

Використання результатів аналізу частотних характеристик силових трансформаторів під час визначення їх технічного стану

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Предметом досліджень є методи та засоби визначення технічного стану силових трансформаторів.

Ключові слова: електроенергія, електрична станція, розподільна електромережа, силові трансформатори.

Abstracts

The subject of research is methods and means for determining the technical condition of power transformers.

Keywords: electricity, power plant, distribution network, power transformers.

Вступ

У сучасних електроенергетичних системах силові трансформатори є одним з основних видів високовольтного обладнання. Вихід з ладу СТ під час експлуатації значно погіршує параметри надійності та економічні показники роботи енергетичного підприємства. Пошкодження СТ під час їх експлуатації в ЕЕС зменшує надійність та збільшує ймовірність відмови іншого обладнання.

Результати дослідження

Методи амплітудно-частотного діагностування є відносно новою зброєю для визначення дефектів СТ. Ці методи чутливі до виникнення дефектів обмоток на ранній стадії їх розвитку. Методи частотного аналізу, передбачають аналіз амплітудних значень сигналу відгуку на тестовий сигнал, що подається на обмотки та магнітопроводи СТ, і нині застосовується для визначення їх технічного стану. Цей метод полягає у тому, що спочатку вимірюються амплітудні значення напруги (параметр може бути і інший) сигналу відгуку на тестовий сигнал ($U_{амп.відг}$) та напруги тестового сигналу ($U_{амп.тест}$). Далі визначається коефіцієнт передачі тестового сигналу на різній частоті (значення передатної функції) як результат ділення амплітудного значення напруги $U_{амп.відг}$ (сигналу відгуку на тестовий сигнал для поточної частоти цього сигналу) на амплітудне значення напруги (тестового сигналу для такої самої частоти) $U_{амп.тест}$. Цей результат часто записується у децибелах. Тоді він визначається за формулою, яка є передатною функцією тестового сигналу (F)

$$F = 20 \cdot \log_{10} U_{амп.відг} / U_{амп.тест}$$

Відомо що залежно від того, який тестовий сигнал подається на досліджуваний СТ, методи частотного аналізу поділяють так, як зображено на рис. 1.1

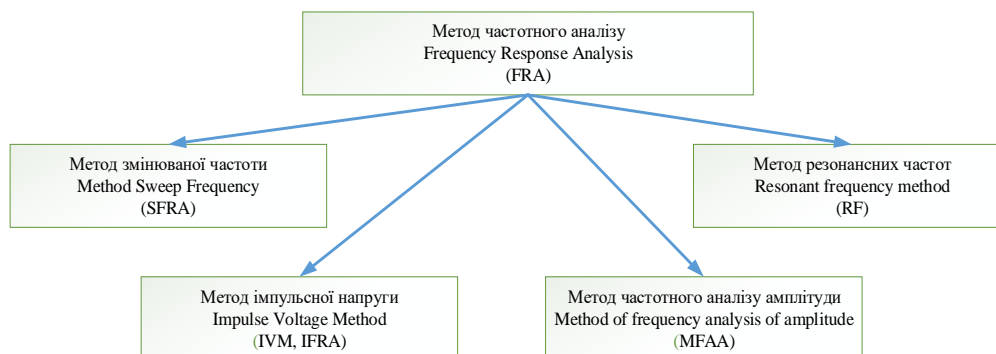


Рисунок 1.1 – Методи частотного контролю СТ

Наприклад, метод змінюваної частоти полягає у тому, що частотна характеристика СТ отримується за результатами вимірювань параметрів сигналу відгуку на тестовий сигнал, які вимірюються на одному з вводів СТ, в той час, коли на інший ввід СТ подається тестовий сигнал зі змінюваною частотою. Метод імпульсної напруги полягає у тому, що частотна характеристика СТ вимірюється опосередковано, шляхом подавання тестового імпульсного сигналу певної форми на один з вводів СТ і вимірювання параметрів сигналу відгуку (на цей тестовий сигнал) на іншому ввіді. Далі, використовуючи результати вимірювання будуються та досліджуються залежності параметрів сигналу відгуку від часу та від частоти. Метод резонансних частот полягає у тому, що досліджуються резонансні частоти, які відповідають локальним максимумам та мінімумам амплітудних значень вимірюваної напруги (на одному з вводів СТ) сигналу відгуку ($U_{амп.відг}$) на тестовий сигнал, який подається на інший з вводів цього СТ.

