



Marcin Lorenc*

METODY WZORCOWANIA UKŁADÓW DO POMIARU EMISJI AKUSTYCZNEJ GENEROWANEJ PRZEZ WYŁADOWANIA NIEZUPEŁNE

Streszczenie: W referacie przedstawiono różne sposoby wzorcowania układów do odbioru emisji akustycznej generowanej przez wyładowania niezupełne. Uwagę skupiono na metodach umożliwiających generację sygnałów emisji akustycznej o charakterze dyskretnym. Szczegółowo omówiono sposób wzorcowania oparty na wykorzystaniu energii kinetycznej wzorcowej masy. W części końcowej referatu przedstawiono przykładowe wyniki.

Słowa kluczowe: emisja akustyczna, wyładowania niezupełne

1. Wstęp

Rozwój emisji akustycznej jako metody pomiarowej uzależniony jest od postępów w doskonaleniu metod i aparatury pomiarowej przeznaczonej do rejestracji i analizy sygnałów emisji akustycznej, oraz od pogłębiania znajomości procesów fizycznych towarzyszących generacji i propagacji fal sprężystych w ośrodkach, w których fale się rozchodzą. Rejestracji zjawisk EA dokonuje się przede wszystkim za pomocą przetworników wykorzystujących efekt piezoelektryczny. W przetwornikach tych, fala ciśnieniowa zamieniana jest na proporcjonalną wartość elektryczną [4]. Mierzone wartości elektryczne wychodzące z przetwornika nie pozwalają na wyznaczenie wartości bezwzględnej rejestrowanego impulsu EA. Na taki stan rzeczy ma wpływ kilka przyczyn do których możemy zaliczyć to, że obszar wyładowań elektrycznych z reguły

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

znajduje się wewnątrz izolacji badanego urządzenia, co powoduje iż sygnał dochodzący do przetwornika umieszczonego na zewnątrz urządzenia jest tłumiony i podlega wielokrotnym odbiciom.

Ponadto medium sprzęgające przetwornik z urządzeniem elektroenergetycznym powoduje tłumienie sygnału. Również układ pomiarowy może wprowadzać pewną nieoznaczoność rejestrowanego impulsu EA w stosunku do sygnału występującego w miejscu generacji. Przyczyny te skłaniają do wykonywania pomiarów ilościowych EA towarzyszącej wzn opartych na pomiarach względnych, polegających na porównaniu wielkości badanych impulsów z sygnałami wzorcowymi generowanymi za pomocą sztucznych źródeł. Najwłaściwszymi metodami wzorcowania są metody umożliwiające wytworzenie impulsu o dokładnie określonych i powtarzalnych parametrach EA. Dają one możliwość porównywania otrzymywanych wyników w różnych laboratoriach. Przeprowadzenie wzorcowania aparatury ma także istotne znaczenie, gdy realizuje się pomiary EA w kosztownym lub niepowtarzalnym eksperymencie [1, 3, 5].

Emisja akustyczna towarzysząca wzn ma najczęściej charakter dyskretny. Dlatego do wzorcowania torów pomiarowych rejestrujących EA od wzn stosuje się impulsowe metody wzorcowania, takie jak: test Hsu-Nielsen, polegający na łamaniu pręcika grafitowego, metodę szklanej kapilary, w której fala akustyczna generowana jest w momencie kruszenia kapilary, metodę wykorzystującą energię kinetyczną wzorcowej masy, w której energia ta zamieniana jest częściowo na energię fal sprężystych rejestrowanych przez przetwornik oraz metodę iskry elektrycznej, w której źródłem krótkotrwałego impulsu akustycznego jest iskra elektryczna [1, 5].

2. Wzorcowanie metodą kontrolowanej energii kinetycznej określonej masy

W każdym rzeczywistym urządzeniu elektroenergetycznym może być generowany odmienny sygnał EA. Analizując możliwości praktycznego wykorzystania metod generacji wzorcowych sygnałów EA uwzględniono następujące aspekty: powtarzalność procesów generacji EA, koszt wykonania źródła wzorcowego, możliwości praktycznego wykorzystania w warunkach technicznych, sposób pomiarów widm emitowanego sygnału EA, podobieństwo otrzymanych sygnałów wzorcowych z odpowiadającymi im sygnałami rzeczywistymi.

