

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

Косов Серафім Федорович

УДК 681.5.09: 62-5

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОДАЧІ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ НА
БАЗІ СИНХРОННОГО ДВИГУНА З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ**

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Автореферат кваліфікаційної роботи магістра

Краматорськ 2019

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 2019 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.

В точному машинобудуванні для реалізації швидких і високоточних переміщень в режимі відтворення траєкторії (лазерна різка, електроерозійні, шліфувальні верстати) знайшли широке застосування електричні приводи з робочим органом, жорстко з'єднаним з електричною машиною – прямі (безредукторні) приводи. При цьому часто використовуються синхронні електричні машини з постійними магнітами (СДПМ), які працюють в режимі вентильного двигуна (ВД). При цьому поля первинної та вторинної частин машини нерухомі відносно один одного. Основними перевагами електроприводу на базі СДПМ є:

- безконтактність і відсутність вузлів, що вимагають обслуговування;
- велика перевантажувальна здатність по моменту (короткочасно кратність максимального моменту дорівнює 5 і більше);
- висока швидкодія, обумовлена відносно малою величиною електромагнітної і механічної інерційності;
- високі енергетичні показники (ККД і $\cos\phi$).
- практично необмежений діапазон регулювання частоти обертання (1:10000 і більше) і можливість регулювання частоти обертання за різними законами;
- низький перегрів СДПМ збільшує термін служби електроприводу,
- мінімальні масогабаритні показники при інших рівних умовах;
- можливість високошвидкісного виконання.

Наведені вище переваги електроприводів на базі СДПМ роблять його перспективним в таких областях як:

- сервоприводи роботів і маніпуляторів;
- приводи подачі і головного руху металорізальних верстатів і координатних пристроїв;

– автоматичні лінії по обробці різних матеріалів або складанні виробів;

– пакувальні машини;

– друкарські машини, принтери та плотери;

– намотувальні і стрічкопротяжні механізми;

– прецизійні системи стеження і наведення;

– авіаційна техніка;

– медична техніка;

– тяговий електропривод електричного транспорту;

– приводи рульового керування літальних і підводних апаратів, автомобілів;

– мотор-колеса;

– гірські машини;

– турбомеханізми;

– побутова техніка та ін.

Електроприводи на базі СДПМ малої і середньої потужності є особливо привабливими для їх використання в складі сервоприводів. При цьому СДПМ забезпечує відносно малі габарити, хороші енергетичні показники і малу інерційність. У той же час, швидкий і точний рух виконавчого органу сервоприводу неможливий без якісної системи керування.

Актуальність аналізу електроприводу на базі синхронного двигуна з постійними магнітами викликана необхідністю підвищення надійності експлуатації двигуна, так і вимогою підвищення точності електроприводу подачі металорізальних верстатів в різних режимах.

Тому розробка і дослідження системи керування електроприводом подачі верстата на базі синхронного двигуна з постійними магнітами дозволить створювати більш досконалі електроприводи, які будуть мати високу конкурентоспроможність в порівнянні з іншими приводами.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Вибір напрямку досліджень здійснено у відповідності до Закону України від 11.07.2001 р. № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» та змінам до цього закону від 09.09.2010 р. № 2519-VI (2519-17), а також постанови Президії Національної Академії Наук України від 22.10.2010 р. № 294 «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки на період до 2020 року».

Робота виконана в рамках держбюджетної теми кафедри «Електромеханічні системи автоматизації» ДДМА, «Розробка та дослідження електронних та електромеханічних систем перетворення електричної енергії з використанням сучасних цифрових засобів автоматизації».

Мета і задачі дослідження.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є дослідження методів підвищення точності електроприводу подачі металорізального верстату на базі синхронного двигуна з постійними магнітами.

Мета досягається за розв'язання наступних задач:

- розгляд технічних особливостей та класифікація синхронних двигунів з постійними магнітами;
- аналіз конструктивних особливостей токарно-гвинторізного верстата моделі КЖ1675Ф1;
- виконання розрахунку техніко-експлуатаційних параметрів токарно-гвинторізного верстата;
- розробка структурної схеми двомасового об'єкта керування, яка враховує пружні елементи з розподіленою масою;
- вибір системи керування СДПМ, перетворювача частоти та мікроконтролера для електромеханічної системи електроприводу подачі

верстата;

– дослідження електромеханічної системи приводу подачі на основі математичної моделі;

– дослідження методів підвищення точності електроприводу подачі металорізального верстату на базі синхронного двигуна з постійними магнітами;

– аналіз економічних переваг і актуальності прийнятих рішень.

