

Jarzy SKUBIS, Tomasz BOCZAR

POLITECHNIKA OPOLSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI I INFORMATYKI,
INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI

Aktualne możliwości i perspektywy zastosowania metody emisji akustycznej w diagnostyce układów izolacyjnych

Prof. dr hab. inż. Jerzy SKUBIS

Rektor Politechniki Opolskiej w Opolu, Dyrektor Instytutu Elektroenergetyki. Jest wybitnym specjalistą w zakresie diagnostyki układów izolacyjnych urządzeń elektroenergetycznych.



e-mail: skubis@po.opole.pl

Dr hab. inż. Tomasz BOCZAR

Prodziekan Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, kierownik Zakładu Wysokich Napięć. Autor ponad 100 publikacji z zakresu wykorzystania metod nieniszczących w diagnostyce wysokonapięciowych układów izolacyjnych.



e-mail: tboczar@po.opole.pl

Streszczenie

W artykule zostały scharakteryzowane prowadzone obecnie przez autorów artykuły prace związane z doskonaleniem akustycznej metody pomiaru wyładowań elektrycznych, jakie mogą występować w układach izolacyjnych urządzeń elektroenergetycznych. Szczególną uwagę zwrócono na ekspercki system diagnostyczny wykorzystujący metodę emisji akustycznej do oceny stanu mierzonej izolacji transformatorów energetycznych.

Słowa kluczowe: metoda emisji akustycznej, wyładowania niepełne, system ekspercki.

Present possibilities and prospects of the acoustic method application in diagnostics of insulation systems

Abstract

The paper characterizes the research work on the improvement of the acoustic method of the measurements of electrical discharges that can occur in insulation systems of power appliances. The utmost attention was directed to the expert diagnostic system using the acoustic emission method for the evaluation of the condition of the power transformer insulation measured.

Keywords: acoustic emission method, partial discharges, expert system.

1. Wprowadzenie

Podjęcie prac nad zastosowaniem metody emisji akustycznej (EA) generowanej przez wyładowania elektryczne do oceny stanu izolacji urządzeń elektroenergetycznych wynikało z trudności metrologicznych występujących podczas pomiarów diagnostycznych wykonywanych w warunkach przemysłowych przy wykorzystaniu metody elektrycznej. W warunkach normalnej pracy urządzeń elektroenergetycznych pomiar wyładowań niepełnych (WNZ) metodami elektrycznymi, ze względu na wysoki poziom zakłóceń elektromagnetycznych, nie jest możliwy. Natomiast poważnym problemem w metodzie chromatografii gazowej jest jej stosunkowo duża wrażliwość na sposób pobierania, przechowywania i transportu do laboratorium próbek oleju izolacyjnego. Z kolei informacje o występowaniu, intensywności i lokalizacji WNZ w układach izolacyjnych mają podstawowe znaczenie dla oceny stanu izolacji urządzenia, a w konsekwencji do właściwego prognozowania jego dalszej bezawaryjnej pracy. Określenie przewidywanego czasu możliwej eksploatacji badanych urządzeń związane jest ściśle z aspektem nie tylko naukowym i poznawczym, ale przede wszystkim, w warunkach konkurencyjnego rynku energii elektrycznej, ma znaczący wymiar finansowy [1-5].

Zakres wykonanych od 1974 na Politechnice Opolskiej prac naukowo-badawczych związanych z zastosowaniem metody EA do pomiarów WNZ dotyczył m. in. następujących aspektów:

- wyjaśnienia i wykonania matematycznego opisu zjawisk związanych z generacją i propagacją fal EA emitowanych przez WNZ, w różnych typach dielektryków, a także w złożonych układach izolacyjnych,
- udoskonalenia dotychczasowych, a także opracowania nowych układów do pomiaru i analizy różnych parametrów związanych z EA od WNZ oraz metod ich wzorcowania,
- zastosowania nowoczesnych procedur numerycznych i metod statystycznego opracowywania sygnałów w celu zobiektywizowania wyników pomiarów WNZ, uzyskiwanych metodą EA,
- określenia możliwości rozpoznawania podstawowych form WNZ na podstawie wyselekcjonowanych wieloparametrycznych deskryptorów charakteryzujących w dziedzinie czasu, częstotliwości i czasowo-częstotliwościowej generowane przez te wyładowania impulsy EA.

