

Arkadiusz DOBRZYCKI*
Władysław OPYDO*
Sebastian ZAKRZEWSKI**

SYGNAŁY EMISJI AKUSTYCZNEJ TOWARZYSZĄCE PRZESKOKOWI W WYSOKONAPIĘCIOWYCH UKŁADACH IZOLACYJNYCH O IZOLACJI POWIETRZNEJ

W artykule przedstawiono zastosowanie metody emisji akustycznej (EA) w badaniu stanu izolacji stałej w powietrzu. Badany obiekt stanowił układ elektrod płaskich wykonanych z aluminium. Dodatkowo przeprowadzono analizę EA wpływu obecności powłok dielektrycznych na powierzchniach elektrod aluminiowych i dodatkowego ich nasycenia (uszczelnienia) na wytrzymałość elektryczną układu izolacyjnego ze sprężonym powietrzem. Prace badawcze przeprowadzono przy ciśnieniu gazu o wartościach $1 \cdot 10^5$, $3 \cdot 10^5$ i $5 \cdot 10^5$ Pa, przy napięciu przemiennym o częstotliwości przemysłowej. Wskazano wady i zalety zastosowania EA w kontekście oceny stanu elektroizolacji urządzenia. Prezentowane wyniki potwierdzają zastosowanie metody emisji akustycznej, nie tylko w wykrywaniu zagrożonych obszarów, ale także służy ona do oceny czasu dalszego użytkowania układu izolacyjnego.

SŁOWA KLUCZOWE: metoda emisji akustycznej, wytrzymałość elektryczna powietrza, powłoki dielektryczne

1. WPROWADZENIE

Uzyskanie informacji na temat stanu izolacji, a co za tym idzie stopnia zagrożenia dla poprawnego działania systemu izolacyjnego, pozwala na podjęcie prawidłowej decyzji dotyczącej wyłączenia z pracy uszkodzonego elementu. Posiadanie tej informacji umożliwia przeprowadzenie planowych, nie wymuszonych awarią oraz najmniej kosztownych i uciążliwych remontów.

Dotychczas stworzono wiele różnych metod identyfikacji defektów czy uszkodzeń, między innymi: chemiczne, optyczne, akustyczne i elektryczne. Każda z nich ma zastosowanie w odniesieniu do specyficznych obiektów i warunków badań oraz może służyć wykrywaniu tylko pewnych rodzajów defektów. Metody chemiczne, na przykład bazujące na badaniu oleju pozwalają

* Politechnika Poznańska.

** Tele-Fonika Kable S.A.

wywnioskować o lokalnym przegrzaniu, utożsamianym z punktowym defektem. Metoda termowizyjna, jako jedna z metod optycznych, pozwala wykryć dużą rezystancję przejścia we wszelkiego rodzaju urządzeniach, natomiast metoda fotograficzna pozwala wykryć tylko sam fakt występowania wyładowań niepełnych w widocznym miejscu [2]. Właściwy dobór metody prowadzi do skutecznego rozpoznania charakteru uszkodzenia.

W każdym urządzeniu elektrycznym z wysokonapięciową izolacją gazową występuje problem powierzchniowej wytrzymałości elektrycznej izolacji stałej. Jest on bardzo istotny, gdyż napięcie przeskoku na powierzchni izolacji stałej w gazach jest znacznie mniejsze od wytrzymałości skrośnej przy tej samej odległości międzyelektrodowej.

Najczęściej stosowanym rozwiązaniem – innym niż elektryczny sposób oceny stanu tego typu elektroizolacji – w odniesieniu do urządzeń elektrycznych z izolacją gazową i stałą jest metoda emisji akustycznej, w której wykorzystuje się emisję akustyczną generowaną przez wyładowania niepełne.

Metody akustyczne umożliwiają nie tylko wykrycie wyładowań niepełnych, lecz także umiejscowienie ich. Podstawą metody elektroakustycznej (EA) jest analiza sygnału akustycznego generowanego przez wyładowania niepełne (wnz) [4, 5, 6]. Większość energii wyładowania niepełnego zamieniana jest w energię elektryczną, cieplną i chemiczną. Przyjmuje się, że w czasie wyładowania niepełnego następuje impulsowa przemiana części energii elektrycznej na energię mechaniczną, ze sprawnością 1-5%. Od strony fizycznej, pojedyncze wyładowanie niepełne można porównać do mikroeksplozji, która ma miejsce w dielektryku. Przy założeniu, że wyładowanie niepełne ma miejsce w ośrodku jednorodnym, można je traktować jak punktowe źródło zaburzeń sprężystych.

