

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Макарчука Олександра Володимировича
“МЕТОДИ І ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ
БЕЗКОНТАКТНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН
З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ”,

що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.09.01 - електричні машини і апарати

Дисертаційна робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків до роботи, списку використаної літератури, переліку використаних позначень та додатків. Повний обсяг становить 395 сторінок, у тому числі 285 сторінок основної частини. Зміст дисертації повністю відповідає спеціальності 05.09.01 - електричні машини і апарати. Оформлення дисертації якісне, особливо це стосується наведених конструкцій високошвидкісних електричних машин, логіка побудови структури роботи достатньо чітка, викладення матеріалу з погляду загальної і науково-технічної мови добре. Список використаних джерел є вичерпним як стосовно вітчизняних, так і закордонних публікацій за темою роботи.

1. Актуальність теми дисертації і мета роботи

Електричні машини розраховані на частоту обертання, що перевищує десятки тисяч обертів за хвилину постійно знаходяться в центрі уваги дослідників, внаслідок їх унікальних масогабаритних і енергетичних показників. Особлива увага серед таких машин приділяється безконтактним двигунам та генераторам зі збудженням від постійних магнітів.

Основні науково-технічні проблеми, які супроводжують процес створення цих машин, це забезпечення необхідної міцності та жорсткості конструкції, адекватний розрахунок втрат енергії, схемотехніка надійних електронних систем керування, різні супутні технологічні завдання пов'язані з впровадженням новітніх електротехнічних матеріалів. Ці проблеми є стримуючим фактором широкого впровадження таких машин в електричний привод.

Високошвидкісні безконтактні електричні машини зі збудженням від постійних магнітів (ВБПМ) мають, у порівнянні з класичними типами електричних машин, багато характерних особливостей, а також відрізняються різноманіттям конструктивних виконань та специфікою перебігу електромеханічних процесів. Враховуючі це, необхідно удосконалювати методи проектування таких машин, переформулювати їх математичні моделі на підставі сучасних методів аналізу магнітних полів, виходячи на аналіз динамічних і квазіусталених режимів роботи цілої електромеханічної системи, до складу якої входить не лише перетворювач енергії, а й система

керування.

У цьому зв'язку пошук шляхів вирішення важливої наукової проблеми — створення методів комплексної проробки проектних рішень ВБПМ, що відповідають сучасному рівню досягнень науки і техніки, є актуальним. Відповідно є виправданими та актуальними тема та мета дисертаційної роботи, які спрямовані на розробку нових і розвиток існуючих методів створення ВБПМ та обґрунтування теоретичних й методологічних засад побудови математичних моделей процесів у цих машинах. При цьому є важливим, що виконана робота пов'язана з низкою держбюджетних і госпдоговірних науково-дослідних робіт.

2. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій

Методи, математичні формулювання задач, алгоритми їх розв'язання, що розроблені у дисертації, відповідають реальним фізичним процесам у ВБПМ різного виконання. Вони ґрунтуються на принципах, які мають багаторічне загальнотеоретичне підґрунтя, перевірене світовою практикою створення електричних машин. Важливо ще і те, що результати розрахунку характеристик дослідних взірців ВБПМ, створених автором роботи, достатньо близько збігаються з експериментальними даними. Все це дає підставу стверджувати, що наукові положення, висновки і рекомендації, які сформульовані у дисертації, обґрунтовані переконливо.

3. Новизна та достовірність одержаних результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи перед усім полягає в тому, що для досягнення поставленої мети — створення ВБПМ, автор поєднав розгляд процесів електромагнітного походження з питаннями міцності та жорсткості конструкції обертової частини та оцінкою теплового стану цього об'єкту в єдиний проектно-конструкторський комплекс. Такий підхід може гарантувати відповідність проекту вимогам технічного завдання без потреби багаторазового експериментального підтвердження результатів.

