



Tomasz Boczar*

MOŻLIWOŚCI IDENTYFIKACJI FORMY WYŁADOWANIA NA PODSTAWIE WIDMA CZĘSTOTLIWOŚCIOWEGO JEGO EMISJI AKUSTYCZNEJ

Streszczenie: W referacie scharakteryzowano cztery podstawowe formy wyładowań niepełnych występujących w technicznych układach izolacyjnych. Dla wyładowań występujących na cząstkach o nieokreślonym potencjale, określono widma częstotliwościowe impulsów emisji akustycznej generowanej przez te wyładowania. Wyznaczono także wartości deskryptorów charakteryzujących mierzone impulsy emisji akustycznej w dziedzinie częstotliwości. W konkluzji przedstawiono możliwości identyfikacji formy wyładowania na podstawie znajomości widma i parametrów je charakteryzujących.

Słowa kluczowe: EA – emisja akustyczna, wnz – wyładowania niepełne

1. Zdefiniowanie zagadnienia

Jedną z metod nieniszczących wykorzystywanych w diagnostyce izolacji urządzeń elektroenergetycznych jest metoda EA. Znajduje ona zastosowanie w detekcji, pomiarze i lokalizacji wnz występujących w układach izolacyjnych. Coraz większe wymagania stawiane informacjom uzyskiwanym przy użyciu metody EA są powodem jej intensywnego rozwoju. W ostatnich latach postęp badań uwarunkowany jest doskonaleniem układów pomiarowych wykorzystujących osiągnięcia techniki komputerowej oraz zastosowaniem własności i procedur cyfrowego przetwarzania sygnałów. Coraz częściej problemem nie jest rejestracja EA generowanej przez wnz, ale właściwa analiza i interpretacja uzyskiwanych wyników pomiarowych [4, 6, 11].

* Politechnika Opolska, ul. Sosnkowskiego 31, 45-233 Opole

Ważnym zagadnieniem pozostaje określenie wartości parametrów charakteryzujących impulsy EA, zwanych deskryptorami, które są bezpośrednio skorelowane ze stanem mierzonej izolacji oraz zawierają informacje najistotniejsze dla oceny wnz. Zestawienie i opis matematyczny wykorzystywanych w praktyce metrologicznej deskryptorów EA przedstawiono m. in. w pracach [5, 6, 7].

Nierozwiązanym problemem pozostaje nadal możliwość identyfikowania typu wyładowania elektrycznego, w oparciu o znajomość widm częstotliwościowych generowanych impulsów EA przez to wyładowanie.

Wykonanie analizy częstotliwościowej, polegającej na wyznaczeniu szybkiej transformacji Fouriera oraz na określeniu widm amplitudowego i gęstości energii zmierzonych impulsów EA, umożliwi właściwy dobór parametrów aparatury pomiarowej wykorzystywanej w metodzie EA. Znajomość widm częstotliwościowych oraz wartości deskryptorów charakteryzujących impulsy EA generowane przez różne formy wnz pozwoli ponadto na wybór odpowiednich sposobów wzorcowania aparatury pomiarowej stosowanej w metodzie EA oraz umożliwi ocenę intensywności i lokalizację wnz, a także fizyczną interpretację uzyskiwanych wyników pomiarowych. Analizę częstotliwościową wykonano dla różnych długości przedziałów czasowych w zakresie od kilku ms do kilkudziesięciu ms. Brano więc pod uwagę ciągi impulsów EA pochodzące od serii wyładowań generowanych w czasie trwania kolejnych półokresów, a także pojedyncze impulsy EA od wyodrębnionych pojedynczych wyładowań. Teoretyczne zagadnienia związane z możliwościami wykorzystania opisu impulsów EA w dziedzinie częstotliwości do oceny wnz zostały podjęte m. in. w pracach [8, 9, 10].

W publikacjach dotyczących problematyki wnz można spotkać się z różnymi kryteriami ich klasyfikacji. Możliwy jest podział w oparciu o kryterium energetyczne jak również w zależności od geometrii i rodzaju dielektryka, w którym wnz są generowane. W artykule przyjęto podział, który daje możliwość wyodrębnienia najważniejszych form wnz, mogących występować w izolacji urządzeń elektroenergetycznych podczas ich eksploatacji. Z tego punktu widzenia wyładowania można sklasyfikować w następujący sposób:

- wyładowania typu ostrze- płyta w oleju,
- wyładowania powierzchniowe,
- wyładowania w pęcherzykach gazowych występujących w oleju,
- wyładowania w układzie z cząstkami o nieokreślonym potencjale, które przemieszczają się w oleju.