Об'єктом дослідження є електропривод подач токарно-гвинторізного верстата моделі КЖ1675Ф1.

Предметом дослідження є підвищення точності електроприводу подач металорізального верстата.

Методи досліджень – методи математичного моделювання; чисельні методи обчислень, методи теорії автоматичного керування, теорія узагальненої синхронної машини.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Проаналізовано метод фазового керування електроприводом металорізального верстата на базі СДПМ, який заснований на одночасному регулюванні амплітуди напруги живлення СДПМ та фази напруги (або кута комутації).

2. Розглянуто методи підвищення точності регулювання механічних координат електроприводу подач верстата, що базуються на фазовому керування СДПМ з налаштуванням на максимальний електромагнітний момент, з налаштуванням на максимальну частоту обертання, з налаштуванням на постійний електромагнітний момент.

3. Метод фазового керування підвищує енергетичну ефективність керування при налаштуванні на максимальний електромагнітний ККД.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Для вирішення проблеми підвищення точності привода подачі металорізального верстата розроблено структурну та функціональну схеми синхронного електроприводу на базі СДПМ та частотного перетворювача та проведено його математичне моделювання.

2. В роботі створена математична модель СДПМ, яка дозволяє точно отримувати бажані характеристики електроприводу за рахунок налаштування необхідного для цього кута комутації.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці методики підвищення точності регулювання механічних координат електроприводу подач верстата, що базуються фазовому керування СДПМ, з налаштуванням на постійний електромагнітний момент.

Апробація результатів магістерської роботи. Результати досліджень обговорювались на щорічній науковій конференції студентів ДДМА, м. Краматорськ, 2019 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 147 сторінок, включаючи 24 рисунки та 19 таблиць. Список використаних джерел містить 48 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 електроприводі на базі синхронних двигунів з постійними магнітами.

Регульований електропривод знаходить все більше застосування в промисловості і різних технологічних машинах. Його використання дозволить забезпечити автоматизацію багатьох технологічних процесів, отримати складний рух промислових машин, знизити енергоспоживання в різних областях діяльності людського суспільства. ще в кінці минулого століття домінуючим електроприводом в тих установках, де було потрібно в широкому діапазоні регулювати швидкість, був електропривод постійного струму. Використання синхронних двигунів з постійними магнітами (СДПМ) є одним з перспективних напрямків розвитку електроприводу. Дані двигуни вже зараз випускаються в дуже великому діапазоні потужностей, від одиниць ват до десятків мегават. Перевагою цих двигунів перед іншими типами двигунів є малі габарити, можливість працювати з високою кутовою швидкістю, малий момент інерції ротора, малі електромеханічна і електромагнітна постійні часу, що дозволяє реалізувати на їх базі високодинамічні регульовані електроприводу. Перераховані переваги синхронних двигунів з постійними магнітами роблять їх застосування привабливим в різних областях, в тому числі в робототехніці, верстатобудуванні, де потрібне поєднання таких якостей, як високий момент, малі маса і габарити, висока швидкодія.

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

Наукове дослідження – це цілеспрямоване пізнання, результати якого

виступають у вигляді системи понять, законів і теорій. Характеризуючи наукове дослідження, зазвичай вказують на наступні його відмітні ознаки:

– це обов'язково цілеспрямований процес, досягнення усвідомлено поставленої мети, чітко сформульованих завдань;

– це процес, спрямований на пошук нового, на творчість, на відкриття невідомого, на висунення оригінальних ідей, на нове освітлення розглянутих питань;

– воно характеризується систематичністю: тут упорядковані, приведені у систему і сам процес дослідження, і його результати;

– йому властива строга доказовість, послідовне обґрунтування зроблених узагальнень і висновків.

Об'єктом науково-теоретичного дослідження виступає не просто окреме явище, конкретна ситуація, а цілий клас подібних явищ і ситуацій, їх сукупність.

