

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ В.Ф.Шинкаренко
(підпис) (ініціали, прізвище)

« _____ » _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності _____ 8.05070201 – Електричні машини і апарати
(код і назва)

на тему: «Аналіз високочастотних процесів в шихтованих магнітних осердях»

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи ЕМ-61м
(шифр групи)

Вівчаренко Олег Олегович _____ (підпис)
(прізвище, ім'я, по батькові)

Науковий керівник доцент, к.т.н., Коваленко М. А. _____ (підпис)
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Консультант _____ (підпис)
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рецензент ст.вик., к.т.н., Приймак Б. І. _____ (підпис)
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____ (підпис)

Київ – 2018

РЕФЕРАТ

Дана магістерська дисертація складається з 90 сторінок, 60 ілюстрацій, 15 таблиць 13 джерел інформації.

Методика аналізу високочастотних процесів у шихтованих магнітних осердях є актуальною проблемою, оскільки жоден з існуючих методів не є досить точним та реалістичним щоб показати швидкоплинні процеси у листах сталі на мікро-рівні.

Робота складалась із декількох етапів: розробка моделі, математичне моделювання та експериментальні дослідження які повністю відповідають математичному моделюванню.

Результати моделювання дозволяють більш обґрунтовано аналізувати складні швидкоплинні електромагнітні процеси в шихтованих осердях. Результати моделювання дозволяють обґрунтовано у тривимірному просторі отримати картину електромагнітного поля при впливі змінного струму.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ, ЗАСОБИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ШИХТОВАНИХ МАГНІТНИХ ОСЕРДЬ.....	
1.1 Метод інтегральних рівнянь.....	
1.2 Чисельні методи математичного моделювання ламінованих магнітних осердь.....	
1.3 Порівняння методів моделювання.....	
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ПОЛЬОВИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ШИХТОВАНОГО ОСЕРДЯ МАГНІТОПРОВОДА.....	
2.1 Розробка польових математичних моделей для оцінки шихтованого магнітного осердя.....	
2.1.1 Побудова геометрії в системі автоматизованого проектування SolidWorks 2014.....	
2.1.2. Розрахункова область системи електромагнітного поля.....	
2.1.3 Запис тривимірної математичної польової моделі в середовищі COMSOL Multiphysics 5.2a.....	
2.1.4 Особливості чисельної реалізації моделі.....	
2.2 Ефект близькості.....	
2.3 Втрати в магнітопроводі.....	
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ.....	
3.1 Результати розрахунків втрат при 50 Гц в бездефектному магнітопроводі.....	
3.2 Розподіл втрат на вихрові струми у магнітопроводах.....	
РОЗДІЛ 4 ПОРІВНЯННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
4.1 Ефект близькості в трьох листах магнітопровода. Залежності від вблизькості.....	
4.2 Порівняння експериментальних результатів з теоретичними	

4.3 Порівняння результатів локальних втрат магнітопроводу.....	
ВИСНОВКИ.....	
Список використаної літератури.....	

ВСТУП

Шихтовані магнітопроводи електричних машин на ряду з обмоткою є активними частинами, виконують функцію магнітного зв'язку в системі, концентрацію та проведення магнітного потоку.

В магнітних системах змінного струму проходження змінного магнітного поля створює побічний ефект, а саме втрати на гістерезис та вихрові струми. Втрати на гістерезис обумовлені складом і структурою електротехнічної сталі, залежать від сорту сталі і технології обробки. Втрати на вихрові струми теж залежать від сорту сталі, а також залежать від стану міжлистової ізоляції магнітопровода. Саме ця ізоляція може бути пошкоджена при виробництві, експлуатації і особливо при ремонтних роботах. При наявності пошкоджень міжлистової ізоляції магнітна проникність практично не змінюється, тобто струм намагнічування залишається практично незмінним, але при цьому суттєво зростають вихрові струми, які циркулюють по дефектним контурам.

Актуальність даної роботи обумовлена зростанням вимог до надійності роботи електромеханічних перетворювачів з шихтованими магнітопроводами, а також зростанням інтересу до виробництва високочастотних ЕМ з великими питомими масо-енергетичними показниками. Проблема надійності експлуатації ЕМ ускладнюється необхідністю використання в теперішній час ЕМ з майже вичерпним ресурсом через брак коштів для придбання нового устаткування.