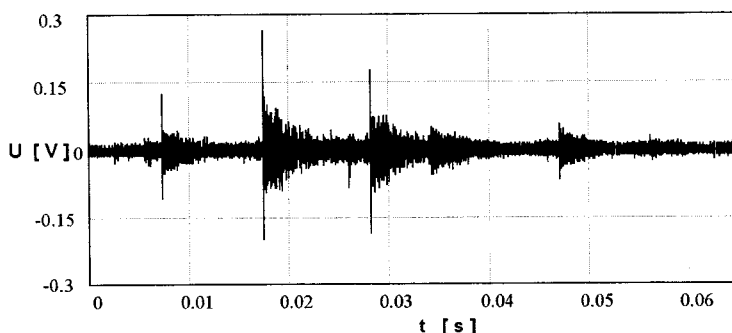
2. Dobór parametrów metrologicznych rejestrowanych impulsów EA

Do generacji wyładowań w układzie z cząstkami o nieokreślonym potencjale wykorzystano iskiernik wieloostrze-płyta uziemiona, który umieszczono w specjalnym uchwycie mocującym, w zbiorniku wypełnionym olejem izolacyjnym. Pomiędzy elektrody wprowadzano opilki miedziane. Pomiaru impulsów EA od wnz generowanych w układzie wykonano przy napięciu równym 20 kV, które stanowiło 80% U_p (napięcia przebicia). Czas pomiaru wynosił 1 s. Zagadnienia związane z charakterystyką

techniczną zastosowanych układów pomiarowych oraz z określeniem warunków metrologicznych, a także ze sposobem analizy częstotliwościowej zostały przedstawione w pracach [1, 2, 3].

3. Charakterystyki zmierzonych impulsów EA

Zarejestrowane impulsy EA od wnz generowanych w wykonanym układzie, występują cyklicznie w kolejnych okresach sinusoidalnego napięcia zasilającego. Na charakterystyce czasowej (rys. 1) widoczne są wyładowania występujące w dodatnim i ujemnym półokresie. Po przeprowadzeniu analizy częstotliwościowej stwierdzono, że dla przyjętego układu generacji wnz i przy zadanej wartości napięcia generacji wnz ($80\% U_p$), niezależnie od długości analizowanego przedziału czasowego charakterystyki widm gęstości amplitudy i energii mają powtarzalny taki sam kształt dla wyładowań generowanych w obu półokresach.



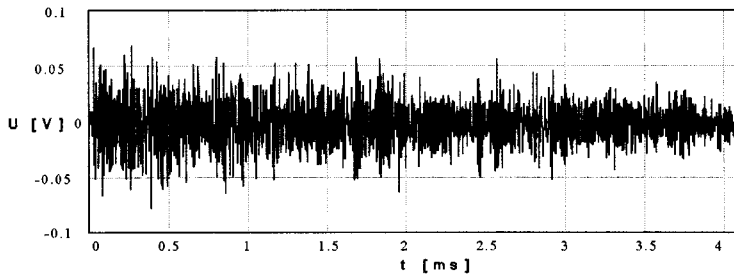
Rys. 1. Przebieg czasowy impulsów EA emitowanej przez wyładowania generowane na cząstkach o nieokreślonym potencjale w przedziale czasu od 0 ms do 65 ms, przy $U = 80\%U_p$

Do prezentacji graficznej w artykule, wybrano przebiegi od wyładowań generowanych w dodatnim półokresie o długości analizowanego przedziału czasowego 4,096 ms. Dla wyznaczonych widmowych gęstości amplitudy i energii obliczono wartości następujących deskryptorów: wartość maksymalną E_{MAX} , częstotliwość dla wartości maksymalnej widma f_{MAX} , wartość średnią E_S , wartość skuteczną E_{RMS} , współczynnik szczytowy W , wariancję σ^2 , częstotliwość medialną f_{MED} , odchylenie standardowe σ .

