



Władysław Opydo*, Janusz Mila*, Jerzy Ranachowski**

EMISJA AKUSTYCZNA NAPRĘŻONEJ ELEKTRYCZNIE IZOLACJI STAŁEJ W PRÓŻNI

Streszczenie: Referat przedstawia badania i analizę sygnałów emisji akustycznej, generowanych przez wyładowania niezupełne występujące na powierzchni izolatorów epoksydowych w próżni, przy napięciu przemiennym (50 Hz).

Słowa kluczowe: próżnia, izolator, wyładowania niezupełne, emisja akustyczna

1. Wstęp

O wytrzymałości elektrycznej urządzenia, w którym próżnię wykorzystano jako izolację wysokiego napięcia, decyduje wytrzymałość elektryczna powierzchniowa izolacji stałej. Do oceny stanu tej izolacji autorzy postanowili wykorzystać metodę emisji akustycznej. Upřednio stwierdzono, że wyładowania niezupełne występujące na powierzchni izolacji stałej w próżni generują fale sprężyste o częstotliwości akustycznej, które mogą być wykrywane przez odpowiednio czułą aparaturę pomiarową. Referat jest kontynuacją tematyczną wcześniejszych prac.

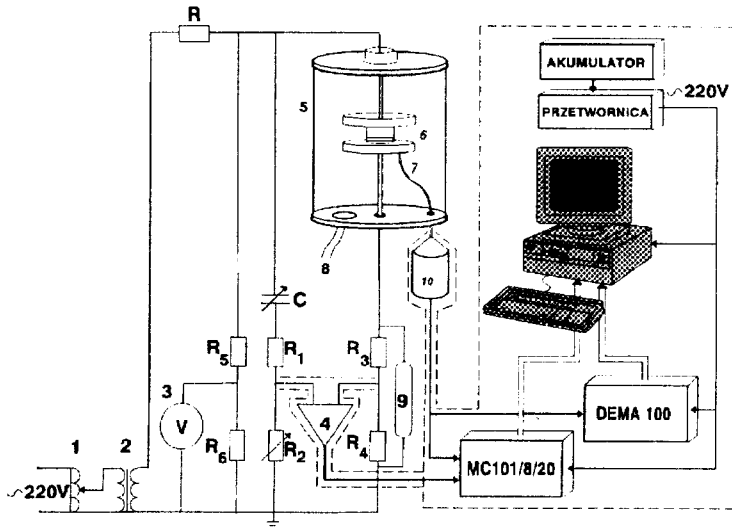
2. Opis układu pomiarowego i metody badawczej

Próżnię otrzymywano za pomocą pomp olejowych — obrotowej i dyfuzyjnej. W badaniach wykorzystano elektrody płaskie, o średnicy 50 mm i krawędziach zaokrąglonych wg wzoru Rogowskiego, wykonane ze stali nierdzewnej (NH-14). Powierzchnie elektrod były polerowane mechanicznie a następnie elektrochemicznie.

* Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań

** Polska Akademia Nauk, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa

Napięcie przemiennie uzyskiwano z transformatora probierczego (110 kV, 40 kV·A) zasilanego z sieci rozdzielczej niskiego napięcia. Badany układ izolacyjny łączono z transformatorem probierczym poprzez 0,4 MW rezystor. Składową czynną prądu płynącego przez układ izolacyjny mierzono za pomocą rejestratora cyfrowego podłączonego, za pośrednictwem wzmacniacza z wejściem różnicowym, do układu mostkowego, którym kompensowano składową pojemnościową prądu (rys. 1). Czulość układu pomiarowego wynosiła 0,5 mA.



