

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Вступ

Відомо [1], що причиною аварій електричних машин є пошкодження ізоляції (понад 40% у порівнянні з іншими факторами). Ізоляційна конструкція електричних машин зазвичай має складну багат шарову структуру. Зміна у часі фізико-хімічних показників, що характеризують процес старіння ізоляції, проявляється у вигляді мікротріщин, мікропор, утворень молекулярних структур провідникового походження та інших дефектах. Зважаючи на умови, що впливають на електричну міцність ізоляції, слід зробити висновок про необхідність врахування структури та кількості дефектів. Водночас при здійсненні процесу діагностування технічного стану ізоляції слід враховувати не тільки енергію хімічних зв'язків та масштаби дефектів діелектричної речовини, але й умови експлуатації електричної машини. Методами неруйнівного контролю неможливо визначити енергію хімічних зв'язків та оцінити ступінь дефектів (для цього застосовуються методи руйнівного контролю). При реалізації технічного обслуговування і ремонту за фактичним станом найбільшого поширення отримали неруйнівні методи діагностики, які, однак, на сьогоднішній день потребують подальшого вдосконалення.

Аналіз досліджень і публікацій

Методи контролю стану ізоляції, які базуються на вимірах неелектричних величин [2, 3], потребують точної інформації про фізичні властивості матеріалів та коефіцієнтів, які зазвичай неможливо виміряти або отримати. Крім того, ці параметри та коефіцієнти з часом змінюються. Найбільш розповсюдженими є методи неруйнівного контролю технічного стану ізоляції за електричними явищами. Цим методам присвячені роботи Серебрякова О.С, Чернишова В.О., Автаєва М.О., але вони орієнтовані або на вузький клас електричних машин, або на певний режим вимірювання (без відключення або з відключенням від мережі), що значно обмежує їх застосування.

Мета статті

Огляд сучасних методів діагностики технічного стану ізоляції електричних машин, опис нового підходу до оцінювання технічного стану ізоляції з урахуванням широкого спектру параметрів, що характеризують її стан.

Викладення основного матеріалу

Методи неруйнівного контролю можна класифікувати за параметром, що вимірюється або розраховується. До цих параметрів відносяться: опір постійному струму, коефіцієнт абсорбції, індекс поляризації, тангенс кута діелектричних втрат, рівень зворотної напруги, інтенсивність та амплітуда часткових розрядів. Окреме використання цих методів не дає адекватної оцінки технічного стану ізоляції. Опір постійному струму дозволяє виявити лише грубі дефекти, а для сухої пошкодженої ізоляції зі значним строком служби опір може дорівнювати опору нової ізоляції. Коефіцієнт абсорбції та індекс поляризації значно залежать від зволоженості повітря та температури ізоляції, тому результати вимірювань дуже складно інтерпретувати. Не рідкими є випадки, коли результати діагностики за частковими розрядами вказують на критичний стан ізоляції, але двигун ще працює значний час без аварій [4]. Результати досліджень на 15 двигунах із різним віком ізоляції показали, що $\text{tg}\delta$ також не є однозначним показником для визначення стану ізоляції. Так у деяких двигунів із 30-річним строком служби ізоляції (при цьому майже всі показники виходили за допустимі діапазони) спостерігався $\text{tg}\delta$ навіть менший за $\text{tg}\delta$ двигунів із строком служби ізоляції 1 рік. Складність інтерпретації результатів вимірювань за кожним окремим параметром пов'язана із залежністю цих результатів від умов вимірювань (температура, вологість) та природи дефектів (фізичне старіння, хімічне старіння, забруднення і т.д.). Ці умови і створюють розбіжності в результатах різних параметрів. Для покращення інтерпретації результатів вимірювань необхідно розглядати їх не окремо, а в комплексі. У роботі [5] запропоновано використання інтегрального показника ТРІ (узагальнений індекс поляризації). Однак і цей метод розглядає ізоляцію лише з точки зору її реакції на вплив постійного струму, але зазвичай ізоляція електричних машин знаходиться під дією змінного струму. З урахуванням цього необхідно проводити комплексні вимірювання всіма доступними методами.

Отже кожен з параметрів, що розглядається, окремо не надає достатньої інформації для прийняття рішення про необхідність проведення ремонту електричної машини та визначення масштабу цього ремонту. Пропонується враховувати всі параметри, що характеризують технічний стан ізоляції, одночасно. Це дозволить значно підвищити достовірність оцінки технічного стану ізоляції. Для врахування всіх параметрів необхідно попередньо виконати їх нормування, тобто привести кожен параметр до одиниці. Пропонується у якості базової величини прийняти діапазон зміни параметру від найгіршого значення до найліпшого. Виходячи з базового діапазону для кожного параметра визначається коефіцієнт відповідності нормам $K_{\text{норм}}$. Якщо параметр знаходиться на максимально припустимій границі, то $K_{\text{норм}} = 0$. Якщо величина параметру дорівнює найкращому значенню з базового діапазону, то $K_{\text{норм}} = 1$.

