

УДК 621.311

Н.В. БУСЛОВА, Р.В. НАГОРНИЙ

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ ПРИ ДІАГНОСТИЦІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

N. BUSLOVA, R. NAGORNYI

ANALYZING OF PARTIAL DISCHARGE LOCALIZATION METHODS IN DIAGNOSTIC OF POWER OIL TRANSFORMERS

Анотація. Наведені методики, які використовуються для локалізації часткових розрядів в силових маслонаповнених трансформаторах у зв'язку з підвищенням ролі діагностування останніх за умов реального часу без відключення від мережі. Проведено аналіз умов застосування кожного з методів і встановлено їхні переваги і недоліки. Результативним з точки зору точності і простоти реалізації є метод псевдо-часу, який базується на принципах глобального позиціонування (GPS).

Ключові слова: маслонаповнений силовий трансформатор, частковий розряд, псевдо-час, глобальне позиціонування (GPS).

Анотация. Представлены методики, которые используются при локализации частичных разрядов в силовых маслонаполненных трансформаторах в связи с повышением роли диагностики последних в условиях реального времени без отключения от сети. Проведен анализ условий использования каждого из методов и установлены их преимущества и недостатки. Результативным с точки зрения точности и простоты реализации является метод псевдо-времени, который базируется на принципах глобального позиционирования (GPS).

Ключевые слова: маслонаполненный силовой трансформатор, частичный разряд, псевдо-время, глобальное позиционирование (GPS).

Annotation. In connection with increasing on-line diagnostic role without switching-off methods which are used for localization partial discharge in power oil transformers are represented. Analyses were carried out in use condition of each methods and ones advantages and disadvantages were established. In terms of precision and simplicity of implementation, pseudo-time approach which bases on principals Global Positioning System (GPS) was accepted.

Key words: oil power transformer, partial discharge, pseudo-time, Global Positioning System (GPS).

Вимірювання часткових розрядів служить потужним інструментом діагностики для визначення стану ізоляційних елементів трансформатора. Особливе значення мають методи діагностування, що дозволяють виконувати оцінку стану обладнання, яке знаходиться в експлуатації, оскільки перерва в електропостачанні призводить до значних збитків. Найбільш передовими є методи акустичних (електромагнітних) вимірювань, які ґрунтуються на виявленні звукових(електромагнітних) коливань, що виникають при частковому розряді [1].

Вимірювання часткових розрядів в трансформаторах можна розділити на дві основні задачі. Перша полягає у забезпеченні заданої чутливості виявленню часткового розряду. Друга – у виявленні місця пошкодження (розташування часткового розряду).

Оскільки частковий розряд є джерелом акустичних або електромагнітних хвиль, то час досягнення таких сигналів стінок бака може бути використаний для його просторової локалізації.

Зазвичай для визначення місця розташування часткового розряду використовують два підходи. Перший підхід полягає в тому, що зміни, які відбуваються в амплітуді сигналу, або наявні спотворення форми сигналу на шляху його проходження, можуть дати рекомендації щодо місця розташування часткового розряду. З іншого боку, для виявлення джерела часткового розряду використовують час надходження сигналу до стінок досліджуваного об'єкта. Подальші пояснення стосуються останнього підходу.

Для локалізації використовують три різні методи, кожен з яких для свого описання використовує систему рівнянь з трьома невідомими (просторові координати часткового розряду) або чотирма (додаткова невідома часу). Новий підхід в обробці акустичних сигналів, в основі якого покладено псевдо-час, дозволяє використовувати стійку до помилок систему глобального позиціонування GPS (Global Positioning System) замість попередніх підходів [2].

Для роз'яснення методики і виведення основних виразів описання положення часткового розряду розглянемо схематичне зображення бака трансформатора з відповідними відомими і невідомими координатами датчиків і джерела часткового розряду відповідно (рис.1).

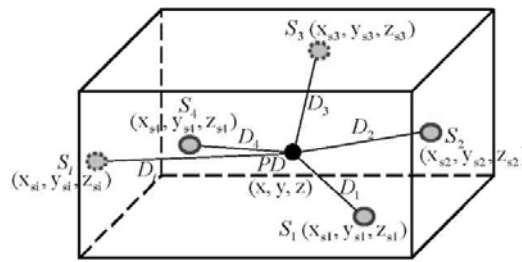


Рис.1. Схематичне розташування датчиків і місця часткового розряду

Рис. 1 показує схематичний вигляд бака трансформатора, до якого приєднанні акустичні датчики S_i з координатами (x_{si}, y_{si}, z_{si}) , наявний частковий розряд PD всередині бака з координатами (x, y, z) , результатна відстань D_i від датчика S_i до джерела часткового розряду PD. Частковий розряд являє собою зосереджене джерело, яке розповсюджує звукові (електромагнітні) коливання в однорідному середовищі. Відповідна система нелінійних рівнянь, які описують дану схему, в загальному випадку характеризується сферичними функціями, спільною точкою яких служить місце розташування часткового розряду (PD).

