

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **236226**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **425358**

(22) Data zgłoszenia: **25.04.2018**

(51) Int.Cl.

**G01R 31/02 (2006.01)**

**H01H 33/26 (2006.01)**

**H01H 9/50 (2006.01)**

---

(54) **Przetwornik ultradźwiękowy do detekcji i lokalizacji sygnałów emisji akustycznej generowanych przez wyładowania niezupełne**

---

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**04.11.2019 BUP 23/19**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**28.12.2020 WUP 21/20**

(73) Uprawniony z patentu:  
**POLITECHNIKA POZNAŃSKA, Poznań, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:  
**WOJCIECH SIKORSKI, Poznań, PL**

---

**PL 236226 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest przetwornik ultradźwiękowy do detekcji i lokalizacji źródeł sygnałów emisji akustycznej (EA) generowanych przez wyładowania niezupełne (WNZ) występujące w wysokonapięciowym układzie izolacyjnym urządzenia elektroenergetycznego. Przedstawione rozwiązanie może być zastosowane w urządzeniach elektroenergetycznych, których metalowa obudowa posiada wąż inspekcyjny lub może być w taki wąż doposażona.

Do detekcji sygnałów emisji akustycznej generowanych przez wyładowania niezupełne stosuje się ogólnie dostępne na rynku, stykowe, piezoelektryczne przetworniki ultradźwiękowe, które w trakcie pomiarów przymocowuje się do zewnętrznej powierzchni metalowej obudowy badanego urządzenia elektroenergetycznego. Główny problem związany z eksploatacją stykowych przetworników piezoelektrycznych do detekcji wyładowań niezupełnych wynika z faktu, że fala emisji akustycznej ulega odbiciu na granicy dwóch ośrodków o różnej impedancji akustycznej. W przypadku transformatora energetycznego, którego stalowa obudowa ma impedancję akustyczną ok. 35-krotnie wyższą od oleju mineralnego, ponad 80% energii fali EA ulega odbiciu na granicy tych dwóch ośrodków. Z tego powodu, przez metalową ścianę obudowy urządzenia, do elementu piezoelektrycznego w stykowym przetworniku ultradźwiękowym dociera tylko niewielka część energii fali EA, co skutkuje niską czułością detekcji wyładowań niezupełnych.

Znane są także rozwiązania, gdzie w celu zwiększenia czułości detekcji sygnałów EA od WNZ, przetwornik ultradźwiękowy wprowadza się do wnętrza urządzenia elektroenergetycznego.

W amerykańskim zgłoszeniu patentowym US 6774639 B1 ujawniono konstrukcję systemu monitoringu wyładowań niezupełnych w transformatorach, którego elementem składowym jest kombinowany detektor wyładowań niezupełnych składający się z dwóch elementów: piezoelektrycznego przetwornika ultradźwiękowego oraz czujnika pojemnościowego, który stanowi mosiężna płytka w kształcie pierścienia. Przetwornik ultradźwiękowy został zamknięty wewnątrz osłony epoksydowej wyposażonej w śrubę, za pomocą której jest przytwierdzony wspólnie z czujnikiem pojemnościowym, do płyty izolacyjnej pełniącej funkcję tzw. okna dielektrycznego. Elementy składowe przetwornika piezoelektrycznego, tj. ceramika piezoelektryczna, przewody elektryczne, element dopasowujący i element tłumiący, zostały wyposażone w osobną obudowę i nie stanowią integralnego elementu okna dielektrycznego (płyty izolacyjnej). Przetwornik piezoelektryczny został połączony z oknem dielektrycznym za pomocą śruby, która ze względu na niewielkie rozmiary może być podatna na przenoszenie drgań transformatora do wnętrza przetwornika i powodować jego niepożądane wzbudzenie. Przewody elektryczne przetwornika piezoelektrycznego częściowo znajdują się w oleju transformatorowym. Rozwiązanie takie jest jednak niekorzystne z punktu widzenia teorii projektowania wysokonapięciowego układu izolacyjnego transformatora. Wynika to z faktu, że fragmenty przewodów elektrycznych przetwornika piezoelektrycznego, które znajdują się bezpośrednio w oleju zaburzają pierwotny rozkład pola elektrycznego wewnątrz kadzi transformatora. W konsekwencji może to spowodować zmniejszenie wytrzymałości elektrycznej układu izolacyjnego transformatora, a nawet jego awarię. Bezpośrednio w oleju znajduje się również metalowa antena, co stanowi analogiczny problem jak wspomniane wcześniej przewody elektryczne przetwornika piezoelektrycznego.

