

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

ЧУНІХІНА КОСТЯНТИНА ВАДИМОВИЧА «Магнітне поле електромагнітів систем керування космічними апаратами», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.09.05 – теоретична електротехніка

1. Актуальність теми дисертації

Електромагніти постійного струму є одним із важливіших елементів пасивних систем керування космічними апаратами. У найбільш поширеному випадку вони складаються з циліндричного осердя із матеріалу з високою магнітною проникністю та намагнічувальної котушки. Для збільшення магнітного моменту електромагніту використовують також полюсні наконечники, що розташовані поблизу торців циліндричного осердя. При проектуванні таких систем необхідно визначити умови, за яких питоме значення магнітного моменту електромагніту є найбільшим. У той же час розрахунок значення його магнітного моменту є досить складною науковою задачею. Пов'язано це з необхідністю врахування нелінійних властивостей матеріалу осердя та його складної форми. При цьому, методи розрахунку магнітного поля таких електромагнітів з урахуванням цих факторів потребують подальшого розвитку.

Враховуючи також, що Україна є космічною державою, актуальною слід вважати задачу розробки ефективних магнітних систем керування космічними апаратами шляхом створення та використання удосконалених математичних моделей і методик розрахунку магнітного поля та магнітного моменту в зазначених системах та розробки на цій основі відповідних рекомендацій щодо покращення їх робочих характеристик.

2. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій у роботі забезпечується

- коректним використанням відомих теоретичних положень у галузі теорії електромагнітного поля,

- коректністю прийнятих у математичних моделях припущень,
- кількісною відповідністю результатів чисельного моделювання з результатами експерименту та з відомими даними, одержаними для аналогічних електростатичних задач,
- позитивним досвідом апробації наукових результатів на Міжнародних науково-технічних конференціях – «Проблеми електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» (SIEMA, Харків, 2016 – 2018 рр.), «Проблеми сучасної електротехніки» (Київ, 2018 р.), семінарах «Теоретична електротехніка» Наукової Ради з проблеми «Наукові основи електроенергетики» НАН України в ДУ «ІТПМ НАН України» (Харків, 2016 – 2018 рр.),
- а також позитивним результатам впровадження, що підтверджено відповідним актом.

Усе наведене підтверджує достовірність одержаних автором результатів, що пройшли відповідну апробацію, опубліковані достатньо повно в спеціалізованих наукових виданнях і обговорювалися в колах фахівців з теоретичної електротехніки.

3. Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукова новизна дисертаційної роботи визначається її основними науковими положеннями та може бути сформульована чотирма пунктами у такій редакції:

– шляхом встановлення аналогії між електро- та магнітостатичними полями, сформульовано інтегральне рівняння відносно поверхневої густини фіктивних магнітних зарядів для розрахунку плоскомеридіанного магнітостатичного поля в кусково-однорідному намагнічуваному середовищі та проведено порівняння його чисельного розв'язку з відомим аналітичним виразом для розподілення фіктивного магнітного заряду на поверхні сферичної магнітної кулі та оболонки;

– вперше на основі встановленої закономірності практично рівномірно-

го розподілу намагніченості в поперечних перерізах осердя циліндричної форми перетворено вихідне інтегральне рівняння для розрахунку магнітного поля електромагніту, при дискретизації якого порядок системи алгебраїчних рівнянь зменшується у $10 \div 12$ разів;

– вперше для урахування нелінійних властивостей матеріалу осердя при чисельному розв'язку інтегрального рівняння для магнітного поля електромагніту використано середні по об'єму контрольних елементів осердя значення магнітної проникності та ітераційний алгоритм для розрахунку цих значень, що дозволило зменшити розміри області розв'язання інтегрального рівняння у $6 \div 9$ разів.

– вперше встановлено геометричні співвідношення магнітного осердя електромагніту, включаючи полюсні наконечники, які дозволяють отримати збільшене значення його магнітного моменту.

Оцінюючи дисертаційну роботу на предмет наукової новизни, вважаю, що виходячи із суті основних наукових положень і одержаних результатів дослідження є достатньо підстав визнати у роботі наявність наукової новизни, яка і становить предмет захисту.

4. Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення одержаних результатів визначається метою та завданнями дослідження і полягає у тому, що за допомогою розробленої математичної моделі розрахунку магнітного поля електромагніту системи керування космічним апаратом одержано рекомендації щодо вибору раціональних геометричних розмірів та форми осердя, рівня магнітного поля, яке створюється котушкою зі струмом, які забезпечують створення заданого магнітного моменту системи.

Практичну значимість результатів дисертаційної роботи підтверджує їх впровадженням у ДУ «ІТІМ НАН України».

Дисертаційна робота має зв'язок з науковими програмами та планами організації, де вона виконувалася, що відображено як у самій дисертаційній роботі, так і в авторефераті.

5. Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях. Основний зміст дисертації відображено у 6 наукових працях, з них 6 статей у наукових фахових виданнях України (3 статті включено до наукометричної бази даних Web of Science, 1 – до наукометричної бази даних Scopus).

У перерахованих вище публікаціях повністю розкрито основні наукові результати, що становлять суть дисертаційної роботи.

6. Структура та оформлення дисертаційної роботи

Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 134 сторінки; з них 51 рисунок по тексту; 16 таблиць по тексту; список із 100 найменувань використаних джерел на 10 сторінках; 2 додатка на 4-х сторінках.