До наукових досягнень можна віднести й розроблені рекомендації щодо вибору головних розмірів ВБПМ з огляду на допустимі механічні напруження в роторі та з урахуванням значення 1-ої критичної частоти обертання. Також заслуговують уваги метод аналітичного розрахунку додаткових втрат у полюсній системі ротора та методи теплового розрахунку ВБПМ, які відповідають системам охолодження IC15 та IC37.

Очевидно, що корисним, хоча й не таким вагомим, як попередні здобутки, є розв'язання задачі розрахунку статичної зовнішньої характеристики високошвидкісного безконтактного генератора та отримання аналітичних залежностей для розрахунку еквівалентних коефіцієнтів теплопровідності анізотропних у тепловому відношенні тіл.

Новим є підхід автора до розв'язання задачі визначення частинних похідних потокозчеплень та електромагнітного моменту за струмами та

кутом повороту ротора, що побудований на квазістаціонарному наближенні магнітного поля машини у двовимірній постановці.

Достовірність нових наукових положень підтверджено, як вже згадувалось, порівнянням результатів розрахунку створених автором дисертаційної роботи зразків ВБПМ з відповідними експериментальними даними. Важливим також є те, що розроблені у дисертаційній роботі методики розрахунку використовуються за проектування машин на замовлення різних підприємств.

В цілому робота Макарчука О.В. знаходиться в руслі безповоротної сучасної тенденції — аналіз складних технічних систем проводити з використанням пакетів спеціалізованих прикладних програмних продуктів. Зокрема, це стосується аналізу перехідних процесів та динамічних режимів, а також розрахунку електромагнітних полів. Взагалі, використання польового підходу, що і робить Макарчук О.В., є найбільш ефективним у проектуванні нових видів електротехнічних пристроїв. Це дозволяє зняти цілий ряд умовностей, уникнути необхідності виведення цілої низки складних формул, які виявляються дуже наближеними, що властиво класичній теорії електричних машин. Тому робота Макарчука О.В. відповідає сучасному рівню розвитку електромеханіки як науки, розвиває її та окреслює перспективні напрями досліджень.

4. Практичне значення одержаних результатів

В цілому можна погодитися з декларованим автором дисертації практичним підсумком його роботи. Тобто це проектно-конструкторський комплекс для розв'язання задач аналізу та синтезу ВБПМ, зокрема він містить рекомендації щодо вибору оптимальної конфігурації і геометричних співвідношень активної частини, дає змогу провести попереднє оцінювання відповідності отриманих показників машини вимогам технічного завдання, виконати уточнення проектних показників за допомогою адекватних математичних моделей.

Треба зауважити також, що автор роботи активно впроваджує створене ним методичне і програмне забезпечення, а також сучасні програмні пакети у середовищі вищої технічної освіти. І нарешті, важливо те, що отримані результати використовувалися за розробки та виготовлення низки електричних машин зі збудженням від постійних магнітів різного призначення.

5. Повнота викладу наукових положень у опублікованих роботах

Найважливіші результати виконаних досліджень достатньо повно відображені у 30 друкованих працях, всі вони опубліковані Макарчуком О.В. у фахових виданнях, у тому числі десять робіт – одноосібно. Особливу увагу привертають статті у провідних виданнях України та у закордонних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз. Таких публікацій

сім. В роботі також наведено технічні пропозиції застосування ВБПМ у вітрових агрегатах, які захищені двома патентами України.

Зміст автореферату повністю відповідає дисертації, дає достатнє уявлення про нові наукові положення, про сутність проведених досліджень та розробок.

6. Недоліки та зауваження

По роботі визначені наступні зауваження, які в цілому не впливають на загальну позитивну оцінку.

1. Для чисельного рішення задач розподілу фізичних полів та у висновках розділу 2 констатовано обрання методу Галеркіна. У зв'язку зі значним обсягом обчислювань було б доцільним більш детальне обґрунтування переваг такого методу відносно інших.

2. У вступі (с. 15) стверджується, що для прийняття низки технічних рішень застосовувалась структурна і параметрична оптимізація. При цьому в проектному синтезі (розділ 3) в явному виді метод та критерії вказаної оптимізації не визначені.