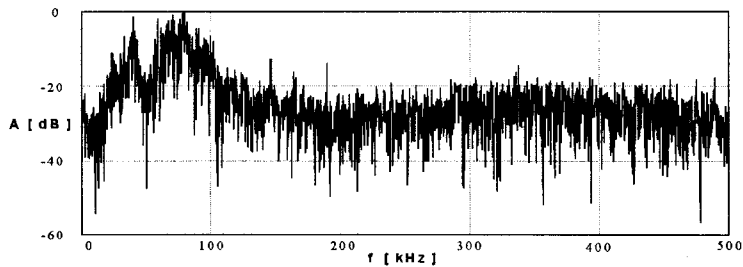
Obliczenia zostały wykonane osobno dla dodatniego i ujemnego półokresu w oparciu o wzory zdefiniowane w pracach [5, 6, 7].

4. Omówienie i fizyczna interpretacja wyników

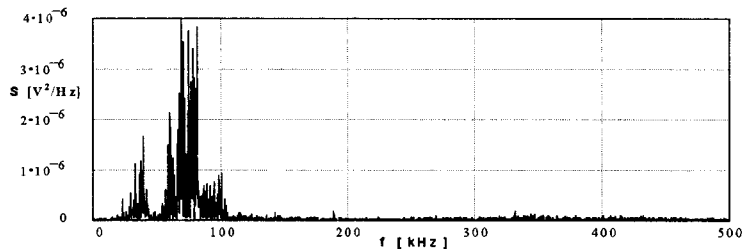
Poddając analizie przebiegi charakterystyk czasowych zmierzonych impulsów EA można stwierdzić, że otrzymano zbliżony kształt przebiegów czasowych dla impulsów EA generowanych w dodatnim i ujemnym półokresie. Czas generacji serii impulsów EA od wyładowań dla obu półokresów zawierał się w przedziale od 4 do 6 ms, czas



Rys. 2. *Przebieg czasowy impulsów EA emitowanej przez wyładowania występujące w układzie z cząstkami o nieokreślonym potencjale, w dodatnim półokresie napięcia, przy $U = 80\%U_p$*



Rys. 3. *Widmo częstotliwościowe impulsów EA emitowanej przez wyładowania występujące w układzie z cząstkami o nieokreślonym potencjale, w dodatnim półokresie napięcia, przy $U = 80\%U_p$*



Rys. 4. *Przebieg widma gęstości energii przenoszonej przez poszczególne częstotliwości dla impulsów EA emitowanej przez wyładowania występujące w układzie z cząstkami o nieokreślonym potencjale w dodatnim półokresie napięcia, przy $U = 80\%U_p$*

trwania pojedynczego wyładowania wynosił średnio 10 ms. Amplituda impulsów EA nie przekraczała $\pm 0,3$ V.

Analizując otrzymane wyniki pomiarowe w oparciu o charakterystyki częstotliwościowe zarejestrowanych impulsów EA można stwierdzić, że:

- dla wyładowań generowanych w obu półokresach otrzymano takie same, powtarzalne przebiegi widm gęstości amplitudy i energii,

- widma amplitudy i gęstości przenoszonej energii mają dominujące częstotliwości w następujących zakresach: 20–40 kHz oraz 60–100 kHz dla przyjętego progu dyskryminacji równego -10 dB. Przez częstotliwości z wyżej wymienionych zakresów przenoszona jest główna część energii wyładowań,
- w analizowanych widmach nie występują częstotliwości rezonansowe,
- średnia wartość częstotliwości medialnej wynosiła dla widma amplitudowego 98,63 kHz, a dla widma gęstości energii 74,42 kHz,
- uśredniona wartość współczynnika szczytowego wynosiła dla widma amplitudowego 3,74, natomiast dla widma gęstości energii 14,0,
- wartość średnia częstotliwości dla maksimum widma wynosiła dla widma amplitudowego i gęstości energii 78,86 kHz,
- wartości średnia, skuteczna i maksymalna określone dla widma amplitudowego wynosiły odpowiednio: 0,17; 0,54; 2,04 mV, natomiast dla widma gęstości energii: 0,08; 0,3; 4,14 mV²/Hz,
- średnia wartość wariancji wynosiła 0,05 mV² przy widmie amplitudowym i 0,09 mV⁴/Hz przy widmie gęstości energii.

