

УДК 621.318.1

Швець В.О.

студ. гр. Е-913м НУ «Запорізька політехніка»

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Силові трансформатори є незамінним елементом енергетичних систем. Вони критично важливі на всіх етапах енергогенерації, передачі та розподілу. Збої в роботі трансформаторів призводять до серйозних економічних, екологічних та соціальних наслідків. Спостерігається тенденція до підвищення навантаження на трансформатори та вимог до їх надійності та

безпеки. Значна частина трансформаторів відпрацювала свій проєктний термін або працює в непередбачених умовах.

Своєчасна діагностика технічного стану є важливим елементом для працездатності та збереження обладнання. Збільшення аварійних ситуацій підкреслює необхідність удосконалення системи діагностики. Зростає значення новітніх методів діагностики, що дозволяють виявляти та прогнозувати дефекти, сприяючи плановим ремонтам та запобіганню аваріям.

Системи онлайн-моніторингу стають важливою частиною сучасних енергетичних підприємств, забезпечуючи оперативне реагування на відхилення. Розвиток енергетичної інфраструктури вимагає застосування надійних і точних методів діагностики, як традиційних, так і новітніх.

Методи діагностики силових трансформаторів застосовуються в різних галузях, таких як: промисловість, енергетика, медицина, автомобільний транспорт, авіація тощо. У кожній з цих сфер важливим є забезпечення високої надійності та безпеки роботи обладнання, а також зниження витрат на обслуговування.

Огляд існуючих методів діагностики силових трансформаторів:

- акустичний метод (ультразвук, акустичні сигнали).
- термографія (інфрачервоне випромінювання, температурні аномалії).
- метод частотної характеристики (аналіз спектру електричних коливань).
- вимірювання напруги та струму (моніторинг робочих параметрів).
- метод розсіяння газів (аналіз газів розкладання масла/ізоляції).
- тестування ізоляції (опір ізоляції, пробивна напруга).
- тестування на витoki струму.
- перевірка механічних з'єднань.

Переваги і недоліки кожного методу.

Акустичний метод

Переваги: не потребує розбирання трансформатора; можливість виявлення дефектів на ранніх стадіях; швидкість і простота застосування.

Недоліки: чутливість до зовнішнього шуму, що може спотворювати результати; невисока точність у виявленні складних дефектів.

Термографія

Переваги: дозволяє швидко виявити аномалії температури на поверхні трансформатора; не потребує безпосереднього контакту з обладнанням.

Недоліки: обмеження в оцінці глибших проблем, таких як дефекти в середині трансформатора; важко оцінити точну причину перегріву без додаткових методів.

Метод частотної характеристики

Переваги: можливість виявлення широкого спектру проблем, включаючи дефекти в електричних колах; раннє виявлення дефектів, що можуть привести до серйозних пошкоджень.

Недоліки: складність в інтерпретації результатів, потребує високої кваліфікації фахівців; потребує додаткового обладнання для вимірювання спектрів.

Газовий аналіз

Переваги: висока чутливість до багатьох видів дефектів, зокрема до перегріву та корозії; можливість застосування до трансформаторів з різними типами масла.

Недоліки: потребує регулярного відбору проб газів; не дає точної інформації про характер дефекту без додаткових методів.

Тестування ізоляції

Переваги: дозволяє точно оцінити стан ізоляційних матеріалів; поширений і добре вивчений метод, що дає надійні результати.

Недоліки: потребує зупинки трансформатора для проведення тестів; може не виявити дефекти, що виникли під час експлуатації.

Тестування на витоки струму

Переваги: може виявити дефекти в ізоляції, що не завжди видно візуально; дозволяє визначити, чи є потенційні небезпечні витоки струму.

Недоліки: не завжди показує точні місця витоків; вимагає точного налаштування обладнання та досвіду.

Серед основних методів, які часто застосовуються на практиці, можна виділити:

Візуальна діагностика – передбачає огляд об'єкта або системи з метою виявлення очевидних дефектів, корозії або механічних пошкоджень.

Акустична емісія – метод, який дозволяє виявити дефекти, що виникають у процесі експлуатації, за допомогою аналізу звукових хвиль, котрі генеруються в матеріалах.

