

НАВАНТАЖУВАЛЬНІ РЕЖИМИ ТРАНСФОРМАТОРА

Рій І.В., магістрант, Кацадзе Т.Л., к.т.н., доцент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних систем та мереж

Вступ. Силові трансформатори є одним із ключових і найдорожчих компонентів електрообладнання в енергосистемах. Їх несправність може призвести до суттєвих фінансових втрат. Як і будь-яке інше електрообладнання, трансформатори з часом зношуються, і важливим завданням енергетики є продовження їх експлуатації за межами встановлених термінів, а також запобігання аварійним відключенням. Це дозволяє підвищити надійність всієї системи.

Мета роботи. Провести аналіз навантажувальних режимів силового трансформатора, та розглянути варіанти продовження працездатності силового агрегату, та його діагностування, що дасть змогу підвищити надійність всієї системи.

Матеріали та результати досліджень. Навантажувальні режими трансформатора – це режими, в яких трансформатор працює при різних значеннях навантаження. Вони характеризуються рівнем переданої електричної потужності і впливають на стан трансформатора, зокрема на нагрівання обмоток, старіння ізоляції та інші експлуатаційні параметри.

Основні навантажувальні режими трансформатора:

1. Номінальний режим – це режим, коли трансформатор працює при номінальних параметрах, визначених його технічними характеристиками (номінальна потужність, напруга, струм). У цьому режимі теплові втрати в обмотках і магнітопроводі знаходяться в межах допустимих норм, що забезпечує тривалий термін експлуатації без пошкоджень.

2. Режим недовантаження – коли трансформатор працює при навантаженні нижче номінального. Недовантаження не призводить до нагрівання обмоток, однак може знижувати загальну ефективність трансформатора, оскільки втрати в сталі залишаються на тому ж рівні.

3. Режим перевантаження – це стан, коли трансформатор працює при навантаженні, що перевищує номінальне. У такому режимі підвищується температура обмоток і оливи, що пришвидшує процес старіння ізоляції і може призвести до пошкоджень. Якщо перевантаження короткочасне і незначне, це не завдає суттєвої шкоди. Проте тривале або сильне перевантаження може спричинити вихід з ладу трансформатора.

4. Короткочасний режим перевантаження – режим, при якому трансформатор працює з перевантаженням протягом обмеженого часу, зазвичай для задоволення пікових потреб у електроенергії. Система охолодження повинна забезпечувати швидке відведення тепла, щоб уникнути перегріву.

5. Аварійний режим – виникає внаслідок несподіваного різкого підвищення навантаження або зовнішніх факторів, наприклад, короткого замикання. У цьому режимі існує високий ризик пошкодження трансформатора через сильний перегрів обмоток або механічну деформацію.

Кожен з цих режимів має свій вплив на трансформатор. Щоб забезпечити його тривалу та надійну роботу, важливо уникати тривалих перевантажень, а також забезпечувати належний контроль температури та охолодження під час роботи.

Проблема контролю стану трансформаторів виникла з появою закритих оливних трансформаторів. Для огляду будь-якого внутрішнього елемента потрібно було відключити трансформатор, злити оливу, провести ревізію і знову залити оливу, дотримуючись численних правил, щоб уникнути додаткових процедур, таких як осушка трансформатора перед запуском.

Діагностика трансформаторів — це комплекс заходів із застосуванням різних технічних засобів для перевірки та оцінки їх стану. Використовуються візуальні, механічні, фізичні, хімічні методи, або їх комбінації. Наприклад, ступінь зволоження трансформаторного оливи можна визначити за кольором індикаторного силікагелю або хімічним аналізом. Також виявлення часткових електричних розрядів здійснюється за допомогою індикаторів або шляхом хроматографічного аналізу розчинених газів в оливі. Для практичних цілей зазвичай вибираються прості методи контролю, а складніші використовуються для точнішого визначення дефектів.

Контроль стану трансформатора розпочинається ще на етапі його виробництва, коли перевіряють якість матеріалів, деталей і збірки. Комплексні випробування проводяться на заводі, а під час транспортування контролюється герметичність і механічні впливи на обладнання. Вчасний контроль стану трансформаторної оливи дозволяє виявити більшість дефектів до того, як вони призведуть до серйозних поломок.

В ході експлуатації трансформаторів часто виникають проблеми, пов'язані зі зниженням ізоляційних властивостей високовольтних вводів, несправностями в пристроях регулювання, погіршенням властивостей оливи, деформаціями обмоток від коротких замикань та виникненням часткових розрядів в ізоляції. Однією з основних причин несправностей є деградація ізоляції обмоток, що залежить від температури, навантаження та зовнішнього середовища.

На сьогоднішній день при оцінці стану силових трансформаторів під час експлуатації використовується велика кількість фізико-хімічних показників трансформаторної оливи. Поряд із показниками, які мають багаторічний досвід застосування, останнім часом розроблено нові показники, що дозволяють виявляти дефекти трансформаторів на ранніх етапах.