Niniejsza praca dotyczy zagadnienia zastosowania metody emisji akustycznej do badania stanu izolacji stałej w powietrzu.

2. APARATURA DOŚWIADCZALNA I TECHNIKA POMIARU

Układ izolacyjny tworzyły płaskie elektrody aluminiowe o średnicy 50 mm o profilu wg wzoru Rogowskiego. Proces przygotowania powierzchni elektrod, sposób wytwarzania na nich powłok tlenkowych zawiera praca [7]. W niniejszych badaniach warstwa tlenku aluminium na powierzchniach elektrod miała grubość 5...10 μm . Po procesie przygotowania elektrod z powłoką Al_2O_3 elektrody wielokrotnie myto w wodzie destylowanej, acetonie i alkoholu etylowym wykorzystując płuczkę ultradźwiękową. Następnie przygotowane elementy izolacyjne pokryto kolejną warstwą materiału izolacyjnego techniką natryskową. Pełne właściwości ochronne materiały te uzyskiwały po procesie utwardzenia w temperaturze 150°C (10-60 minut w zależności od deklaracji

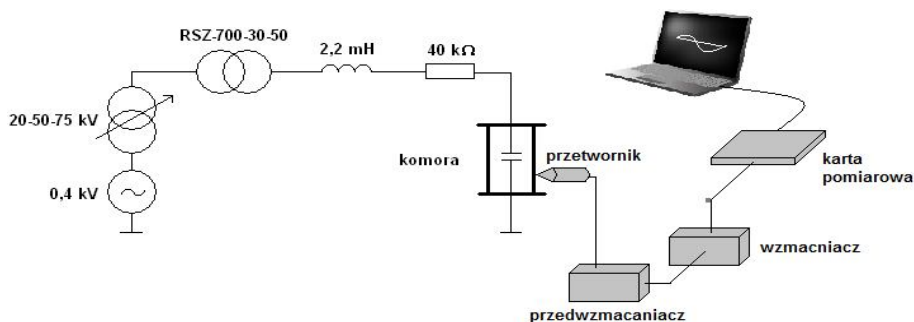
producenta). Grubość uzyskanej warstwy (naniesionej na powłokę Al_2O_3) wynosiła 30...40 μm .

Przygotowane elektrody zostały umieszczone wewnątrz wykonanej ze stali nierdzewnej cylindrycznej komory ciśnieniowej o średnicy 40 cm i objętości ok. 0,03 m^3 . Szczegółowy opis komory przedstawiono w [7].

Badania wytrzymałości elektrycznej układów ze sprężonym powietrzem przeprowadzono przy wartościach ciśnienia $1 \cdot 10^5$, $3 \cdot 10^5$ i $5 \cdot 10^5$ Pa i odległości między elektrodami wynoszącej 3 mm.

Wysokie napięcie uzyskiwano z rezonansowego systemu probierczego RSZ-700-30-50 (do 700 kV, 500 kVA) prądu przemiennego o częstotliwości 50 Hz firmy Haefely Trench, zasilanego z instalacji elektrycznej sn za pośrednictwem autotransformatora. Jeden z zacisków transformatora probierczego uziemiano i łączono z elektrodą dolną układu izolacyjnego, a drugi, poprzez rezystor o rezystancji 40 k Ω i izolator przepustowy w pokrywie górnej komory, łączono z elektrodą górną. Wysokie napięcie mierzono kilowoltomierzem elektrostatycznym. Na rysunku 1 przedstawiono schemat układu do pomiaru emisji akustycznej oraz wytrzymałości elektrycznej układu izolacyjnego.

Układy izolacyjne kondycjonowano bezprzeskokowo (wyładowaniami niezupełnymi). Miało to istotne znaczenie w przypadku elektrod z powłokami, gdyż przeskoki niszczyły powłoki. Kondycjonowanie to polegało na bardzo wolnym podnoszeniu napięcia z prędkością około 1 kV/min, aż do wystąpienia przeskoku. Wartość napięcia, przy którym występował ten przeskok przyjmowano za wytrzymałość elektryczną układu.



