

Tomasz Boczar\*

## **OCENA WPŁYWU ZMIAN GEOMETRII ELEKTROD I RODZAJU DIELEKTRYKU NA EMISJĘ AKUSTYCZNĄ GENEROWANĄ PRZEZ WYŁADOWANIA NIEZUPEŁNE**

**Streszczenie:** Tematyka podjęta w referacie związana jest z zastosowaniem analizy częstotliwościowej do przetwarzania impulsów emisji akustycznej generowanej przez wyładowania niezupełne.

W artykule określono wpływ zmian parametrów konstrukcyjno-technicznych na wyniki analizy częstotliwościowej impulsów emisji akustycznej generowanej przez dwie zdefiniowane formy wyładowań niezupełnych. Badania objęły następujące parametry: geometrię i rozmiar elektrody ostrzowej dla wyładowań typu ostrze–płyta oraz rodzaj i grubość materiału z jakiego wykonano warstwę izolacyjną dla wyładowań powierzchniowych. Przedstawione w referacie wyniki analizy porównawczej stanowią podstawę oceny wpływu zadanych czynników konstrukcyjnych na przebiegi widm częstotliwościowych i wartości charakteryzujących je deskryptorów. Ponadto w oparciu o uzyskane wyniki pomiarowe wskazano te deskryptory, których wartości mogą stanowić kryteria porównawcze dla oceny wpływu zmian zadanych parametrów na wyniki analizy częstotliwościowej.

**Słowa kluczowe:** EA – emisja akustyczna, wnz – wyładowania niezupełne, wnzp – wyładowania niezupełne powierzchniowe, analiza częstotliwościowa sygnałów

### **1. Zdefiniowanie zagadnienia**

Ogólnym celem prowadzonych badań, których wyniki są prezentowane w artykule, było doskonalenie sposobów oceny zagrożenia wnz dla izolacji urządzeń elektroenergetycznych, mierzonych metodą EA. Tematyka przedstawiona w referacie stanowi kolejny etap badań związanych z oceną możliwości identyfikacji podstawowych form

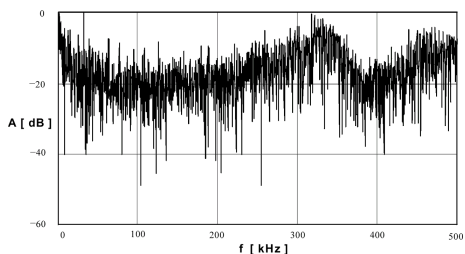
---

\* Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, 45-233 Opole, ul. Sosnkowskiego 31

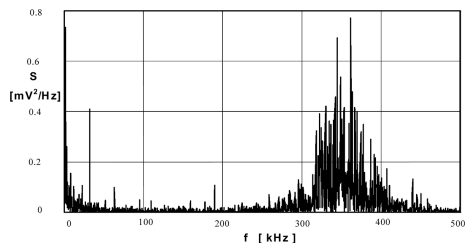
wnz w oparciu o wyniki analizy częstotliwościowej ich EA. Do tej pory, w ramach realizacji rozprawy doktorskiej [1], została przeprowadzona analiza porównawcza impulsów EA generowanej przez cztery podstawowe formy wnz występujących w oleju izolacyjnym. Z grupy dobranych parametrów charakteryzujących mierzone impulsy EA w dziedzinie częstotliwości wskazano te deskryptory, które mogą stanowić kryteria porównawcze dla identyfikacji form wnz. Obecnie wykonane badania poszerzają i stanowią uzupełnienie wiedzy dotyczącej warunków konstrukcyjno-technicznych w jakich może być przeprowadzona analiza porównawcza pod kątem identyfikacji form wnz. Celem szczegółowym przeprowadzonych prac badawczych było określenie wpływu geometrii elektrod i rodzaju dielektryka na wyniki analizy częstotliwościowej impulsów EA generowanej przez dwie dobrane formy wnz. Badano wpływ zmian kąta krzywizny elektrody ostrzowej w zakresie od  $1^\circ$  do  $22^\circ$ , dla wnz typu ostrze- płyta. Natomiast w układzie modelowym umożliwiającym generację wnzp zmieniano rodzaj oraz grubość materiału z jakiego wykonano warstwę izolacyjną. Pomiary wykonano zmieniając grubość warstwy preszpanowej w zakresie od 0,4 mm do 2 mm, z gradacją co 1 mm. Badano także wpływ na wyniki analizy częstotliwościowej następujących rodzajów materiałów izolacyjnych, które umieszczano pomiędzy elektrodą walcową i płytą uziemioną iskiernika umożliwiającego generację wnzp: preszpan, papier nawojowy o grubości 0,12 mm, papier marszczony, papier wzmocniony nitką i dla porównania szkło. W oparciu o wyniki przeprowadzonej analizy porównawczej otrzymanych widm i charakteryzujących je deskryptorów zostały określone trzy deskryptory, których wartości najlepiej obrazują zmiany zadanych czynników konstrukcyjno-technicznych. Na tej podstawie dokonano oceny wpływu kąta krzywizny elektrody ostrzowej i rodzaju dielektryka na wyniki przeprowadzonej analizy częstotliwościowej.

