

Przemysław WITKOWSKI, Tomasz BOCZAR, Paweł KURTASZ
POLITECHNIKA OPOLSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI I INFORMATYKI,
INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI, KATEDRA WYSOKICH NAPIĘĆ

Analiza porównawcza wyładowań niezupełnych mierzonych metodą emisji akustycznej generowanych przy napięciu stałym i przemiennym

Mgr inż. Przemysław WITKOWSKI

Student studiów doktoranckich w dyscyplinie elektrotechnika prowadzonych na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Politechniki Opolskiej. Zainteresowania naukowe obejmują fizyczne aspekty zjawisk, występujących w urządzeniach energetycznych, zwłaszcza w zakresach najwyższych napięć.



e-mail: przemo1982@poczta.fm

Mgr inż. Paweł KURTASZ

Student studiów doktoranckich w dyscyplinie elektrotechnika prowadzonych na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Politechniki Opolskiej. Zainteresowania naukowe obejmują fizyczne aspekty zjawisk, występujących w urządzeniach energetycznych, zwłaszcza w zakresach najwyższych napięć.



e-mail: pawelkurtasz@wp.pl

Dr hab. inż. Tomasz BOCZAR

Prodziekan Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Kierownik Zakładu Wysokich Napięć. Autor ponad 160 publikacji z zakresu wykorzystania metod nieniszczących w diagnostyce wysokonapięciowych układów izolacyjnych.



e-mail: t.boczar@po.opole.pl

Streszczenie

W artykule zostały opisane wyniki analizy porównawczej sygnałów emisji akustycznej (EA) zarejestrowanych podczas generacji wyładowań niezupełnych (WZN) wewnątrz kadzi transformatorowej wypełnionej olejem izolacyjnym, przy zasilaniu napięciem stałym i przemiennym. Analizę uzyskanych wyników wykonano w dziedzinie częstotliwościowej przy zastosowaniu transformaty Fouriera (ang. FFT) oraz w dziedzinie czasowo – częstotliwościowej przy wykorzystaniu krótko czasowego przekształcenia Fouriera (ang. STFT). Głównym celem przeprowadzonych analiz porównawczych było określenie możliwości zastosowania napięcia stałego do wyzwalania układu pomiarowego i wyznaczania czasu propagacji sygnałów EA.

Słowa kluczowe: wyładowania niezupełne, metoda emisji akustycznej, analiza częstotliwościowa i czasowo-częstotliwościowa.

Comparative analysis of partial discharges measured using Acoustic Emission method and generated by DC and AC voltage

Abstract

In this paper the results of the researches on acoustic emission (AE) signals, which arise during the partial discharges (PD) generation inside transformer tank filled with synthetic oil, were described. Authors analysed AE signal evoked by DC and AC voltage. The signals registered as a function of time were then transformed into frequency domain using FFT and STFT. The solid voltage was used to determine the propagation time.

Keywords: acoustic emission method, partial discharges, analysis of signals.

1. Wprowadzenie

Tematyką niniejszego artykułu dotyczy doskonalenia metody emisji akustycznej (EA) w zastosowaniu do oceny stanu układów izolacyjnych urządzeń elektroenergetycznych, bazując na wynikach pomiarów wyładowań niezupełnych (WZN). Natomiast

szczegółowa problematyka związana jest z oceną przydatności zastosowania napięcia stałego do wyzwalania pomiarów i określenia możliwości wyznaczenia czasu propagacji sygnałów EA. Czas ten jest niezbędny do poprawnej lokalizacji obszaru występowania WZN w izolacji papierowo-olejowej, przy wykorzystaniu metody triangulacyjnej. Metoda triangulacyjna polega na pomiarze czasów opóźnień z jakimi sygnały EA generowane przez źródła WZN docierają do przetworników pomiarowych, umieszczonych w różnych punktach badanej kadzi transformatorowej [1].