Rys. 1. Schemat układu do pomiaru emisji akustycznej oraz wytrzymałości elektrycznej układu izolacyjnego

Sygnały EA mierzono szerokopasmowym przetwornikiem akustoelektrycznym typu R3a firmy PAC. Zmierzony sygnał przesyłany był do przedwzmacniacza zintegrowanego z filtrem górnoprzepustowym o paśmie przepuszczania od 20 do 1000 kHz. Przelfiltrowany sygnał trafiał do wzmacniacza i po wzmocnieniu był rejestrowany na dysku komputera za

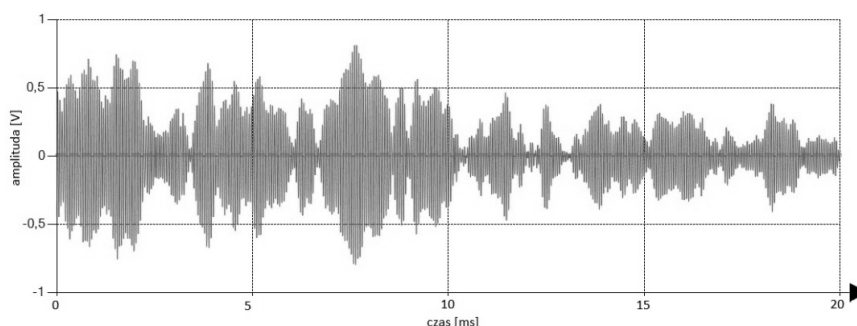
pośrednictwem karty pomiarowej częstotliwością próbkowania równą 1 MHz, oraz rozdzielczością 16 bitów.

Do zapisu opracowano program komputerowy, umożliwiający konfigurowanie parametrów pracy karty pomiarowej, zapisywanie danych w postaci binarnej, a także zapisujący, w nagłówku, parametry pomiaru.

Zarejestrowane sygnały analizowano przy użyciu autorskiego programu komputerowego [1], który umożliwia:

- usuwanie szumów z sygnałów z wykorzystaniem transformacji falkowej,
- obliczanie wybranych parametrów sygnałów EA (suma i tempo zliczeń, suma i tempo zdarzeń, wartość skuteczna sygnału [3],
- analizę częstotliwościową i czasowo-częstotliwościową sygnałów, dla poszczególnych zdarzeń oraz obliczanie uśrednionego widma dla całego pomiaru.

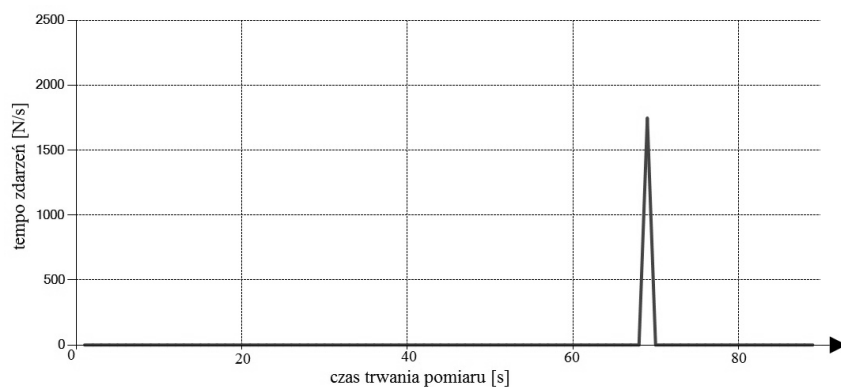
Na rys. 2-4 przedstawiono przykładowe wyniki analizy sygnałów EA, odpowiednio zarejestrowany sygnał, tempo zdarzeń i widmo amplitudowe zarejestrowanego sygnału, dla próby o parametrach: odległość międzyelektrodowa 3 mm, ciśnienie $3 \cdot 10^5$ Pa.



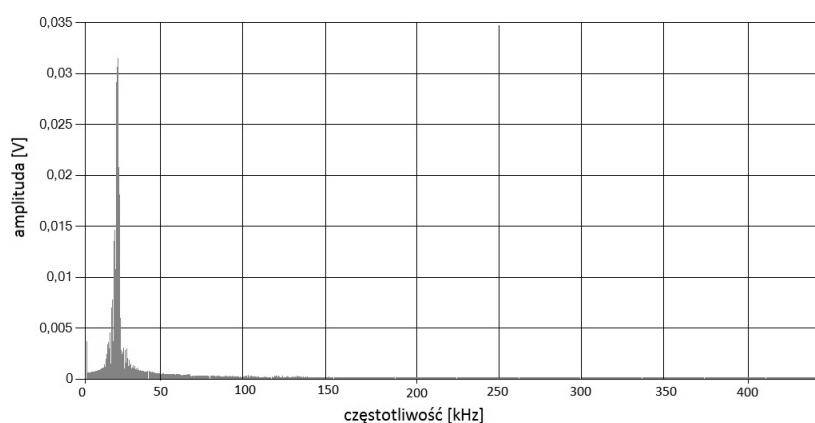
Rys. 2. Przykładowy sygnał EA zarejestrowany podczas pomiaru