Термографія – використовується для виявлення температурних аномалій, які можуть бути сигналом про несправності або дефекти в електричних і механічних системах.

Вібраційний аналіз – заснований на моніторингу вібрацій, дозволяє діагностувати механічні несправності в машинах та обладнанні.

Магнітно-резонансний метод – застосовується з метою дослідження стану матеріалів та елементів конструкцій без порушення їх цілісності.

Також усі вимірювання й аналізи при діагностиці трансформаторів можна розділити на 5 наступних груп [1]:

- перша група містить у собі традиційні вимірювання на відключеному трансформаторі: вимірювання $\tan \delta$ і R ізоляції обмоток і вводів, опору обмоток постійному струму, втрат неробочого ходу й опору КЗ для контролю механічного стану обмоток після протікання наскрізних струмів короткого

замикання. Усі ці вимірювання, як правило, регулярно виконуються експлуатаційним персоналом [1].

- друга група вимірювань проводиться на трансформаторах при робочій напрузі в режимі найбільших навантажень і (або) неробочого ходу [1].

- третя група – це фізико-хімічні аналізи масла з бака, маслonaповнених вводів, контактора РПН. Серед них – велика група традиційних вимірювань, які широко застосовуються в експлуатації (вимірювання пробивної напруги, кислотного числа і т. д.) [1].

- четверта група передбачає вимірювання систем безперервного контролю (моніторингу) ізоляції вводів і щоденні вимірювання основних показників роботи трансформатора [1].

- п'ята група аналізів проводиться для трансформаторів, які за результатами перших чотирьох груп вимірювань потребують проведення капітального ремонту. До цієї групи входять визначення ступеня полімеризації паперової ізоляції, прямі вимірювання її вологовмісту та міцності [1].

Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки в залежності від характеру об'єкта, точності вимірювань та швидкості проведення діагностики. Проведений аналіз дозволяє зробити висновок про те, що кожен з методів надає можливість з достатньою точністю виявити дефекти в конструктивних елементах та зменшити кількість планових ремонтів завдяки вчасному реагуванню на зміни під час експлуатації трансформаторів.

Вибір оптимального методу діагностики залежить від багатьох факторів, серед яких слід зазначити:

Тип об'єкта: різні об'єкти потребують різних методів. Наприклад, для двигунів внутрішнього згоряння оптимальними будуть вібраційний аналіз та термографія, в той час як для трубопроводів – ультразвукові методи та акустична емісія.

Умови експлуатації: для об'єктів, що працюють в умовах високих температур або сильних механічних навантажень, найбільш ефективними будуть методи, здатні працювати в таких умовах, наприклад: термографія або візуальний огляд при вищих температурах.

Необхідна точність: в деяких випадках важливо отримати надзвичайно точні дані, що може вимагати використання дорогих методів діагностики.

Часова складність: для швидких перевірок можна використовувати акустичні або візуальні методи, які не потребують багато часу на отримання результатів, тоді як для більш глибокого аналізу краще застосовувати методи, які займають більше часу.

Вартість: не завжди є можливість використовувати дорогі методи діагностики, тому часто приймається рішення на основі економічної доцільності.

При виборі оптимального методу діагностики для конкретних умов експлуатації необхідно враховувати не лише технічні характеристики методів, але й доступність обладнання, кваліфікацію персоналу та бюджет проєкту. Застосування комплексних підходів, що включають кілька методів, може суттєво підвищити точність діагностики та знизити ризик помилкових результатів. Використання сучасних програмних засобів дозволяє суттєво зекономити час та кошти, а також значно оптимізувати діагностику трансформаторного обладнання та забезпечити безперебійне його використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Залізняк І. Ю. Особливості технічної діагностики силових трансформаторів [Електронний ресурс] / І. Ю. Залізняк // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – 2018. – URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2018/paper/view/4580>
2. П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, і О. І. Казьмірук. Оптимальне керування нормальними режимами еес з урахуванням технічного стану трансформаторів із РПН. - 2013.- НаукПраці ВНТУ. - вип. 4. С. 44-47. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/339/337>