Stosunkowo proste założenia pomiarowe metody są słuszne, lecz w przypadku pomiarów na obiektach energetycznych charakteryzujących się niejednorodnym ośrodkiem napotyka się na problemy związane z prawidłowym wyznaczeniem długości drogi i czasów propagacji sygnałów EA generowanych przez źródła WZN.

2. Podstawy teoretyczne wyznaczania lokalizacji miejsc generacji WZN

Zakłada się, że wewnątrz urządzenia elektroenergetycznego występują WZN w miejscu oznaczonym współrzędnymi położenia (x, y, z) . Przyjmuje się dalej, że na zewnętrznej ścianie kadzi $(0, y, z)$ zostanie umieszczony przetwornik pomiarowy o położeniu (x_{S1}, y_{S1}, z_{S1}) oraz dodatkowe przetworniki na ścianach o współrzędnych $(x, 0, z)$ i $(x, y, 0)$, oznaczone odpowiednio indeksami s_2 i s_3 . Przy takich założeniach odległość między źródłem WZN a przetwornikiem s_i będzie równa drodze, jaką musi pokonać sygnał EA generowany przez WZN. Przedstawiając drogę propagacji sygnałów EA jako iloczyn prędkości i czasu, przy uwzględnieniu, że dla ośrodka jednorodnego $V_S = \text{constans}$, można w prosty sposób wyznaczyć jej wartość. Wykonując tę operację w trzech płaszczyznach i wiedząc, że do kolejnych przetworników sygnał EA dociera z opóźnieniem τ , miejsce przecięcia się wyznaczonych dróg będzie położeniem źródła generacji WZN.

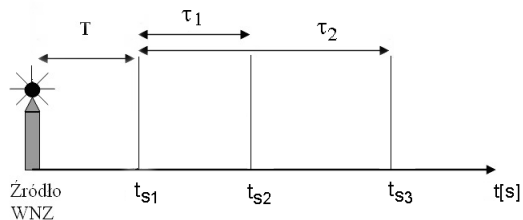
$$(x - x_{S1})^2 + (y - y_{S1})^2 + (z - z_{S1})^2 = (V_S * T)^2 \quad (1)$$

$$(x - x_{S2})^2 + (y - y_{S2})^2 + (z - z_{S2})^2 = [V_S * (\tau_2 + T)]^2 \quad (2)$$

$$(x - x_{S3})^2 + (y - y_{S3})^2 + (z - z_{S3})^2 = [V_S * (\tau_3 + T)]^2 \quad (3)$$

gdzie: x, y, z – współrzędne położenie źródła WZN, $x_{S1,2,3}, y_{S1,2,3}, z_{S1,2,3}$ – współrzędne położenie przetworników pomiarowych, V_S – prędkość rozchodzenia się fali akustycznej w danym ośrodku, τ_2, τ_3 – czas opóźnienia dojścia sygnału do przetworników s_2, s_3 , T – czas propagacji.

O ile z wyznaczeniem czasów τ_2 , τ_3 nie stanowi problemu ponieważ są one odczytywane bezpośrednio z przebiegów czasowych, tak istnieje istotna trudność z określeniem czasu propagacji T . Jest to czas opóźnienia z jakim sygnał wygenerowany przez WNZ w postaci fali akustycznej pokona drogę od momentu wystąpienia WNZ do chwili zarejestrowania go przez przetwornik pomiarowy rozpoczynający rejestrację danych pomiarowych (rys. 1).



Rys. 1. Opóźnienia czasowe z jakimi sygnał EA od WNZ dochodzi do kolejnych przetworników pomiarowych [2]

Fig. 1. The time dependences of signal EA from WNZ appear at the following measuring converters [2]

3. Sposób wyznaczenia czasu propagacji sygnałów EA od WNZ

Autorzy zaproponowali aby dla potrzeb realizowanych badań laboratoryjnych nad wyznaczeniem drogi propagacji sygnałów EA, generować WNZ przy zasilaniu iskierników je modelujących napięciem stałym (U_{dc}), którego włączanie sprzężono z „triggerem” karty pomiarowej wyzwalającym punkt odniesienia pomiaru czasu T . W odróżnieniu od napięcia zmiennego (U_{ac}), dla którego istnieją rzeczywiste trudności w określeniu, w jakiej części sinusoidy generowane są WNZ, przy napięciu stałym problem ten nie występuje. Wyznaczając w ten sposób czas propagacji T można analizować wpływ dróg rozchodzenia się fal akustycznych w złożonych geometrycznie obiektach, co w konsekwencji umożliwi przeniesienie uzyskanych w ten sposób wyników i doświadczeń praktycznych na obiekty rzeczywiste.

