

Arkadiusz DOBRZYCKI¹, Władysław OPYDO^{1,2}

¹ POLITECHNIKA POZNAŃSKA, INSTYTUT ELEKTROTECHNIKI I ELEKTRONIKI PRZEMYSŁOWEJ, ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań

² UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNO-PRZYRODNICZY, INSTYTUT ELEKTROTECHNIKI, Al. Prof. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

Metoda emisji akustycznej w badaniu procesu drzewienia elektrycznego dielektryków stałych

Dr inż. Arkadiusz DOBRZYCKI

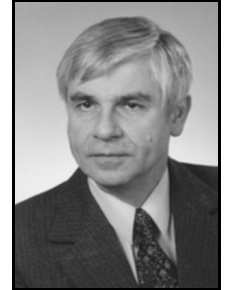
Urodzony w 1977 r. w Poznaniu. W roku 2001 ukończył studia na wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej i rozpoczął pracę w Instytucie Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej. Pracę doktorską obronił w 2008 roku. Jego zainteresowania naukowe związane są z wykorzystaniem nieelektrycznych metod diagnostyki stanu urządzeń elektrycznych i elektroenergetycznych.



e-mail: arkadiusz.dobrzycki@put.poznan.pl

Prof. dr hab. inż. Władysław OPYDO

Ukończył w 1968 r. Wydział Elektryczny Politechniki Poznańskiej (PP), kierunek Elektrotechnika. Pracę doktorską obronił w 1975 r., stopień dr hab. uzyskał w 1987 r., a tytuł naukowy prof. w 2004 r. W latach 1976-1977 odbył roczny staż naukowy na Wydziale Elektrycznym Uniwersytetu w Windsor, w Kanadzie. Jego zainteresowania naukowe dotyczą techniki wysokich napięć, właściwości elektrycznych wysokonapięciowych układów izolacyjnych oraz metod zapobiegania korozji.



e-mail: wladyslaw.opydo@put.poznan.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań związanych z wykorzystaniem metody emisji akustycznej w detekcji procesu drzewienia elektrycznego dielektryków stałych. Podano opis wykorzystanego w badaniach stanowiska pomiarowego oraz opisaną metodę analizy zarejestrowanych sygnałów. Przedstawiono przykładowe wyniki badań próbek polimetakrylanu metylu oraz polietylenu sieciowanego. Wskazano na możliwość zastosowania metody emisji akustycznej do detekcji procesu drzewienia oraz przedstawiono zależności pomiędzy wybranymi parametrami sygnałów a obecnością i intensywnością procesu drzewienia.

Słowa kluczowe: emisja akustyczna, drzewienie elektryczne, badania nieniszczące, izolacja wysokonapięciowa.

Acoustic emission method in research of electrical treeing in solid dielectrics

Abstract

The paper presents use of the acoustic emission (AE) method in the study of electrical treeing process in solid dielectrics. The second section presents a measurement stand and the way of preparing samples for testing. The third section contains a summary description of the AE signal analysis and sample results for methyl polymethacrylate (crosslinked polyethylene also was tested). The studies showed the presence of EA signals associated with electrical treeing process. Initiation of this process is accompanied by increase in the counts and events rate of EA. These indicators remain at a high level during treeing. When the process stops, their values decrease. The significant increase in the signal RMS value means intense treeing. The frequency and time-frequency analysis can show the dominant frequency in the signal during treeing. And so, treeing in methyl polymethacrylate is accompanied by signals from the range 40 - 50 kHz, while signals accompanying treeing in crosslinked polyethylene are from the range 20 - 30 kHz.

Keywords: acoustic emission, electrical treeing, nondestructive testing, highvoltage insulation.

1. Wstęp

Rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną, obserwowane zwłaszcza w dużych ośrodkach przemysłowych i miejskich, oraz malejące zasoby terenów wolnych od zabudowy wymuszają stosowanie sieci elektroenergetycznych o coraz to wyższych napięciach zasilających te ośrodki. Narzuca to konieczność miniaturyzacji urządzeń elektroenergetycznych, co powoduje, że ich wysokonapięciowa izolacja jest poddawana coraz to większym naprężeniom elektrycznym.