5. Podsumowanie

Pomiary i analiza widm impulsów akustycznych emitowanych przez wnz występujące w układzie z cząstkami o nieokreślonym potencjale stanowią jeden z etapów badań widm częstotliwościowych pochodzących od różnych form wyładowań jakie zostały wykonane w ramach projektu badawczego [3]. W ramach grantu przeprowadzono badania dla wyładowań jednoźródłowych, jednokrotnych i jednego typu dla każdej z wymienionych form wnz. Wyniki analizy dla układu ostrze — płyta zostały przedstawione w pracy [1], natomiast dla wyładowań powierzchniowych w artykule [2]. Określone zakresy dominujących częstotliwości i wyznaczone wartości deskryptorów dla widm impulsów od wnz w badanym układzie generacji można wykorzystać do analizy porównawczej impulsów EA mierzonych w różnych układach. Przeprowadzenie takiej analizy pozwoli odpowiedzieć na pytanie, czy w oparciu o znajomość charakterystyk częstotliwościowych i deskryptorów EA istnieje możliwość jednoznacznej identyfikacji formy wyładowania, od którego pochodzą. Ma to znaczenie praktyczne w ocenie stanu układów izolacyjnych takich urządzeń elektroenergetycznych jak: transformatory mocy, przekładniki i kondensatory elektroenergetyczne.

Literatura

- [1] Boczar T.: *Analiza częstotliwościowa sygnałów emisji akustycznej generowanej przez wyładowania elektryczne*. 20 SPETO, 1997, s. 441–445
- [2] Boczar T.: *Widma sygnałów EA generowanych przez wyładowania powierzchniowe w oleju*. ZN Pol. Op. Elektryka z. 44, Opole 1996, s. 137–155
- [3] Boczar T., Skubis J.: Grant promotorski KBN nr 7T07B00208: *Analiza widm częstotliwościowych impulsów EA generowanych przez wnz. 1995–96*

- [4] **Kelen A.:** *Trends in PD Diagnostics. When New Options Proliferate, so do Old and New Problems.* IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 2 no. 4, August 1995, p. 529–534
- [5] **Malecki I., Witos Z.:** *Deskryptory emisji akustycznej.* Prace IPPT PAN Warszawa, nr 39, 1993
- [6] Praca zbiorowa: *Emisja akustyczna. Źródła, metody, zastosowania.* Pod redakcją **Maleckiego I. i Ranachowskiego J.** KBN – IPPT Warszawa, 1994
- [7] **Ranachowski Z.:** *Pomiar i analiza sygnału EA.* Prace IPPT PAN Warszawa nr 6, 1996
- [8] **Skubis J.:** *Analiza widma sygnałów akustycznych od wnz.* ZN WSI Opole, nr 86, Elektryka z. 21, 1983, s. 63–77
- [9] **Skubis J.:** *Emisja akustyczna w badaniach izolacji urządzeń elektroenergetycznych.* IPPT – PAN Warszawa, 1993
- [10] **Skubis J., Karnaś B.:** *Widmo amplitudowe sygnałów akustycznych emitowanych przez wnz.* ZN WSI Opole nr 111, Elektryka z. 22, 1985, s. 49–59
- [11] **Włodek R., Zydrón P.:** *Wybrane zagadnienia metod cyfrowego przetwarzania sygnałów pomiarowych wyładowań niezupetnych.* III Ogólnopolskie Sympozjum Inżynieria Wysokich Napięć. Poznań – Kiekrz, 1996, s. 193–199

POSSIBILITIES OF IDENTIFICATION OF DISCHARGES TYPES ON THE BASIS OF
FREQUENCY SPECTRUM'S ACOUSTIC EMISSION

The paper presents the spectral analysis of acoustic emission pulses generated by a sort of discharges on indeterminate-potential particles moving in liquid dielectric materials. Amplitude and power density spectra for the pulses were computed, followed by the derivation of their descriptors characterizing the discharges in a synthetic way. Some interesting properties of the discharges were extracted from the descriptors, contributing to possible use of the method in diagnostics of insulating systems in electric power facilities.