W publikacji *M. Siegel, M. Beltle, S. Tenbohlen, S. Coenen, "Application of UHF sensors for PD measurement at power transformers", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 24, no. 1, pp. 331–339 (2017)* przedstawiono kombinowany detektor wyładowań niezupełnych, zawierający w swojej obudowie przetwornik ultradźwiękowy i antenę UHF. Elementy aktywne detektora osadzone są na końcu metalowego pręta, który wprowadza się do wnętrza kadzi transformatora poprzez zawór spustowy oleju typu DN50 lub DN80.

Żadne z dotychczasowych rozwiązań nie opisuje konstrukcji przetwornika ultradźwiękowego, którego obudowa wykonana jest w formie okna dielektrycznego przystosowanego do montażu w otworze przelotowym węża inspekcyjnego. Fabrycznie we wężach inspekcyjnych wyposażane są obudowy transformatorów i dławików energetycznych oraz obudowy rozdzielnic i linii izolowanych gazem. Wąż inspekcyjny w obudowie urządzenia elektroenergetycznego stanowi najczęściej okrągły otwór przelotowy, dookoła którego znajduje się metalowy kołnierz z uszczelką oraz metalową pokrywę przykręcaną do kołnierza za pomocą śrub montażowych. Wąż inspekcyjny może być zaślepiiony elementem wykonanym z dielektryka stałego (np. ceramiki korundowej), który w literaturze określany jest terminem „okna dielektrycznego”. Zadaniem okna dielektrycznego jest umożliwienie rejestracji fal radiowych generowanych przez wyładowania niezupełne przy użyciu detektorów elektromagnetycznych, najczęściej anten

VHF/UHF. Jest to możliwe, gdyż okno dielektryczne, w przeciwieństwie do metalowej obudowy, nie stanowi bariery dla fal radiowych generowanych przez zjawisko wyładowań niezupełnych.

Istotą przetwornika ultradźwiękowego do detekcji sygnałów emisji akustycznej generowanych przez wyładowania niezupełne, według wynalazku jest to, że we wnętrzu okna dielektrycznego stanowiącego obudowę przetwornika spasowanego z otworem przelotowym i kołnierzem okna inspekcyjnego znajdują się co najmniej cztery elementy piezoelektryczne wyposażone w elektrody, przewody elektryczne, warstwę dopasowującą impedancję akustyczną oraz element tłumiący. Okno dielektryczne stanowiące obudowę elementów przetwornika piezoelektrycznego umieszcza się w otworze przelotowym włazu inspekcyjnego kadzi transformatora. Pomiedzy przetwornikiem piezoelektrycznym a kołnierzem włazu inspekcyjnego znajduje się uszczelka. Dodatkowa uszczelka znajduje się również pomiędzy pokrywą włazu inspekcyjnego a przetwornikiem piezoelektrycznym. Pokrywa włazu inspekcyjnego może być doposażona w obudowę, która pozwala umieścić opcjonalne układy elektroniczne, jak wzmacniacze i filtry, wspomagające funkcjonowanie przetwornika piezoelektrycznego. Za pomocą śrub montażowych przytwierdza się pokrywę do kołnierza włazu inspekcyjnego. Korzystnym jest, kiedy elementy piezoelektryczne rozmieszczone są obwodowo, dzięki czemu różnice czasowe w nadejściu sygnału akustycznego do poszczególnych przetworników piezoelektrycznych są największe (Fig. 1). Większe różnice czasowe w nadejściu sygnałów pozwalają zmniejszyć błąd w obliczeniach współrzędnych źródła WNZ techniką trilateracyjną. Podstawą działania techniki trilateracyjnej jest pomiar opóźnień w nadejściu sygnałów akustycznych do poszczególnych przetworników piezoelektrycznych.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest zintegrowanie okna dielektrycznego z elementami przetwornika piezoelektrycznego, w taki sposób, że okno dielektryczne stanowi obudowę przetwornika piezoelektrycznego. Przewody elektryczne przetwornika piezoelektrycznego znajdują się wtedy wewnątrz materiału dielektrycznego o przenikalności elektrycznej kilkukrotnie większej od przenikalności elektrycznej oleju transformatorowego. Dzięki temu przewody elektryczne przetwornika piezoelektrycznego nie zaburzają naturalnego, pierwotnego rozkładu pola elektrycznego wewnątrz kadzi transformatora.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest prostota konstrukcji przetwornika piezoelektrycznego pozwalająca stosować go jednocześnie jako detektor i lokalizator sygnałów EA generowanych przez wyładowania niezupełne oraz jako okno dielektryczne służące do montażu anteny VHF/UHF. Możliwość równoczesnego zastosowania dwóch, niezależnych metod diagnostycznych, tj. metody emisji akustycznej i metody antenowej VHF/UHF, pozwala zwiększyć skuteczność i wiarygodność detekcji zjawiska wyładowań niezupełnych. Istotną zaletą rozwiązania według wynalazku jest poprawa czułości detekcji wyładowań niezupełnych, gdyż wykonanie obudowy przetwornika w formie okna dielektrycznego umieszczonego wewnątrz kadzi urządzenia elektroenergetycznego ułatwia transfer energii fali akustycznej z ośrodka dielektrycznego do elementu piezoelektrycznego. Ze wstępnie przeprowadzonych badań wynika, że amplituda sygnału EA rejestrowanego za pomocą rozwiązania według wynalazku (Fig. 6) jest ponad sześciokrotnie wyższa od amplitudy sygnału rejestrowanego standardowym, stykowym przetwornikiem ultradźwiękowym, instalowanym na zewnętrznej powierzchni metalowej obudowy urządzenia elektroenergetycznego (Fig. 7).