У **третьому розділі** виконано опис роботи та технологічних особливостей обраного об'єкта дослідження – електропривода подач токарно-гвинторізного верстата моделі КЖ1675Ф1.

Токарно-гвинторізний верстат призначений для обдирних і чистових токарних робіт, обточування конусів. Конструкція верстата і його компонування підпорядковані вимогам забезпечення необхідної точності та жорсткості обробки і створення максимальних зручностей при обслуговуванні верстата. Збір стружки здійснюється в короби, встановлені в поглибленні фундаменту.

На верстаті можна проводити:

– обточування зовнішніх циліндричних поверхонь деталей в центрах або в планшайбі передньої бабки і центрі задньої бабки;

– обточування конусних поверхонь методом переміщення верхніх поздовжніх санчат, повернених на кут, рівний половині кута конуса оброблюваної деталі, або методом комбінованих подач;

- нарізку метричних і дюймових різьблень з кроком до 96 мм;
- свердління і розточування;
- шліфування при установці на верстаті спеціального пристосування.

У **четвертому розділі** здійснюється побудова векторної системи керування електропривода подач на базі синхронного двигуна з постійними магнітами з побудовою математичної моделі та графіків перехідних процесів, отриманих за допомогою цієї моделі.

В електроприводі подач токарно-гвинторізного верстата КЖ1675Ф1 використано векторно-керований частотний електропривід з синхронним електродвигуном з постійними магнітами. В результаті розрахунків побудовано математичну модель цього електроприводу в середовищі Matlab.

У **п'ятому розділі** здійснюється дослідження методів підвищення точності електроприводу подачі металорізального верстату на базі синхронного двигуна з постійними магнітами та розглянуто методи підвищення точності регулювання механічних координат електропривода, що базуються фазовому керування СДПМ з налаштуванням на максимальний електромагнітний момент, з налаштуванням на максимальну частоту обертання, з налаштуванням на постійний електромагнітний момент.

Для синхронних машин з постійними магнітами характерні значний повітряний зазор і низький ступінь насичення. Тому при їх розгляді часто використовуються моделі без урахування нелінійності магнітного ланцюга.

В модель синхронного електромеханічного перетворювача без урахування насичення вводиться ряд припущень, що дозволяють застосувати принцип суперпозиції до опису магнітних полів від різних джерел і забезпечити розуміння основних закономірностей перетворення енергії в цій машині.

- магнітно-м'який матеріал магнітопроводу має нескінченну магнітну проникність;
- відсутність насичення робить всі зосереджені електричні параметри незалежними від електричних змінних;

– реальні обмотки і постійні магніти замінюються еквівалентними струмовими шарами, які створюють необхідне значення і форму напруженості або магніторушійних сил магнітного поля в рівномірному повітряному зазорі машини;

– запасена магнітна енергія, яка використовується для опису електричної машини, розглядається лише як енергія статичного магнітного поля;

– енергія електростатичного поля вважається пренебрежимо малою;

– електричні поля, що виникають при зміні в часі магнітних полів або відносному русі в магнітному полі, не враховуються при обчисленні запасеної магнітної енергії; вони з'являються при виведенні диференціальних рівнянь руху машини;

– крайові ефекти на кордонах зубцових зон (явно виражених полюсів) відсутні;

– постійний магніт є ідеальним джерелом напруженості магнітного поля і являє собою нескінченно тонку пластину;

– втрати в стали відсутні;

– магнітна проникність повітряного зазору представляється у вигляді добутку магнітної проникності статора і ротора.

У загальному випадку передбачається, що зубчасті структури є на внутрішній стороні циліндричного статора і зовнішньої поверхні циліндричного ротора. Тоді відносна магнітна проникність повітряного зазору між зубчастою структурою статора і поверхнею ротора μ_1 апроксимується в припущенні, що поверхня ротора гладка.

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

В магістерській роботі виконується дослідження методів підвищення точності електроприводу подачі металорізального верстату на базі синхронного двигуна з постійними магнітами.

Енергоефективні системи частотно-регульованого електроприводу на базі синхронних двигунів з постійними магнітами неможливо реалізувати без вирішення тих чи інших завдань оптимізації. В магістерській роботі створена математична модель СДПМ при фазовому керуванні електроприводом металорізального верстата. Метод заснований на одночасному регулюванні амплітуди напруги живлення СДПМ та фази напруги (або кута комутації). Метод фазового керування СДПМ за рахунок цілеспрямованого формування механічної характеристики дозволяє реалізувати різні стратегії керування СДПМ та підтримувати точність відпрацювання параметрів електроприводу.