Вирізняють наступні методи описання нелінійних рівнянь:

1. Метод абсолютного часу.
2. Метод різниці часу.

Для певних видів вимірювань момент виникнення розряду відомий, тому це дає основу для введення величини абсолютного часу, як показано на рис.2.

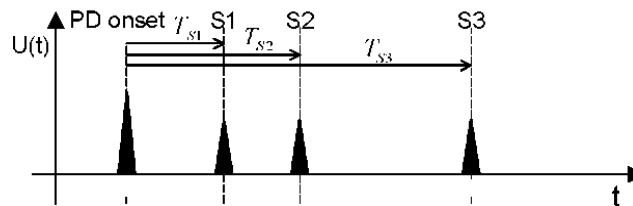


Рис.2. Часова діаграма розповсюдження імпульсу часткового розряду на основі методу абсолютного часу

Відповідні сферичні функції з трьома невідомими координатами часткового розряду в просторі (x,y,z) , виміряний час надходження T , прийнята швидкість γ_s і декартові координати датчиків (x,y,z) мають відповідний взаємозв'язок:

$$\begin{cases} (x - x_{s1})^2 + (y - y_{s1})^2 + (z - z_{s1})^2 = (\gamma_s \cdot T_{s1})^2 \\ (x - x_{s2})^2 + (y - y_{s2})^2 + (z - z_{s2})^2 = (\gamma_s \cdot T_{s2})^2 \\ (x - x_{s3})^2 + (y - y_{s3})^2 + (z - z_{s3})^2 = (\gamma_s \cdot T_{s3})^2 \end{cases} \quad (1)$$

Ці функції описують сфери з радіусами D , які визначаються за виразом:

$$D_i^2 = (\gamma_s \cdot T_{si})^2. \quad (2)$$

В разі застосування методу різниці часу хвиля досягає найближчого першого датчика, після чого починається відлік часу досягнення хвилею решти датчиків послідовно. Таким чином, маючи чотири датчики, ми можемо отримати три різниці часу з початку первинного надходження на перший датчик. Цей факт проілюстрований на рис.3.

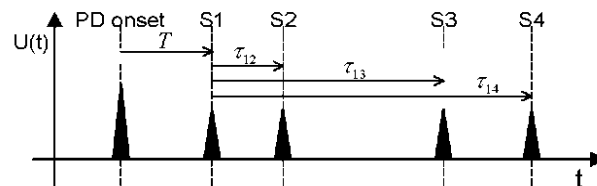


Рис. 3. Часова діаграма розповсюдження імпульсу часткового розряду на основі методу різниці часу

Нелінійна система рівнянь, яка описує дану методику, має вигляд:

$$\begin{cases} (x-x_{s1})^2 + (y-y_{s1})^2 + (z-z_{s1})^2 = (\gamma_s \cdot T)^2 \\ (x-x_{s2})^2 + (y-y_{s2})^2 + (z-z_{s2})^2 = (\gamma_s \cdot (T + \tau_{12}))^2 \\ (x-x_{s3})^2 + (y-y_{s3})^2 + (z-z_{s3})^2 = (\gamma_s \cdot (T + \tau_{13}))^2 \\ (x-x_{s4})^2 + (y-y_{s4})^2 + (z-z_{s4})^2 = (\gamma_s \cdot (T + \tau_{14}))^2 \end{cases} \quad (3)$$

Системи вигляду (1,3) розв'язуються методом Ньютона-Рафсона, в якому кожне рівняння системи приймає лінійний вигляд шляхом розкладу кожного рівняння в ряд Тейлора до першого лінійного члена. Для системи алгебраїчних рівнянь виду (4).