Rys. 1. Schemat układu do pomiarów prądu poprzedzającego przeskok, emisji akustycznej oraz wytrzymałości elektrycznej izolacji stałej w próżni; 1 – autotransformator, 2 – transformator probierczy, 3 – woltomierz, 4 – wzmacniacz z wejściem różnicowym, 5 – komora próżniowa, 6 – badany układ izolacyjny, 7 – falowód, 8 – połączenie z pompą dyfuzyjną, 9 – ogranicznik przepięć, 10 – przetwornik elektroakustyczny z przedwzmacniaczem, C – kondensator wysokonapięciowy, R_1, R_2, R_3, R_4 – rezystory mostka, R_5, R_6 – rezystory dzielnika oporowego, R – rezystor ograniczający prąd w obwodzie podczas przeskoku, linia przerywana oznacza ekran ferromagnetyczny

Do detekcji, pomiaru i analizy sygnałów emisji akustycznej wykorzystywano: przetwornik elektroakustyczny (piezoelektryczny), rejestrator cyfrowy typu MC101/8/20 i analizator emisji akustycznej typu DEMA 100 — połączone z mikrokomputerem IBM PC.

Objektami badań były izolatory o różnej długości, mające kształt walca o średnicy 20 mm. Wykonano je z żywicy epoksydowej o nazwie handlowej Epidian 5. Badania prowadzono przy ciśnieniu 2 mPa.

Podczas pomiarów napięcie podnoszono ze stałą szybkością 4 kV/min, wzmocnienie analizatora emisji akustycznej wynosiło 46 dB, poziom dyskryminacji sygnałów emisji akustycznej 0,25 V, a czas zliczania $\Delta t = 1$ s. W miarę podnoszenia napięcia

mierzono składową czynną prądu płynącego przez izolator i rejestrowano sygnały emisji akustycznej.

Jako deskryptory sygnałów emisji akustycznej, emitowanych przez wyładowania niezupełne, przyjęto wg [1] następujące cechy charakterystyczne sygnałów:

- maksymalną amplitudę (W_S),
- sumę i tempo zliczeń emisji akustycznej ($\sum EA, \sum EA/\Delta t$),
- sumę i tempo zdarzeń emisji akustycznej ($\sum N, \sum N/\Delta t$),
- wartość skuteczną sygnału elektrycznego wychodzącego z przetwornika elektroakustycznego (ARMS).

Maksymalna amplituda sygnałów (W_S) jest największą amplitudą pojedynczego sygnału lub ciągu sygnałów. Szczególnie dobrze charakteryzuje ona wyładowania mające sporadycznie duże amplitudy.

Suma zliczeń emisji akustycznej ($\sum EA$) jest sumą amplitud sygnałów przekraczających arbitralnie przyjęty poziom dyskryminacji, zliczaną w określonym czasie. Natomiast tempo zliczeń ($\sum EA/\Delta t$) jest sumą zliczeń odniesioną do czasu pomiaru (Δt).

Sumę zdarzeń akustycznych ($\sum N$) definiuje się jako liczbę zdarzeń, których obwiednie (a nie amplitudy jak w przypadku sumy zliczeń) przekraczają arbitralnie przyjęty poziom dyskryminacji, zliczanych w określonym czasie. Tempo zdarzeń ($\sum N/\Delta t$) jest sumą zdarzeń odniesioną do czasu pomiaru (Δt).

Wartość skuteczną sygnału elektrycznego pochodzącego z przetwornika (A_{RMS}) definiuje się jako:

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

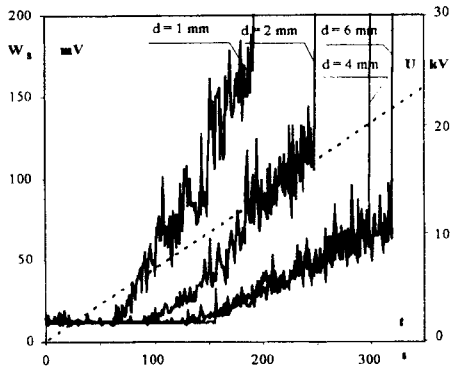
gdzie:

- $u(t)$ – przebieg czasowy napięcia na wyjściu z przetwornika;
- T – czas trwania impulsu.