Як правило, отримані під час вимірювань частотні характеристики записуються у вигляді графіків (рис. 1.2) як типова характеристика, це дозволяє зменшити витрати часу на інтерпретацію отриманих результатів.

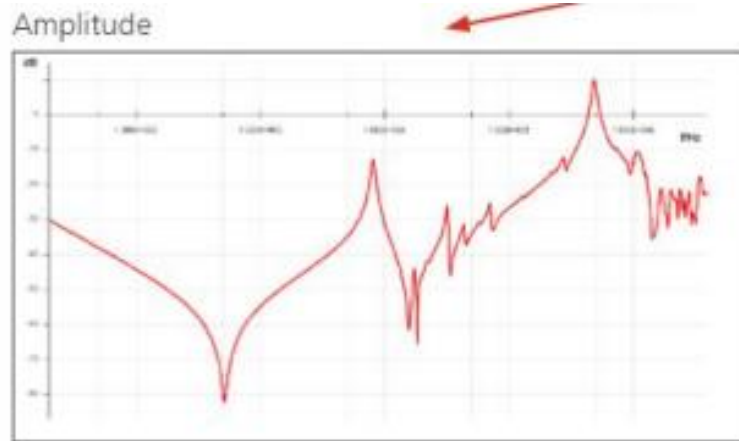
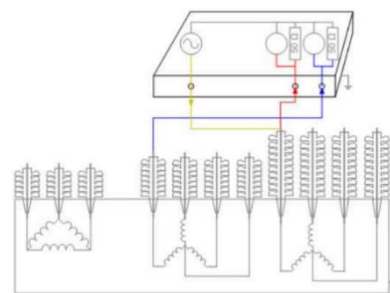


Рисунок 1.2 – АЧХ представлена як типова фірмова OMICRON

Такі характеристики дозволяє побудувати, наприклад, прилад FRAnalyzer фірми OMICRON, зображення якого подано на рис. 1.3 із спеціалізованим програмним забезпеченням.



а) зовнішній вигляд



б) схема включення

Рисунок 1.3 – Прилад FRAnalyzer фірми OMICRON:

Такий прилад адаптований під різні фактори, що впливають на результати вимірювань (погодні умови, параметри персонального комп'ютера і т. д.).

Прилад має такі робочі параметри відповідно до:

– загальний діапазон частот від 10 Гц до 20 МГц (подається), точковий інтервал – арифметичний логарифмічний або обидва;

вихід джерела FRA – метод частотної зачистки вихідного імпедансу 50 Ω ;

має вбудований коннектор BNC (подвійний екранований) з робочою амплітудою 2,83 Гц при навантаженні 50 Ом;

- робочі входи (вихідний сигнал – СН 1, вимірювання сигналу на виході досліджуваного об'єкта – СН 2), роз'єм BNC (подвійний екранований), динамічний діапазон якого > 120 дБ, похибка <0,1 дБ (до -50 дБ) і ±1 дБ (від -50 дБ до -80 дБ);
- екологічна робоча температура навколишнього середовища -10 ... +55 °С, вологість 20 ... 95%, без конденсації;
- інтерфейс операційної системи для обробки отриманих значень: USB 1.1 PCWindows™ 2000, Windows XP™ або Windows Vista™ 32bit Processor Pentium (1 ГГц) пам'ять 256 Мб Програмне забезпечення RAMDriveCD-ROMPC Програмне забезпечення OMICRON FRAnalyzer.

Метод частотного аналізу здебільшого використовують для визначення ТС обмоток та магнітопроводу СТ, хоча автори у своїй роботі подали дослідження про вплив вмісту вологи, герметичність та присутність оливи на FRA. Також є кілька інших наукових праць, які також досліджували такі властивості АЧХ. Фактори щодо діелектричного стану трансформатора розглянуто в літературі, наприклад, за напрямком вмісту вологи, тенденцією впливу температури, та загалом наявністю оливи в баку під час випробувань.

