р.Т. Енергозберігаючий промисловий регульований асинхронний електропривод нового покоління на основі дволанково-безпосередніх перетворювачів частоти / Р.Т. Шрейнер, В.К. Кривов'яз, А.І. Калигін, СІ. Шилін // Силова електроніка. 2007. №1. С.42-45.

27. Жуков, П.В., Підвищення ефективності електроприводу при використанні матричного перетворювача частоти/П. Ст. Жуков, Є.Г. П. Мурузана // Збірник праць II міжнародної науково-технічної конференції студентів, магістрів, аспірантів 2012. С.31-36.

28. Іллінський, Н.Ф. Електропривод. Енерго- та ресурсозбереження: підручник для студ. вищ. навч. Закладів/Н.Ф. Іллінський, В.В. Москаленка. К: Вид-во Академія. 2008. 208 с.

29. Розанов, Ю.К. Силова електроніка: підручник для вузів/Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицький, О.О. Кваснж. К: Вид-во МЕІ. 2009. 632 с.

30. ГОСТ 24599-87. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007762>