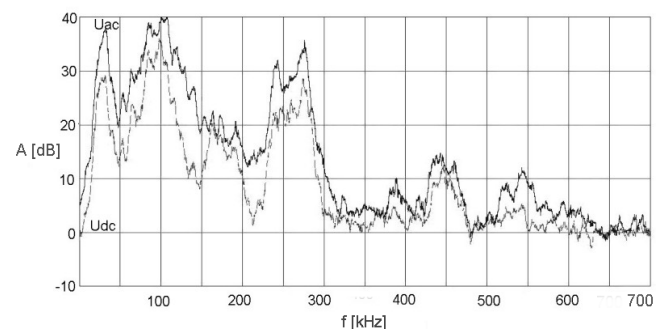
W celu określenia zakresu praktycznych możliwości wykorzystania tej metody przeprowadzono szereg pomiarów i analiz porównawczych, generując WNZ w układach modelujących wyładowania ostrze-ostrze i ostrze-płyta z warstwą izolacji papieru elektroizolacyjnego o grubości 0,2 mm, który umieszczono między elektrodami iskierników. Szczegółowy opis zastosowanych iskierników, warunków metrologicznych, wykorzystanej aparatury pomiarowej, a także procedur numerycznych umożliwiających przeprowadzenie analizy częstotliwościowej i czasowo-częstotliwościowej zarejestrowanych sygnałów EA od WNZ przedstawiono w pracach [3, 4, 5].

4. Wyniki analizy częstotliwościowej i czasowo-częstotliwościowej

Na rys. 2, 3 przedstawiono przebiegi widm amplitudowych wyznaczonych przy zastosowaniu szybkiej transformaty Fouriera dla sygnałów EA generowanych w układzie ostrze-ostrze (rys. 2) oraz ostrze-płyta (rys. 3) z warstwą izolacji papierowej umieszczonej między elektrodami iskierników modelujących WNZ. W celu porównania zilustrowano widma amplitudowe obliczone przy napięciu stałym (U_{dc}) oraz napięciu zmiennym (U_{ac}).

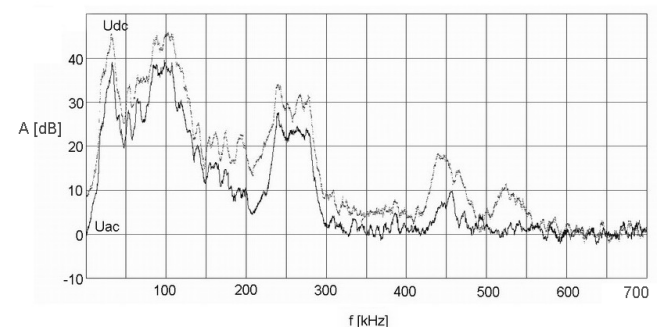
Natomiast na rys. 4, 5 przedstawiono wyniki analizy porównawczej uzyskane przy wykorzystaniu przekształcenia STFT. Rys. 4, 5 przedstawiają spektrogramy uzyskane przy napięciu stałym (rys. 4) i zmiennym (rys. 5), obliczone dla sygnałów EA generowanej w układzie ostrze-ostrze z przegrodą papierową w oleju izolacyjnym. W analogiczny sposób na rys. 6, 7 zilustrowano rezultaty uzyskane dla sygnałów EA zarejestrowanych w układzie

modelującym WNZ typu ostrze-płyta z przegrodą z papieru izolacyjnego.



