



**WYZNACZANIE IMPEDANCJI PRZETWORNIKA
PIEZOELEKTRYCZNEGO Z ODPOWIEDZI IMPULSOWEJ**

Determining the Impedance of Ultrasonic Transducers from Impulse Responses

W. Lis, R. Salamon, M. Le Meunier *

Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki Telekomunikacji I Informatyki, Katedra
Systemów Elektroniki Morskiej, Gdańsk, *Ecole Centrale de Lille
wall@eti.pg.gda.pl

STRESZCZENIE

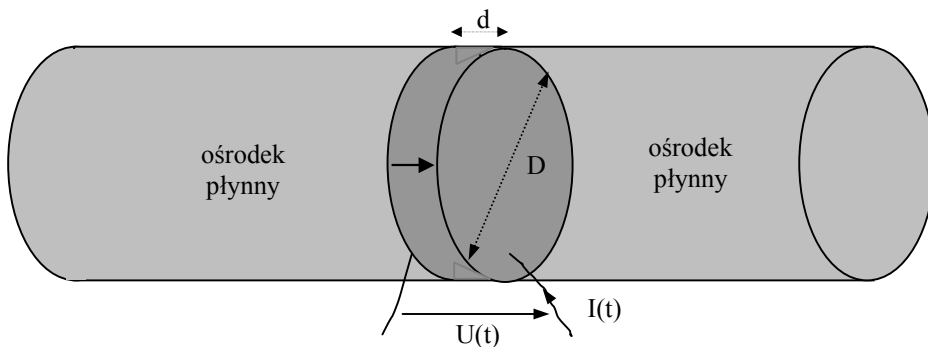
W artykule przedstawiono metodę wyznaczania impedancji przetwornika z jego odpowiedzi impulsowej. Odpowiedź impulsową rejestruje się za pomocą oscyloskopu cyfrowego. Impedancję oblicza się z zarejestrowanej odpowiedzi impulsowej używając szybkiej transformaty Fouriera. Zaproponowana metoda pomiaru może znacznie uprościć system pomiarowy pełnej (zespolonej) impedancji elektrycznej w funkcji częstotliwości. W artykule pokazano zalety i ograniczenia proponowanej metody.

1. WPROWADZENIE

Impedancja elektryczna przetwornika stanowi podstawę do wyznaczania wszystkich, ważniejszych jego parametrów technicznych i eksploatacyjnych. Jej pomiar w funkcji częstotliwości napotyka jednak na szeregiem utrudnień. Znane, typowe metody mostkowe są często mało przydatne, gdyż wymagają długiego czasu pomiaru. Inne, dostępne obecnie urządzenia o krótkim czasie pomiaru i dużej dokładnością są bardzo drogie. Opisywana niżej metoda pozbawiona jest wymienionych wad. Polega ona na pomiarze odpowiedzi impulsowej przetwornika i cyfrowym obliczeniu transformaty Fouriera, która jest impedancją badanego przetwornika. Czas pomiaru jest bardzo krótki gdyż obejmuje jedynie czas rejestracji odpowiedzi impulsowej za pomocą oscyloskopu cyfrowego, czas przesyłania jej do komputera oraz czas obliczeń transformaty DFT. Nie przekracza on zwykle pojedynczych sekund, co stanowi istotny postęp w porównaniu z kilkunastominutowym pomiarem mostkowym.

2. ODPOWIEDŹ IMPULSOWA

Proponowaną metodę wyznaczania impedancji pokażemy na przykładzie przetwornika w postaci wąskiego dysku spolaryzowanego podłużnie, obciążonego symetrycznie jednorodnym ośrodkiem płynnym, co ilustruje rys. 1.



Rys.1. Dyskowy przetwornik piezoelektryczny obciążony symetrycznie.