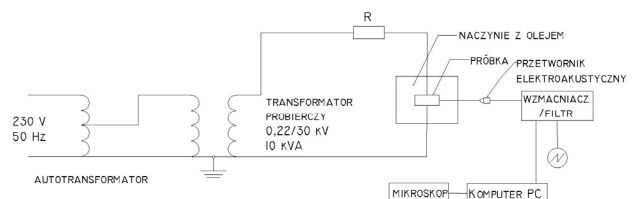
Pod wpływem pola elektrycznego w wysokonapięciowej izolacji urządzeń powstają wyladowania niepełne (WNZ). Ich obecność jest informacją o stanie tej izolacji. Jeśli wysokonapięciową izolację tworzą dielektryki stałe, to WNZ często towarzyszy proces drzewienia elektrycznego tych dielektryków. Proces ten polega

na tworzeniu się w strukturze dielektryku stałego półprzewodzących kanalików. Jest on nieodwracalny, prowadzi do destrukcji dielektryku, a w końcowej fazie do małorezystancyjnego zwarcia elektrod.

Prowadzone przez nas badania dotyczą wykorzystania metody emisji akustycznej (EA) do detekcji procesu drzewienia elektrycznego. Metoda EA polega na rejestracji, pomiarze i analizie parametrów fal sprężystych emitowanych przez WNZ oraz proces drzewienia elektrycznego.

2. Opis stanowiska pomiarowego

W badaniach wykorzystano stanowisko pomiarowe, którego schemat przedstawiono na rysunku 1. Sygnały akustyczne emitowane przez WNZ oraz proces drzewienia elektrycznego próbek dielektryków stałych były zamieniane na sygnały elektryczne przez piezoelektryczny przetwornik akustoelektryczny połączony z przedwzmacniaczem i wzmacniaczem. Następnie sygnały te były rejestrowane na dysku twardym komputera, z wykorzystaniem karty pomiarowej.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego

Fig. 1. Schematic diagram of a measurement stand

Badane próbki dielektryków miały kształt prostokąta o wymiarach 4×10×25 mm i były wykonane z polimetakrylanu metylu lub polietylenu sieciowanego. Jedną z podstaw próbek (o wymiarach 4×25 mm) pokrywano lakierem przewodzącym i łączono z zaciskiem wysokiego napięcia transformatora próbiecznego. W przeciwległą podstawę próbki wkręcano igłę chirurgiczną, którą łączono z uzmiemionym zaciskiem transformatora. Odległość międzyelektrodową regulowano wkręcając igłę w dielektryk na określoną głębokość. Tak przygotowaną próbkę umieszczano w prostokątnym, wykonanym z polimetakrylanu metylu, wypełnionym olejem transformatorowym, pojemniku. Pojemnik ten umieszczano pod mikroskopem. Umożliwilo to obserwację rozwoju procesu drzewienia. Obraz z mikroskopu rejestrowano (co 1 minutę) na dysku twardym komputera. Do tego celu wykorzystano kamerę CCD i zainstalowaną w komputerze kartę telewizyjną.

Szczegółowy opis stanowiska pomiarowego i jego elementów zawiera praca [1].

3. Przykładowe wyniki badań i ich omówienie

Przed przystąpieniem do analizy zarejestrowanych sygnałów emisji akustycznej usuwano z nich szumy.

Do usuwania szumów z sygnałów stosowano opracowaną w środowisku MatLab, procedurę numeryczną wykorzystującą transformację falkową. W procedurze tej po wczytaniu do pamięci komputera danych (zarejestrowany fragment sygnału), proces usuwania szumów polegał na:

- dekompozycji sygnału (obliczaniu współczynników falkowych),
- analizie wartości progowych współczynników falkowych i ich korekcji (tzw. „wygładzanie”),
- rekonstrukcji sygnału, na podstawie zmodyfikowanych współczynników falkowych.

Oprócz transformacji falkowej, do eliminacji szumów z sygnału, często wykorzystywanym sposobem, stosowanym np. w oscyloskopach, jest uśrednianie. W tych badaniach uśrednianie wykorzystano w procesie wyznaczania widma sygnałów. Polegało ono na wyznaczeniu wartości średniej każdej składowej widma. Przy tym analizowano sygnały zarejestrowane w jednosekundowych przedziałach czasowych.

Szczegółowy opis metod usuwania szumów z zarejestrowanych sygnałów przedstawiono w pracy [2].

