

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

Павліченко Сергій Леонідович

УДК 681.5.09: 62-5

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОДАЧІ
МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ НА БАЗІ ВЕНТИЛЬНО-
ІНДУКТОРНОГО ДВИГУНА**

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Автореферат кваліфікаційної роботи магістра

Краматорськ 2020

Робота виконана на кафедрі електромеханічних систем автоматизації
Донбаської державної машинобудівної академії Міністерства освіти і науки
України, м. Краматорськ.

Науковий керівник:

кандидат технічних наук,
Івченков Микола Володимирович,
Донбаська державна машинобудівна
академія, доцент кафедри
«Електромеханічні системи
автоматизації».

Рецензент:

Захист відбудеться «___» грудня 2020 р. о ___ годині на засіданні державної
екзаменаційної комісії за спеціальністю 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка» в Донбаській державній машинобудівній
академії на кафедрі ЕСА за адресою: 84313, м. Краматорськ, бульвар
Машинобудівників, 39, 2-й корпус, ауд. 2133.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

Одним з перспективних в даний час електромеханічних перетворювачів є вентильно-індукторний, що має високі техніко-економічні показники. У світовій практиці вентильно-індукторні електричні двигуни (ВІД) в складі вентильно-індукторних електроприводів (ВІП) застосовуються в багатьох областях. Основною причиною розширення області їх застосування є ряд переваг, таких як простота конструкції, надійність, відносно низька вартість у виготовленні, а також високі енергетичні характеристики і масогабаритні показники.

До теперішнього часу виконано чимало теоретичних і практичних досліджень, присвячених поліпшенню техніко-економічних показників цього типу приводу. Для ВІД практично не існує обмежень по максимальній потужності, при цьому вони можуть бути виконані в низьковольтному варіанті на одиниці мегават. Це досягається секціонуванням обмотки якоря, тобто проектуванням машини з кількох трифазних секцій, з керуванням кожною секцією від окремого інвертора. Синхронізація роботи секцій автоматично досягається за рахунок роботи елементарних електричних машин на загальний вал з автокомутацією по вбудованому датчику положення.

Вентильно-індукторний привід з незалежним збудженням, можна розглядати як перспективний для широкого класу задач – від приводів насосів до приводу подач і головного руху верстатів. Цей тип приводу, в порівнянні з вентильно-індукторними двигунами з самозбудженням, в максимальному ступені адаптований до технології векторного керування, здатний працювати в гальмівних режимах і, крім того, не вимагає спеціальних рішень в області силової частини. Уніфікація силової частини для такого типу приводу на базі добре відпрацьованих в промисловості рішень може здешевити привід і забезпечити скорочення термінів розробки.

При створенні електроприводів на базі ВІД виникають різні проблеми. До кінця невирішеною залишається проблема оптимального проектування ВІД. Адже саме конфігурація активної частини ВІД, в яку входять магнітопроводи статора і ротора і обмотка статора, багато в чому визначає характеристики проектованої машини. Завдяки наявності високопродуктивної обчислювальної техніки і програмного забезпечення, існує можливість удосконалювати активну частину ВІД за допомогою оптимізаційних алгоритмів.

Актуальність аналізу вентильно-індукторного електроприводу викликана необхідністю підвищення надійності експлуатації двигуна, так і вимогою вдосконалення алгоритмів систем контролю і прогнозування теплового стану ВІД в різних режимах.

Тому розробка і дослідження векторної системи керування вентильно-індукторним електродвигуном дозволить створювати більш досконалі електроприводи на базі ВІД, які будуть мати високу конкурентоспроможність в порівнянні з іншими приводами.

Зв'язок роботи з планами і темами кафедри. Робота була виконана на кафедрі електромеханічних систем автоматизації Донбаської машинобудівної академії відповідно до тематичного плану держбюджетної науково-дослідної роботи ДР№.0117U007402 «Розробка та дослідження електронних та електромеханічних систем перетворення електричної енергії з використанням сучасних цифрових засобів автоматизації» згідно з напрямком наукової роботи кафедри.

Метою роботи є дослідження розробка та дослідження електроприводу подачі металорізального верстату на базі вентильно-індукторного двигуна.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні **задачі:**

– вибрати систему керування вентильно-індукторним двигуном для електроприводу подачі металорізального верстата;

– дослідити електромеханічну систему подачі металорізального верстата на основі математичної моделі;

– дослідити електромеханічну систему подачі металорізального верстата на основі математичної моделі.

– аналіз економічних переваг і актуальності прийнятих рішень.

Об'єктом дослідження є електропривод подачі токарно-карусельного верстата 1532Ф1.