Impedancja elektryczna przetwornika opisana jest następującą zależnością [2]:

$$Z(j\omega) = \frac{h^2(1 - e^{-\alpha d - j\beta d}) \left[(1 + b_{12})(1 - b_{10} e^{-\alpha d - j\beta d}) + (1 + b_{10})(1 - b_{12} e^{-\alpha d - j\beta d}) \right]}{2Z_1 \omega^2 A (1 - b_{10} b_{12} e^{-2\alpha d - j2\beta d})} + \frac{1}{j\omega C_e}, \quad (1)$$

gdzie: α – współczynnik tłumienia fali w przetworniku,

β – stała falowa w przetworniku ($\beta = 2\pi/\lambda$),

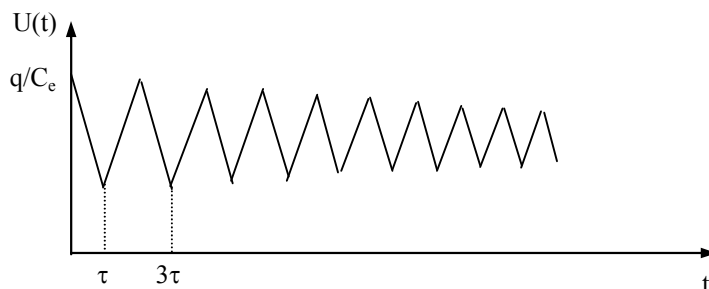
b_{10}, b_{12} – współczynniki odbicia fali ciśnienia na granicy przetwornik – ośrodek.

Jeżeli pobudzenie prądowe ma postać zbliżoną do impulsu Diraca, to jest ono równoważne dostarczeniu do przetwornika pewnego ładunku elektrycznego q . Odpowiedź impulsowa jest wówczas odwrotną transformatą Fouriera impedancji i ma postać,[2]:

$$k(t) = \frac{U(t)}{q} = \frac{1}{C_e} - \frac{h^2(1+b)}{Z_1 A} \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i b^i e^{-\alpha t} [(t - i\tau)l(t - i\tau) - (t - i\tau - \tau)l(t - i\tau - \tau)], \quad (2)$$

gdzie τ jest czasem przelotu fali akustycznej przez przetwornik.

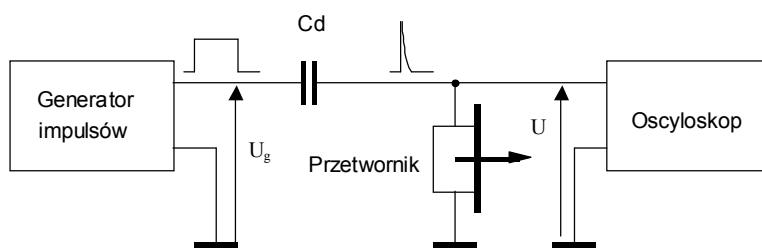
Kształt odpowiedzi impulsowej wyznaczony ze wzoru (2) pokazano na rys. 2.



Rys.2 Odpowiedź impulsowa przetwornika – przebieg teoretyczny.

3. METODA POMIARU

Do wygenerowania pobudzenia prądowego w postaci zbliżonej do impulsu Diraca zastosowano prosty układ, którego schemat przedstawia rys. 3. Układ ten zawiera szeregowo połączenie dwóch pojemności: statycznej przetwornika i dodatkowej C_d (małej w stosunku do pojemności statycznej przetwornika). Przy każdym skoku napięcia na wyjściu generatora, następuje gwałtowne ładowanie lub rozładowanie pojemności C_d . Ponieważ pojemność ta jest bardzo mała, jej czas jej ładowania jest bardzo krótki. Znacznie większa pojemność statyczna przetwornika może być w tym czasie traktowana jako zwarcie. Dostarczony ładunek q jest równy iloczynowi $q=C_d U_g$, gdzie U_g jest amplitudą napięcia impulsu na wyjściu generatora.

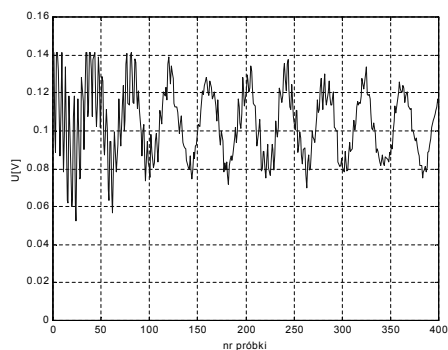


Rys.3 Układ pobudzania przetwornika impulsem Diraca.

