

ДІАГНОСТИКА СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація: *Силові трансформатори є критично важливими елементами електроенергетичних систем, а їхній технічний стан безпосередньо впливає на надійність та ефективність роботи всієї мережі. У роботі розглянуто основні методи діагностики силових трансформаторів, які використовуються для оцінки їхнього стану та виявлення несправностей.*

Ключові слова: *діагностика, силовий трансформатор, електрична енергія.*

Abstract: *Power transformers are critically important elements of power systems, and their technical condition directly affects the reliability and efficiency of the entire network. The paper considers the main methods of power transformer diagnostics used to assess their condition and detect faults.*

Keywords: *diagnostics, power transformer, electric energy.*

Вступ

Електрична енергія є основою функціонування всіх сфер життєдіяльності сучасного суспільства, оскільки забезпечує стабільну роботу побутових, комерційних і промислових систем. Вона використовується для освітлення, опалення, охолодження, функціонування комп'ютерної техніки, транспорту та промислового виробництва.

Високий рівень залежності від електроенергії зумовлює необхідність підвищення надійності її постачання, мінімізації втрат та забезпечення стабільної роботи енергосистеми [1]. Сучасна електроенергетична система України функціонує за принципом централізованого виробництва електроенергії на електростанціях із подальшою передачею її на значні відстані до споживачів.

Одним із ключових завдань ефективного передавання енергії є мінімізація втрат, що досягається шляхом підвищення рівня напруги на стадії генерації та її подальшого зниження в точках безпосереднього споживання [2]. У цьому контексті трансформатори відіграють вирішальну роль, забезпечуючи зміну рівня напруги для ефективного розподілу електроенергії.

На електростанціях генератори змінного струму виробляють електроенергію зазвичай на рівні напруги 6–24 кВ, яка на відкритих розподільних установках (ВРУ) підвищується до 220 кВ, 330 кВ або 750 кВ. Це дозволяє суттєво зменшити втрати під час передавання електроенергії через магістральні мережі. Подальше зниження напруги до 110/35 кВ для регіональних розподільних мереж та до 10/0,4 кВ для кінцевих споживачів відбувається на підстанціях. Завдяки трансформаторам відбувається ефективне узгодження рівнів напруги між різними енергетичними вузлами, що гарантує стабільність та безпечність електропостачання для всіх категорій споживачів[3].

Результати дослідження

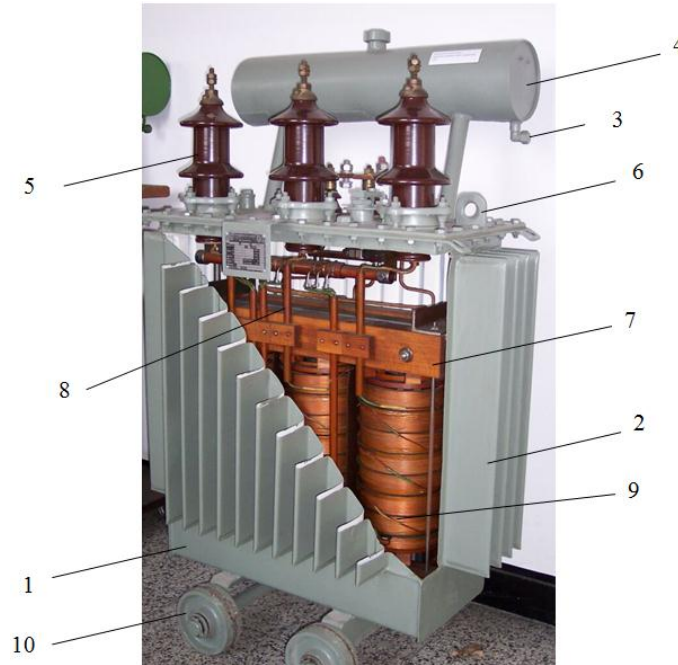
Силові трансформатори класифікують за різними показниками, серед яких виокремлюють декілька груп:

- за умовами експлуатації: нормальні та спеціальні умови;
- за видом ізолюючого та охолоджувального середовища: сухі, масляні, заповнені негорючим рідким діелектриком, з литою ізоляцією;
- за призначенням і конструктивним виконанням: одно- та трифазні, з наявністю РПН чи ПБЗ та багато іншого.

Відповідно, знаючи основні елементи силових трансформаторів, є можливість визначити, які елементи є вразливими для виникнення аварійної ситуації під час їхньої експлуатації. На рис. 1 наведено зовнішній вигляд та основні конструктивні елементи силового трансформатора.

Контроль технічного стану силових трансформаторів (СТ) є невід'ємною частиною їхньої експлуатації та впливає на надійність електроенергетичної системи. Вибір стратегії обслуговування залежить від потужності обладнання, умов експлуатації та економічної доцільності. Для малопотужних трансформаторів найчастіше використовується підхід, при якому технічне обслуговування проводиться лише у разі відмови обладнання. Це пояснюється їхньою меншою критичністю для роботи

енергосистеми. Натомість для трансформаторів великої потужності застосовується стратегія планового технічного обслуговування, яка передбачає виконання регламентних перевірок та ремонтів відповідно до графіка. Цей підхід дозволяє запобігти раптовим відмовам, але може бути економічно невиправданим у разі надмірного технічного втручання. З іншого боку, виведення трансформатора з експлуатації за фактом відмови може призвести до значних матеріальних витрат і загрожувати порушенням роботи електромережі [4].