3. З вигляду креслень (с. 119, рис. 3.5 і с. 186, рис. 4.3, а – в) слід розподіл поля збудження ротора при рівномірному робочому проміжку, що наближається до прямокутного на краях полюсів, а з рис. 4.3, б, в слід наявність викривлення поля в зонах проміжків між ділянками полюсів та виступів ярем. Схема магнітного кола (рис. 3.5) відповідає координатним (циліндричним) межам, а конструктивною особливістю роторів ВБПМ (рис. 4.3, б, в) є більш складні межі розділу магнітних середовищ (наявність багатогранного ярма), що оказує вплив на структуру поля. Незважаючи на це, поле збудження (статора) визначається синусоїдальним розподілом без певного гармонічного ряду (с. 116, с. 131, рівняння (3.60)).

4. Розглядаються дві конструкції ротора ВБПМ з радіальним кріпленням магнітів кевларовим бандажем та титановою гільзою (с. 188, рис. 4.5). Однак вплив екранування складових поля статора суцільним титановим шаром у другому варіанті ротора на характеристики ВБПМ не розглядається. Крім того конусна поверхня полюсів викликає аксіальну нерівномірність розподілу індукції в робочому проміжку, що необхідно враховувати при визначенні втрат та характеристик.

5. Спосіб кріплення полюсів на ярмах (с. 186, рис. 4.3, а – в) з плоскими поверхнями розділу середовищ, що розташовані під кутами та між виступами ярем, який (с. 187) «... дає змогу досягнути прилягання полюсів практично

без проміжків», не має технологічного забезпечення такого прилягання. Мінімум шорсткості та практичне співпадіння і симетрія поверхонь стиків можливі при сполученні циліндричних або плоских паралельних поверхонь.

6. Вказано (с. 15) про застосування в роботі евристичного синтезу, однак нетрадиційні технічні рішення активної і конструктивної частини ВБПМ відсутні. Рекомендації по удосконаленню таких машин (секціонування і транспозиція провідників, капсулювання лобових частин, осьовий натяг підшипників і стиск активного шару ротору, засоби охолодження ...) є відомими. Також відомими є певні положення висновків по розділам.

Частина вказаних зауважень може бути напрямком подальших досліджень.

7. Висновки про відповідність дисертації вимогам

Розглянута дисертаційна робота є закінченою науково-дослідною роботою. В ній наведене теоретичне обґрунтування і здійснено розвиток методології математичного моделювання щодо вирішення актуальної науково місткої проблеми зі створення високошвидкісних електричних машин з постійними магнітами, що відрізняються високою ефективністю. Математичні та програмні засоби, запропоновані в роботі, дають змогу проводити оперативний аналіз показників високошвидкісних електричних машин з постійними магнітами на відповідність високим сучасним вимогам й сприятимуть створенню конкурентоспроможної продукції. Це важливо для подальшого розвитку електромашинобудування і забезпечення потреб сучасного спеціалізованого електроприводу в системах автономного енергозабезпечення, накопичення та буферизації електроенергії; охолодження, кондиціонування й вентиляції, тощо.

Постановки задач, способи їх вирішення, публікації, апробація результатів, а також практичний вихід свідчать про достатньо високий рівень знань дисертанта в галузі електричних машин і математичного моделювання, про вміння формулювати наукову проблему та розв'язувати складні наукові завдання.

В цілому робота за актуальністю теми, змістом й обсягом досліджень, рівнем новизни, за науковим та практичним значенням результатів повністю відповідає п.п 9, 10, 12 положення про «Порядок присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор Макарчук Олександр Володимирович заслуговує присудження

наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.01 –
електричні машини і апарати.

Офіційний опонент
завідувач кафедри електроенергетики,
електротехніки та електромеханіки
Миколаївського Національного
аграрного університету
доктор технічних наук, професор



Ставинський А.А.

Підпис засвідчую
Нагальник



Л.В. Машкіна