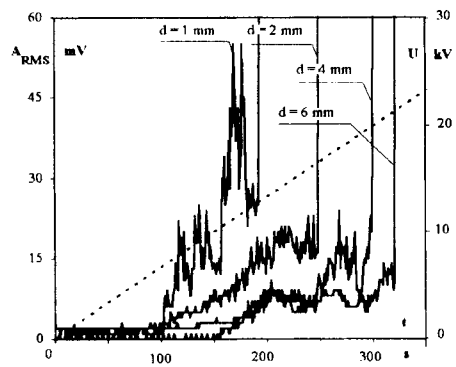
3. Wyniki badań

Pomiary wykazały, że z powyższych, mierzonych deskryptorów sygnałów emisji akustycznej, generowanych przez naprężone elektrycznie izolatory w próżni, szczególnie czułymi wskaźnikami aktywności akustycznej były: wartość maksymalna amplitudy sygnału emisji akustycznej i wartość skuteczną sygnału elektrycznego mierzona na wyjściu z przetwornika elektroakustycznego (A_{RMS}). Przykładowe wyniki pomiarów tych dwóch deskryptorów sygnałów emisji akustycznej, generowanych przez izolatory o różnej długości, podczas podnoszenia napięcia, przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Na rysunkach tych jednostajny w czasie pomiarów wzrost amplitudy napięcia (4 kV/min) przedstawia linia prosta przerywana.

Generalnie można stwierdzić, że aktywność akustyczna naprężanych elektrycznie izolatorów pojawiała się przy napięciu w przybliżeniu równym połowie ich wytrzy-



Rys. 2. Zależność wartości maksymalnej amplitudy W_s sygnałów akustycznych emitowanych przez izolatory o różnej długości d od czasu, w którym napięcie podnoszono; linia prosta przerywana przedstawia wzrost amplitudy napięcia w czasie pomiaru



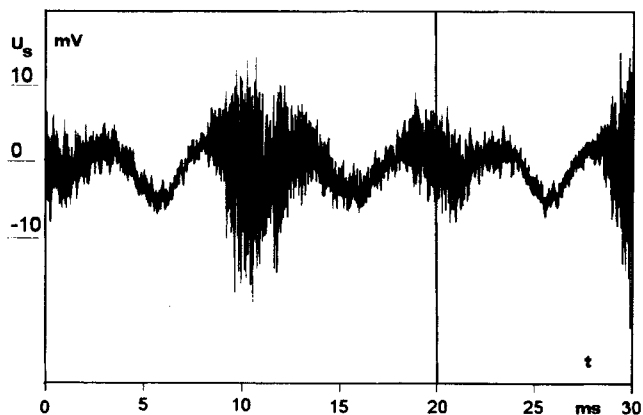
Rys. 3. Zależność wartości skutecznej A_{RMS} sygnałów akustycznych emitowanych przez izolatory o różnej długości d od czasu, w którym napięcie podnoszono; linia prosta przerywana przedstawia wzrost amplitudy napięcia w czasie pomiaru

małości elektrycznej powierzchniowej. Zwykle pojawienie się aktywności akustycznej następowało jeszcze przed wystąpieniem mierzalnej wartości składowej czynnej prądu płynącego przez izolator, tj. prądu emisji elektronowej polowej lub (i) mikrowyładowań.

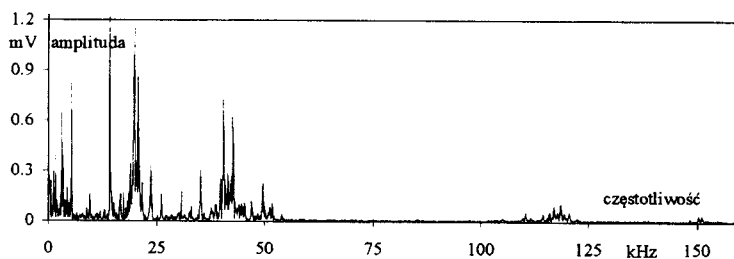
Typowy przebieg czasowy napięcia na wyjściu z przetwornika elektroakustycznego przedstawia rysunek 4; badany izolator miał długość 3 mm, amplituda napięcia na izolatorze wynosiła 12 kV.

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki analizy widma częstotliwościowego sygnału z rysunku 4. Natomiast na rysunku 6 zależność widma częstotliwościowego tego sygnału od czasu.