W trakcie prób sygnały pojawiły się dopiero w końcowym etapie – tuż przed przebicciem. Takie wyniki potwierdzają poprawność montażu toru akustycznego (zwłaszcza mocowania przetwornika do obudowy) i pewną „odporność” układu akustycznego na rejestrację słyszalnych sygnałów akustycznych pojawiających się znacznie wcześniej, a związanych ze zjawiskiem ulotu w torze zasilającym.

Analizując tempo zdarzeń, można zauważyć, że zdarzenia akustyczne pojawiły się dopiero tuż przed przebicciem, ze stosunkowo dużą intensywnością. Natomiast widmo amplitudowe wyraźnie wskazuje pasmo częstotliwości dominujących w widmie, od 20 do 30 kHz z pomijalnie małymi amplitudami pozostałych częstotliwości.



Rys. 3. Tempo zdarzeń podczas pomiaru



Rys. 4. Przykładowe widmo amplitudowe sygnału EA zarejestrowanego podczas pomiaru

3. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących wykorzystania metody emisji akustycznej w badaniach nad przeskokiem w układach o izolacji gazowej. Przeprowadzono pomiary i analizę sygnałów towarzyszących przeskokowi.

Z wyników badań wypływają następujące wnioski:

- istnieje możliwość pomiaru i rejestracji sygnałów EA towarzyszących przeskokowi,
- w zarejestrowanych sygnałach można wskazać pasmo częstotliwości dominujących z przedziału od 20 do 30 kHz,

– metoda EA może być stosowana w celach diagnostyki (prognozowania przeskoku) wysokonapięciowych układów o izolacji gazowej.

Dalsze prace w przedmiotowej tematyce dotyczyć będą szczegółowej analizy sygnałów EA towarzyszących zjawisku przeskoku w wysokonapięciowych układach izolacyjnych o izolacji gazowej dla różnych parametrów układu elektrod: odległości międzyelektrodowej i ciśnienia gazu.

LITERATURA

- [1] Dobrzycki A., Mikulski S., Opydo W.: Analysis of acoustic emission signals accompanying the process of electrical treeing of epoxy resins, ICHVE 2014, Paper P-2-16, Poznań, Wrzesień 2014.
- [2] Morshuis P. H. F.: Partial discharge mechanisms, Delft University Press 1993.
- [3] Opydo W., Dobrzycki A.: Detection of electric treeing of solid dielectrics with the method of acoustic emission, Electrical Engineering (Archiv fur Elektrotechnik), March 2012, Volume 94, Issue 1, pp 37-48.
- [4] Skubis J., Relationships between acoustic and electric descriptors of partial discharges, Archives of Electrical Engineering, Vol. XLVII No 184-2/1998, Państwowe Wydawnictwa Naukowe, Warszawa 1998, ss. 120–126.
- [5] Skubis J., Wybrane zagadnienia z techniki i diagnostyki wysokonapięciowej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Politechnika Opolska 1998.
- [6] Tian Y., Levin P. L., Davies A. E., Richardson Z., PD pattern identification using acoustic emission measurement and neural networks, 11th International Symposium on High Voltage Engineering, ISH '99, London, United Kingdom, 23–27.08 1999.
- [7] Zakrzewski S., Opydo W., Effect of electrode material on electric strength of compressed air in uniform electric field, Poznan University of Technology, Academic Journals, Poznan 2010.

ANALYSIS OF ACOUSTIC EMISSION SIGNALS ACCOMPANYING THE BREAKDOWN IN AIR INSULATION SYSTEM

The paper presents basic research of using acoustic emission method to analyze quality of insulation system with compressed air.

Additionally performed analysis of acoustic emission signals accompanying the breakdowns in the insulation system with aluminum electrodes where electrode surface covered with double insulation layer composed of aluminum oxide and polyurethane or silicon paint. The tests have been carried out under the SF₆ pressure of $1 \cdot 10^5$, $3 \cdot 10^5$ and $5 \cdot 10^5$ Pa to alternate voltage of 50 Hz frequency.

Indicated the advantages and disadvantages use of EA in the context of the electric insulation condition. Showed results confirmed use of EA for detect of big risk areas and for analyzing insulation system lifetime.