

УДК : 621.317.39; 621.317.3.

№ держреєстрації 0116U007285

Інв. №

Національна академія наук України

ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ

03057, Україна, м. Київ, пр. Перемоги, 56; тел. +38 (044) 366-26-25



ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ІЕД НАН України
академік НАН України
О.В. Кириленко

2021 р.

ЗВІТ

ПРО НАУКОВО - ДОСЛІДНУ РОБОТУ

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ЗАСАД МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

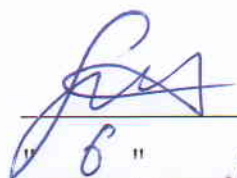
(«ПАРАМЕТР»)

(остаточний)

Частина 1

Науковий керівник НДР,

д.т.н.


А. С. Левицький

" 6 " 11 2021 р.

2021 р.

Рукопис закінчено 6 листопада 2021 р.

Результати роботи розглянуті Вченою Радою ІЕД НАН України
Протокол № 12 від " 2 грудня " 2021 р.

УДК : 621.317.39; 621.317.3.

№ держреєстрації 0116U007285

Інв. №

Національна академія наук України

ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ

03057, Україна, м. Київ, пр. Перемоги, 56; тел. +38 (044) 366-26-25

ЗВІТ

ПРО НАУКОВО - ДОСЛІДНУ РОБОТУ

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ЗАСАД МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

(«ПАРАМЕТР»)
(остаточний)

Частина 2

2021 р.

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 513 с., 258 рис., 45 табл., 395 джерел
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ, КОНТРОЛЬНО-
ДІАГНОСТИЧНІ ПАРАМЕТРИ, ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ,
АНАЛІТИЧНЕ І КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ТЕХНІЧНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ.

Об'єкт дослідження – методи і засоби вимірювання експлуатаційних параметрів обладнання електростанцій.

Метою роботи є розробка теоретичних засад для створення нових та удосконалення існуючих методів та засобів вимірювання контрольно-діагностичних параметрів обладнання електростанцій для підвищення ефективності та подовження терміну експлуатації.

Актуальність розробки нових та удосконалення існуючих методів та засобів контролю зумовлена необхідністю покращення оцінки стану обладнання електростанцій в процесі експлуатації, що дозволить зменшити втрати коштів, пов'язані з простоями та аварійними зупинками.

Методи досліджень: аналітичне, комп'ютерне та фізичне моделювання апаратних і програмних засобів; теоретичні і експериментальні методи в області ємнісних та оптичних вимірювачів фізичних величин; теорія функцій комплексної змінної з використанням конформних відображень; теорія еліптичних функцій; теорія цифрової обробки сигналів та теорія оптимальної фільтрації; інформаційна теорія вимірювань; теорія сигналів і кіл; методи підвищення точності і швидкодії вимірювальних систем; теорія ймовірностей і математичної статистики; експериментальні методи метрологічних досліджень.

Викладено результати досліджень з розробки нових і удосконалення існуючих методів і засобів вимірювання контрольно-діагностичних параметрів основного обладнання електростанцій на основі ємнісних, оптоелектронних, оптичних і магнітних первинних перетворювачів, необхідних для оцінки їхнього технічного стану.

Удосконалено ємнісний метод вимірювання радіального биття циліндричних поверхонь валів потужних генераторів. З використанням пакету Comsol Mul-tiphysics створено базові комп'ютерні моделі трьох типів ємнісних сенсорів биття, застосування яких спрощує дослідження характеристик і оцінку похибок, зумовлених крайовими ефектами в сенсорах. Створено *новий* ємнісний сенсор биття з компланарними кільцевими електродами, який дає можливість уникнути нестабільності вимірювального сигналу, спростити вторинний вимірювальний перетворювач і розмістити його в одній конструкції з сенсором. Проведено дослідження впливу на точність вимірювання як технологічних похибок виготовлення електродів, так технологічних похибок встановлення сенсора на машині. Для запропонованого сенсора розроблено два види схем вторинних перетворювачів. Виготовлено і випробувано експериментальний зразок вимірювача биття.