Po usunięciu szumów z sygnałów obliczano i analizowano wartości wybranych deskryptorów (parametrów) sygnałów. Analizowano: sumę i tempo zliczeń, sumę i tempo zdarzeń emisji akustycznej oraz wartość skuteczną sygnałów EA.

Suma zliczeń emisji akustycznej (ΣEA) jest sumą liczby amplitud sygnałów przekraczających arbitralnie przyjęty poziom dyskryminacji, zliczoną w określonym czasie. Natomiast tempo zliczeń ($\Sigma EA/\Delta t$) jest sumą zliczeń odniesioną do czasu pomiaru (Δt) [4].

Sumę zdarzeń akustycznych (ΣN) definiuje się jako liczbę zdarzeń, których obwiednie (a nie amplitudy jak w przypadku sumy zliczeń) przekraczają arbitralnie przyjęty poziom dyskryminacji, zliczonych w określonym czasie. Natomiast tempo zdarzeń ($\Sigma N/\Delta t$) jest sumą zdarzeń odniesioną do czasu pomiaru [4].

Wartość skuteczną sygnału elektrycznego na wyjściu przetworznika elektroakustycznego (A_{RMS}) definiuje się jako [3]:

$$A_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (1)$$

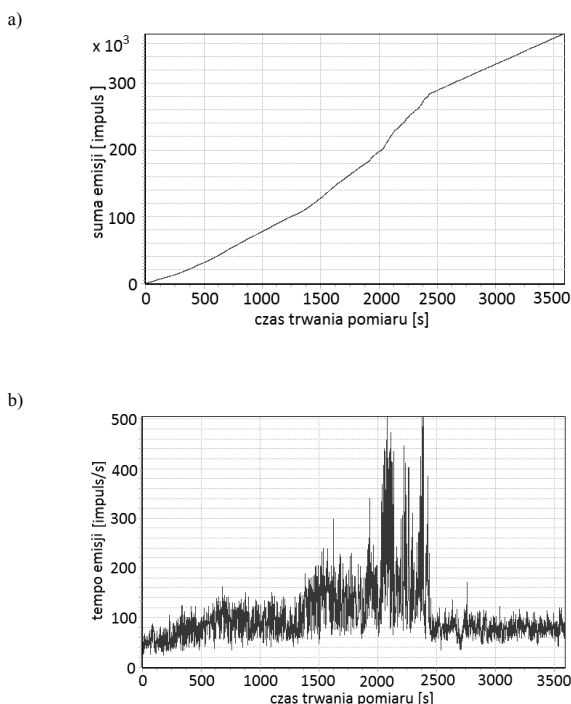
gdzie: $u(t)$ – przebieg czasowy napięcia na wyjściu z przetworznika, T – czas trwania impulsu.

Analizowane deskryptory pozwoliły znaleźć związek między intensywnością emisji akustycznej a intensywnością drzewienia (na podstawie sumy i tempa zliczeń oraz sumy i tempa zdarzeń) oraz umożliwiły znalezienie zależności między energią sygnałów EA a rozwojem drzewienia.

W celu wyznaczenia pasm częstotliwości związanych z procesem drzewienia elektrycznego, wykonano analizę częstotliwościową i czasowo-częstotliwościową. Badania te prowadzono przy użyciu opracowanych programów komputerowych i procedur numerycznych, które omówiono w pracy [2].