Методи частотного аналізу є досить відомими засобами визначення технічного стану СТ та вважаються відносно новими, крім того, дозволяють виявити дефекти навіть на ранній стадії їх розвитку. Однак інтерпретація результатів вимірювань нині в Україні залишається вузькопрофільною, та потребує додаткових витрат для впровадження такого потужного засобу діагностування. Порівняння отриманих характеристик як правило, відбувається із попередньо отриманими, та автори, пропонують використовувати порівняння, які дозволяють за базову криву вибрати: базову криву від однієї із отриманих обмоток з подібним трансформатором, який має однакову конструкцію; обмотки з інших фаз аналогічного трансформатора. В такому застосуванні можливо виявити дефекти СТ на ранній стадії їх розвитку. Та частота тестового сигналу коливається в межах від 1 Гц до 2 МГц і виникає питання, на якій частоті які дефекти проявляються. А у своїх роботах інтерпретують частотні діапазони так, як показано в таблиці 1.4.

Рисунок 1.4 – Частотні діапазони виявлення дефектів СТ

Вузол трансформатора	Дефекти вузлів	Діапазон частотного сигналу, Гц			
		За результатами розрахунків		За результатами аналізу літературних джерел	
		від	до	від	до
Обмотки	Деформація в межах основної обмотки	19978,962	400541,761	20000	400000
	Зсув основної обмотки	400343,87	999842,338	400000	1000000
	Зміщення витків між обмотками та кріпленням	2046,755	19938,281	2000	20000
	Осьове зміщення витків	>399820,656		> 400000	
	Зміна проміжку між обмотками	>99970,17		> 100000	
	Радіальне зміщення витків	>50362,591		> 50000	
		4994,278	500175,119	5000	500000
	Міжвиткове коротке замикання	>201031,205		>200000	
		<1989,295		< 2000	
	Осьове зміщення обмотки			< 10000	
>100018,152			>500000		
Осердя	Деформації в магнітному осерді	<2064,234		< 2000	
	Обертання магнітопроводу	<10005,347		< 10000	

Вузол трансформатора	Дефекти вузлів	Діапазон частотного сигналу, Гц			
		За результатами розрахунків		За результатами аналізу літературних джерел	
		від	до	від	до
Щупи	Порушення контакту з вимірювальними проводами			> 2000000	
Інші	Слабкий контакт заземлення			>5000000	
	Зміна опору заземлення			400000	10000000
	Залишковий магнетизм			< 2000	
	Пошкодження підводів до обмоток			> 1×10 ⁷	

Висновки

Проведений аналіз показав, що існує досить велика кількість методів визначення технічного стану СТ. Однак, не зважаючи на таке різноманіття методів та засобів діагностування, аналіз пошкоджуваності СТ свідчить про те, що, контролюючи тільки один параметр, важко виявити дефекти, особливо на ранній стадії їх розвитку. Тому потрібно використовувати додаткові діагностичні параметри, наприклад: передатна функція тестового сигналу; залежність залишкового опору тестового сигналу від частоти; відхилення початкового графіка залежності фазного тестового сигналу від частоти для поточних та передостанніх вимірювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. FRANEO 800 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.omicronenergy.com/en/products/franeo-800/>
2. FRAnalyzer Reliable core and winding diagnosis for power transformers [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.techrentals.com.my/pdf/products/Omicron_FRAnalyzer.pdf
3. FRAnalyzer User Manual [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.studocu.com/co/document/universidad-nacional-de-colombia/ingenieria-mecanica/franalyzer-user-manual/84681671>

Буток Костянтин Андрійович — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, група 2ЕЕ-20б, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Рубаненко Олександр Євгенійович — канд. техн. наук, професор кафедри ЕЕС, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, rubanenko.o.y@vntu.edu.ua

Butok Konstantin A. - student, Faculty of Electric Power Engineering and Electromechanics, group 2EE-20b, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Rubanenko Oleksandr Yevheniiovych - Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of EES, Deputy Dean for Research and International Cooperation, FEEEM, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, rubanenko.o.y@vntu.edu.ua