Створено та досліджено як аналітичними методами, так і методом комп'ютерного моделювання на основі Comsol Multiphysics, новий ємнісний сенсор повітряного зазору для потужних гідрогенераторів з компланарними

паралельними електродами, який має покращені метрологічні характеристики. Проведено оцінку впливу на точність вимірювання як технологічних похибок виготовлення електродів, так технологічних похибок встановлення сенсора на ГГ. Виготовлено і випробувано експериментальні зразки вимірювачів зазору з запропонованим сенсором і двома типами вторинних перетворювачів.

Розроблено новий високоточний та швидкодіючий вимірювальний перетворювач для ємнісних сенсорів з заземленими електродами, який може бути використаний в вимірювачах радіального биття валів високо обертових електричних машин, а також в вимірювачах повітряного зазору між розточенням осердя статора і полюсами ротора в потужних гідрогенераторах.

Розвинуто аналітичний метод визначення параметрів обвідної полюсів ротора ГГ на основі застосування методу найменших квадратів до даних вимірювання зазору системою сенсорів, встановлених на розточенні осердя статора, що дало змогу зменшити у 2-3 рази вплив розкиду радіальних розмірів полюсів ротора на результат визначення параметрів таких дефектів гідрогенератора, як ексцентриситет і перекіс ротора, еліпсність розточення осердя. Розроблені математичні моделі нерівномірності розподілу повітряного зазору, викликаного наявністю ексцентриситетів ротора різних типів можуть використовуватися при проектуванні та реалізації програмно-математичного забезпечення систем контролю повітряного зазору в гідрогенераторах.

Розроблено методи та апаратно-програмні засоби для контролю параметрів рухомих об'єктів в електроенергетичному устаткуванні, що базуються на координованому паралельно-послідовному перетворенні сигналів комбінованих ємнісних сенсорів і дозволяють істотно підвищити швидкодію вимірювальних каналів моніторингових систем при одночасному забезпеченні їх необхідної завадостійкості і чутливості.

Удосконалено лазерний метод вимірювання відстаней з використання оптичних волокон як світловодів. Запропоновано просту по конструкції схему сенсора для вимірювача. Проведено світлоенергетичний розрахунок оптичної схеми запропонованого сенсора. Вибрано та обґрунтовано для запропонованої схеми сенсора частотно-фазовий метод оброблення сигналів на виході фотоприймача. Проведено математичне моделювання перетворювальних процесів в частотно-фазовій системі, що підтвердило можливість оцінки повітряного зазору між ротором та статором гідрогенератора з використанням запропонованого волоконно-оптичного сенсора. Розроблено методи підвищення метрологічних характеристик оптоволоконних систем для визначення повітряних зазорів в гідрогенераторах. Розроблено структурні та принципові схеми фазовимірювального перетворювача (ФВП), який входить до складу фазових та частотнофазових ОВС для контролю повітряних зазорів як один із їх основних блоків.

Набула подальшого розвитку теорія побудови завадостійких ємнісних, оптоелектронних та та гібридних волоконно-оптичних вимірювачів (ГВОВ) вимірювачів механічних параметрів потужних генераторів. Розроблено структурні схеми ГВОВ механічних параметрів генераторів з автономними джерелами живлення (на базі технології "Energy Harvesting") та живлення

через оптоволоконні лінії з використанням фотovoltaїчних елементів, які дозволяють зменшити вплив дії потужних магнітних полів на результат визначення параметрів механічних дефектів. Створені методи енергозберігаючого кодування вимірювальної інформації для ГВОВ механічних параметрів генераторів, що дозволило реалізувати простий протокол комунікації між компонентами систем контролю та діагностування потужних генераторів із застосуванням оптоволокна і знизити потужність живлення засобів отримання первинної інформації, що знаходяться в зоні дії потужних магнітних полів об'єктів діагностування.

Розроблено експериментальний зразок електронно-оптичного перетворювача, який забезпечує організацію комунікації між ємнісними первинними перетворювачами з цифровим виходом та системою збирання й оброблення контрольної-діагностичної інформації систем діагностування параметрів механічних дефектів потужних генераторів та проведено його лабораторні випробування

Розроблено принципи побудови електронних інтелектуалізованих щитових вимірювачів (ЩВ) контрольної-діагностичних параметрів енергогенеруючих об'єктів з набором характеристик, які суттєво мінімізують ймовірність допущення помилок операторами блоків щитового управління цими об'єктами. В результаті аналізу характеристик серійних щитових вимірювачів була розроблена концепція побудови ЩВ, в якій сформульовано додаткові функціональні можливості таких приладів, які дозволяють підвищити ефективність та розширити сферу застосування.