Tabela 1. Charakterystyka mas użytych do badań. Początkowa energia potencjalna została określona dla $h = 11,5$ cm

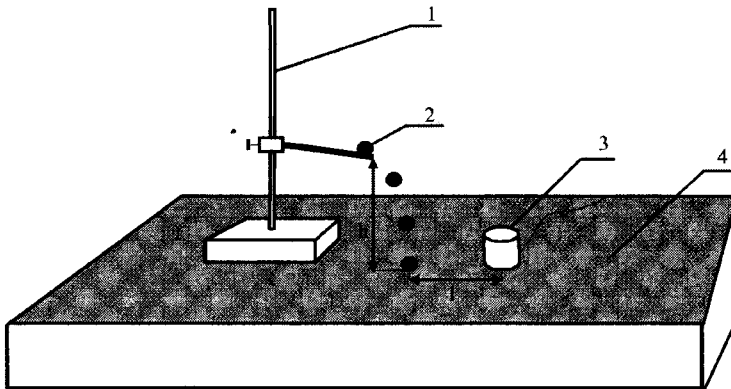
Numer masy wzorcowej	Średnica masy [mm]	Masa masy [g]	Początkowa energia potencjalna [mJ]
I	4,0	0,240	0,271
II	5,9	0,830	0,936
III	6,3	1,050	1,185
IV	7,1	1,480	1,669

Kierując się powyższymi kryteriami została przeprowadzona seria badań mająca na celu określenie deskryptorów wzorcujących impulsów EA generowanych w wyniku uderzenia wzorcowej masy w obiekt. Metoda ta spełnia wymagania dotyczące powtarzalności generowanych impulsów, koszt wykonania tego rodzaju źródła jest niski, a zastosowanie w warunkach praktycznych nie jest skomplikowane.

3. Zakres badań

Wzorcowe impulsy generowano w układzie pokazanym schematycznie na rysunku 1. Układ składał się ze statywu, na którym umieszczono ramię umożliwiające uwolnienie kulki z wysokości h . Podczas całego eksperymentu wysokość h wynosiła 11,5 cm. Do badań zastosowano stalowe kulki o czterech różnych masach. W tabeli 1 scharakteryzowano techniczne parametry wykorzystywanych mas. Sygnał wzorcowy generowano na transformatorze jednofazowym typu TP60 o masie całkowitej 325 kg. Odległość l pomiędzy przetwornikiem, a miejscem generacji fal powierzchniowych była stała i wynosiła 14,5 cm.

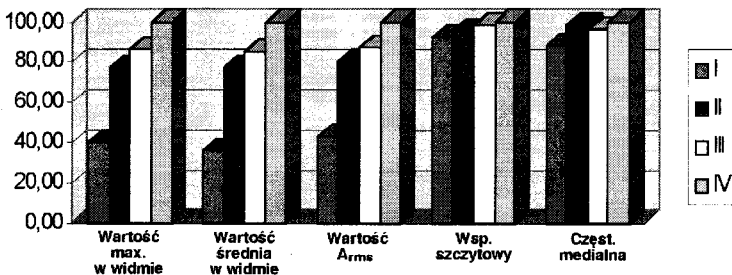
Przeprowadzone pomiary miały na celu wyznaczenie wybranych deskryptorów impulsów wzorcujących EA generowanych w układzie spadającej masy, wartości energii kinetycznej jaką wzorcowa masa przekazuje do transformatora w momencie uderzenia i określenie wartości różnych deskryptorów impulsów wzorcujących. W tym celu wyznaczono różne deskryptory impulsów wzorcujących EA określone zarówno w dziedzinie czasu jak również w dziedzinie częstotliwości. Każdy z zaplanowanych eksperymentów przeprowadzano pięciokrotnie, w celu kontroli dyspersji wyników. Względne zmiany rejestrowanych sygnałów nie przekraczały 5%.



