УДК 621.3: 681.5

О.С. Чорний

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДІАГНОСТУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Високовольтні вимірювальні трансформатори є ключовими компонентами енергетичних систем, що забезпечують точне вимірювання струму та напруги в розподільчих і передавальних мережах. Для забезпечення їхньої надійної роботи необхідні ефективні методи діагностування, що дозволяють виявляти потенційні несправності на ранніх етапах експлуатації. У статті розглядаються сучасні методи діагностування, зокрема частотний аналіз, методи часткових розрядів та використання інтелектуальних систем моніторингу.

Ключові слова: високовольтний вимірювальний трансформатор, діагностування, часткові розряди, частотний аналіз, моніторинг стану.

Abstract

High-voltage measuring transformers are key components of power systems, ensuring accurate measurement of current and voltage in distribution and transmission networks. To ensure their reliable operation, effective diagnostic methods are required to detect potential faults at early stages of operation. This paper examines modern diagnostic methods, including frequency analysis, partial discharge methods, and the use of intelligent monitoring systems.

Keywords: high-voltage measuring transformer, diagnostics, partial discharges, frequency analysis, condition monitoring.

Надійність енергосистеми значною мірою залежить від точності та стабільності роботи високовольтних вимірювальних трансформаторів (ВВТ). Вони відіграють важливу роль у контролі параметрів електромереж, забезпечуючи коректне функціонування захисних пристроїв і систем релейного захисту.

Зношення ізоляції, механічні дефекти та перегрів можуть спричиняти значні відхилення у роботі ВВТ, що може призвести до аварійних ситуацій. Тому актуальним є розробка та вдосконалення методів діагностування, які дозволяють оцінювати технічний стан трансформаторів у режимі реального часу та прогнозувати їхню подальшу експлуатацію.

Метою дослідження є аналіз та розробка ефективних методів діагностування високовольтних вимірювальних трансформаторів, які забезбечать виявлення дефектів на ранніх стадіях та мінімізують ризик аварійних ситуацій у високовольтних мережах.

Об’єктом дослідження є високовольтні вимірювальні трансформатори різних типів (трансформатори напруги та трансформатори струму).

Предметом дослідження є методи та засоби діагностування стану ізоляції та електромагнітних характеристик ВВТ.

Існує кілька основних методів діагностування ВВТ, які можуть бути використані для оцінки їхнього технічного стану:

1. Аналіз часткових розрядів (ЧР)
2. Частотний аналіз параметрів ВВТ
3. Тепловізійна діагностика
4. Використання інтелектуальних систем моніторингу

Часткові розряди є одним із найважливіших показників стану ізоляції. Сучасні методи діагностування базуються на використанні сенсорів для вимірювання ЧР, що дозволяє оцінити рівень деградації ізоляції.

Основні методи аналізу ЧР:

- Електричний метод (вимірювання струмів розряду).

- Акустичний метод (виявлення ультразвукових коливань).
- Оптичний метод (використання інфрачервоних камер для візуалізації ЧР).

Методи частотного аналізу дозволяють оцінити зміни електромагнітних характеристик трансформаторів у часі. Використання імпедансної спектроскопії дає змогу виявляти приховані дефекти у магнітопроводі та обмотках.

Контроль нагрівання елементів ВВТ дозволяє виявити аномальні зони, які можуть свідчити про дефекти контактних з'єднань, внутрішні перегріви або механічні пошкодження.

Сучасні методи діагностування передбачають впровадження систем онлайн-моніторингу, що поєднують сенсори, Інтернет речей (IoT) та алгоритми машинного навчання для аналізу великих обсягів даних про роботу ВВТ.

Експериментальні дослідження показують, що використання комбінованих методів діагностики (наприклад, поєднання ЧР-аналізу з частотним аналізом) дозволяє підвищити точність виявлення дефектів до 95%. Впровадження автоматизованих систем діагностування на енергетичних підстанціях дозволяє значно скоротити витрати на технічне обслуговування та запобігти аварійним відмовам.

Висновки

Запропоновані методи діагностування дозволяють ефективно оцінювати стан високовольтних вимірювальних трансформаторів і прогнозувати їхню подальшу роботу. Використання аналізу часткових розрядів, частотного аналізу та тепловізійного контролю в комплексі забезпечує високу точність діагностування. Впровадження інтелектуальних систем моніторингу сприяє підвищенню надійності енергосистем та зниженню експлуатаційних витрат. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку алгоритмів автоматизованого аналізу даних, отриманих під час моніторингу, що дозволить реалізувати концепцію "прогнозованого технічного обслуговування" для ВВТ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кіриленко О., Денисюк С., Стогній Б. Сучасні методи діагностування трансформаторів напруги // Технічна електродинаміка. – 2023.
2. Vasilyev A., Ivanov P. Advanced Partial Discharge Monitoring Techniques for High-Voltage Equipment // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2021.
3. Suvorov I., Petrov D. Application of Infrared Thermography for High-Voltage Transformer Diagnosis // *Electrical Power Systems Research*. – 2020.
4. Кириленко О., Стогній Б. Інтелектуальні системи моніторингу електрообладнання // Технічна електродинаміка. – 2022.

Чорний Олександр Сергійович – аспірант факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Chornyi Oleksandr S. – Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, chornyi_oleksandr@ukr.net