Для реалізації ЩВ на основі сформульованої концепції виконано наступне. Розроблено структурну схему приладу, що дає можливість реалізувати повний набір функцій для забезпечення ефективного функціонування приладу. Розроблено алгоритм функціонування дискретно-аналогової лінійної шкали, який забезпечує адаптацію діапазону індикації шкали до діапазону вимірюваного параметра шляхом введення додатково параметра налаштувань шкали, отримано аналітичні вирази розрахунку елементів індикації з урахуванням параметрів налаштувань. Розроблено алгоритм реалізації зворотнього перетворення значень нормалізованого сигналу в значення контрольованого параметра, отримано аналітичний вираз цього перетворення. Для інтелектуалізованих ЩВ розроблений режим прямих відліків вимірюваного сигналу, що не вимагає зміни встановлених налаштувань приладу. Розроблено алгоритм реалізації цього режиму. Створено та досліджено експериментальний зразок ЩВ напруги змінного струму.

Для спрощення операції налаштувань вимірювачів запропоновано принцип побудови автоматизованої системи налаштувань ЩВ, що дозволяє оперативно переналаштаувати щитові вимірювачі на ефективну роботу в заданих режимах роботи енергогенеруючого об'єкта. Розроблено структуру та алгоритм функціонування цієї системи, склад та структуру блоків програмного забезпечення системного контролера.

Модернізовано метод вимірювання різниці фаз між струмами через ізоляцію об'єктів, підключених до одного джерела високовольтної напруги, який може бути застосований для вимірювань тангенсу кута діелектричних втрат високовольтної конденсаторної ізоляції введів силових

трансформаторів під робочою напругою. Розроблено алгоритм, що реалізує модернізований метод вимірювання різниці фаз. На його основі створено програму мікропроцесорного блока керування вимірювального пристрою. Виготовлено експериментальний зразок прецизійного вимірювача різниці фаз на промисловій частоті. Розроблено методику та проведені експериментальні дослідження метрологічних характеристик експериментального зразка.

Розроблена багаторівнева функціональна специфікація програмно-апаратного комплексу, що реалізує концепцію і методологію моніторингу 2D просторового розподілу зовнішніх магнітних полів в системах технічного діагностування електроенергетичного обладнання. Обґрунтовано вибір первинних перетворювачів магнітної індукції для вимірювання характеристик магнітних полів та запропоновано методи і способи програмно-апаратної реалізації функції компенсації нульового зсуву перетворювачів і дрейфу підсилювально-перетворювального тракту. Апаратно-програмний комплекс реалізовано як макет мобільної системи з системним комп'ютером для збору даних. На основі експериментальних досліджень створена 2D просторова двовісна реєстрація і динамічне відображення зовнішнього обертового магнітного поля трифазного асинхронного двигуна.

Медіанні фільтри на основі впорядкованих вибірок даних моніторингу для отримання середніх оцінок з усуненням неправдоподібних значень є ефективним шляхом підвищення достовірності діагностичної інформації, тобто її повноти і загальної точності. Однак залишався невідомим вплив адитивних шумових складових на результат медіанної фільтрації, а також залежність цього впливу від параметрів вибірок і алгоритму обчислення середніх оцінок.

Запропоновано концепцію подання упорядкованих вибірок з некорельованої випадкової множини даних, як багатоканальних конверторів функції щільності ймовірності. Розроблена методика досліджень перетворювальних властивостей конверторів з використанням аналітичних і чисельних методів, визначені множини виходів конверторів, які об'єднуються «вікнами статистичної близькості» до нормального розподілу. Запропоновано метод цифрової обробки даних з удосконаленням зазначених медіанних фільтрів, що дозволяє підвищити точність і швидкодію вимірювання параметрів слабких зовнішніх магнітних полів обертових машин за рахунок конверсії функції розподілу випадкової складової. Результати досліджень можуть бути використані і для класифікації випадкових сигналів, які містять діагностичні ознаки.