## **2. Charakterystyka układów pomiarowych, warunków generacji wnz i sposobu określania widm ich impulsów EA**

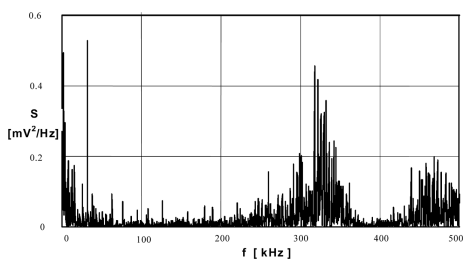
W wykonanych iskiernikach generowano, przy ściśle zdefiniowanych warunkach metrologicznych, dwie następujące formy wyładowań: wnz typu ostrze- płyta i wnzp. Towarzyszące im występowaniu impulsy EA zmierzono przy wykorzystaniu standardowego układu pomiarowego firmy Brüel-Kjaer. Następnie przeprowadzono ich analizę częstotliwościową. Wykonane obliczenia polegały na wyznaczeniu szybkiej transformaty Fouriera i określeniu przebiegów widm gęstości amplitudy i energii. Dla opisu przebiegów charakterystyk częstotliwościowych zdefiniowano i wyznaczono wartości związanych z nimi deskryptorów. Pomiary i analizę impulsów EA wykonano oddzielnie dla dodatniej i ujemnej polaryzacji napięcia zasilającego iskierniki, przy napięciu równym  $0,8U_p$  (napięcia przebicia). Badano także wpływ na charakterystyki częstotliwościowe i wartości związanych z nimi deskryptorów takich czynników metrologicznych jak wartość napięcia generacji wnz i długość poddawanych analizie przedziałów czasowych. Następnie przeprowadzono analizę porównawczą uzyskanych widm częstotliwościowych i wartości charakteryzujących je deskryptorów, która stanowiła podstawę oceny wpływu zadanych czynników konstrukcyjnych na wyniki przeprowadzonej analizy częstotliwościowej EA generowanej przez dwie zadane formy wnz. Ponadto



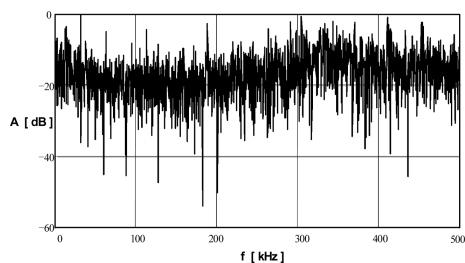
**Rys. 1.** Przebieg widma amplitudowego serii impulsów EA generowanej przez wnz w oleju, w układzie ostrze- płyta (ką $t$  22 $^{\circ}$ ), w dodatnim półokresie napięcia