Obudowa przetwornika piezoelektrycznego wykonana jest z materiału dielektrycznego o dużej wytrzymałości mechanicznej i termicznej, np. ceramiki korundowej lub poliamidu z dodatkiem włókna szklanego. Założeniem jest to, że obudowa przetwornika szczelnie wypełnia otwór przelotowy włazu inspekcyjnego. Korzystnym jest, aby okno dielektryczne (obudowa przetwornika) było uformowane w kształcie miski, gdyż ułatwia to osadzenie anteny UHF na odpowiednią głębokości wewnątrz kadzi transformatora, tj. na równi ze ścianą kadzi (Fig. 5).

W obudowie umieszczone zostały co najmniej cztery elementy piezoelektryczne, co pozwala na przeprowadzenie lokalizacji przestrzennej źródeł wyładowań niezupełnych techniką trilateracyjną, przy czym wartość częstotliwości rezonansowej elementu piezoelektrycznego zawiera się w zakresie od 20 kHz do 300 kHz.

Element dopasowujący ma wysokość równą  $1/4$  długości falowej oraz wykonany jest z materiału kompozytowego o impedancji akustycznej stanowiącą średnią geometryczną impedancji akustycznej elementu piezoelektrycznego i ośrodka dielektrycznego, który wypełnia obudowę urządzenia elektroenergetycznego i który stanowi ośrodek pracy przetwornika. Element tłumiący stanowi mieszaninę żywicy epoksydowej o niskiej lepkości i sproszkowanego wolframu lub innego materiału o dużej impedancji akustycznej.

Przedmiot wynalazku uwidoczniony został na rysunku, na którym:

- Fig. 1 przedstawia przekrój przez przetwornik ze szczegółem B;
- Fig. 2 przedstawia rzut izometryczny czołowej części przetwornika;
- Fig. 3 przedstawia rzut izometryczny tylnej części przetwornika;
- Fig. 4 przedstawia sposób montażu przetwornika w otworze inspekcyjnym;
- Fig. 5 przekrój przez przetwornik zamontowany w otworze inspekcyjnym;
- Fig. 6 przebieg czasowy sygnału EA zarejestrowanego za pomocą rozwiązania według wynalazku;
- Fig. 7 przebieg czasowy sygnału EA zarejestrowanego standardowym, stykowym przetwornikiem piezoelektrycznym.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania (1) posiada obudowę (2) wykonaną z materiału dielektrycznego o dużej wytrzymałości mechanicznej, cztery elementy piezoelektryczne (4) wraz z parą elektrod (5), elementem dopasowującym (3), elementem tłumiącym (6) oraz parą przewodów elektrycznych (7). W wariacie realizacji przewidywana jest możliwość zwiększenia ilości elementów.