Rys. 1. Szcik układu do generacji wzorcowych impulsów EA metodą spadającej masy (1 – statyw, 2 – metalowa kulka, 3 – przetwornik piezoelektryczny, 4 – fragment górnej pokrywy transformatora)

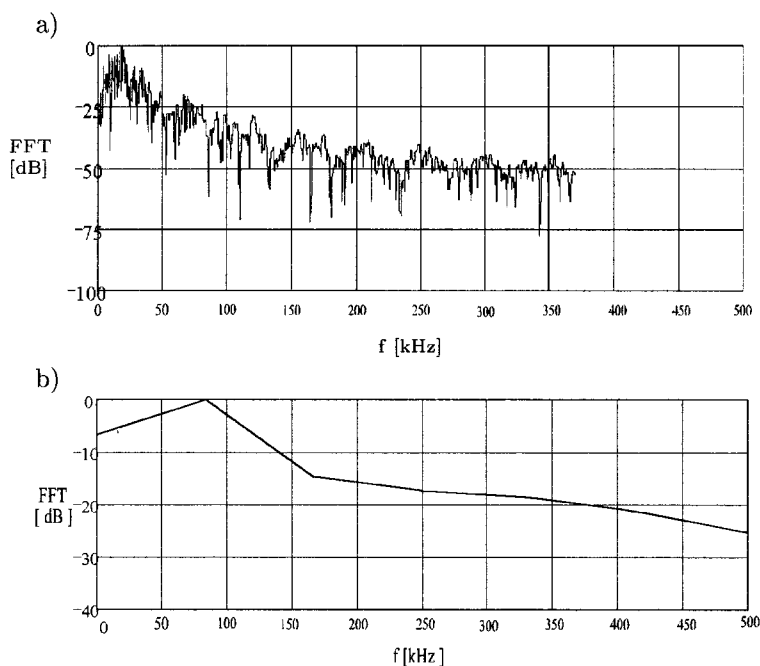
4. Analiza uzyskanych wyników

Pomiary miały na celu wyznaczenie wybranych deskryptorów EA generowanych w układzie z wykorzystaniem energii kinetycznej wzorcowej masy i określenie zależności wartości tych deskryptorów od wielkości tej energii. Rejestrowane przebiegi charakteryzowały się szybkim wzrostem amplitudy do wartości maksymalnej, a następnie następował relaksacyjny spadek do poziomu szumów. Taki przebieg impulsu wzorcującego odpowiada typowemu przebiegowi udarowemu. Czas do półszczytu wynosił $2\ \mu\text{s}$ dla wzorca o masie $0,24\ \text{g}$ do $4\ \mu\text{s}$ dla wzorca o największej masie. Czas sygnału wahał się odpowiednio od $4,53\ \mu\text{s}$ dla masy równej $0,24\ \text{g}$ do $9,58\ \mu\text{s}$ dla masy równej $1,48\ \text{g}$. Zwiększenie energii kinetycznej wzorcowej masy powodowało proporcjonalny przyrost sumy zliczeń ($\sum EA$) oraz sumy przejść przez wybrany poziom dyskryminacji ($\sum A_{PD}$). Próg dyskryminacji podczas całego eksperymentu wynosił $0,2\ \text{V}$. Podobne zależności widoczne były dla pochodnych zmian czasowych tj. średniej amplitudy (A_{SR}), powierzchni nad wartością średnią (S_{SR}) oraz wartości skutecznej rejestrowanych sygnałów (A_{RMS}). Wzrost energii kinetycznej powodował proporcjonalny przyrost wartości mierzonych deskryptorów. Podane zależności są słuszne w granicach stosowalności prawa Hooke'a, kiedy energia kinetyczna wzorcowej masy zamieniana jest na energię kinetyczną, odbitej kulki i na energię odkształcenia sprężystego. Energia odkształcenia sprężystego, w takim wypadku zamieniana jest całkowicie na energię fal sprężystych rejestrowanych przez przetwornik pomiarowy. Na rysunku 2 przedstawiono wartości deskryptorów pochodnych zmian częstotliwościowych, będących widmowymi gęstościami amplitudy sygnałów wzorcujących. Prezentowane wartości są wartościami względnymi, odniesionymi do wartości maksymalnej wyznaczonej dla danego deskryptora.



Rys. 2. Względne wartości deskryptorów pochodnych zmian czasowych, będących widmowymi gęstościami amplitudy sygnałów wzorcujących, generowanych w układzie z wykorzystaniem wzorcowej masy

Podobnie jak dla deskryptorów określonych w dziedzinie czasu również dla wartości deskryptorów określonych w dziedzinie częstotliwości takich jak: wartość maksymalna (A_{MAX}), wartość średnia w widmie (A_{SR}) oraz wartość skuteczna (A_{RMS}) widoczny jest wpływ wielkości energii kinetycznej wprowadzonej do układu na otrzymywane wartości. Zwiększenie wartości energii kinetycznej powodowało proporcjonalny przyrost wartości mierzonych deskryptorów impulsów wzorcujących.