Зі всього різноманіття параметрів неможливо виділити групу або групи параметрів, які могли б у рівній мірі визначати технічний стан ізоляції. Тому необхідно враховувати вагомість кожного з параметрів. Для цього кожному параметру ставиться у відповідність ваговий коефіцієнт m . Для визначення вагового коефіцієнту засто-

совано метод аналізу ієрархій (MAI) [6]. MAI є одним з найпоширеніших методів визначення вагових коефіцієнтів в статистичному аналізі. Для визначення вихідних даних для MAI були проведені дослідження в умовах спеціалізованого електроремонтного підприємства з 5 електричними машинами з різним станом ізоляції. Оцінка технічного стану ізоляції виконувалась методами руйнівного контролю (хімічний аналіз, аналіз під мікроскопом, випробування на електричну міцність).

В методі аналізу ієрархій попарно порівнюються різні параметри. Потім порівнюються результати аналізу технічного стану різних зразків ізоляції за всіма параметрами окремо. Всі результати порівнянь заносяться до матриць, з яких розраховуються вагові коефіцієнти. Сума всіх вагових коефіцієнтів дорівнює 1. Результати розрахунків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Вагові коефіцієнти параметрів ізоляції для комплексної оцінки технічного стану ізоляції

Параметр	Позначення	Ваговий коефіцієнт
Опір постійному струму	R_{60}	0,045
Коефіцієнт абсорбції	$K_{абс}$	0,149
Коефіцієнт нелінійності	$K_{нл}$	0,049
Коефіцієнт діелектричної абсорбції	DAR	0,189
Індекс поляризації	PI	0,194
Тангенс кута діелектричних втрат	$tg\delta$	0,185
Постійна часу релаксації	τ	0,189
ІТОГО		1

При комплексному оцінюванні технічного стану ізоляції електричних машин для кожного i -го параметру враховується його нормоване значення $K_{норм\ i}$ та ваговий коефіцієнт m_i . Комплексний показник технічного стану ізоляції Q розраховується за формулою:

$$Q = \sum_{i=1}^N (K_{норм\ i} \cdot m_i). \quad (1)$$

У таблиці 2 наведені результати досліджень стану ізоляції електричних машин напругою 6 кВ на діючих промислових установках. Порівнюючи результати досліджень та відомості про експлуатацію можна сказати, що оцінювання за комплексним показником надає адекватну інформацію про поточний технічний стан ізоляції.

Таблиця 2. Результати досліджень та розрахунків комплексного показника

№ двигуна	P, МВт	нормоване значення параметру, $K_{норм}$							Q	Строк служби ізоляції
		R_{60}	$K_{абс}$	$K_{нл}$	DAR	PI	$tg\delta$	τ		
№ 1	2600	0	0	0,13	0	0	0,84	0	0,16	20 років
№ 2	2000	0	0	0,8	0	0	0,69	0	0,17	23 роки
№ 3	3200	1	1	1	0,67	0,5	0,61	0	0,58	3 роки
№ 4	2000	1	1	1	0,67	0,07	0,54	0	0,48	4 роки
№ 5	8000	1	1	1	1	0,93	0,8	0,1	0,78	1 рік
№ 6	4000	1	1	1	1	1	1	0,25	0,85	Нова ізоляція

Висновки

Комплексне оцінювання поточного технічного стану ізоляції забезпечує адекватні результати, зменшуючи при цьому ризик виникнення помилкових висновків. Комплексний показник технічного стану ізоляції може використовуватись для планування черговості ремонтних робіт. Подальше вдосконалення наведеного підходу полягає у підвищенні точності розрахунку вагових коефіцієнтів та встановленні на основі статистичних даних відповідності значень комплексного показника Q та необхідних дій. Тобто необхідно визначити, при якому Q ізоляція потребує капітального ремонту, відновлювального ремонту або не потребує ремонту взагалі.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петухов В., Соколов В. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока. // Новости электротехники. – Санкт-Петербург.: ЗАО «Новости Электротехники», 2005. – № 1. – 63с.
2. Грабко В.В., Грабко В.В. Математическая модель для диагностирования состояния изоляции работающей мощной электрической машины по ее тепловому портрету. // Наукові праці ВНТУ. – 2008. – № 1. – 178 с.
3. Суханкин Г.В., Герцен Н.Т. Компьютерная система акустической диагностики изоляции электрических машин. // Ползуновский вестник. – 2007. – № 4. – 63 с.
4. Глинка Т.Я., Якубец М.С. Диагностика изоляции обмоток электрических машин постоянным током. // Электротехника. – Москва.: ЗАО «Знак», 2005. – № 7. – 104с.
5. Чернышев В.А., Зенова Е.В., Чернов В.А., Рыбников Д.А., Хостанцев А.Ю. Обобщенный индекс поляризации как параметр контроля состояния изоляционных промежутков силовых трансформаторов. // IV Международная конференция «Силовые трансформаторы и системы диагностики». – 2009.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Москва.: Радио и связь, 1993.