Zgodnie z pokazanym na Fig. 4 sposobem montażu, przetwornik piezoelektryczny (1) umieszcza się w otworze przelotowym włazu inspekcyjnego (15) znajdującym się w ścianie metalowej obudowy (8) urządzenia elektroenergetycznego. Pomiedzy przetwornikiem piezoelektrycznym (1) a kołnierzem włazu inspekcyjnego (9) znajduje się uszczelka (11). Dodatkowa uszczelka (10) znajduje się również pomiędzy pokrywą (12) włazu inspekcyjnego a przetwornikiem piezoelektrycznym (1). Pokrywa (12) włazu inspekcyjnego może być doposażona w obudowę (13), która pozwala umieścić opcjonalne układy elektroniczne, jak wzmacniacze i filtry, wspomagające funkcjonowanie przetwornika piezoelektrycznego. Za pomocą śrub montażowych (14) przytwierdza się pokrywę (12) do kołnierza włazu inspekcyjnego (9). W korzystnych wariantach realizacji przetwornika elementy piezoelektryczne mogą być rozmieszczone obwodowo co pokazano na Fig. 1 i Fig. 2, dzięki czemu różnice czasowe w nadejściu sygnału akustycznego do poszczególnych przetworników piezoelektrycznych są największe, co pozwala zminimalizować błąd lokalizacji źródła wyładowań niepełnych techniką trilateracyjną.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Przetwornik ultradźwiękowy (1) do detekcji i lokalizacji sygnałów emisji akustycznej generowanych przez wyładowania niepełne, zawierający elementy piezoelektryczne, z których każdy wyposażony jest w parę elektrod, parę przewodów elektrycznych, element dopasowujący i element tłumiący, **znamienny tym**, że we wnętrzu okna dielektrycznego stanowiącego obudowę przetwornika (2) spasowanego z otworem przelotowym (15) i kołnierzem (9) okna inspekcyjnego znajdują się co najmniej cztery elementy piezoelektryczne (4).
2. Przetwornik ultradźwiękowy według zastrz. 1, **znamienny tym**, że elementy piezoelektryczne rozmieszczone są obwodowo.