Rys. 3. Przykładowe widmo amplitudowe początkowego fragmentu impulsu wzorcującego a) o długości $t = 4096 \mu\text{s}$, b) o długości $t = 12 \mu\text{s}$

Niezależna od wielkości energii wzorcowej masy jest częstotliwość maksymalnego prążka w widmie, którego wartość jest stała i wynosi 18,06 kHz (rys. 3a). Wartość ta zależy wyłącznie od ośrodka w którym następuje generacja i propagacja fal sprężystych i od odległości źródło–przetwornik pomiarowy. Na stałym poziomie utrzymuje się wartość współczynnika szczytowego i częstotliwości medialnej, oscylując wokół wartości średniej.

Wykonano także analizę częstotliwościową początkowych fragmentów przebiegów czasowych zarejestrowanych impulsów. Czasy przyjęte do analizy wynosiły odpowiednio $12 \mu\text{s}$, $100 \mu\text{s}$, $4096 \mu\text{s}$ każdego z przebiegów. Ograniczenie amplitudy tylko do początkowego fragmentu przebiegu czasowego pozwala na eliminację wpływu na impuls wzorcujący zakłóceń powodowanych odbiciami od powierzchni nieciągłości, eliminując pośrednio wpływ geometrii ośrodka. Na rysunku 3b przedstawiono charakterystykę częstotliwościową początkowego fragmentu impulsu dla czasu $t = 12 \mu\text{s}$, nie zawierającego odbić sygnałów EA. Częstotliwość maksymalnego prążka w widmie dla tego przebiegu wynosi 83,3 kHz. Zwiększenie energii kinetycznej użytej do generacji fal sprężystych oraz zmiana miejsca generacji nie powodowała zmian częstotliwości maksymalnego prążka w widmie. Zwiększenie czasu analizowanego sygnału wzorcującego powodowało przesunięcie wartości częstotliwości maksymalnego prążka w widmie do poziomu 20 kHz.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwalają stwierdzić, że metoda wzorcowania wykorzystująca energię kinetyczną określonej masy jest metodą, w której generowane impulsy EA mają dokładnie określony i powtarzalny przebieg. Metoda ta charakteryzuje się prostotą, niskim kosztem wykonania układu i możliwością wykorzystania w warunkach technicznych. Na podstawie otrzymanych wyników można sformułować dwa zasadnicze wnioski, a mianowicie: właściwości rezonansowe ośrodka, w którym rozchodzi się fala w istotny sposób zmieniają postać charakterystyk częstotliwościowych (rys. 3) oraz na podstawie widma amplitudowego sygnału można jednoznacznie zidentyfikować metodę generacji wzorcowych impulsów EA. Metoda wzorcowej masy winna być wykorzystana do wzorcowania torów pomiarowych przeznaczonych do rejestracji EA, której widmo nie przekracza 80 kHz. W ramach grantu nr 585/T07/95/08 zostały określone przez autora widma impulsów EA generowanych w innych układach przedstawionych w pierwszej części artykułu, a otrzymane wyniki zaprezentowano między innymi w pracy [2].

Literatura

- [1] Praca zbiorowa pod red. **I. Maleckiego** i **J. Ranachowskiego**: *Emisja Akustyczna*. Warszawa, IPPT-PAN 1994
- [2] **Skubis J.**, **Lorenc M.**: *Measurements and analysis of acoustic emission standard impulses generated in Hsu-Nielsen source*. Archiwum Elektrotechniki (w redakcji)
- [3] **Skubis J.**: *Emisja akustyczna w badaniach izolacji urządzeń elektroenergetycznych*. Warszawa, IPPT-PAN, 1993
- [4] **Skubis J.**: *Piezoelectric reflecting transducer for PD acoustic method*. J. Phys. E: Sci. Instrum. 15 pp. 1002–1026, 1982
- [5] **Witos F.**, **Malecki I.**: *Deskryptory emisji akustycznej*. Prace IPPT-PAN, Warszawa 1993

METHODS OF CALIBRATION DEVICE FOR MEASUREMENT OF ACOUSTIC EMISSION GENERATED BY PARTIAL DISCHARGES

In the article there were introduced possible means of calibration of the devices for measurements of acoustic emission generated by partial discharges. Special attention was paid for methods which allow generation of signals of an acoustic emission with a discrete character. With details there was spoken over the way of calibration based on use of kinetic energy. In the end of article there were shown exemplary results.