УДК 621.314

М. О. Грищук

ОБҐРУНТУВАННЯ МЕЖ ДІАПАЗОНУ ЧАСТОТ АЧХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ВІДПОВІДНОГО ДЕФЕКТАМ ЗСУВУ ВИТКІВ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Проаналізовано існуючі методи та засоби визначення технічного стану обмоток силових трансформаторів (СТ). Доведено можливість використання методу контрольних меж для визначення меж діапазону частот в якому проявляється дефект зсуву витків обмотки, за результатами аналізу амплітудно-частотних характеристик, що може бути використано під час контролю стану обмоток СТ.

Ключові слова: діагностування; пошкодження; силовий трансформатор; частотний аналіз; обмотки.

Abstract

The existing methods and means of determining the technical condition of power transformer windings (ST) are analyzed. The possibility of using the control limit method to determine the limits of the frequency range in which the deflection of the winding turns is detected, based on the results of the analysis of the amplitude-frequency characteristics that can be used in controlling the state of winding.

Keywords: diagnostics; damage; power transformer; frequency analysis; winding.

Вступ

У сучасних електроенергетичних системах (ЕЕС) СТ є одним з основних видів високовольтного обладнання. Вихід з ладу СТ під час експлуатації значно погіршує параметри надійності та економічні показники роботи енергетичного підприємства.

Електродинамічні сили, які діють на обмотки СТ під час перехідних процесів в ЕЕС, за певних умов викликають деформацію обмоток. Деформація обмоток може мати багато форм, включаючи радіальне та осьові зсуви, вигинання провідника, затягування спіралі та пошкодження опори обмотки. Цей тип внутрішніх несправностей важко виявити за допомогою традиційних методів діагностування [3]. Аналіз частотних характеристик СТ (FRA) – це потужний діагностичний метод для виявлення деформації обмотки та пошкоджень магнітопроводу [4,5], навіть на ранній стадії їх розвитку.

Хоча цей метод тестового контролю СТ є відносно простим з моменту створення спеціального обладнання FRA, інтерпретація результатів залишається вузькоспеціалізованою та потребує кваліфікованого персоналу та належної технічної документації, для визначення виду та можливого розташування пошкодження [6].

Метою досліджень є підвищення якості діагностування силових трансформаторів.

Результати дослідження

Пропонуємо обґрунтовувати межі інформативного діапазону частот АЧХ СТ для виявлення дефекту зсуву витків обмотки СТ, шляхом аналізу АЧХ однотипних трансформаторів з використанням методу контрольних меж.

З метою визначення найбільш інформативних меж частот в яких виявляються зсуви обмоток за допомогою FRAnalyzer здійснено обстеження 16 одиниць трансформаторів ТМ – 6300/35/10, які мають пошкодження у вигляді деформації обмоток. В якості вимірювального приладу використовуємо FRAnalyzer виробництва фірми Omicron.

Було виміряно значення частот f діапазону АЧХ несправних трансформаторів, в якому відхилення передатної функції досліджуваного пошкодженого трансформатора відрізняється від значень передатної функції однотипного справного СТ на понад 1%.

Отже кожен трансформатор досліджувався 5 разів – $n = 5$. Кількість трансформаторів $m = 16$. Загальна кількість вимірів $n_0 = n \cdot m = 80$. Для кожного трансформатора визначаємо середнє значення з п’яти виміряних значень одного того самого трансформатора.

Знаходимо суму результатів вимірів для кожного трансформатора, наприклад для першого трансформатора:

$$\sum_{i=1}^{5} f_i = 42513 + 45853 + 45765 + 43665 + 45597 = 223393 \text{ , Гц.} \quad (1)$$

Знаходимо середнє значення результатів вимірів для першого трансформатора

$$F_{середнє} = \bar{f}_1 = \frac{1}{5} \cdot 223393 = 44678,6 \text{ , Гц.} \quad (2)$$

З результатів вимірів для першого трансформатора вибираємо максимальний $F_{1\ макс.}$ та мінімальний результати $F_{i\ мін.}$

$$F_{1\ макс.} = 45853, \text{ Гц;}$$

$$F_{1\ мін.} = 42513, \text{ Гц.}$$

Знаходимо максимальний розмах результатів вимірів для першого трансформатора

$$R_1 = F_{1\ макс.} - F_{1\ мін.} = 45853 - 42513 = 3340, \text{ Гц.} \quad (3)$$