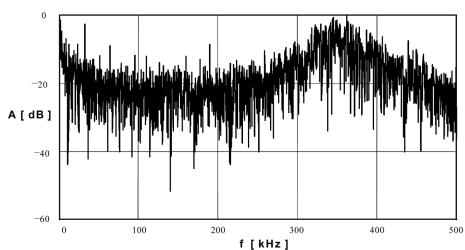
**Rys. 4.** Przebieg widma gęstości energii serii impulsów EA generowanej przez wnz w układzie ostrze- płyta (ką $t$  22 $^{\circ}$ ), w ujemnym półokresie napięcia



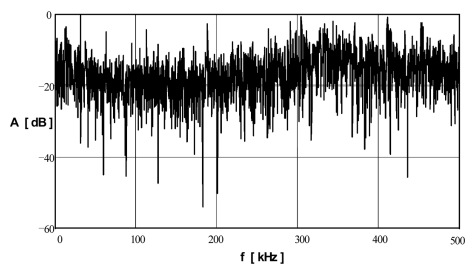
**Rys. 2.** Przebieg widma gęstości energii serii impulsów EA generowanej przez wnz w układzie ostrze- płyta (ką $t$  22 $^{\circ}$ ), w dodatnim półokresie napięcia



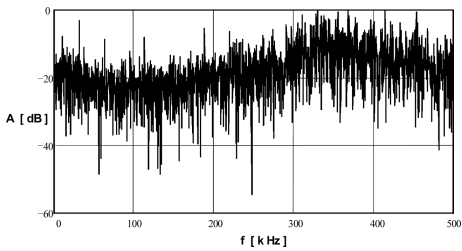
**Rys. 5.** Przebieg widma amplitudowego serii impulsów EA generowanej przez wnz w oleju, w układzie ostrze- płyta (ką $t$  1 $^{\circ}$ ), w dodatnim półokresie napięcia



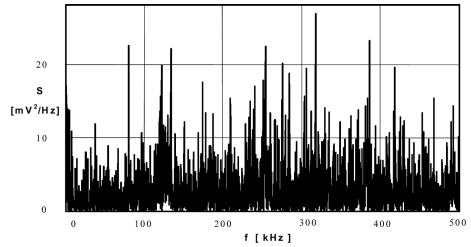
**Rys. 3.** Przebieg widma amplitudowego serii impulsów EA generowanej przez wnz w oleju, w układzie ostrze- płyta (ką $t$  22 $^{\circ}$ ), w ujemnym półokresie napięcia



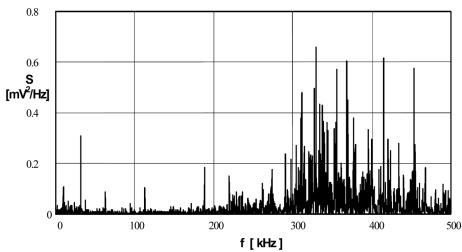
**Rys. 6.** Przebieg widma gęstości energii serii impulsów EA generowanej przez wnz w układzie ostrze- płyta (ką $t$  1 $^{\circ}$ ), w dodatnim półokresie napięcia



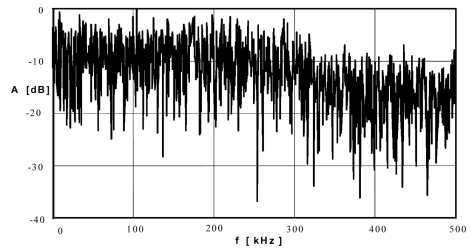
**Rys. 7.** Przebieg widna amplitudowego serii impulsów EA generowanej przez wnzp w oleju, w układzie ostrze–płyta (kąąt  $1^\circ$ ), w ujemnym półokresie napięcia



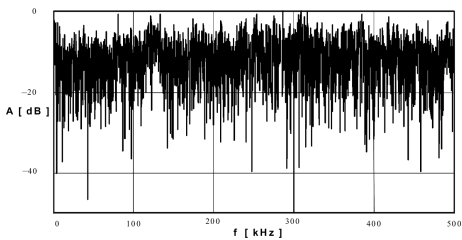
**Rys. 10.** Przebieg widna gęstości energii dla serii impulsów EA generowanej przez wnzp w oleju, w układzie z izolacją preszpanową, w dodatnim półokresie napięcia



