

**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

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка**

**на тему: «Апаратні засоби діагностування шихтованих магнітних  
осердів електричних машин»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ЕМ-61м

Низкогуз Поліна Володимирівна \_\_\_\_\_

Керівник:

доцент, к.т.н.

Коваленко М.А. \_\_\_\_\_

Консультант з розділу 4:

доцент, к.т.н., доц.

Чумак В.В. \_\_\_\_\_

Рецензент:

доцент, к.т.н.

Приймак Б.І. \_\_\_\_\_

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

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2018

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація виконана на 110 сторінках та вміщує 48 рисунків, 7 таблиць та 3 додатки.

Актуальність теми дисертації обумовлена низькою експлуатаційною надійністю електричних машин, зокрема післяремонтною надійністю, яка викликана значним впливом дефектів в магнітопроводі електричної машини (перегріву, збільшення втрат, зменшення терміну служби), що може спричинити раптовий вихід машини з ладу. У зв'язку з цим постає необхідність синтезу компактної переносної вимірювальної апаратури на основі сучасної елементної бази, опираючись на результати експериментальних досліджень та математичне моделювання, яку потребують ремонтні електроцехи для контролю якості магнітопроводів.

Метою роботи є вибір найбільш інформативних методів та пристосувань для діагностування шихтованих магнітних осердь електричних машин малої та середньої потужності та розробка апаратних засобів на основі цих методів. Основними вимогами до сучасних апаратних засобів є простота в користуванні, низьке енергоспоживання, невеликі вага і габарити, невисока вартість.

В даній дисертації було створено експериментальні установки для діагностування якості магнітних осердь електричної машини та проведено досліді згідно з розробленими методичними вказівками. Отримані результати підтверджують можливість використання лабораторної установки в процесі виготовлення та ремонту електричних машин.

По даній роботі здійснено 2 публікації на міжнародних науково-технічних конференціях.

*Осердя магнітопроводу, генератор високої частоти, діагностування шихтованого осердя, перехідний процес, апаратні засоби.*

## ABSTRACT

The diploma thesis consists of 110 pages and encloses 48 figures, 7 tables and 3 additions.

The urgency of the topic of the dissertation is due to the significant influence of defects in the magnetic circuit of an electric machine (overheating, increase in losses, decrease in service life), which can cause the machine's sudden output to fail.

The purpose of the work is to develop hardware for diagnosing the charged magnetic core of small and medium power electric machines.

In this dissertation, experimental installations for the diagnosis of the quality of the magnetic axes of an electric machine were created and experiments were conducted in accordance with the developed methodological guidelines. The obtained results confirm the possibility of using a laboratory unit in the process of manufacturing and repairing electric machines.

In the given work 2 publications were made at international scientific and technical conferences.

*The heartbeat of the magnetic circuit, the high frequency generator, the diagnosis of the charged core, the transient process, the hardware.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ШИХТОВАНИХ МАГНІТНИХ ОСЕРДЬ.....	12
1.1 Стандартний метод вимірювання питомих втрат в осерді електричної машини по ГОСТ 12119.4-98.....	12
1.2 Існуючі методи та апаратні засоби оцінки якості магнітопроводів.....	15
1.2.1 Метод термоіндикаторного покриття.....	15
1.2.2 Интроксан-ИС200 – пристрій автоматизованого контролю замикань листової активної сталі осердів електричних машин.....	16
1.2.3 Тепловізійний контроль активної сталі електричних машин.....	18
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ.....	24
2 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ МЕТОДУ ОЦІНКИ ЯКОСТІ МАГНІТОПРОВОДІВ ....	25
2.1 Спосіб контролю якості шихтованих магнітопроводів.....	25
2.2 Імпульсні процеси в магнітопроводі електричної машини.....	26
2.3 Високочастотні процеси в магнітопроводі електричної машини .....	29
2.3.1 Вибір оптимальних частот дослідження для високочастотного методу контролю якості шихтованого магнітного осердя .....	31
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ .....	35
3 РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ МІЖЛИСТОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ.....	36
3.1 Пристрій для контролю якості міжлистової ізоляції високочастотним індукційним методом.....	36
3.1.1 Розробка схемного рішення для блоку генератора високої частоти... 3.1.2 Розробка схеми зміщення на підсилення синусоїдального сигналу, що створює генератор частоти.....	38
3.1.3 Розробка блоку індикації на базі мікроконтролера Arduino .....	40
3.1.4 Реалізація експериментального пристрою для контролю якості активної сталі на основі індукційного високочастотного методу.....	43