У розділі 1 дисертаційної роботи проведено критичний аналіз відомих методів розрахунку магнітного поля та магнітного моменту осердя, обґрунтовано необхідність удосконалення математичної моделі поля електромагнітів постійного струму системи керування космічним апаратом з урахуванням неоднорідності і нелінійності намагнічування осердя та сформульовано задачі для досягнення зазначеної мети.

У розділі 2 дисертаційної роботи розглянуто застосування електростатичній аналогії для розрахунку магнітостатичного поля в неоднорідних намагнічуваних середовищах. Сформульовано інтегральне рівняння відносно поверхневої густини фіктивних магнітних зарядів на межах поділу однорідних областей кусково-однорідного намагнічуваного середовища у разі плоскомеридіанного магнітостатичного поля та розглянуто алгоритм його чисельного розв'язку. Встановлено протиріччя між неоднорідністю намагнічування та припущенням постійної магнітної проникності циліндричного осердя в однорідному магнітного поля.

У розділі 3 дисертаційної роботи перетворено інтегральне рівняння відносно поверхневої густини фіктивних магнітних зарядів для розрахунку магні-

тного поля електромагніту з урахуванням особливостей розподілу намагніченості осердя, неоднорідності результуючого магнітного поля та нелінійності кривої намагнічування. Установлено збіжність ітераційного алгоритму при довільних початкових значеннях магнітних проникностей циліндричних елементів.

У розділі 4 дисертаційної роботи проаналізовано вплив різних факторів – величини магнітного поля, що створюється котушкою, відносної довжини осердь циліндричної та складної форми з пермалою 50Н, а також розмірів і положень полюсних наконечників на величину магнітного моменту електромагніту. Розроблено рекомендації щодо раціональних значень рівня магнітного поля котушки, відносної довжини осердя та розмірів і положень полюсних наконечників.

У Висновках сформульовані основні результати дисертаційної роботи.

У цілому слід відмітити, що дисертація написана у науковому стилі та оформлена відповідно до чинних вимог. У дисертації чітко сформульовану мету роботи, наукову новизну та практичне значення наукових результатів.

Зміст автореферату ідентичний змістові дисертації та відображає основні положення роботи.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Автореферат достатньо повно висвітлює основні положення та результати, що викладені в матеріалах дисертації. За структурою, характером викладення матеріалу, оформленням автореферату та рівнем апробації результатів, дисертаційна робота «Магнітне поле електромагнітів систем керування космічними апаратами» відповідає вимогам щодо кандидатських дисертацій (п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 зі змінами від 19.08.2015 № 656 щодо кандидатських дисертацій).

8. Рекомендації щодо використання результатів дослідження

Висновки і рекомендації, які містяться у дисертації, можуть бути рекоме-

ндовані для подальшого розвитку та використання в установах та організаціях, які займаються розробкою космічних апаратів нового покоління. Розробки здобувача також можуть бути використані для підготовки або підвищення кваліфікації спеціалістів відповідної електротехнічної галузі.

9. Зауваження по дисертації

1. У розділі 2.4 дисертації при розрахунку магнітного поля циліндричного осердя використовується припущення для його матеріалу – $\mu_1 = const$. Тобто в якості матеріального рівняння для осердя приймається, що $J = (\mu_1 - 1)H$. Але потім, після розрахунку поля, для одержання розподілення J у перерізі осердя використовується інше нелінійне матеріальне рівняння $J = aH/(H + c)$. Це потребує додаткового пояснення.

2. При ознайомленні з дисертацією виникає запитання, чому в роботі узагальнені висновки мають занадто конкретні значення напруженості магнітного поля, а саме $H_0=6587$ А/м, 3293 А/м, а не прив'язані, наприклад до характерного значення напруженості в точці насичення магнітного матеріалу (на прикладі пермалою)? Це дозволило б одержати більш узагальнені результати, справедливі для інших магнітних матеріалів.

3. В роботі проведено порівняння результатів чисельного розрахунку з аналітичним розрахунком для сферичної кулі і оболонки з лінійними магнітними властивостями. На мій погляд, тестування результатів розрахунку для осердя складної форми та з нелінійними магнітними властивостями доцільно було б провести шляхом їх порівняння з результатами розрахунку такої задачі на основі будь-якого комерційного пакету, наприклад, COMSOL.

Слід зазначити, що наведені зауваження не мають принципового значення та не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

10. Загальні висновки

Детальний аналіз матеріалів дисертаційної роботи, автореферату та опублікованих наукових праць дає можливість стверджувати, що дисертаційна робота Чуніхіна К.В. «Магнітне поле електромагнітних систем керування косміч-

ними апаратами» має всі ознаки завершеної наукової праці, присвяченої вирішенню актуальної наукової задачі удосконалення математичної моделі розрахунку магнітного поля та магнітного моменту електромагнітів постійного струму для систем керування космічними апаратами, використання якої дозволило розробити рекомендації щодо покращення робочих характеристик таких систем.

Враховуючи актуальність теми дисертаційної роботи, а також отримані достовірні результати, що мають наукову і практичну значимість, та враховуючи достатню повноту висвітлення основних положень дисертаційної роботи в опублікованих працях, вважаю, що дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.09.05 – теоретична електротехніка та вимогам п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 зі змінами від 19.08.2015 № 656 щодо кандидатських дисертацій.

На підставі наведеного вище та беручи до уваги рівень кваліфікації здобувача вважаю, що автор дисертаційної роботи Чуніхін Костянтин Вадимович заслуговує присудження ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.09.05 – теоретична електротехніка.

Офіційний опонент,

головний науковий співробітник

відділу електроживлення технологічних систем

Інституту електродинаміки НАН України,

доктор технічних наук

О.Д. Подольцев