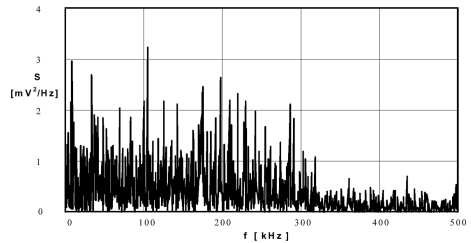
**Rys. 8.** Przebieg widna gęstości energii serii impulsów EA generowanej przez wnzp w układzie ostrze–płyta (kąąt  $1^\circ$ ), w ujemnym półokresie napięcia



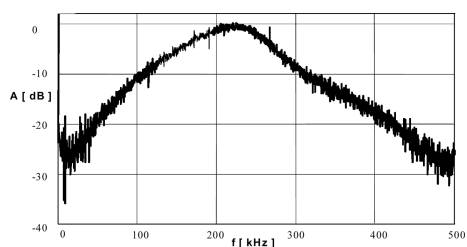
**Rys. 11.** Przebieg widna amplitudowego serii impulsów EA generowanej przez wnzp w oleju, w układzie z izolacją preszpanową, w ujemnym półokresie napięcia



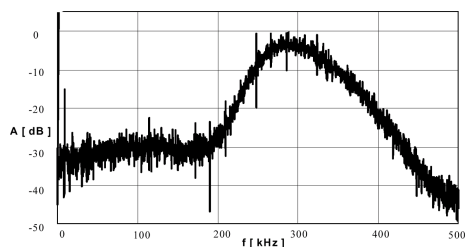
**Rys. 9.** Przebieg widna amplitudowego serii impulsów EA generowanej przez wnzp w oleju, w układzie z izolacją preszpanową, w dodatnim półokresie napięcia



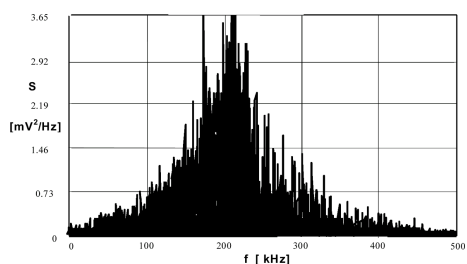
**Rys. 12.** Przebieg widna gęstości energii dla serii impulsów EA generowanej przez wnzp w oleju, w układzie z izolacją preszpanową, w ujemnym półokresie napięcia



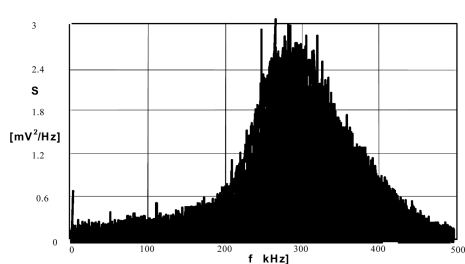
**Rys. 13.** Przebieg widma amplitudowego serii impulsów EA generowanej przez wnzp w oleju, w układzie z izolacją szklaną, w dodatnim półokresie napięcia



**Rys. 15.** Przebieg widma amplitudowego serii impulsów EA generowanej przez wnzp w oleju, w układzie z izolacją szklaną, w ujemnym półokresie napięcia



**Rys. 14.** Przebieg widma gęstości energii dla serii impulsów EA generowanej przez wnzp w oleju, w układzie z izolacją szklaną, w dodatnim półokresie napięcia



**Rys. 16.** Przebieg widma gęstości energii dla serii impulsów EA generowanej przez wnzp w oleju, w układzie z izolacją szklaną, w ujemnym półokresie napięcia

w oparciu o uzyskane wyniki pomiarowe wskazano deskryptory, których wartości mogą stanowić jednoznaczne kryteria porównawcze dla oceny wpływu zmian zadanych czynników konstrukcyjno-technicznych. Do przetwarzania zmierzonych impulsów EA, w oparciu o stworzony algorytm numeryczny, wykorzystano program komputerowy MATHCAD 6.0. Dokładna charakterystyka metrologiczna iskierników do generacji wnz, układu pomiarowego, parametrów mierzonych sygnałów, sposób przeprowadzenia ich analizy częstotliwościowej i wzory definiujące dobrane deskryptory zostały przedstawione w pracy doktorskiej [1].