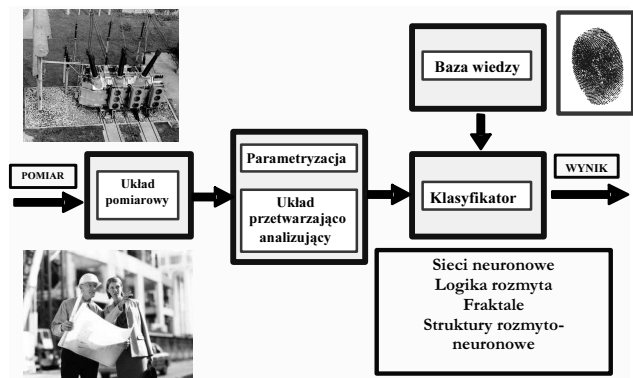
Obecnie metoda EA umożliwia detekcję czyli stwierdzenia występowania WNZ bezpośrednio w izolacji będącego w eksploatacji urządzenia elektroenergetycznego. Ponadto w oparciu o rezultaty uzyskiwane metodą EA istnieje możliwość lokalizacji miejsc generacji WNZ w układach izolacyjnych, w tym zakresie można wykorzystać metodę osłuchową (największej głośności) lub/i metodę triangulacyjną. Natomiast istotnym problemem jest pomiar intensywności i wielkości zmierzonych metodą EA WNZ. Jest to spowodowane występowaniem na drodze propagacji sygnałów EA generowanej przez WNZ wielu warstw izolacyjnych, najczęściej o różnych wartościach współczynników tłumienia i odbicia fal akustycznych. Ponadto zakres wykorzystania metody EA może być ograniczony m. in. następującymi czynnikami: wysokim poziomem zakłóceń akustycznych, złożoną geometrią mierzonych obiektów, uniemożliwiającą zamocowanie do ich powierzchni przetworników pomiarowych oraz stosowaniem dielektryków lub układów izolacyjnych o niskim współczynniku sprężystości i złożonej budowie geometrycznej.

Należy podkreślić, że metoda EA nie zastępuje metod diagnostycznych stosowanych do tej pory, a jedynie podając nowy wskaźnik charakteryzujący izolację może stanowić ich ważne uzupełnienie. Metoda EA wypełnia w ten sposób lukę, jaka istniała w metrologii WNZ generowanych w układach izolacyjnych urządzeń wysokiego napięcia.

2. Założenia systemu eksperckiego wykorzystującego metodę EA pomiaru WNZ

Prowadzone obecnie przez autorów artykułu prace naukowo-badawcze zmierzają do stworzenia koncepcji, opracowania modelu i w konsekwencji wdrożenia do pomiarów diagnostycznych komputerowego systemu eksperckiego, który na podstawie wyników uzyskiwanych metodą EA umożliwiłby ocenę stanu badanej izolacji, podczas normalnej pracy urządzenia elektroenergetycz-

nego. Schemat blokowy takiego rozwiązania przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Uproszczony schemat systemu eksperckiego
Fig. 1. Block diagram of the expert system

Długoletnie prace badawcze autorów artykułu, których wyniki są szeroko publikowane m. in. w pracach [1-5] umożliwiły utworzenie skatalogowanych wzorców porównawczych tzw. „odcisków palców” (ang. fingerprints) dla podstawowych form WNZ mierzonych metodą EA, które modelowano w warunkach laboratoryjnych.

Uzyskane wzorce mogą stanowić podstawę do zbudowania bazy wiedzy przyszłego systemu eksperckiego. W bazie tej będą znajdować się wieloparametryczne deskryptory charakteryzujące sygnały EA i umożliwiające, przy ściśle określonych warunkach metrologicznych rozpoznawanie podstawowych form WNZ. Do deskryptorów tych można zaliczyć: - widmo amplitudowe i widmową gęstość mocy obliczone przy zastosowaniu szybkiej transformaty Fouriera (FFT); - dwu- i trójwymiarowe spektrogramy widma amplitudowego i gęstości mocy obliczone przy zastosowaniu krótko-czasowej transformaty Fouriera (STFT); - skalogramy wyznaczone przy zastosowaniu ciągłej transformaty falkowej (CWT); - przebiegi dekompozycji falkowej uzyskane przy zastosowaniu dyskretnej transformaty falkowej (DWT); - wartości deskryptorów obliczonych w dziedzinie czasu, częstotliwości i czasowo – częstotliwościowej; - wyniki analizy korelacyjnej, a w szczególności przebiegi funkcji autokowariancji, kowariancji wzajemnej i koherencji; - wskaźniki statystyk opisowych, będącymi miarami położenia, rozproszenia, asymetrii i koncentracji; - przebiegi wykresów pudełkowych, rozrzutu i symetryczności; - przebiegi histogramów i funkcji gęstości rozkładów.

