

УДК : 621.317.39; 621.317.3.

№ держреєстрації 0122U000051

Інв. №

Національна академія наук України

ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ

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



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ІЕД НАН України  
академік НАН України  
Олександр КИРИЛЕНКО  
" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024р.

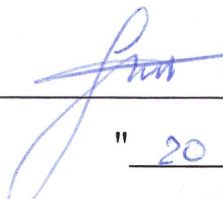
ЗВІТ

ПРО НАУКОВО - ДОСЛІДНУ РОБОТУ  
СТВОРЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ  
ЗАСОБІВ ДЛЯ ПРОСТОРОВО-РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ В  
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ  
(«ТОРЕЦЬ-2»)

(заключний)

Науковий керівник НДР,

д.т.н., с.н.с.

 Анатолій ЛЕВИЦЬКИЙ  
" 20 " жовтня 2024р.

2024р.

Рукопис закінчено 25 жовтня 2024 р.

Результати роботи розглянуто Вченою Радою ІЕД НАН України,  
протокол від "14" листопада 2024р. №12

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 150 с., 95 рис., 8 табл., 1 дод., 83 джерел

ТУРБОГЕНЕРАТОР, ОСЕРДЯ СТАТОРА, ПРЕСУВАННЯ, СИЛОВИЙ АКУМУЛЯТОР, КОНТРОЛЬ, СЕНСОРИ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, ВИМІРЮВАННЯ, ЦИФРОВА ПІДСТАНЦІЯ, ЦИФРОВИЙ ТРАНСФОРМАТОР СТРУМУ, ЦИФРОВИЙ ТРАНСФОРМАТОР НАПРУГИ, СИНХРОНІЗАЦІЯ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Мета досліджень – створити та експериментально перевірити засоби вимірювання ходу тарілчастих пружин в силових акумуляторах (СА) тиску систем стабілізації тиску пресування осердя статора потужного турбогенератора (ТГ) та розробити автоматизовану систему контролю для тридцяти СА, а також створити та експериментально дослідити цифрові вимірювальні вузли просторово-розподіленої інформаційно-вимірювальної системи цифрової підстанції.

Актуальність роботи визначається необхідністю оперативного контролю тиску пресування осердя статора потужного ТГ в процесі експлуатації для визначення виявлення критичного зменшення тиску та розподілу тиску в місцях стяжних призм, а також необхідністю забезпечення цифровізації вимірювальних систем електричних підстанцій (ЕП).

Переоснащення підстанцій цифровими вимірювальними перетворювачами струму і напруги, запровадження концепції цифровізації ЕП дозволить підвищити точність перетворення і вимірювання параметрів електроенергії, розширити кількість можливих пристроїв збору вимірюваної інформації в системах цифрових підстанцій, що у свою чергу забезпечить зменшення втрат електроенергії і матеріалоемності підстанцій.

Під час виконання роботи проведено огляд і аналіз науково-технічної інформації з причин зниження спресованості осердя статора потужного турбогенератора в процесі експлуатації та методів і засобів автоматичної

стабілізації тиску пресування осердя статора. Показано, що ефективним методом запобігання зниженню спресованості осердя є застосування систем силових акумуляторів (СА) з тарілчастими пружинами. Зазначено, що ефективним методом оцінки стану спресованості осердя при цьому є вимірювання ходу тарілчастих пружин в СА, а також вимірювання зусиль в стяжних призмах осердя статора.

Проведено оцінку проблем, які необхідно вирішити під час створення вимірювача ходу тарілчастих пружин в СА, які застосовуються на турбогенераторах типу ТВГ-200 виробництва АТ "Українські енергетичні машини" (АТ "Завод "Електроважмаш"), які для усунення нагріву магнітним полем машини і для зменшення габаритів мають специфічну безкорпусну конструкцію. Обґрунтовано необхідність проведення досліджень, які будуть основою для створення спеціальних високонадійних вимірювачів: ходу тарілчастих пружин і зусиль в стяжних призмах.

Розроблено і створено 3-Д модель безкорпусного СА, з використанням якої реалізовано засоби вимірювання ходу тарілчастих пружин СА.

Обґрунтовано застосування ємнісного сенсора лінійних переміщень, розміщеного за межами СА, для контролю ходу блоку пружин в безкорпусному СА. За заданими конструктивними параметрами безкорпусного СА та величиною максимального ходу тарілчастих пружин в ньому розроблено ємнісний сенсор та визначено його характеристики. Створено методику контролю стану осердя статора ТГ з використанням системи СА з ємнісними сенсорами на кожному СА та методику контролю з почерговим використанням одного вимірювача ходу тарілчастих пружин.

Окреслено ряд параметрів ТГ і СА, які необхідно враховувати для розрахунку механічної характеристики блоку тарілчастих пружин. Показано, що оптимальним способом зібрання тарілчастих пружин в блоки СА є комбіноване у вигляді послідовно-паралельних збірок. За конструктивними параметрами СА і його блоку тарілчастих пружин розраховано механічну характеристику блоку, що дозволило визначити залежність стиснення блоку з різними товщинами пружин,

тобто їхнього мікропереміщення в залежності від осьових сил стиснення заліза осердя статора, які впливають на стяжні болти, шпильки та інші компоненти болтових з'єднань системи підтримання заданого значення стиснення турбогенератора.