### 3. Charakterystyki częstotliwościowe zmierzonych impulsów EA

Do prezentacji graficznej w artykule wybrano charakterystyki częstotliwościowe otrzymane dla wnzp z izolacją preszpanową i szklaną oraz dla wnz typu ostrze-płyta o dwóch skrajnych wartościach kąta krzywizny elektrody ostrzowej. Na rys. 1–16 przedstawiono przebiegi widm amplitudowych i gęstości energii obliczone dla przebiegów czasowych o długości równej 4,096 ms, oddzielnie dla obu polaryzacji napięcia.

Wyniki analizy częstotliwościowej otrzymane dla układu ostrze–płyta zostały zestawione na rys. 1–8, natomiast dla wnzp na rys. 9–16. Rys. 1–4 dotyczą ostrza o największym kącie krzywizny wynoszącym  $22^\circ$ , a rys. 5–8 elektrody o najmniejszym kącie równym  $1^\circ$ . Na rys. 9–12 przedstawiono charakterystyki częstotliwościowe dla wnzp z warstwą izolacji wykonanej z preszpanu o grubości: 2 mm, natomiast na rys. 13–16 zestawiono widma obliczone dla wnzp z warstwą izolacji szklanej o grubości: 3 mm.

#### 4. Analiza uzyskanych wyników

Dla badanych form wnzp otrzymano charakterystyczne widma częstotliwościowe, o różnych kształtach ich przebiegów. Ponadto dla wnzp i typu ostrze–płyta charakterystyki amplitudowe i gęstości energii mają inny charakter przebiegów w zależności od polaryzacji napięcia. Widma amplitudowe i gęstości energii obliczone dla impulsów EA generowanej w układzie ostrze–płyta, o dwóch skrajnych wartościach kąta krzywizny ich elektrody ostrzowej, mają zbliżony kształt ich przebiegów w obu półokresach napięcia. Natomiast charakterystyki częstotliwościowe mają inny kształt przebiegów dla wnzp z warstwą izolacji preszpanowej i szklanej, dla obu polaryzacji napięcia. Do analizy porównawczej wybrano wartości trzech deskryptorów: współczynnika szczytowego, częstotliwości medialnej i pasma dominujących częstotliwości w widmie dla przyjętego progu dyskryminacji równego 10 dB. Analizując otrzymane wyniki pomiarowe w oparciu o charakterystyki częstotliwościowe zarejestrowanych impulsów EA można stwierdzić, że:

- dla wyładowań typu ostrze–płyta, dla iskierników o największym kącie krzywizny ostrza  $22^\circ$  i kącie najmniejszym  $1^\circ$  wartość współczynnika szczytowego wynosi, dla widm amplitudowych przy dodatniej polaryzacji napięcia, odpowiednio 3,17 i 3,3, natomiast dla ujemnej są odpowiednio równe 3,03 i 3,3. Ich wartości dla widma gęstości energii wynoszą odpowiednio 10,6 i 10,92 przy dodatniej polaryzacji napięcia i 9,6 oraz 9,8 dla ujemnej,
- wartości częstotliwości medialnej określonej dla widma amplitudowego i gęstości energii, przy dodatniej polaryzacji napięcia, wynoszą 322,7 kHz dla ostrza o kącie krzywizny  $22^\circ$  i 328,1 kHz dla elektrody o kącie  $1^\circ$ . I odpowiednio 345 kHz i 344 kHz obliczone w ujemnym półokresie,
- wielkości pasm dominujących częstotliwości, w dodatnim półokresie napięcia są równe 0–50 kHz, 250–350 kHz, 450–500 kHz, oraz w ujemnym wynoszą: 0–50 kHz i 300–400 kHz,
- dla wnzp z izolacją preszpanową wartość współczynnika szczytowego obliczonego dla widma amplitudowego, przy dodatniej polaryzacji napięcia, wynosi 6,4, natomiast dla wnzp z izolacją szklaną 8,5, oraz odpowiednio 5,14 i 7,9 przy ujemnej. Natomiast dla widma gęstości energii równe są odpowiednio 2,53 i 4,85 w dodatnim półokresie napięcia oraz 2,27 i 7,54 w ujemnym półokresie. Wartość częstotliwości medialnej, obliczonej dla widma amplitudowego i gęstości energii, dla wnzp z izolacją preszpanową i szklaną, wynosi odpowiednio 255,12 kHz i 269,8 kHz dla dodatniej polaryzacji napięcia.