Rysunki

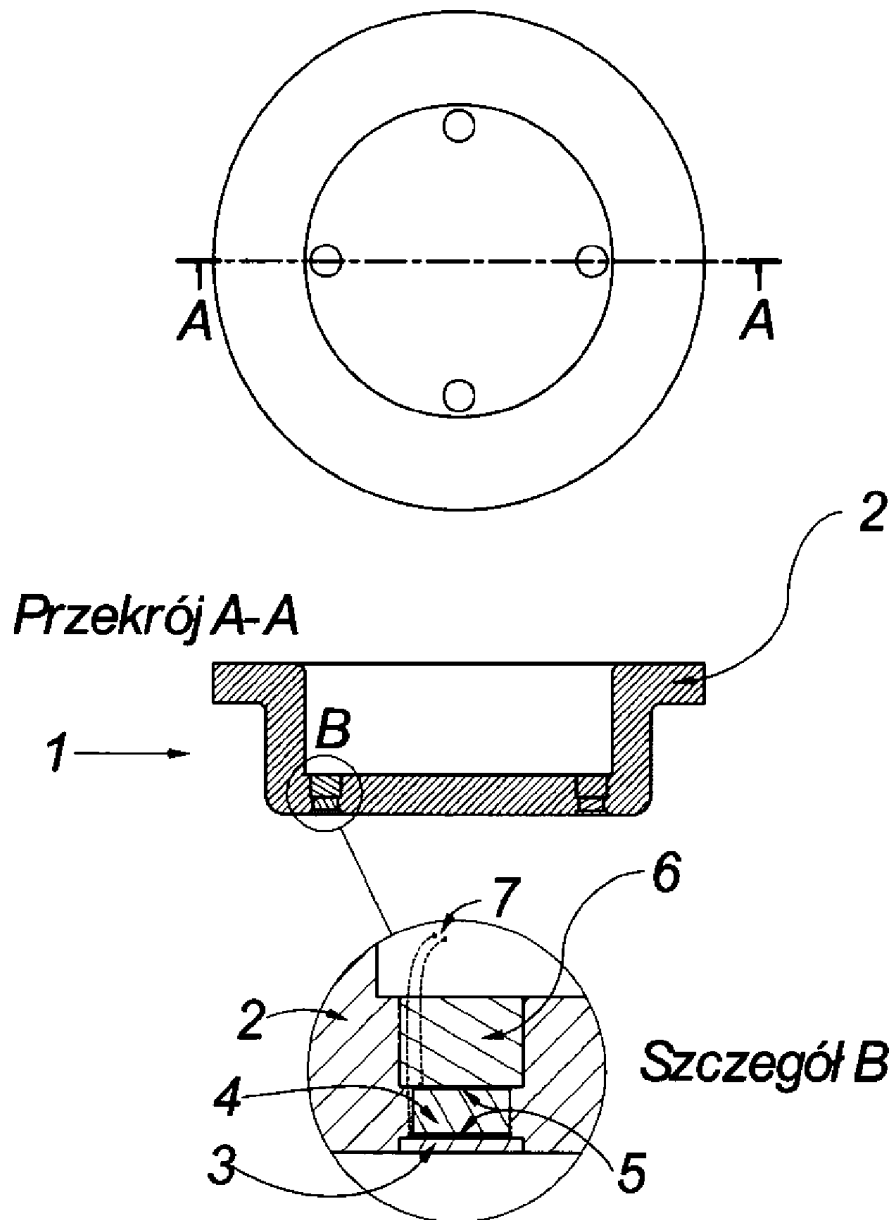
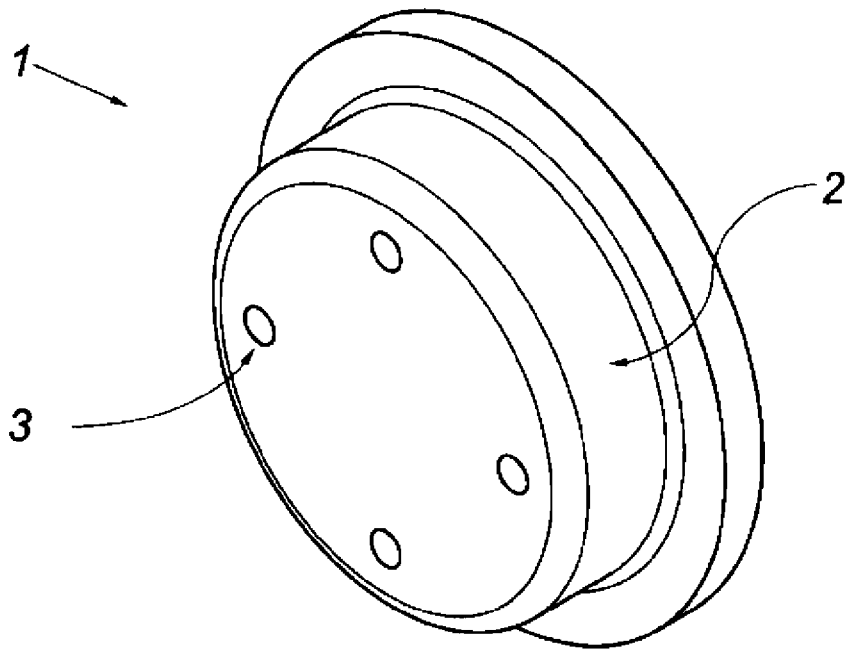
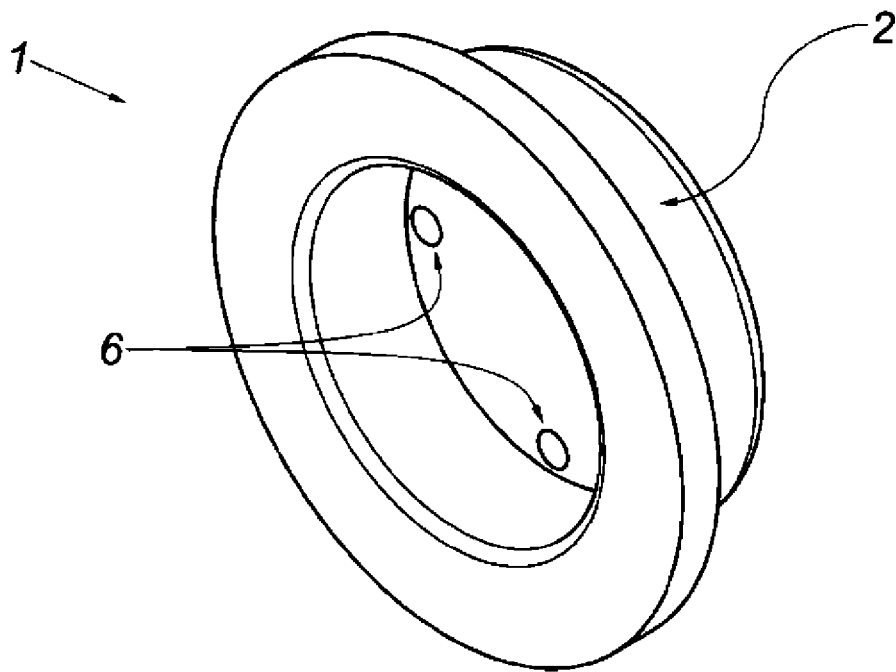


