

ВІДГУК

офіційного опонента завідувача кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем» Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", доктора технічних наук, професора Гриба Олега Герасимовича на дисертацію Василенко Сергія Вікторовича «Дослідження причин зниження терміну служби ізоляції асинхронних двигунів напругою до 1000 В», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи до спеціалізованої вченої ради Д 64.832.01 Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

Актуальність теми дисертаційної роботи. Розробляючи нові діагностичні методи контролю технічного стану асинхронних двигунів (АД), що працюють у металургійному виробництві, гірничодобувних комплексах, перевантажувальних комплексах портів, сільському господарстві та інше треба мати на увазі їх роботу у несприятливих умовах виробництва, а отже, приділяти особливу увагу удосконаленню неруйнівного контролю, розробці пристроїв передавальної діагностики. Для цього необхідне поєднання теоретичного і практичного розгляду наступних питань: розробки математичних моделей фізичних процесів, які при цьому відбуваються; обґрунтування нових технічних розв'язань у пристроях, що використовуються для досягнення мети; вибір та експериментальна перевірка параметрів як самих процесів, так і розроблених пристроїв.

В процесі експлуатації АД, вплив несприятливих факторів навколишнього середовища і змінених показників якості електроенергії, призводить до прискореного зносу ізоляції. В результаті виникають міжвиткові та міжфазні замикання, пробої на корпус. Міжвиткові замикання можуть мати незначні прояви і розвиватися поступово. Впровадження неруйнівних методів діагностування поточного стану електродвигунів, дозволить своєчасно виявляти незначні прояви міжвиткових замикань і уникати аварійної ситуації і порушення технологічного процесу. Стає можливим реалізувати технологію обслуговування по фактичному стану. Таке обслуговування призведе до зростання часу між поточними і капітальними ремонтами, зниження аварійності, зросту економічності виробництва.

Існуючі роботи, присвячені розробці сучасних діагностичних методів, не завжди мають на увазі необхідність проаналізувати та оцінити існуючі методи і засоби діагностики, контролю та захисту технічного стану АД; розробити математичні моделі виявлення виткових замикань в початковий момент їх

виникнення при спотвореннях якості електричної енергії; розробити метод діагностики локальних перегрівів ізоляції, які викликані пиловим покриттям різної провідності і струмовим навантаженням.

У зв'язку з вище сказаним назріла необхідність створення систем діагностування стану АД на основі використання математичних моделей неруйнівного контролю, з проведенням своєчасних комплексних попереджувальних обстежень цього обладнання.

Таким чином, дана дисертаційна робота є актуальною з точки зору розв'язання важливої для теорії і практики задачі з розробки діагностичних методів, що забезпечать підвищення якості діагностики стану працюючого електродвигуна. Її вирішення буде сприяти зменшенню непередбачуваних простоїв промислових підприємств.

Тематика дисертації відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки в Україні. Робота виконана на кафедрі «Електрифікації промислових підприємств» Державного вищого навчального закладу «Приазовський державний технічний університет» в рамках науково-дослідних робіт «Моніторинг режимів електричних мереж, від яких живляться перевантажувальні машини другого перевантажувального району та вугільного перевантажувального комплексу» (№ держреєстрації 0116U007129), в якій здобувач приймав участь як виконавець і кафедрі «Інженерії та технології» Азовського морського інституту НУ «Одеська морська академія».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій. Всі положення і висновки дисертації вважаю цілком обґрунтованими і достовірними. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій визначається аргументованою постановкою завдань дослідження, перевіркою результатів за допомогою чисельних та натурних експериментів. Аналіз сучасного стану питань з методів прогнозування розвитку виткових замикань під час експлуатації АД та локальних перегрівів обмоток, при їх запылені, виконано в достатньому обсязі.

Одержані результати ґрунтуються на загальних принципах прикладної і обчислювальної математики, технологіях математичного і фізичного моделювання і проведення експериментів.

Наукова новизна досліджень і одержаних результатів. В дисертаційній роботі розв'язано низку задач, що пов'язані з подальшим покращанням оцінки та прогнозування стану АД, що працюють у складних умовах експлуатації, на основі розробки діагностичної системи моніторингу та неруйнівної оцінки його стану.