Предметом дослідження є підвищення точності електроприводу подачі токарно-карусельного верстата на базі вентильно-індукторного двигуна.

Методи досліджень – методи математичного моделювання; чисельні методи обчислень, методи теорії автоматичного керування, методи забезпечення оптимальних параметрів двигуна по куту установки ротора.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Для системи керування розроблено перспективний і простий варіант керування вентильно-індукторним двигуном за кутом установки ротора.

2. Доказано, що для можливості роботи вентильно-індукторного двигуна на високій швидкості можна використовувати метод ослаблення поля, коли створюється негативний струм осі d , який дозволить зменшити напругу, що прикладається до двигуна, не зменшуючи при цьому момент.

3. Показана можливість застосування в електроприводі подачі металорізального верстата прямого керування моментом вентильно-індукторного двигуна з незалежним збудженням.

Практичне значення отриманих результатів:

1. В роботі обґрунтовано теоретичні основи і синтезовано основні принципи керування вентильно-індукторним двигуном з низькою чутливістю до зміни електричних величин, яких достатньо для застосування в електроприводі подачі металорізального верстата.

2. В роботі для підвищення точності моделювання електроприводу розраховано нову структурну схему, яка враховує втрати в сталі двигуна.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці основних принципів керування вентиляно-індукторним двигуном з низькою чутливістю до зміни електричних величин.

Апробація результатів магістерської роботи. Результати досліджень обговорювались на щорічній науковій конференції студентів ДДМА, м. Краматорськ, 2020 р.

Публікація результатів наукових досліджень.

Матеріали магістерської роботи опубліковано в науковій статті у фаховому виданні «Вісник Донбаської державної машинобудівної академії» (перереєстровано – Наказ МОН України № 326 від 04.04.2018).

Структура і обсяг магістерської роботи.

Магістерська робота складається із вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг магістерської роботи становить 143 сторінки, включаючи 32 рисунки та 21 таблицю. Список використаних джерел містить 39 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить обґрунтування актуальності теми дослідження, її основну мету, наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів.

У **першому розділі** виконується аналіз сучасного стану щодо використання та перспектив розвитку вентильно-індукторного електропривода.

Вентильно-індукторні двигуни мають великі перспективи застосування, перш за все в частотно-регульованих приводах і мають такі цінні якості, як безконтактність, висока надійність, економічність, великий термін служби, великі граничні значення потужності і напруги, швидкодія, простота і дешевизна експлуатації. До недавнього часу ці машини мали обмежену сферу застосування в силу складності отримання імпульсів великої потужності, а також відсутності (або неможливості реалізації) високоефективних алгоритмів керування, які б забезпечували невеликі пульсації моменту та високий ККД. Однак з появою в останні роки потужної перетворювальної і обчислювальної техніки ситуація змінюється в сторону їх більш широкого застосування в промисловості і інших областях. І хоча вентильно-індукторного двигуни, строго кажучи, не є синхронними машинами, вони тим не менше багато в чому схожі з кроковими двигунами з точки зору принципів формування фазних струмів і способів комутації.

Сучасні електроприводи дозволяють повністю автоматизувати виробництво, а рівень промисловості визначається інтелектуальною спроможністю приводів. Завдання магістерської роботи – вдосконалення електроприводу на основі ВІД, створення програмного комплексу для автоматизації проектування з урахуванням оптимізації активної частини ВІД, дослідження впливу фрагментів магнітної системи ВІД на середнє значення електромагнітного моменту.

Вирішення поставлених завдань дозволить створювати більш досконалі електроприводи на базі ВІД, які будуть мати високу конкурентоспроможність в порівнянні з іншими приводами.

У **другому розділі** розглядаються методи наукових досліджень, наводиться послідовність етапів побудови математичної моделі.

Дослідження має два основні рівні – емпіричний і теоретичний.

Будь-яке наукове дослідження розпочинається зі збору, систематизації та узагальнення фактів. Розрізняють факти дійсності і наукові факти. Факти дійсності – це події, явища та процеси, які відбувалися або відбуваються в реальній дійсності; вони є різними сторонами, властивостями, відношеннями досліджуваних об'єктів. Наукові факти – це відображені у свідомості дослідника факти дійсності, що перевірені, усвідомлені та зафіксовані мовою науки як емпіричні судження.

Емпіричний рівень дослідження складається з двох стадій (етапів).

На першій стадії відбувається процес отримання фактів. Використовуючи різні шляхи та прийоми, дослідник вичленовує і накопичує факти – емпіричну основу наукового дослідження.