Fig. 1



**Fig. 2**



**Fig. 3**

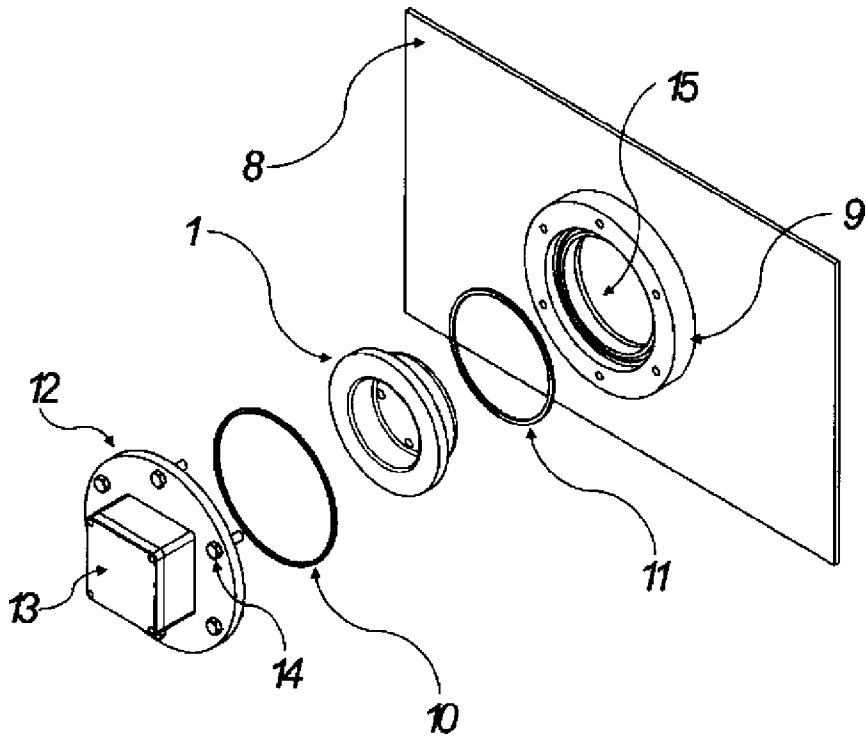


Fig. 4

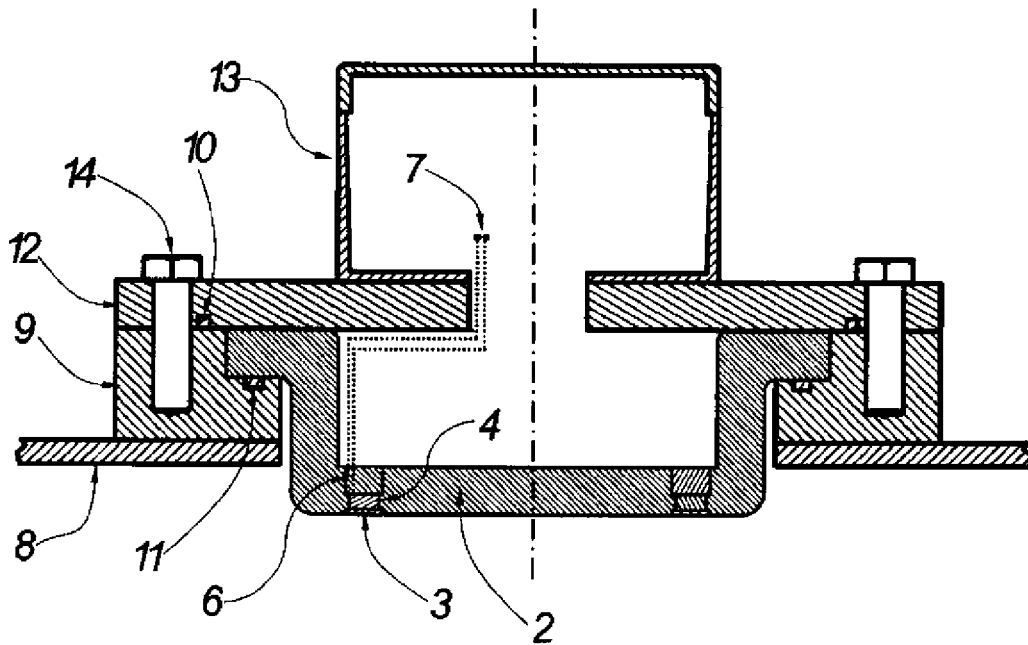