3.2 Комутатор для контролю якості міжлистової ізоляції.....	44
3.2.1 Розробка схемного рішення комутатора для контролю якості міжлистової сталі.....	46
3.2.2 Реалізація комутатора для контролю якості міжлистової ізоляції.....	49
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ .....	51
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТОПРОВІДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ МІЖЛИСТОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ.....	52
4.1 Методичні вказівки по дослідженню якості магнітопроводу за допомогою пристрою на основі індукційного методу.....	52
4.2 Методичні вказівки по дослідженню якості магнітопроводу за допомогою пристрою на основі індукційного методу.....	55
4.3 Дослідження магнітопроводів статора з застосуванням генератора високої частоти.....	56
4.4 Оцінка дестабілізуючих факторів, що впливають на похибку вимірювання генератора високої частоти.....	60
4.5 Дослідження магнітопроводів статора з застосуванням комутатора.....	67
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ .....	71
5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	72
5.1 Опис ідеї проекту.....	72
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	74
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	75
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ .....	76
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	79
ДОДАТОК А. Програма роботи мікроконтролера Arduino.....	81
ДОДАТОК Б. Публікації на тему магістерської дисертації.....	86
ДОДАТОК В. Слайди презентації.....	97

## ВСТУП

На підприємствах, побутовій техніці та навчальних стендах використовують дороге обладнання, одним з яких є електрична машина. Під час тривалої експлуатації, при аварійних режимах роботи, в результаті старіння та неякісного ремонту або, навіть, при порушенні технології виготовлення машини виникають дефекти, які впливають на показники її роботи. Це призводить до неможливості подальшого використання приладу та, у більш складних випадках, зупинки цілого заводу. Для уникнення цього варто включити до комплексу робіт по планово-попереджувальному ремонті та під час технічного обслуговування комплекс для контролю якості електричних машин.

У зв'язку з тим, що однією з основних проблем в електричній машині є пошкодження активної сталі, в даній роботі розглядаються засоби для діагностування шихтованих магнітних осердь.

Ремонтні служби проводять діагностування та контроль показників якості обладнання після ремонту. Дефекти в активній сталі електричних машин з високою точністю можуть бути виявлені за допомогою численної вимірювальної апаратури та математичних розрахунків, що досить трудомістко. Це призводить до необхідності діагностування осердь простішим способом за допомогою спеціалізованих малогабаритних переносних засобів. Для зменшення трудозатрат та часу виконання дослідження активної сталі електричної машини варто автоматизувати весь процес діагностування. Саме цій меті і присвячена дана магістерська робота [1].

Питання надійності електродвигунів є важливим економічним показником, оскільки від цього показника залежить надійність роботи енергосистеми. Необхідно, з одного боку, підвищити надійність роботи електродвигунів малої потужності та середньої потужностей і збільшити час безремонтної роботи, з іншого – підвищити післяремонтну надійність.

Основною функцією магнітного осердя є магнітний зв'язок, концентрація і проведення магнітного потоку. Крива намагнічування і магнітна проникність сталі –

її головні характеристики. Магнітна проникність залежить від складу і структури матеріалу, які визначаються процесом виробництва.

У магнітних системах змінного струму проходження по магнітопроводу змінного магнітного поля створює побічний ефект – втрати на гістерезис і вихрові струми. Перші визначаються складом і структурою сталі і залежать від обраної марки сталі і технології обробки. Другі визначаються як маркою сталі, так і станом міжлистової ізоляції магнітопроводу.

Саме ця ізоляція може пошкоджуватися як в процесі експлуатації, так і при ремонтних роботах. В окремих випадках при значних порушеннях технології виробництва ізоляція може пошкодитися навіть при виготовленні магнітопроводів.