В якості вимірювача зміни осьових сил стиснення заліза під час експлуатації турбогенератора запропоновано та створено конструкцію СА з волоконно-оптичним сенсором на основі ґраток Брега. За заданими конструктивними параметрами СА та механічною характеристикою блоку тарілчастих пружин розроблено волоконно-оптичний сенсор вимірювання зазначених зусиль та визначено його характеристики. Зусилля в призмах вимірюються з використанням діелектричного трубчастого силосприймаючого елемента і з'єданого з ним шляхом легкого натягу кільцевого вимірювального пружного елемента. Запропоновано структурну схему волоконно-оптичної системи з ґратками Брега для вимірювання зусиль в призмах.

Розроблено вбудований в СА вимірювальний перетворювач зусиль в стяжних призмах осердя статора, який складається з пружного чутливого елемента (ПЧЕ) і ємнісного сенсора (ЄС). Для визначення зусилля в стяжній призмі вимірюється електрична ємність між потенціальним електродом ЄС і заземленим елементом СА. Визначено функцію перетворення перетворювача зусиль з урахуванням геометричних розмірів ПЧЕ і ЄС. Проведено розрахунок ПЧЕ на механічну міцність.

Розроблено структура та алгоритми функціонування системи автоматизовану систему контролю вимірювання ходу тарілчастих пружин безкорпусних СА та її вимірювальних перетворювачів.

Огляд і аналіз науково-технічної інформації з питань цифровізації електроенергетичних об'єктів показав, що провідні країни світу не оновлювали обладнання підстанцій на періоді від 30 до 50 років, але останні 15 років активно займаються переоснащенням ЕП, змінюючи морально застарілі засоби вимірювального перетворення (ЗВП) параметрів електричної енергії на сучасні цифрові, які мають високий ступінь комунікації і є елементами Smart Grid

технологій. Початок переведення ЕП на Smart Grid технологій покладено в 2004 році стандартом МЕК 61850. Це новий міжнародний стандарт для зв'язку на підстанціях, який дозволяє впроваджувати на підстанціях будь-які функції захисту, управління, вимірювання і моніторингу, а також забезпечує можливості для впровадження високошвидкісних додатків для захисту підстанції, їх блокування і відключення. Стандарт поєднує в собі зручність використання мереж Ethernet з продуктивністю і безпекою, необхідними в сучасних умовах експлуатації підстанцій.

Сприяють швидкому розвитку цих технологій такі фірми як SIEMENS, ABB, General Electric Schneider Electric. Основою для розвитку цифрових підстанцій у цих компаніях є затверджений у 2003 році стандарт МЕК 61850, одним із призначень якого є створення нових технологій зв'язку для забезпечення керування цифровими підстанціями. До переваг цього стандарту слід віднести наступні: ефективно за витратами рішення за рахунок зменшеної кількості підключених пристроїв, гнучке програмування дозволяє додавати реле і нові функції захисту без зміни фізичної схеми підключення, для оновлення до МЕК 61850 не потрібно використання зовнішніх перетворювачів протоколів.

Встановлено, що в лініях зв'язку цифрових підстанцій, розроблених провідними фірмами світу, використовують провідні і оптоволоконні кабелі, що призводить до зниження надійності передавання інформації через механічні ушкодження кабелів і суттєвого здорожчання самих ліній зв'язку. Тому під час виконання теми запропоновано запроваджувати лінії зв'язку на основі бездротових технологій.

Під час виконання роботи розроблено робочу документацію розподіленої вимірювальної системи і створено комп'ютерну модель обміну інформації між вимірювальними перетворювачами і концентратором. Проведено дослідження можливості вимірювання діючих значень, кутів зсуву фази та інших параметрів сигналів електричних мереж, для визначення яких використовують дані дискретизації з частотою не кратною частоті мережі.

На основі запровадження лінійної апроксимації і інтерполяції сигналів розроблено нові принципи побудови просторово-розподіленої системи, втілення яких відрізняється від існуючих принципів побудови повною відсутністю дротових чи оптоволоконних ліній зв'язку.

В запропонованих алгоритмах використовується проміжна лінійна - апроксимація для розрахунку миттєвих значень інтерпольованих сигналів в рівновіддалених моментах часу на періоді основної частоти мережі.

Розглянуто випадки, коли така дискретизація виконується на одному приладі при послідовному або одночасному кодуванні вхідних сигналів та варіант, коли у кожному вимірювальному каналі частоти дискретизації не збігаються.

Проведено дослідження використання цих методів із застосуванням розробленої комп'ютерної моделі та макету розподіленої вимірювальної системи.

Розроблено систему синхронізації вибірок сигналів трифазних напруг і струмів з метою мінімізації фазової похибки вимірювання потужності за допомогою цифрових трансформаторів напруги і струму. Створено структурні схеми синхронної передачі цифрової інформації з ЦТС і ЦТН на блок обробки інформації. Розроблено і досліджено алгоритми вимірювання параметрів електроенергії при використанні фіксованої частоти дискретизації сигналів.

Передано макет просторово-розподіленої системи у ТОВ «ЕЛВІН, ЛТД» (м. Київ) для подальшого удосконалення і впровадження у серійне виробництво.