Друга стадія передбачає первинну обробку, систематизацію та оцінку фактів у їх взаємозв'язку, тобто осмислення і жорсткий опис здобутих фактів у термінах наукової мови, їхню класифікацію та виявлення залежностей між ними.

На емпіричному рівні дослідження вирішуються такі пізнавальні завдання:

– збирання необхідного фактичного матеріалу про досліджуваний об'єкт, який є фундаментом дослідження і без яких неможливо побудувати ефективну наукову теорію;

– отримання даних про різноманітні властивості та зв'язки емпіричного об'єкта, тенденції його руху та розвитку, що сприяє

формалізації знання та широкому використанню кількісних методів при побудові наукових теорій;

– розробка схем, діаграм, картограм тощо, в яких фіксується і відображається стан досліджуваного об'єкта, його структура, розвиток, динаміка поведінки;

– класифікація наукових фактів і даних, котрі в узагальненому вигляді називаються емпіричною інформацією.

У **третьому розділі** виконано опис роботи та технологічних особливостей обраного об'єкта дослідження – електропривода подачі токарно-карусельного верстата моделі 1532Ф1.

Токарно-карусельний верстат моделі 1532Ф1 призначений для чорнової та чистової обробки сталевих і чавунних деталей великої ваги і діаметра, що мають порівняно невелику висоту. Крім того, на верстаті може проводитися обробка виробів з кольорових металів і їх сплавів, а також з неметалічних матеріалів.

Станина служить для всіх вузлів верстата основою, що забезпечує взаємне розташування і їх переміщення. Вона сприймає зусилля від сил різання і маси складових частин.

Станина являє собою порожнисту вилітку, посилену всередині ребрами жорсткості так, що при порівняно невеликій вазі, вона має достатню міцність і твердість. Спереду до станини кріпиться стіл з планшайбою.

Стіл складається з корпусу, планшайби зі шпилем, кругових напрямних з текстолітовими накладками і приводу планшайби.

Корпус столу являє собою чавунну вилітку з розвиненою системою ребер, які надають йому більшу жорсткість.

У верхній частині корпусу столу є кільцеві виступи, які входять в кільцеві канавки планшайби, утворюючи лабіринт. Це перешкоджає розбризкуванню мастила і захищає від попадання всередину столу стружки, чавунного пилу, емульсії та інших забруднюючих елементів.

Стіл і станина з'єднуються достатньою кількістю шпильок, які забезпечують більшу жорсткість стику і безвібраційну роботу верстата, необхідну для отримання високої точності оброблюваних деталей.

На лицьовій стороні станини є направляючі, якими переміщаються поперечина і бічний супорт. Справа до станини кріпиться корпус механізму передачі руху на подачу, а зверху – механізм переміщення поперечки.

У **четвертому розділі** здійснюється побудова векторної системи керування електропривода подачі токарно-карусельного верстата 1532Ф1 на базі вентильно-індукторного двигуна з побудовою математичної моделі та графіків перехідних процесів, отриманих за допомогою цієї моделі.

Електропривод подач бічного супорта токарно-карусельного верстата моделі 1532Ф1 побудований за принципом (перетворювач частоти)-(вентильно-індукторний двигун). Приводний електродвигун коробок подач кожного з трьох супортів – це вентильно-індукторний двигун типу ВИД80-4 УХЛ4 потужністю 4 кВт.

У **п'ятому розділі** здійснюється дослідження вентильно-індукторного електропривода подач токарно-карусельного верстата з побудовою математичної моделі та графіків перехідних процесів, отриманих за допомогою цієї моделі.

При розробці системи керування вентильно-індукторним двигуном існує безліч можливостей, однак найбільш раціонально відштовхуватися від вже існуючих перевірених систем керування, модифікувавши їх структуру в разі потреби. Зазвичай розглядаються дві основні структури системи керування для вентильно-індукторного двигуна з незалежним збудженням (ВІД НЗ). Це вентильний режим з автокомутацією по положенню ротора і релейним підтриманням струмів фаз, а також датчикове керування з ПІ-регуляторами струму і ШІМ. Обидва ці способи керування мають свої переваги і недоліки.

Розглянемо основні переваги та недоліки вентильного і векторного режимів керування.

Вентильний режим з автокомутацією по датчику положення ротора має наступні переваги:

– простота реалізації (від системи керування потрібно тільки блок комутації фаз в залежності від кута положення ротора і блок струмообмеження);

– хороша динаміка контуру струму (за рахунок релейного керування струмами фаз час відпрацювання завдання струму малий і обмежується лише фізичним процесом наростання струму, а не інерційністю системи керування в порівнянні з ПІ-регулятором).