Розглянуто методи підвищення точності регулювання механічних координат електроприводу подач верстата, що базуються на методі фазового керування СДПМ з налаштуванням на максимальний електромагнітний момент, з налаштуванням на максимальну частоту обертання, з налаштуванням на постійний електромагнітний момент.

Крім того, метод фазового керування підвищує енергетичну ефективність керування, що підтверджують методи з налаштуванням на максимальний електромагнітний ККД або з налаштуванням на максимальний електромагнітний ККД в режимі постійного електромагнітного моменту.

Економічна ефективність запропонованих заходів підтверджується у розділі 6.

У розділі 7 докладно розглянуто питання з охорони праці та безпеки при надзвичайних ситуаціях.

АНОТАЦІЯ

Косов С. Ф. Дослідження методів підвищення точності електроприводу подачі металорізального верстату на базі синхронного двигуна з постійними магнітами.

Магістерська робота за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2019.

Магістерська робота складається із вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг магістерської роботи становить 147 сторінок, включаючи 24 рисунки та 19 таблиць. Список використаних джерел містить 49 найменувань.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є дослідження методів підвищення точності електроприводу подачі металорізального верстату на базі синхронного двигуна з постійними магнітами.

Основні наукові та практичні результати магістерської роботи:

1. Для обраного в якості об'єкта дослідження токарно-гвинторізного верстату КЖ1675Ф1 проведені дослідження та модернізація електроприводу подачі на базі частотно керованого електроприводу з мікропроцесорним пристроєм керування.

2. Результати чисельного рішення задачі підвищення точності електроприводу подачі металорізального верстата дозволили створити якісно новий електропривод на базі синхронного двигуна з постійними магнітами.

3. Запропонована методика обліку граничних характеристик СДПМ при формуванні траєкторії руху, що дозволяє значно підняти продуктивність синхронного приводу подач при відпрацюванні окремих технологічних циклів.

Ключові слова: СИНХРОННИЙ ДВИГУН, ПОСТІЙНІ МАГНІТИ, НАПРУГА ЖИВЛЕННЯ, СХЕМА ЗАМІЩЕННЯ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ANNOTATION

Kosov S. F. Investigation of the methods of increasing the accuracy of the electric drive feed of a metal-cutting machine based on a synchronous motor with permanent magnets.

Master's work on the specialty 141 – "Electricity, electronics and electrical engineering", Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, 2019.

The master's thesis consists of an introduction, seven sections, conclusions, a list of used sources and two annexes. The total amount of master's work is 147 pages, including 24 figures and 19 tables. The list of literature contains 49 items.

The purpose of the master's qualifying work is to study the methods of increasing the accuracy of the electric drive feed of a metal-cutting machine based on a synchronous motor with permanent magnets.

Main scientific and practical results of master's work:

1. The research and modernization of the feed drive on the basis of a frequency controlled electric drive with a microprocessor control device was carried out for the object of study of the lathe-screw-cutting machine KЖ1675Ф1.

2. The results of a numerical solution to the problem of increasing the accuracy of the electric feed of a metal cutting machine made it possible to create a qualitatively new electric drive based on a synchronous motor with permanent magnets.

3. The method of accounting of boundary characteristics of SMPM in the formation of the trajectory, which allows to significantly raise the performance of synchronous electric drive of feeds during the development of individual technological cycles, is proposed.

Keywords: SYNCHRONOUS ENGINE, PERMANENT MAGNETS, POWER VOLTAGE, REPLACEMENT SCHEME, ENERGY SAVING

Косов Серафiм Федорович

**ДОСЛIДЖЕННЯ МЕТОДIВ ПIДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТI
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОДАЧI МЕТАЛОРИЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ НА
БАЗI СИНХРОННОГО ДВИГУНА З ПОСТIЙНИМИ МАГНIТАМИ**

Пiдп. до друку

Формат 60×90/16

Офсетний друк

Умов. друк. арк. – 0,58

Тираж 1 прим.

Замовлення №

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