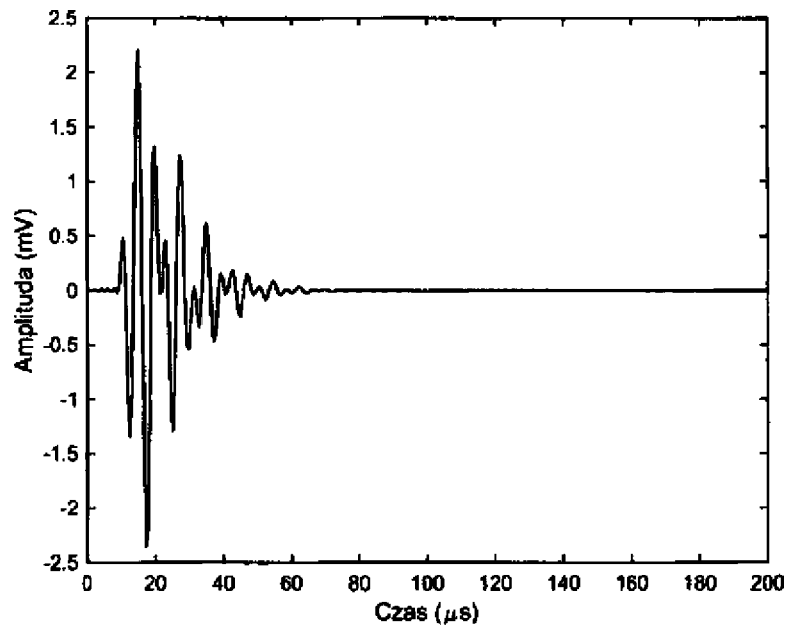
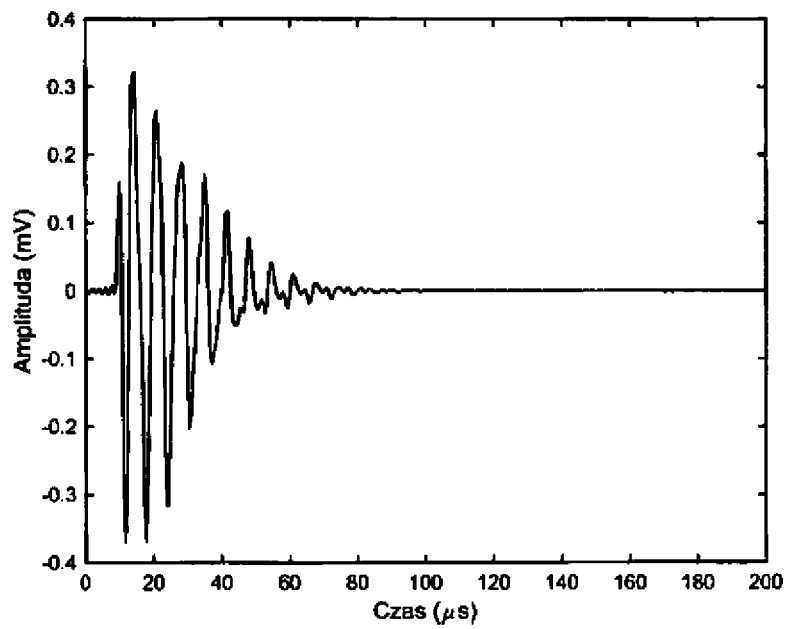


Fig. 5

**Fig. 6****Fig. 7**