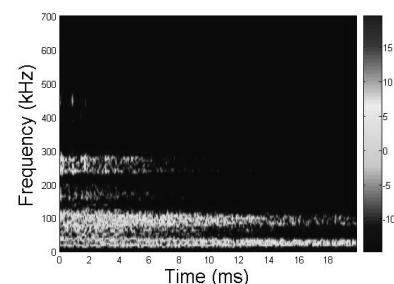
Rys. 2. Widma amplitudowe sygnałów EA generowanej przy napięciu stałym U_{dc} i przemiennym U_{ac} w układzie ostrze-ostrze z przegrodą izolacyjną

Fig. 2. The amplitude spectra's of EA signals generated by constant voltage U_{dc} and alternating U_{ac} in the blade-blade frame with the partition



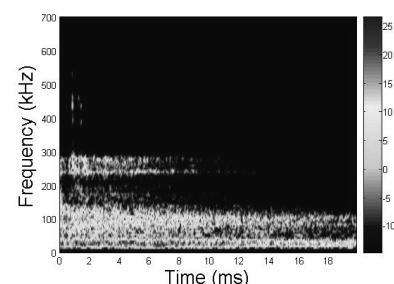
Rys. 3. Widma amplitudowe sygnałów EA generowanych przy napięciu stałym U_{dc} i przemiennym U_{ac} w układzie ostrze-płyta z przegrodą

Fig. 3. The amplitude spectra's of EA signals generated by constant voltage U_{dc} and alternating U_{ac} in the blade-plate frame with the partition



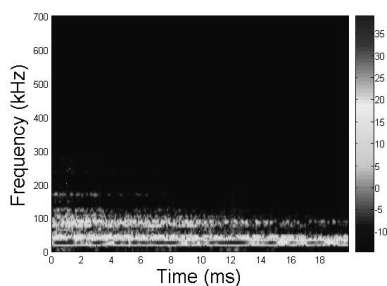
Rys. 4. Spektrogram STFT sygnałów EA generowanych przy napięciu stałym w układzie ostrze-ostrze z przegrodą izolacyjną

Fig. 4. The spectrogram STFT of EA signals generated by constant voltage U_{dc} in the blade-blade frame with the partition



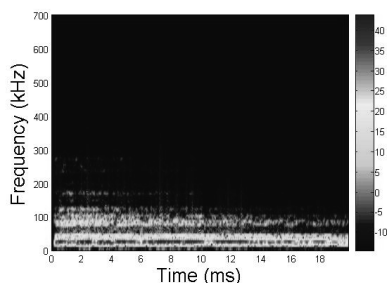
Rys. 5. Spektrogram STFT sygnałów EA generowanych przy napięciu przemiennym w układzie ostrze-ostrze z przegrodą izolacyjną

Fig. 5. The spectrogram STFT of EA signals generated by alternating U_{ac} in the blade-blade frame with the partition



Rys. 6. Spektrogram STFT sygnałów EA generowanych przy napięciu stałym w układzie ostrze- płyta z przegrodą izolacyjną

Fig. 6. The spectrogram STFT of EA signals generated by constant voltage U_{dc} in the blade-plate frame with the partition



Rys. 7. Spektrogram STFT sygnałów EA generowanych przy napięciu przemiennym w układzie ostrze- płyta z przegrodą izolacyjną

Fig. 7. The spectrogram STFT of EA signals generated by alternating U_{ac} in the blade-plate frame with the partition