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0 \\ f_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0 \\ f_3(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0 \\ \dots \dots \dots \\ f_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

результат розрахунку приймає наступний вигляд:

$$\begin{cases} x_1^1 = x_1^0 + h_1 \\ x_2^1 = x_2^0 + h_2 \\ x_3^1 = x_3^0 + h_3 \\ \dots \dots \dots \\ x_n^1 = x_n^0 + h_n \end{cases}$$

де верхні індекси відображають крок ітерації, а значення величин h визначаються із наступної системи лінеаризованих рівнянь (5):

$$\begin{cases} \frac{\delta f_1}{\delta x_1} h_1 + \frac{\delta f_1}{\delta x_2} h_2 + \dots + \frac{\delta f_1}{\delta x_n} h_n = -f_1 \\ \frac{\delta f_2}{\delta x_1} h_1 + \frac{\delta f_2}{\delta x_2} h_2 + \dots + \frac{\delta f_2}{\delta x_n} h_n = -f_2 \\ \frac{\delta f_3}{\delta x_1} h_1 + \frac{\delta f_3}{\delta x_2} h_2 + \dots + \frac{\delta f_3}{\delta x_n} h_n = -f_3 \\ \dots \dots \dots \\ \frac{\delta f_n}{\delta x_1} h_1 + \frac{\delta f_n}{\delta x_2} h_2 + \dots + \frac{\delta f_n}{\delta x_n} h_n = -f_n \end{cases} \quad (5)$$

Для отриманої системи задаються початкові наближення, тобто координати часткового розряду, і виконується декілька ітераційних циклів до досягнення заданої точності.

Застосування ітераційних методів завжди пов'язане з наявністю помилок початкових наближень, що накопичуються на кожній ітерації. Певною мірою цей недолік компенсується в методі псевдо-часу, для якого описання сферичної системи нелінійних рівнянь має переваги перед іншими методами.

Метод псевдо-часу лежить в основі функціонування глобальних систем позиціонування (GPS). Для його застосування вводиться додаткова невідома змінна – час зміщення Δt . На рис.4 зображено, як поєднуються між собою сигнали відносно невідомого початку виникнення часткового розряду.

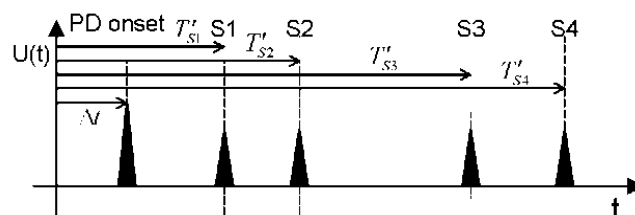


Рис. 4. Часова діаграма розповсюдження імпульсу часткового розряду на основі методу псевдо-часу

Система нелінійних рівнянь описується так, як і в попередніх методах, сферичними функціями, але з додатковою невідомою Δt :

$$\begin{cases} (x-x_{s1})^2 + (y-y_{s1})^2 + (z-z_{s1})^2 = (\gamma_s \cdot (T_{s1} - \Delta t))^2 \\ (x-x_{s2})^2 + (y-y_{s2})^2 + (z-z_{s2})^2 = (\gamma_s \cdot (T_{s2} - \Delta t))^2 \\ (x-x_{s3})^2 + (y-y_{s3})^2 + (z-z_{s3})^2 = (\gamma_s \cdot (T_{s3} - \Delta t))^2 \\ (x-x_{s4})^2 + (y-y_{s4})^2 + (z-z_{s4})^2 = (\gamma_s \cdot (T_{s4} - \Delta t))^2 \end{cases} \quad (4),$$

де $T_{Si} - \Delta t = T$.

Наявність додаткової невідомої часу Δt дозволяє перейти від розв'язання нелінійної системи до розв'язання лінійної із застосуванням методики, яка реалізується в системах позиціонування [3]. Тому застосування цього методу вирізняється своєю новизною і забезпечує достатню точність при виявленні місця розташування часткового розряду.

Діагностування силових трансформаторів з визначенням місця розташування часткового розряду є перспективним засобом, який дозволяє виявити не тільки факт наявності недопустимих значень часткових розрядів, а й визначити можливі причини його виникнення.

Методи локалізації вже знайшли застосування в енергосистемах Великої Британії та знаходяться на стадії впровадження в Російській Федерації і, як показує статистика, це сприяє підвищенню надійності трансформаторів і відповідно енергосистем в цілому.

Література

1. Acoustic Detection of Partial Discharge IEEE Transformers Committee.
2. Detection and Location of Partial Discharges in Power Transformers using acoustic and electromagnetic signals. Sacha M. Markalous. 2008.
3. Analytical GPS Navigation Solution. Alfred Kleusberg