Векторне датчикове керування з ПІ-регулятором струму і ШІМ має наступні переваги:

– лінійність і однозначність налаштування (в порівнянні з режимом автокомутації не потрібно підбирати складні нелінійні залежності для забезпечення оптимальної роботи);

– змінна частота ШІМ дозволяє знайти компроміс між шумом, пульсацією струму і втратами в перетворювачі (щоб знизити втрати в перетворювачі раціонально знижувати частоту ШІМ на великих струмах);

– відсутність пульсацій моменту (векторне керування оперує синусоїдальними величинами, в результаті чого момент двигуна має мінімум пульсацій в порівнянні з режимом автокомутації).

У **шостому розділі** здійснено техніко-економічне обґрунтування виконаних досліджень. Розраховано оціночні результати вкладу магістра у наукові дослідження по магістерському проекту.

У **сьомому розділі** наведено результати аналізу з охорони праці, а саме аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, заходи щодо забезпечення безпечних умов праці і дії при надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

Магістерська робота є актуальною науково-дослідною роботою для промислових електроприводів, в результаті якої вирішено наступні задачі:

- розгляд технічних особливостей та принципу токарно-карусельного верстата 1532Ф1;

- розробка структурної схеми двомасового об'єкта керування, яка враховує пружні елементи з розподіленою масою;

- вибір системи керування вентильно-індукторним двигуном електроприводом подачі верстата;

- дослідження електромеханічної системи верстата на основі математичної моделі;

- дослідження роботи вентильно-індукторного двигуна з методом ослаблення поля;

- аналіз економічних переваг і актуальності прийнятих рішень.

Запропоновані підходи до технічної реалізації електроприводу подачі з вентильно-індукторним двигуном можуть бути використані підприємствами, що займаються розробкою і випуском систем керування металорізальних верстатів.

Подальша розробка теми може бути спрямована на створення швидкодіючого електроприводу з вентильно-індукторним двигуном для електроприводу подачі металорізального верстату.

Економічна ефективність запропонованих в магістерській роботі заходів підтверджується у розділі 6, а питання з охорони праці і безпеки при надзвичайних ситуаціях докладно розглянуті у розділі 7.

АНОТАЦІЯ

Павліченко С. Л. Розробка та дослідження електроприводу подачі металорізального верстату на базі вентильно-індукторного двигуна.

Магістерська робота за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2020.

Магістерська робота складається із вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг магістерської роботи становить 143 сторінки, включаючи 32 рисунки та 21 таблицю. Список використаних джерел містить 39 найменувань.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є розробка та дослідження електроприводу подачі металорізального верстату на базі вентильно-індукторного двигуна.

Основні наукові та практичні результати магістерської роботи:

1. Вибрано систему керування вентильно-індукторним двигуном для електроприводу подачі металорізального верстата.
2. Досліджено електромеханічну систему подачі металорізального верстата на основі математичної моделі.
3. Досліджено методи підвищення точності електроприводу подачі металорізального верстата.

Ключові слова: ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНИЙ ДВИГУН, СТАТОР, РОТОР, ПРИВОД ПОДАЧІ, ТОЧНІСТЬ, ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ

ANNOTATION

Pavlichenko S. L. Development and research of the electric drive for the metal cutting machine on the basis of the valve-induction motor.

The master's work on the specialty 141 – "Electricity, electronics and electrical engineering", Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, 2020.

The master's work consists of an introduction, seven sections, conclusions and

a list of used sources. The total amount of master's work is 143 pages, including 32 figures and 21 tables. The list of literature contains 39 items.

The purpose of the master's qualification work is to develop and study the electric drive of a metal-cutting machine based on a valve-induction motor.

The main scientific and practical results of the master's work:

1. The control system of the valve-induction motor for the electric drive of giving of the metal-cutting machine was chosen.
2. The electromechanical feeding system of a metal-cutting machine on the basis of a mathematical model was investigated.
3. The methods of increasing the accuracy of the electric drive of the metal-cutting machine are investigated.

Keywords: SWITCHED RELUCTANCE MOTOR, STATOR, ROTOR, FEED DRIVE, ACCURACY, FREQUENCY CONVERTER

Павліченко Сергій Леонідович

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОДАЧІ
МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ НА БАЗІ ВЕНТИЛЬНО-
ІНДУКТОРНОГО ДВИГУНА**

Підп. до друку

Формат 60×90/16

Офсетний друк

Умов. друк. арк. – 0,58

Тираж 1 прим.

Замовлення №

ДДМА, 84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72