З цією метою:

– вперше розроблено метод виявлення виткового замикання в обмотці статора АД на ранній стадії при невеликій кількості замкнених витків, який відрізняється одночасним урахуванням відхилень напруг по фазах АД і зміненого опору в обмотці з витковим замиканням, що дає можливість запобігти розвитку пошкоджень і появи аварійної ситуації;

– вперше запропоновані діагностичні критерії, які дозволяють за зміною повного опору обмотки статора визначити кількість замкнених витків, при намотці обмотки одним провідником, і кількість замкнених витків в паралельних провідниках, при намотці обмотки двома і більше паралельними провідниками;

- вперше запропоновано метод температурного захисту обмоток АД і визначення товщини шару пилу на поверхні ізоляції, який відрізняється спостереженням за різницею показань двох температурних датчиків, які встановлені на лобових частинах обмоток, що дозволяє визначити товщину шару пилу та при досягненні критичного рівня товщини пилу сформувати аварійний сигнал щодо необхідності проведення профілактичних заходів;

– удосконалена теплова модель, яка розглядає АД як однорідне тіло, яка відрізняється урахуванням відхилень напруги по фазах, що динамічно змінюються, і несиметричних опорів фаз АД, викликаних наявністю виткових замикань або неякісним ремонтом.

Значимість для науки і практики висновків і рекомендацій полягає у комплексній прикладній спрямованості отриманих результатів, що використовуються для діагностики АД під час експлуатації. При цьому слід відмітити наступне:

- розроблена математична модель, яка дозволяє в процесі експлуатації АД виявляти виткові замикання 4–10 % витків на ранній стадії їх утворення, в умовах несиметричної напруги живлення, що дозволяє запобігти виникненню аварійної ситуації, може бути використана в пристроях неруйнівного контролю і захисту електродвигунів;

- розроблено спосіб контролю та теплового захисту асинхронних двигунів, які працюють в агресивному середовищі, особливістю якого є одночасне вимірювання температур верхньої і нижньої лобової частини обмотки статора, за різницею отриманих даних робиться висновок про те, що має місце струмове перевантаження або покриття обмотки шаром пилу;

– розроблено алгоритм і програмне забезпечення для діагностичної системи контролю та захисту АД, яка безперервно здійснює моніторинг рівнів напруг, фазних струмів, частоти мережі і обертів електродвигуна, що дозволяє своєчасно виявити початковий момент виткового замикання, тим самим

своєчасно запобігти аварійній ситуації, і захистити АД від неповнофазних режимів і провалів напруги живильної мережі;

- результати дисертаційної роботи використані на провідних підприємствах м. Маріуполь з економічним ефектом більше 170 000 грн./рік, а також у учбовому процесі.

Аналіз змісту дисертації

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків. Повний обсяг дисертації складає 163 сторінки, 37 рисунків по тексту, 34 таблиці по тексту, 99 найменувань використаних джерел та 7 додатків на 17 сторінках.

У вступі показана актуальність теми; дана коротка характеристика роботи; сформульовані мета і основні результати, що виносяться на захист, їх новизна та практична цінність.

У розділі 1 проведено аналіз існуючих методів і засобів діагностики, контролю та захисту технічного стану АД. Встановлено, що методи діагностування розподіляються на дві групи. До першої групи відносяться методи, потребуючі формування штучних збурювань, що впливають на електродвигун. До іншої групи відносять методи функціональної діагностики, зокрема, вібродіагностики, оцінка діагностичних параметрів, спектральний аналіз споживаного струму. Визначено, що актуальною є розробка методів безперервної функціональної діагностики технічного стану АД, достовірність роботи яких залежить від точності визначення параметрів електродвигуна. Проведено аналіз існуючих методів визначення параметрів схеми заміщення АД. Показано, що в умовах змінного навантаження на валу електродвигуна і параметрів мережі, які динамічно змінюються, похибка в розрахунку окремих параметрів для двигунів потужністю до 5 кВт згаданими методами становить від 15 до 20 %. Проаналізовано методи і засоби виявлення виткових замикань в обмотках АД. Визначено, що подальшого розвитку вимагають методи виявлення виткових замикань в електродвигунах, які працюють в умовах неякісної електроенергії. Встановлено, що існуючі методи безпосереднього і непрямого контролю температури обмоток застосовані для АД потужністю більше 15 кВт, що працюють в умовах загальних теплових перевантажень, нечутливі до локальних перегрівів, викликаних запиленням лобової частини обмотки статора. Сформульовано висновок, що використання спеціальних інформаційних інструментів дозволить значно знизити суб'єктивні похибки, що виникають в процесі оцінки технічного стану АД.

Розділ 2 присвячений математичним моделям виявлення виткових замикань в обмотках АД. В першому пункті удосконалено методику визначення параметрів схеми заміщення електродвигунів потужністю до 5 кВт. В розділі встановлено залежність розподілу струмів по фазах електродвигуна від наявності несиметричних опорів обмоток, викликаних як витковими замиканнями так і неякісними ремонтами, в умовах роботи електродвигуна при несиметричній напрузі живлення. Розроблена математична модель визначення струмів і втрат потужностей в фазах АД при появі будь якої несиметрії опорів в мережі з несиметрією напруг до 4 %. Зазначена модель використовується в системі раннього виявлення виткових замикань 4–10 % витків. Висока чутливість забезпечується точним визначенням параметрів схеми заміщення АД і постійним корегуванням їх значень в процесі експлуатації. Показано, що для АД потужністю до 2 кВт, які після неякісного ремонту мають розбіжності активних опорів обмотки статора, не врахування цих розбіжностей призведе до похибки до 8 %. Отримана математична модель дозволила удосконалити рівняння теплової моделі нагріву обмотки статора електродвигуна при визначенні залишкового експлуатаційного терміну.