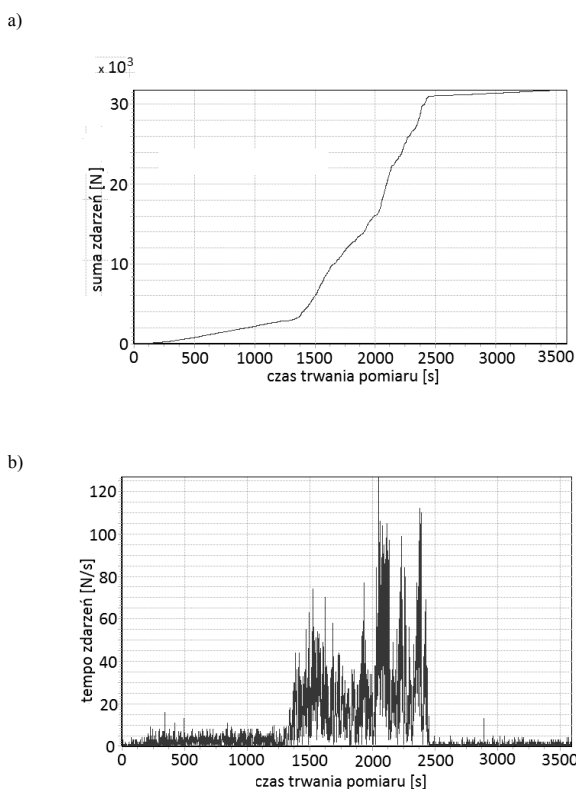
Na rysunkach 2 ÷ 4 przedstawiono (odpowiednio) zmiany w czasie pomiaru wartości następujących deskryptorów sygnałów EA (zarejestrowanych podczas drzewienia elektrycznego próbki wykonanej z polimetakrylanu metylu): sumy i tempa zliczeń, sumy i tempa zdarzeń oraz wartości skutecznej. Natomiast na rys. 5 przedstawiono widmo częstotliwościowe i spektrogram sygnałów EA zarejestrowanych w trakcie pomiaru. W badaniach tych

napięcie międzyelektrodowe miało wartość 10 kV a odległość między elektrodami wynosiła 1 mm.



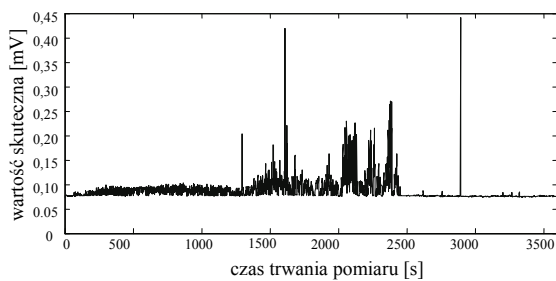
Rys. 2. Zmiany sumy a) i tempa zliczeń b) sygnałów EA w czasie drzewienia elektrycznego próbki wykonanej z polimetakrylanu metylu

Fig. 2. Values of counts sum a) and rate b) of AE signals during electrical treeing in methyl polymethacrylate



Rys. 3. Zmiany sumy a) i tempa zdarzeń b) sygnałów EA w czasie drzewienia elektrycznego próbki wykonanej z polimetakrylanu metylu

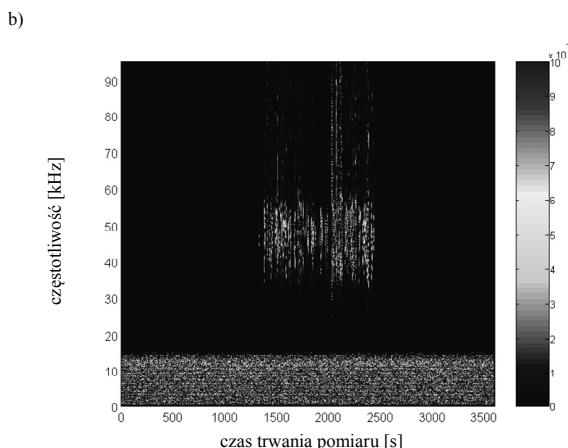
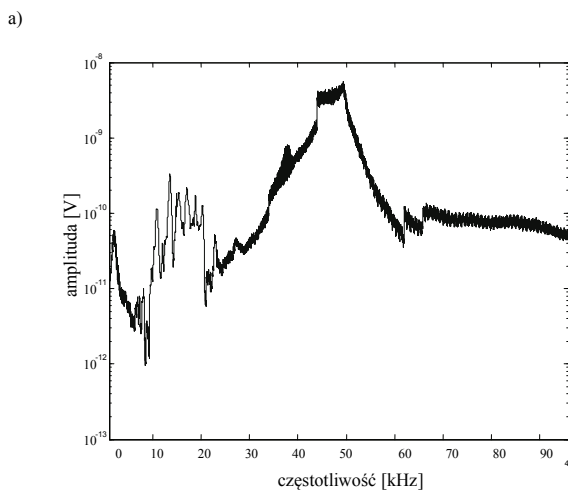
Fig. 3. Values of events sum a) and events rate b) of AE signals during electrical treeing in methyl polymethacrylate



Rys. 4. Zmiany wartości skutecznej sygnałów EA w czasie drzewienia elektrycznego próbki wykonanej z polimetakrylanu metylu
Fig. 4. RMS value of AE signals during electrical treeing in methyl polymethacrylate

Z rys. 2÷4 wynika, że procesowi drzewienia elektrycznego towarzyszył kilkudziesięciokrotny wzrost tempa zliczeń i tempa zdarzeń sygnałów EA. Przez cały czas drzewienia utrzymywał się podwyższony poziom wartości tych deskryptorów. Gdy rozwój drzewienia ulegał zatrzymaniu, wartości tych deskryptorów malały do poziomu sprzed inicjacji drzewienia.