Порахуємо оцінки (для кількості вимірів $m = n_0/n = 16 \cdot 5/5 = 80/5 = 16$ вимірів, для загальної кількості виміряних трансформаторів $n_0 = 16 \cdot 5 = 80$ вимірів; для кількості вимірів для 1 трансформатора $n = 5$ вимірів)

$$\hat{f}_0 = \bar{\bar{f}} = \frac{1}{16} \cdot \sum_{g=1}^{16} \bar{y}_g = (44679 + 43946 + 44245 + 43056 + 43525 + 44505 + 43780 + 42654 + 44168 + 44291 + 44616 + 44234 + 44013 + 44296 + 43408 + 43668) / 16 = 43942,73, Гц; \quad (4)$$

$$\hat{R} = \bar{R} = \frac{1}{16} \sum_{g=1}^{16} R_g = (3340 + 3625 + 1879 + 1332 + 3988 + 2607 + 1823 + 2709 + 2626 + 2071 + 1967 + 2053 + 3354 + 3243 + 3996 + 3599) / 16 = 2763,25, Гц; \quad (5)$$

Середньоквадратичне відхилення

$$\hat{\sigma} = \frac{\hat{R}}{d} = \frac{2763,25}{2,33} = 1185,95 \text{ , Гц.} \quad (6)$$

де d =2,33 з врахуванням того, що n = 5.

Перевіримо похибку більш точним методом

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n_0 - 1} \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - \bar{y}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{80 - 1} \cdot 102459627,8} = \sqrt{1296957} = 1138,8 \text{ , Гц.} \quad (7)$$

Похибка при спрощеному визначенні не перевищує

$$\left| \frac{1138,8 - 1185,95}{1138,8} \right| \cdot 100\% = 4,136\% . \quad (8)$$

Розраховуємо нижню контрольну межу (за умови двосторонніх меж) для середніх значень за умови, що рівень значимості α_1=0,0027, а довірча імовірність $p_1 = 1 - \alpha_1 = 1 - 0,0027 = 0,9973$

$$F_{н.у} = \bar{f}_0 - U\left(\frac{1 + p1}{2}\right) \cdot \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n_0}} = 43942,73 - U\left(\frac{1 + 1 - 0,0027}{2}\right) \cdot \frac{1185,95}{\sqrt{80}} = 43921 \quad (9)$$

Квантіль нормального закону розподілу

$$U\left(\frac{1+p_1}{2}\right) = U\left(\frac{1+1-0{,}0027}{2}\right) = 3{,}0024 \approx 3 \qquad (10)$$

Розраховано верхню контрольну межу, за тим же алгоритмом, (за умови двосторонніх меж) для середніх значень за умови, що рівень значимості α1=0,0027, а довірча імовірність p1=1 – α1 = 1 – 0,0027 = 0,9973

$$F_{н.у} = \bar{f}_0 - U\left(\frac{1+p1}{2}\right) \cdot \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n_0}} = 393132 - U\left(\frac{1+1-0{,}0027}{2}\right) \cdot \frac{9382{,}27}{\sqrt{80}} = 393289{,}9 \qquad (11)$$

Отже за отриманим алгоритмом можна визначити верхню та нижню межу діапазону частот в яких виявляються дефекти радіального зсуву обмоток трансформатора.

Висновки

Незважаючи на велику кількість існуючих методів та засобів визначення технічного стану обмоток силових трансформаторів мають місце їх пошкодження. Використання методу контрольних меж дозволяє визначити межі діапазону частот в якому проявляється дефект зсуву витків обмотки на за результатами аналізу амплітудно-частотних характеристик, що може використано під час контролю стану обмоток СТ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рубаненко, О. Є. Визначення дефектів трансформаторного обладнання з використанням частотних діагностичних параметрів / О. Є. Рубаненко, М. П. Лабзун, М. О. Грищук // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 41-46. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.07.
2. S. Tenbohlen, F. Vahidi, P. Müller, J. Gebauer, M. Krüger: "Zuverlässigkeitsbewertung von Leistungstransformatoren" (em inglês), Proc. Stuttgarter Hochspannungssymposium, 2012. pp. 61-70.
3. Лежнюк, П. Д. Оптимальне керування нормальними режимами ЕЕС з урахуванням технічного стану трансформаторів із РПН / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, О. І. Казьмірук // Наукові праці ВНТУ. – 2012. – №4. – 9 с.
4. Wang, S. Cumulative Deformation Analysis for Transformer Winding Under Short-Circuit Fault Using Magnetic–Structural Coupling Model / S. Wang et al. // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 2016. – Т. 26. – №. 7. – С.1-5. – doi: 10.1109/TASC.2016.2584984.
5. GONZALES, J. C.; MOMBELLO, E. E. Fault interpretation algorithm using frequency-response analysis of power transformers. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2016, 31.3: 1034-1042. **DOI:** 10.1109 / TPWRD.2015.2448524
6. Лежнюк П.Д. Основи теорії планування експерименту. Лабораторний практикум/ П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, Ю. В. Лук'яненко – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 167 с.

Грищук Максим Олександрович – аспірант групи АС – 16, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e–mail:grishuk.maksim.93@ukr.net

Науковий керівник **Рубаненко Олександр Євгенійович** –к.т.н., доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Grischuk Maksim - postgraduate student of the AC group - 16, faculty of electroenergy and electro mechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: grishuk.maksim.93@ukr.net

Scientific supervisor **Rubanenko Alexander** - Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the department department of electrical stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.