Розвиток таких дефектів, як локальні перегріви струмоведучих з'єднань, розряди в оливі, іскріння в контактних з'єднаннях, забруднення та зволоження ізоляції, окислення оливи та ізоляційних матеріалів, відбивається на властивостях трансформаторної оливи. Завдяки цьому в практиці експлуатації трансформаторів застосовуються різні показники стану оливи, і постійно вдосконалюються методи їх вимірювання.

Важливим завданням є аналіз методів, які дозволяють виявляти дефекти на ранніх стадіях, визначати характер і ступінь пошкоджень з метою своєчасного попередження несправностей та забезпечення надійності трансформаторів. Згідно з нормами випробувань електрообладнання, під час експлуатації

трансформаторів вимірюються такі показники оливи: пробивна напруга, вміст механічних домішок, тангенс кута діелектричних втрат, температура спалаху, кислотне число, вміст водорозчинних кислот і лугів, вологовміст, газовміст, хроматографічний аналіз газів, розчинених в оливі, та інші показники.

Силові оливні трансформатори відіграють ключову роль у передачі та розподілі електроенергії, тому до їхньої надійності пред'являються високі вимоги. Питання підвищення надійності цих трансформаторів було актуальним ще з моменту запуску першого трансформатора. Сьогодні існує багато наукових праць, присвячених дослідженню їхньої надійності та діагностики під час експлуатації.

Основні завдання діагностики трансформаторів включають:

- виявлення дефектів,
- визначення характеру несправностей,
- локалізацію проблем з максимальною точністю,
- оцінку працездатності, прогноз залишкового ресурсу та визначення часу

для проведення ремонту.

Згідно зі статистикою, 48% несправностей у потужних трансформаторах викликані пробоем внутрішньої ізоляції вводів, 14% — недостатньою стійкістю до коротких замикань, 12% — зношуванням ізоляції обмоток, 7% — пошкодженням ізоляції обмоток і 5% — несправностями системи регулювання під навантаженням. Через це енергосистеми вимагають обладнання трансформаторів сучасними діагностичними системами.

Режими експлуатації силових трансформаторів значно змінилися за останні 20 років через зростання електроспоживання. Постійне збільшення навантаження призводить до прискореного старіння ізоляції, що є основною причиною внутрішніх коротких замикань. Спеціалісти багатьох закордонних енергетичних компаній вважають економічно доцільним впровадження систем безперервного моніторингу стану трансформаторів.

Швидкість зношування ізоляції зростає вдвічі з кожним підвищенням температури на 6 °C. Раніше для оцінки старіння ізоляції використовувалося правило 8 °C, але тепер його замінило правило 6 °C, що точніше відображає поведінку целюлозної ізоляції при різних температурах. Окрім температури, на старіння ізоляції впливають волога, гази, кисень і продукти старіння, що проникають з навколишнього середовища. Ці фактори погіршують тепловіддачу трансформатора, що вимагає коригування рівняння Монцінгера для врахування експлуатаційних умов.

Аналізуючи вище сказане бачимо, що навантажувальні режими трансформатора поділяються на декілька, в яких трансформатор працює при різних значеннях навантаження. Вони характеризуються рівнем переданої електричної потужності і впливають на стан трансформатора, зокрема на нагрівання обмоток, старіння ізоляції та інші експлуатаційні параметри.

Визначені причини можливих пошкоджень також аналіз можливих відмов СТ.

Перелік посилань

1. Кацадзе Т. Л., Янковська О. М. - Регулювання режимів електричних систем. Частина 3: Практикум - Київ: НТУУ "КПІ", 2023. - 74 с.
2. Сулейманов В. М. Електричні мережі та системи / В. М. Сулейманов, Т. Л. Кацадзе. — Київ: НТУУ "КПІ", 2008.
3. Кодекс системи передачі, 2018.
4. ГКД 34.20.507-2003 Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила (у редакції наказу від 21.06.2019 №271)
5. ДСТУ EN 50160-2014. Характеристика напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення 2014.
6. Лежнюк П.Д. Аналіз чутливості оптимальних рішень в складних системах критеріаль- ний методом. – Вінниця: УНІВЕРСУМ- Вінниця, 2003. – 131 с.
7. Рубаненко О.О., Лежнюк П.Д. Використання методів нечіткого моделювання у задачах критеріального програмування // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – № 1(5). – С.17-22.
8. Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є., Жук І.А. Визначення якості функціонування силових трансформаторів // Контроль і управління в складних системах. (КУСС-2005): Тези доповідей 8-ї міжнародної конференції. м. Вінниця, 24-27 жовтня 2005 року. – Вінниця: УНІВЕР- СУМ-Вінниця, 2005. – С. 160.
9. Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є., Жук І.А. Діагностування силових трансформаторів з використанням нечітких множин // Вісник ВП. – 2005. – №1. – С.43-51.