Pomiaru i rejestracji napięć $U(t)$ (odpowiedzi impulsowej) i U_g dokonuje oscyloskop cyfrowy połączony poprzez łącze RS232 z komputerem. Uzyskane wyniki w postaci próbek zapisanych w trybie ASCII są przetwarzane w programie MATLAB[®].

4. WYNIKI POMIARU

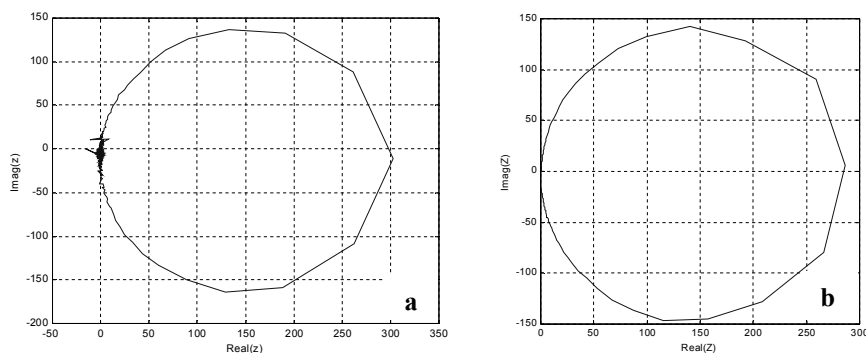
Na rys.4 przedstawiony jest fragment odpowiedzi impulsowej przykładowego przetwornika. Widać wyraźnie dwa mody drgań przetwornika związane z jego wymiarami (dużej średnicy $D = 3.8$ cm i małej grubości $d = 0.35$ cm).



Rys.4 Oryginalny przebieg zarejestrowany na oscyloskopie- początkowy fragment.

Odpowiedź impulsową zarejestrowano przy pomocy oscyloskopu HP w postaci 0.5 mln próbek pobieranych z częstotliwością 25 MHz. Do obliczenia transformaty Fouriera dalszej analizy wybrano 0.4 mln próbek obejmujących istotną część odpowiedzi impulsowej. Zapewnia to rozdzielczość częstotliwościowa $\Delta f = 62.5 \text{ Hz}$.

Na kolejnych rysunkach – 5a przedstawiona została impedancja elektryczna przetwornika jako wynik obliczeń transformaty DFT oraz 5b zmierzona w konwencjonalnym zestawie do pomiaru modułu i fazy w funkcji częstotliwości.



Rys 5 Impedancja: a) obliczona z odpowiedzi impulsowej, b) zmierzona.

4. WNIOSKI

Uzyskane wyniki pomiaru impedancji elektrycznej przetwornika piezoelektrycznego metodą impulsową i mostkową wykazują dużą zbieżność. Potwierdza to słuszności proponowanej metody wyznaczania impedancji z jego odpowiedzi impulsowej. Równoważność odpowiedzi impulsowej i jego impedancji elektrycznej umożliwia wyznaczanie parametrów przetwornika dwiema metodami. Pierwsza, tradycyjna polega na wykorzystaniu znanych zależności zachodzących między impedancją a takimi parametrami jak częstotliwości rezonansowe, szerokość pasma przenoszenia itp. [1]. Wykres impedancji można wykorzystać także do zbudowania elektrycznego schematu zastępczego przetwornika. Druga metoda może polegać na wyznaczaniu tych parametrów i schematu zastępczego bezpośrednio z odpowiedzi impulsowej. Odpowiednie zależności można wyprowadzić ze wzorów podanych w pracach [2] i [3]. W drugim wypadku obliczanie impedancji metodą przekształcenia Fouriera można wykorzystać do eliminacji nie interesujących nas modów drgań.

LITERATURA

1. H. W. KATZ, Współczesne elementy magnetyczne i dielektryczne, WNT, Warszawa (1963).
2. W. LIS, R. SALAMON, Metoda Wyznaczania parametrów dynamicznych przetworników piezoelektrycznych w oparciu o ich odpowiedzi impulsowe, OSA-80 IIt., Warszawa – Puławy 1980, s. 24-27.
3. R. SALAMON, Zarys teorii szerokopasmowych przetworników hydroakustycznych, Wyd. AMW, (1990).