

УДК 621.314.222.6

Яримбаш Д.С.

д-р техн. наук, проф НУ «Запорізька політехніка»

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИЧИН ВІДМОВ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ НАДІЙНОСТІ

Силові трансформатори є ключовими елементами енергетичних систем, що забезпечують передачу та розподіл електроенергії. Їх надійність безпосередньо впливає на стабільність електропостачання, економічні витрати та безпеку інфраструктури. Відмови трансформаторів призводять до аварійних відключень, відновлювальних робіт із значними фінансовими витратами, а іноді й до екологічних загроз (наприклад, витік трансформаторного масла). Згідно з дослідженнями, більшість відмов виникають через внутрішні дефекти, які можна запобігти завчасно. Тому аналіз причин пошкоджень трансформаторів, розробка профілактичних заходів та вдосконалення їх конструкції є критично важливими для сучасної енергетики.

Метою дослідження було проведення комплексного аналізу основних причин відмов та пошкоджень силових трансформаторів з подальшою розробкою рекомендацій для підвищення їх надійності та ефективності експлуатації.

Дослідження базувались на аналізі статистики відмов силових трансформаторів, зібраної з наукових праць та даних НІП «ЗТЗ-Сервіс».

Для проведення аналізу основних причин було виділено чотири категорії даних. Ідентифікація обладнання (тип, рік виготовлення). Характеристики трансформатора (потужність, система охолодження, тип масла). Умови виникнення несправностей (навантаження, строк експлуатації). Наслідки відмов (місце пошкодження, причини, заходи усунення).

Було встановлено, що найчастіші групи відмов включають. Пошкодження ізоляції (25,5%) — викликані тепловими впливами, окисненням, вологістю. Помилки проектування та монтажу (23,4%) — слабкі кріплення, низька стійкість до коротких замикань. Забруднення масла (4,26%) — накопичення шламу, вуглецю. Перевантаження (5,32%) — експлуатація вище паспортних параметрів. Мережеві перенапруги (4,26%) — комутаційні сплески, стрибки напруги. Також значний внесок у відмови вносять: погіршення контактних з'єднань (6,38%), помилки обслуговування (5,32%) та потрапляння вологи (2,12%).

Більшість пошкоджень (55% і більше) припадає на активні компоненти трансформатора. Обмотки (45-49% відмов) — через механічні навантаження, перегрів. Магнітна система (3-15%) — дефекти ізоляції, вібрація. Високовольтні вводи (17-19%) — корозія, перегрів. Пристрої РПН (9-26%) — знос контактів, забруднення масла.

Таким чином, пріоритетними та найкритичнішими причини відмов є пошкодження ізоляції та помилки проектування. Вони пов'язані зі старінням матеріалів, недостатнім розрахунком навантажень та низькою якістю виробництва. Активні компоненти (обмотки, магнітна система) потребують особливої уваги через їхню вразливість до динамічних навантажень.

Вплив зовнішніх факторів обумовлюється мережевими перенапруги та вологість прискорюють деградацію ізоляції. Забруднення масла знижує його ізоляційні властивості, що призводить до внутрішніх пробіів.

Для підвищення надійності роботи силових трансформаторів необхідно проводити регулярний моніторинг стану масла (аналіз кислотності, вмісту води) що дозволить виявити проблеми на ранніх стадіях. Вдосконалення систем захисту від перенапруг (ефективні розрядники, заземлення) зменшує ризик пошкоджень.

Перспективними шляхами підвищення надійності роботи трансформаторів можуть бути. Розробка і впровадження нових матеріалів шляхом використання нанокompозитів для ізоляції, стійких до високих температур та вологості, та масел із покращеними антиоксидантними властивостями. Вдосконалення систем моніторингу за рахунок інтеграції IoT-сенсорів для онлайн-аналізу температури, вібрації, стану масла та використання штучного інтелекту для прогнозування відмов на основі історичних даних. Вдосконалення методів та оптимізація проектування шляхом застосування комп'ютерного моделювання (наприклад, методом скінченних елементів) для оцінки стійкості до коротких замикань та стандартизації вимог до монтажу та обслуговування трансформаторів. Вдосконалення профілактичних стратегій за рахунок переходу до ремонтів «за потребою» (на основі даних моніторингу), що зменшить простой та витрати.

Таким чином, проведений аналіз причин відмов силових трансформаторів підкреслює необхідність комплексного підходу до їх проектування, експлуатації та обслуговування. Для запобігання деградації ізоляції необхідне впровадження нових матеріалів, підвищення точності розрахунків при проектуванні та запровадження систем автоматизованого моніторингу та профілактики. Реалізація цих заходів дозволить істотно зменшити кількість відмов, продовжити строк служби трансформаторів та забезпечити стабільність енергосистем. Подальші дослідження мають бути спрямовані на інтеграцію AI-технологій та розвиток «розумних» трансформаторів, здатних адаптуватися до змінних умов експлуатації.