Działanie systemu będzie opierać się na analizie uzyskiwanych wyników podczas pomiarów on-line bezpośrednio na diagnozowanym obiekcie. Sygnały EA rejestrowane za pomocą układu pomiarowego zostaną poddane przetwarzaniu cyfrowemu w celu parametryzacji uzyskanych wyników. Następnie odpowiednio wyselekcjonowane parametry, reprezentujące zarejestrowane sygnały EA, przekazywane będą do klasyfikatora, gdzie następowaloby ich porównywanie z odpowiednimi deskryptorami zawartymi w utworzonej bazie danych, zawierającej „odciski palców” dla podstawowych form WNZ. W ten sposób dokonywany byłby proces identyfikacji i klasyfikacji rejestrowanych WNZ oraz w rezultacie możliwa byłaby ocena stanu mierzonej izolacji. Jako narzędzie umożliwiające wnioskowanie można zastosować sztuczne sieci neuronowe, logikę rozmytą, fraktale czy struktury neuronowo-rozmyte. W ramach przeprowadzonych badań, których wyniki prezentowane są w serii artykułów autorzy określili zakres i możliwości zastosowania sztucznych sieci neuronowych w procesie identyfikacji podstawowych form WNZ. Po przeprowadzeniu przez sieci neuronowe procesu wnioskowania użytkownik uzyskałby informacje o rodzaju występujących w izolacji WNZ, o powiązania ich z danym typem defektu i w konsekwencji o stopniu degradacji mierzonej izolacji, to z kolei umożliwi oszacowanie czasu dalszej bezawaryjnej pracy badanego urządzenia.

3. Podsumowanie

Proces budowy sprawnie działającego systemu eksperckiego to kilkuletnie, a czasami kilkudziesięcioletnie przedsięwzięcie inżyniersko – naukowo – badawcze. Systemy takie powstały z wykorzystanie elektrycznej metody pomiaru WNZ. Zgromadzone w Zakładzie Wysokich Napięć Politechniki Opolskiej wyniki prac nad udoskonalaniem metody EA, jako jednej z metod pomiaru WNZ w wysokonapięciowych izolacji urządzeń elektroenergetycznych, stwarzają praktyczną możliwość utworzenia takiego systemu.

Analizując dotychczasowy stan wiedzy oraz wyniki prowadzonych badań, można stwierdzić, iż istnieją realne możliwości zbudowania komputerowego systemu eksperckiego wykorzystującego metodę EA do oceny układów izolacyjnych transformatorów elektroenergetycznych. Jednakże tego typu przedsięwzięcie wymaga istotnych nakładów finansowych związanych przede wszystkim z koniecznością wykonania wielokrotnych pomiarów na różnego typu urządzeniach elektroenergetycznych pracujących w systemie energetycznym. Prace takie są aktualnie wykonywane przez autorów artykułu. Ponadto z tematyki tej został zgłoszony na konkurs Ministerstwa Edukacji i Nauki wniosek projektu badawczego o charakterze rozwojowym.

Aktualnie istnieje jeszcze potrzeba rozwiązania szeregu szczegółowych zagadnień związanych z metodą EA. Należy do nich wykonanie kompleksowej analizy w dziedzinie czasu i częstotliwości źródeł sygnałów zakłócających pomiary EA, której wyniki umożliwiłaby w konsekwencji ich rozpoznanie i eliminację. Ponadto kolejne prace naukowo-badawcze winny objąć przeprowadzenie pomiarów porównawczych z wykorzystaniem hydrofonów umieszczonych bezpośrednio w układzie izolacyjnym w obszarze generacji WNZ, w celu określenia wpływu parametrów drogi propagacji sygnałów EA na uzyskiwane wyniki. Należy również określić możliwości rozpoznawania WNZ wieloźródłowych i wielokrotnych generowanych w złożonych układach izolacyjnych, a uzyskane wyniki w warunkach laboratoryjnych zweryfikować z rezultatami otrzymanymi dla układów izolacyjnych transformatorów elektroenergetycznych. Ponadto wybrane wieloparametryczne deskryptory można byłoby skorelować z odpowiednimi wskaźnikami charakteryzującymi WNZ mierzone innymi metodami diagnostycznymi, jak elektryczna, spektrofotometrii czy chromatografii gazowej.

Zbudowanie zaproponowanego przez autorów artykułu systemu eksperckiego, pozwalającego na poprawną ocenę stanu układu izolacyjnego, może przyczynić się do wdrożenia metody EA do przepisów branżowych oraz norm krajowych dotyczących badań diagnostycznych układów izolacyjnych transformatorów elektroenergetycznych.

4. Literatura

- [1] Boczar T. - Current Application Possibilities of the Acoustic Emission Method in Diagnostics of Insulation Systems of Power Appliances. *Acta Acustica United With Acustica*. Vol. 91, 2005, pp. 1-3.
- [2] Boczar T. - Identification of a Specific Type of Partial Discharges form Acoustic Emission Frequency Spectra. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. Vol. 8, No 4 August 2001, pp. 598-606.
- [3] Boczar T., Zmarzły D. - Application of Wavelet Analysis to Acoustic Emission Pulses Generated by Partial Discharges. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. Vol. 11, No 3, June 2004, pp. 433-449.
- [4] Boczar T., Zmarzły D. - Multiresolution Analysis of the Acoustic Emission Pulses Generated by Partial Discharges. *INSIGHT*. Vol. 45, No. 7, Great Britain, 2003, pp. 488-492.
- [5] Skubis J. - EA w badaniach izolacji urządzeń elektroenergetycznych. *IPPT-PAN, Studia i Monografie nr 99, Opole, 1998.*