Серед існуючих методів діагностики можна виділити локальні індукційні, які дозволяють виявляти й розрізняти основні види пошкоджень пакета - розпушування (послаблення пресування) і закорочування листів активної сталі. Однак при цьому відкритими залишаються питання досягнення необхідного рівня вірогідності діагностики й можливості точного визначення місць залягання дефектів і їх геометрії. До того ж локальні методи досить трудомісткі у застосуванні, що істотно знижує їх ефективність.

Тому вивчення електромагнітних процесів, зокрема високочастотних, є важливою і сучасною задачею. Швидкоплинні електромагнітні процеси, що виникають у шихтованих магнітопроводах ЕМ можуть бути використані в цілях контролю якості магнітопровода в процесі виробництва, експлуатації і ремонту. Пошкодження міжлистової ізоляції магнітопровода призводять до погіршення властивостей осердь, а також безпосередньо впливають на надійність і робочі характеристики електричних машин. Тому потрібне більш глибоке вивчення електромагнітних швидкоплинних процесів в ламінованих осердях при застосуванні сучасних методів розрахунку електромагнітних полів для обґрунтованого застосування відповідних фізичних процесів для оцінки стану міжлистової ізоляції.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами: дана магістерська дисертація виконується в рамках науково-дослідної роботи.

Робота виконувалась в рамках НДР «Використання частотних характеристик для оцінки стану обмоток електричних машин». Державний реєстраційний номер 0118 U 000543.

Метою роботи є розробка тривимірної польової моделі шихтованих магнітопроводах та аналіз швидкоплинних електромагнітних процесах з пошкодженою міжлистовою ізоляцією. Основними вимогами до математичного моделювання є максимально докладне та реальне відображення електромагнітних процесів у шихтованих магнітопроводах.

Об'єкт досліджень: тороїдальні шихтовані магнітопроводи з пошкодженою міжлистовою ізоляцією.

Предмет досліджень: високочастотні процеси в шихтованих магнітопроводах з пошкодженою міжлистовою ізоляцією.

Методи досліджень: графічна побудова та чисельні моделювання мультифізичних швидкоплинних процесів у шихтованих магнітопроводах у програмному математичному пакеті Comsol Multiphysics. Comsol Multiphysics – це інтегрована платформа для моделювання, що включає в себе всі його етапи: від створення геометрії, визначення механічних властивостей матеріалів і

опису фізичних явищ, до налаштування рішення і процесу обробки поста, що дозволяє отримувати точні і надійні результати.

Наукова новизна: 1) вперше було отримано зв'язок ефекту близькості листів магнітопроводу при високій частоті на параметри різного рівня дефектності;

2) створено тривимірну математичну модель високочастотних процесів у шихтованих магнітопроводах різного ступеня дефектності.

Практичне значення одержаних результатів: 1) Результати моделювання дозволяють більш обґрунтовано аналізувати складні швидкоплинні електромагнітні процеси в шихтованих осердях у порівнянні з класичним підходом у вигляді розв'язань інтегральних рівнянь Максвелла;

2) Результати моделювання дозволяють обґрунтовано у тривимірному просторі отримати картину електромагнітного поля при впливі високочастотних процесів;

3) Проведений в роботі аналіз дозволяє обґрунтовано провести розділення втрат на гістерезис та вихрові струми в шихтованих осердях при різних частотах, що дає дефективного магнітопровода оцінити переважний вплив погіршення міжлистової ізоляції магнітопровода, або погіршення магнітних властивостей осердя.

Апробація результатів дисертації: 1) Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики»; 2) XVI міжнародна научна практична конференція.

Публікації: 1) «Дослідження динамічних процесів роботи тягового двигуна постійного струму НБ-418 кб приводу грузопасажирського електровозу ВЛ80к»; 2) «Визначення втрат у шихтованому магнітопроводі польовим методом при живленні напругою змінної частоти».

Ключові слова: магнітопровод, обмотка збудження, вимірювальна обмотка, моделювання, швидкоплинні процеси, міжлистова ізоляція, втрати в сталі, питомі втрати, математична модель, польовий аналіз, дефектність.