1 – бак; 2 – радіатор; 3 – повітроосушувач; 4 – розширювач; 5 – вивід ВН; 6 – кільце для підйому; 7 – ярмава балка кістяка (верхня); 8 – регульовальні відгалуження обмоток ВН; 9 – обмотка НН та ВН; 10 – коток візка

Рисунок 1 – Зовнішній вигляд та конструктивні елементи силового трансформатора

Недотримання регламентів технічного обслуговування, неправильне підключення обладнання або використання неякісних матеріалів можуть призвести до аварій. Діагностика трансформатора здійснюється за допомогою серії перевірок, заходів і ви-пробувань, за допомогою яких отримується глобальне бачення стану трансформатора, як зовнішнього, так і внутрішнього, що дозволяє прийняти відповідні профілактичні та корегувальні дії, які гарантують нормальну експлуатацію обладнання під час роботи.

Серед основних причин виникнення аварійних ситуацій в роботі силових трансформаторів виділяють:

1) перевантаження – тривала робота трансформатора з навантаженням, що перевищує номінальне, призводить до перегріву обмоток та ізоляції. Постійне перевантаження спричиняє деградацію ізоляційних матеріалів, що з часом призводить до зниження електричної міцності та можливого короткого замикання, а відповідно і скорочення терміну експлуатації;

2) дефекти ізоляції – старіння ізоляційних матеріалів або їх пошкодження внаслідок перенапруг чи механічних пошкоджень – є однією з найпоширеніших при-чин виходу трансформаторів із ладу. Ізоляція може втратити свої властивості через вплив вологи, перегрівання або механічні пошкодження під час транспортування;

3) внутрішні короткі замикання – виникають через пошкодження обмоток або виток струму між обмотками. Основними причинами є механічні пошкодження, які можуть виникнути через вплив електромагнітних сил під час коротких замикань у мережі.

4) Недостатнє охолодження – несправності в системі охолодження або недостатня кількість охолоджувальної рідини призводять до перегріву, навіть, якщо транс-форматор не перевантажується.

5) Помилки експлуатації та обслуговування – неправильне керування, несвоєчасне технічне обслуговування або помилки персоналу.

Випробування та вимірювання діагностичних параметрів здійснюють згідно Норм випробування електрообладнання [5] (відповідно до вимог п.п. 9.2-9.19 цих Норм) та документації виробників, де наведено види, обсяги й періодичність вимірювань та ви-пробувань трансформаторів.

До таких вимірювань та випробувань належать:

- Вимірювання опору ізоляції;
- Вимірювання тангенса кута діелектричних втрат;
- Випробування ізоляції підвищеною напругою;
- Вимірювання втрат неробочого ходу за зниженої напруги;
- Вимірювання опору обмоток постійному струму;
- Перевірка коефіцієнта трансформації;
- Перевірка групи з'єднання обмоток трифазних трансформаторів і полярності виводів однофазних трансформаторів;
- Вимірювання опору короткого замикання трансформатора;
- Перевірка роботи пристроїв перемикачів;
- Перевірка дії допоміжних елементів;
- Випробування бака на щільність;
- Перевірка систем охолодження;
- Вимірювання характеристик трансформаторної оливи;
- Оцінювання вологості твердої ізоляції;
- Випробування вводів;
- Випробування вбудованих трансформаторів струму;
- Випробування трансформаторів увімкненням на номінальну напругу [5].

Висновки

Діагностика силових трансформаторів є важливим етапом забезпечення їхньої надійної та безпечної роботи. Використання електричних, теплових, акустичних методів та газохроматографічного аналізу дозволяє своєчасно виявляти можливі дефекти та запобігати аварійним ситуаціям. Кожен із методів має свої переваги та обмеження, тому для отримання повної картини технічного стану трансформатора доцільно застосовувати комплексний підхід. Регулярна діагностика сприяє продовженню терміну служби обладнання та зменшенню витрат на ремонт і заміну.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ляшенко Ю.І., Величко В.О. Основи електропостачання: навч. посіб. – Київ: НТУУ «КПІ», 2018. – 320 с.
2. Міненерго України. Про стан та розвиток енергетичного сектору України: Аналітичний звіт. – Київ: Міненерго, 2023. – 45 с.
3. Петров В.М., Коваленко І.С. Трансформаторні підстанції та електричні мережі: підручник. – Харків: УПА, 2020. – 275 с.
4. Бондаренко О. І. Надійність роботи силових трансформаторів у сучасних електричних мережах. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – 310 с.
5. Мельник Л.Р., Сушицька Е.І., Сприса В.В. Норми випробування електрообладнання, Приватне акціонерне товариство «національна енергетична компанія «УКРЕНЕРГО», СОУ-Н ЕЕ 20.302:2020.

Сліденко Микола Олегович – студент групи ЕС-21б, Факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: slidenkonick@gmail.com.

Тептя Віра Володимирівна – к.т.н., доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: teptyavira@gmail.com.

Mykola O. Slidenko - student of group ES-21b, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: slidenkonick@gmail.com.

Vira V. Teptya – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: teptyavira@gmail.com.