Ponadto wartości skuteczne sygnałów EA zarejestrowanych w trakcie procesu drzewienia były kilkadziesiąt razy większe niż przy jego niewystępowaniu.



Rys. 5. Amplitudowe widmo częstotliwościowe a) i spektrogram b) sygnałów EA w czasie drzewienia elektrycznego próbki wykonanej z polimetakrylanu metylu

Fig. 5. Spectrum a) and spectrogram b) AE signals during electrical treeing in methyl polymethacrylate

Analiza częstotliwościowa i czasowo-częstotliwościowa sygnałów EA wykazała, że z drzewieniem elektrycznym dielektryków związane jest zwykle pewne pasmo charakterystyczne zależne od rodzaju dielektryku. W przypadku polimetakrylanu metylu jest to pasmo 40÷50 kHz, a w przypadku polietylenu sieciowanego pasmo 20÷30 kHz.

4. Wnioski

Z naszych badań wynikają następujące wnioski, ważne dla projektantów, diagnostów i użytkowników wysokonapięciowych urządzeń, w których stosowane są dielektryki stałe:

1. Procesowi drzewienia elektrycznego polimetakrylanu metylu i polietylenu sieciowanego towarzyszy emisja fal sprężystych o częstotliwościach akustycznych, których pomiary mogą służyć do diagnostyki stanu wysokonapięciowej izolacji wykonanej z tych dielektryków.
2. Inicjacji drzewienia elektrycznego w polimetakrylanie metylu i polietylenie sieciowanym towarzyszy wzrost tempa zliczeń i tempa zdarzeń emitowanych sygnałów akustycznych. Ponadto następuje zwiększenie kątów nachylenia charakterystyk zależności sumy zliczeń i sumy zdarzeń sygnałów EA od czasu trwania pomiaru.
3. Wskaźnikiem intensywności drzewienia w badanych dielektrykach jest wartość skuteczna emitowanych sygnałów akustycznych. Przy nagłym wzroście intensywności drzewienia następuje duży wzrost wartości tego deskryptora – o dwa a nawet czasy o trzy rzędy.
4. Wraz z inicjacją drzewienia elektrycznego polimetakrylanu metylu następuje bardzo silny wzrost amplitud składowych częstotliwościowych sygnałów EA z zakresu 40 ÷ 50 kHz. Natomiast inicjacji drzewienia elektrycznego polietylenu sieciowanego towarzyszy bardzo silny wzrost amplitud składowych częstotliwościowych sygnałów EA z zakresu 20 ÷ 30 kHz. Te różnice w pasmach częstotliwości są prawdopodobnie wynikiem różnic między wartościami współczynników sprężystości polimetakrylanu metylu i polietylenu sieciowanego.

5. Literatura

- [1] Dobrzycki A., Opydo W.: Stanowisko do badania sygnałów emisji akustycznej towarzyszących destrukcji polimetakrylanu metylu w silnym polu elektrycznym, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Seria Elektryka, nr 50, Poznań, 2006, ss.199-208.
- [2] Dobrzycki A.: Metoda emisji akustycznej w analizie i badaniu procesu drzewienia elektrycznego dielektryków stałych w silnym polu elektrycznym, Rozprawa doktorska przedłożona Radzie Wydział Elektrycznego Politechniki Poznańskiej, Poznań 2008.
- [3] Opydo W.: Właściwości gazowych i próżniowych wysokonapięciowych układów izolacyjnych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2008.
- [4] Skubis J.: Emisja akustyczna w badaniach izolacji urządzeń elektroenergetycznych, IPPT PAN, Warszawa, 1993.

otrzymano / received: 29.12.2010
przyjęto do druku / accepted: 04.04.2011

artykuł recenzowany