5. Analiza uzyskanych wyników

Porównując otrzymane wyniki analizy częstotliwościowej i czasowo-częstotliwościowej sygnałów EA od WNZ, można stwierdzić brak znaczących różnic między widmami sygnałów źródeł WNZ zasilanych napięciem stałym i przemiennym. Na podstawie widma amplitudowego (rys. 2, 3) można przedstawić dominujące pasma częstotliwości, które występują w zakresach: (80-120) kHz i (230-270) kHz. Analizując spektrogramy STFT dla układu ostrze-ostrze (rys. 4, 5) częstotliwości dominujące również wystę-

pują w tych samych zakresach, jednak w związku z małą rozdzielczością osi rzędnych nie są one tak wyraźne jak odczyty uzyskane z widm amplitudowych. Podobieństwa dominujących zakresów częstotliwości (80-120) kHz i (170-180) kHz występują również dla układu ostrze-płyta co przedstawiono na rys. 6, 7. Uzyskanie wyników potwierdza możliwość wykorzystania napięcia stałego do zasilania WNZ wraz ze sprzężeniem wyzwalacza (triggera) karty pomiarowej, co z kolei pozwoli na wyznaczanie czasu propagacji T . W ten sposób będzie możliwe określenie praktycznej przydatności algorytmów lokalizacji miejsc generacji WNZ.

W dalszych pracach naukowo badawczych autorzy artykułu zamierzają zastosować sztuczną sieć neuronową, jako narzędzia obliczeniowego do wyznaczenia obszarów generacji WNZ mierzonych metodą EA. Ponadto zostaną przeprowadzone badania laboratoryjne zmierzające do zamodelowania warunków propagacji fal akustycznych w jednorodnych i niejednorodnych ośrodkach generacji z wykorzystaniem programu komputerowego COMSOL Multiphysics.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę jako projekt badawczy nr R01 006 01.

6. Literatura

- [1] Skubis J. „Emisja akustyczna w badaniach izolacji urządzeń elektroenergetycznych” Opole 1998r.
- [2] Sacha M. Markalous, Detection and Localization of Partial Discharges In Power Transformers using acoustic and electromagnetic signals, Stuttgart 2006
- [3] Boczar T. "Identification of a specific type of partial discharges form acoustic emission frequency spectra", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 8, No. 4, pp. 598 - 606, 2001
- [4] Boczar T., Zmarzły D. "Application of wavelet analysis to acoustic emission pulses generated by partial discharges", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 11, No. 3, pp. 433-449, 2004
- [5] Boczar T., Zmarzły D. : "Multi resolution Analysis of the Acoustic Emission Pulses Generated by Partial Discharges", INSIGHT - The Journal of the British Institute of Non-Destructive Testing, Vol. 45, No. 7, Great Britain, 2003, pp. 488-492.

Artykuł recenzowany

RECENZJE

cd. ze str. 712

W rozdziale 10 omówiono regulatory PID oraz różne metody doboru ich parametrów. Omówiono też układy przekaźnikowe oraz problem filtracji w tych układach. Klasycznym metodom częstotliwościowym syntezy układów jest poświęcony rozdział 11. Wprowadzono pojęcie funkcji wrażliwości, problem wyznaczania odpowiedzi dla zadanych sygnałów wymuszeń oraz projektowanie układów ze sprzężeniem zwrotnym. Rozważania ogólne zilustrowano interesującymi i trafnie dobranymi przykładami. Ostatni rozdział 12 jest poświęcony układom o niepewnych parametrach. Omówiono modelowanie układów o niepewnych parametrach, parametryzację Youla oraz odporne przesuwanie biegunów w takich układach. Wprowadzono pojęcia wolnych i szybkich biegunów oraz syntezę takich układów przy kwadratowych wskaźnikach jakości.

Każdy z rozdziałów kończy się punktem „Further Reading”, w którym autorzy omawiają pozycje literatury, w których można znaleźć dalsze rozwinięcie zagadnień poruszonych w tym rozdziale. Na końcu każdego rozdziału podane są też przykłady do samodzielnego rozwiązania. Książka ta jest podsumowaniem wieloletnich doświadczeń autorów, którzy prowadzili wykłady na różnych uniwersytetach w Ameryce i Europie. Jest to więc książka pomocnicza, którą można polecić również jako podręcznik do wykładów z teorii sterowania prowadzonych dla studentów różnych kierunków nie tylko uczelni technicznych. Można ją również polecić inżynierom interesującym się problemami projektowania praktycznych układów sterowania.

Opracowanie: Prof. dr hab. inż. Tadeusz KACZOREK