В розділі 3 представлені дослідження впливу шару пилу на лобовій частині обмотки статора на локальні теплові процеси в ізоляції обмотки. Отримана залежність додаткового нагріву лобової частини обмотки в функції товщини шару пилу носить лінійний характер. Показано, що попадання на поверхню ізоляції провідного пилу, при наявності нерівномірного зносу ізоляції по довжині, призводить до появи різниці потенціалів на поверхні ізоляції і протіканню поверхневих струмів, а виділена при цьому енергія прискорює процес старіння ізоляції. Для отримання залежностей зміни величин поверхневого опору від товщини і складу пилового покриття розроблений датчик поверхневої провідності, що представляє собою парні, паралельно розташовані електроди, поміщені на діелектричну основу. Встановлено, що швидкість зміни поверхневого провідного пилу при його зволоженні і наступному нагріванні змінюється на 10-13 % і не залежить від товщини покриття. Непровідний пил є адсорбентом вологи при її нагріві, швидкість зміни поверхневої провідності зростає в 5 і більше разів. Отримані в розділі теоретичні результати стали підґрунтям для подальших практичних розробок.

Розділ 4 присвячений розробці пристроїв, алгоритмічного та програмного забезпечення діагностики та захисту АД в режимі реального часу. Розроблено пристрій контролю та теплового захисту обмоток АД, які працюють в запиленому середовищі, заснований на контактних вимірах температури лобової частини обмотки статора, обробці отриманих даних і відключені АД від

мережі при перевищені температури вище допустимої. Особливість способу є одночасне вимірювання температури верхньої лобової частини обмотки та діаметрально протилежної нижньої частини, постійне порівняння отриманих результатів і за їх різницею робиться висновок про локальне запилення обмоток пилом або загальний перегрів електродвигуна.

Розроблено алгоритм роботи, комп'ютерна програма та блок-схема пристрою діагностування та захисту АД від неповнофазних режимів, струмових перевантажень, виткових замикань. Пристрій дозволяє діагностувати початковий момент виткового замикання в статорних обмотках електродвигуна, в якому безперервно здійснюється моніторинг рівнів напруги мережі, фазних струмів, частоти мережі і обертів електродвигуна.

У висновках викладено основні результати роботи і рекомендації щодо їх практичного використання.

У додатках представлено акти впровадження результатів розробки за темою дисертації.

Зауваження щодо змісту роботи

1. На рис. 1.1 і 3.6 відсутні розмірності на координатних осях.
2. Чи залежить чутливість коефіцієнта, що визначає виткові замикання в обмотці статора від потужності двигуна
3. Для яких потужностей АД необхідно враховувати відхилення активного опору статора.
4. У тексті дисертації та автореферату є помилки технічного характеру.

Висновок

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук Василенко Сергія Вікторовича «Дослідження причин зниження терміну служби ізоляції асинхронних двигунів напругою до 1000 В» є актуальною з точки зору розвитку та підвищення ефективності функціонування систем діагностики, контролю та захисту АД, що має важливе значення для забезпечення експлуатаційної надійності роботи електродвигунів. Актуальність роботи обумовлена також і можливістю суттєвої фінансової економії, яку можуть отримати підприємства, основні виробничі процеси яких пов'язані з використанням АД. Рівень наукових досліджень, використання обчислювальної техніки, глибина і багатогранність розв'язаної задачі цілком відповідають вимогам, що пред'являються до кандидатських дисертацій.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації.

Основні положення дисертаційної роботи відображені в 14 опублікованих працях, у тому числі: 4 – у фахових виданнях, що включені до наукометричних

баз даних; 5 - у зарубіжних виданнях; 3 – у матеріалах і тезах доповідей на конференціях різних рівнів; 1 патент на корисну модель України, 1 авторське свідоцтво та комп'ютерну програму.

Результати роботи можуть бути використані на промислових підприємствах і сільському господарстві з електротехнічними комплексами.

Незважаючи на окремі зауваження, за актуальністю, науковому рівню, практичній цінності, об'єму інформації, достовірності результатів, правильній їх оцінці, оформленню роботи дисертація Василенко С.В. повністю відповідає п.п. 9, 11, 12, 13 "Порядку присудження наукових ступенів" затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р., а її автор Василенко Сергій Вікторович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри
«Автоматизація та кібербезпека енергосистем»
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»

Гриб О.Г.



Підпис Гриба
Засвідчую
В.о. вченого секретаря

Авдусієв О.О.