Основні типи пошкоджень можна розбити на 2 групи [2]:

1. Інтегральні дефекти ізоляції – точкові перекриття, розподілені по ширині пакета за випадковим законом;
2. Локальні дефекти – місцеві короткозамкнені зони, що перекривають частину пакета і, як правило, розташовані на активній поверхні магнітопроводу і не поширюються в глибину.

На сьогоднішній день оцінку інтегральних дефектів проводять використовуючи вимірювання питомих втрат у магнітопроводі [3]. При цьому, в процесі виготовлення або ремонту на замкнутий магнітопровід намотують маловиткову обмотку збудження, живлять змінним струмом від низьковольтного джерела і вимірюють втрати. Незважаючи на простоту, цей метод має ряд недоліків – необхідність досить потужного джерела живлення, набору вимірювальної апаратури, намотування певної кількості витків обмотки збудження і необхідність проводити серію розрахунків для визначення питомих втрат, тобто необхідно приводити втрати до одиниці маси і індукції, які також необхідно визначити. Вплив локальних дефектів при цьому оцінюється як складова інтегральних втрат.

Необхідно відзначити, що визначення втрат у магнітопроводі є загальновизнаним методом контролю якості магнітопроводів [3]. З цієї причини неодноразово приймалися спроби поліпшення методу визначення втрат, наприклад, метод каліброваного ротора, апарат Ейнштейна і різні його модифікації [4].

Актуальність теми дисертації обумовлена низькою експлуатаційною надійністю електричних машин, зокрема післяремонтною надійністю, яка викликана значним впливом дефектів в магнітопроводі електричної машини (перегріву, збільшення втрат, зменшення терміну служби), що може спричинити раптовий вихід машини з ладу. У зв'язку з цим постає необхідність синтезу компактної переносної вимірювальної апаратури на основі сучасної елементної бази, опираючись на результати експериментальних досліджень та математичне моделювання, яку потребують ремонтні електроцехи для контролю якості магнітопроводів.

Метою роботи є вибір найбільш інформативних методів та пристосувань для діагностування шихтованих магнітних осердь електричних машин малої та середньої потужності та розробка апаратних засобів на основі цих методів. Основними вимогами до сучасних апаратних засобів є простота в користуванні, низьке енергоспоживання, невеликі вага і габарити, невисока вартість.

Для вирішення поставленої мети поставлені наступні задачі:

1. Виконати огляд існуючих методів та пристроїв, що використовуються та пропонуються при плановому або вимушеному ремонті електричної машини для визначення стану магнітопроводу.
2. Обґрунтувати математичні засади дії обраних пристроїв на основі фізичних методів оцінки стану шихтованого магнітного осердя.
3. Розробити експериментальний стенд до якого входять генератор високої частоти, комутатор та індикатор.
4. Провести досліди з застосуванням розробленої експериментальної установки та оцінити фактори, що впливають на її роботу.
5. Розробити стартап проект на основі створених пристроїв.

Об'єктом дослідження є апаратні засоби для оцінки якості осердя електричних машин.

Предметом дослідження є методи індукційного контролю стану осердя електричних машин.

Методи дослідження. У роботі використані метод математичного моделювання та метод теорії електричних кіл.



Науковою новизною в дисертації є створення зручних у використанні пристроїв для діагностування електротехнічної сталі, що дозволяє зменшити трудозатрати та полегшити контроль електричної машини.

Практичне значення результатів роботи полягає у створенні навчального стенду по дослідженню активної сталі, який включає в себе генератор високої частоти та комутатор.

Публікації. За темою опубліковано 2 статті:

1. Низкогуз П.В. Частотний метод технічного контролю якості шихтованого магнітного осердя / Коваленко М.А., Низкогуз П.В., Духно Р.П. // Тези доповідей за матеріалами Міжнародної научно практичної конференції. Новината за напреднали наука. – Софія: «Бял Град-БГ ОДД», 2018. С. 40-44.

2. Низкогуз П.В. Пристрій для контролю якості міжлистової ізоляції високочастотним індукційним методом / Коваленко М.А., Низкогуз П.В. // Тези доповідей за матеріалами Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. – Київ: “Політехніка”, 2018. –С.455-456.