Przeprowadzona przez autorów analiza widma częstotliwościowego możliwych zakłóceń sygnału emisji akustycznej wykazała, że użyteczne pasmo pomiarowe sygnałów emisji akustycznej, generowanych przez wyładowania niezupełne występujące na powierzchni izolacji stałej w próżni, rozpoczyna się od częstotliwości około 10 kHz. W związku z tym w analizowanych sygnałach usunięto cyfrowo składowe o częstotliwości mniejszej od 10 kHz. Przetworzony w ten sposób przebieg czasowy z rysunku 4 przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 4. Przebieg czasowy napięcia na wyjściu z przetwornika elektroakustycznego dla izolatora o długości 3 mm, przy napięciu o amplitudzie wynoszącej 12 kV; częstotliwość próbkowania rejestratora cyfrowego 2 MHz

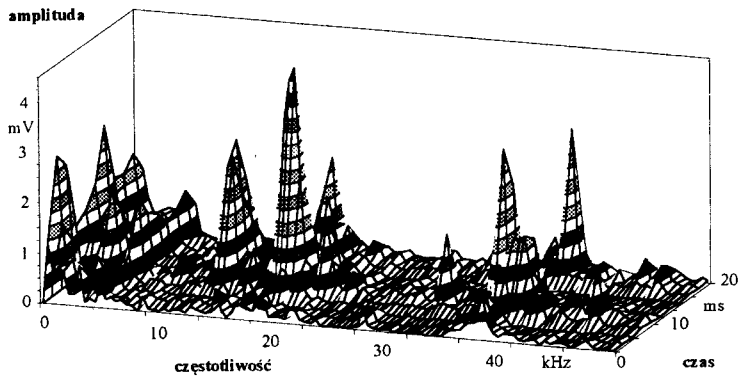


Rys. 5. Widmo częstotliwościowe sygnału akustycznego przedstawionego na rysunku 4

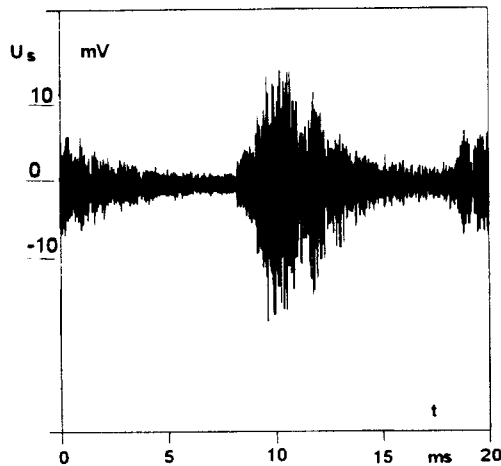
4. Wnioski

Z badań wynikają następujące wnioski:

1. Aktywność akustyczna naprężonego napięciem przemiennym izolatora epoksydowego w próżni pojawia się przy napięciu o wartości zbliżonej do połowy jego wytrzymałości elektrycznej powierzchniowej.
2. Do określenia progu napięciowego pojawienia się tej aktywności najlepiej nadają się pomiary maksymalnej amplitudy sygnału akustycznego, natomiast do prognozowania występowania wyładowania zupełnego — przeskoku — pomiary wartości skutecznej sygnału na wyjściu z przetwornika elektroakustycznego, która to bezpośrednio przed przeskokiem gwałtownie wzrasta.
3. Przy napięciu przemiennym czułość detekcji wyładowań niepełnych występujących na powierzchni izolatorów epoksydowych w próżni metodą akustyczną jest zbliżona do czułości metody elektrycznej.



Rys. 6. Widmo częstotliwościowe sygnału akustycznego, przedstawionego na rysunku 4, w zależności od czasu



Rys. 7. Przebieg czasowy napięcia na wyjściu z przetwornika elektroakustycznego po cyfrowym usunięciu składowych o częstotliwości z przedziału od 0 do 10 kHz

Literatura

- [1] Skubis J.: *Emisja akustyczna w badaniach izolacji urządzeń elektroenergetycznych*, Wydawnictwo Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa 1993

ACOUSTIC EMISSION OF ELECTRIC STRESSED OF SOLID INSULATION IN VACUUM

The paper presents the analysis and investigations of the acoustic emission signals generated by partial discharges which exist on the surface of epoxy insulator under alternating voltage (50 Hz).

Źródło finansowania: KBN-1080/T10