Natomiast przy polaryzacji ujemnej jego wartości są równe odpowiednio: 180,9 kHz i 212,8 kHz. Dla wnzp z izolacją preszpanową i szklaną uzyskano inne przebiegi widm częstotliwościowych i wartości związanych z nimi deskryptorów dla obu polaryzacji napięcia. Zakresy pasm dominujących częstotliwości dla wnzp z izolacją preszpanową wynoszą: w dodatnim półokresie: widmo płaskie, w ujemnym 0–300 kHz. Natomiast dla wnzp z warstwą szklaną są równe odpowiednio: 100–300 kHz i 250–350 kHz.

## 5. Podsumowanie

Wartość kąta krzywizny elektrody ostrzowej w zakresie od  $1^\circ$  do  $22^\circ$ , dla wnzp typu ostrze–płyta, nie miała wpływu na przebiegi widm amplitudowego i energii oraz wartości charakteryzujących je deskryptorów. Badania dotyczące wpływu grubości warstwy preszpanowej oraz rodzaju papieru izolacyjnego zastosowanych w układzie do generacji wnzp wykazały, że ich zmiany nie wpływają na wyniki analizy częstotliwościowej. Dopiero wykorzystanie warstwy izolacyjnej wykonanej ze szkła wpłynęło w sposób decydujący na kształt charakterystyk częstotliwościowych i wartości związanych z nimi deskryptorów.

W dalszych pracach zostanie zbadany wpływ na otrzymane wyniki analizy częstotliwościowej impulsów EA generowanej przez wnz, dodatkowych czynników metrologicznych takich jak: rozmiary i rodzaj obiektu, w którym są generowane wnz; zmiany temperatury, wilgotności, ciśnienia i rodzaju oleju transformatorowego; wpływ barier izolacyjnych występujących na drodze propagacji fal akustycznych. Ponadto dotychczas wykonane badania dotyczyły wnz jednego typu i jednopunktowych. Należy więc przeprowadzić i określić możliwości identyfikacyjne w przypadku występowania kilku form wnz jednocześnie, wyładowań jednego typu ale wieloźródłowych i dodatkowo dla wnz generowanych w bardziej złożonych układach izolacyjnych. Istnieje także konieczność obliczenia widm częstotliwościowych dla wszystkich typów zakłóceń jakie mogą występować podczas pomiarów EA w warunkach przemysłowych. Dopiero wówczas można wykonywać próby pomiarów i analizy porównawczej EA w celach identyfikacji wnz na obiektach rzeczywistych.

## Literatura

- [1] **Boczar T.:** *Identyfikacja formy wyładowania niepełnego na podstawie jego widm częstotliwościowych emisji akustycznej.* Rozprawa doktorska Pol. Śląska w Gliwicach, 1998

### EVALUATION OF EFFECT OF ELECTRODE GEOMETRY AND DIELECTRIC KIND CHANGES ON ACOUSTIC EMISSION GENERATED BY PARTIAL DISCHARGES

Subject of the article is frequency analysis used for processing of acoustic emission pulses generated by partial discharges. Effects of technical and constructional changes have been analysed. The tested parameters are as follows: geometry and dimensions of the spike electrode for the ‘spike-plate’ system as well as and the insulating layer thickness for the slide surface discharge.