

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **222288**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **399163**

(51) Int.Cl.
B06B 1/06 (2006.01)
H03H 9/145 (2006.01)
G01N 29/24 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **14.05.2012**

(54) **Piezoelektryczny przetwornik ultradźwiękowy i sposób jego sterowania**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
25.11.2013 BUP 24/13

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
29.07.2016 WUP 07/16

(73) Uprawniony z patentu:

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,
Kraków, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**MICHAŁ MAŃKA, Łuczyce, PL
ADAM MARTOWICZ, Kraków, PL
MATEUSZ ROSIEK, Węgierska Górka, PL
TADEUSZ STĘPIŃSKI, Uppsala, SE
TADEUSZ UHL, Wieliczka, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Elżbieta Postolek

PL 222288 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest piezoelektryczny przetwornik ultradźwiękowy i sposób jego sterowania. Rozwiązanie przeznaczone jest do monitorowania stanu odpowiedzialnych konstrukcji, przykładowo pojazdów latających oraz do nieniszczących badań konstrukcji przy pomocy powierzchniowych fal ultradźwiękowych Lamba.

Wśród wielu znanych technik wzbudzania lub detekcji fal powierzchniowych najpowszechniej stosowanymi są – głównie z uwagi na niski koszt, małe rozmiary i zdolność generowania fali o wysokiej energii – piezoelektryczne przetworniki ultradźwiękowe. Wykorzystanie ich do monitorowania stanu konstrukcji narzuca jako podstawowo istotne: zdolność przetwornika do generowania i sterowania kierunkiem fali o wąskim zakresie częstotliwości i o niewielkiej dyspersji. Obecnie znane przetworniki spełniają tylko niektóre z tych wymagań. Przetwornikiem, który może być dostrojony do konkretnej, ściśle określonej częstotliwości/długości fali, jest przetwornik z elektrodami międzypalczystymi, naniesionymi na powierzchni warstwy piezoelektrycznej tak, że wzajemnie zachodzą za siebie i naprzemiennie połączone są za pomocą szyn zbiorczych. Szerokość elektrod oraz odstęp między nimi jest tak dobrany że odległość pomiędzy środkami dwóch sąsiadujących elektrod wynosi zwykle $\lambda/2$, gdzie λ jest długością fali akustycznej. Pasma przetwornika jest odwrotnie proporcjonalne do liczby par elektrod. Przetwornik międzypalczasty projektowany jest dla konkretnej długości fali i w innych warunkach niż nominalne jego charakterystyki ulegają znacznemu pogorszeniu. Inne rozwiązanie pozwalające na wygenerowanie fali kierunkowej o określonej częstotliwości oraz pozwalające na sterowanie kierunkiem rozchodzenia się fali polega na zastosowaniu wielu połączonych z generatorem elektrycznym przetworników piezoelektrycznych, mające postać matrycy. Odpowiednie sterowanie kolejnością aktywacji poszczególnych przetworników pozwala na zmianę kształtu i kierunku emisji fali. Jedno z takich rozwiązań przedstawione jest w polskim opisie patentowym PL 173075. Wadą tego typu rozwiązań jest konieczność stosowania znacznej ilości przetworników oraz skomplikowany proces sterowania.

Piezoelektryczny przetwornik według niniejszego wynalazku, podobnie jak w powyżej opisanym, zawiera warstwę piezoelektryczną z wieloma elektrodami elementarnymi, naniesionymi na jej górną i dolną powierzchnię, niezależnie łączonymi przez programowalny multiprzelącznik z generatorem lub analizatorem. Istota wynalazku polega na tym, że elektrody górne i dolne mają postać prostoliniowych odcinków paskowych, usytuowanych równolegle i w równych odstępach od siebie. W rzucie prostopadłym do płaszczyzny warstwy piezoelektrycznej elektrody górne są ukierunkowane prostopadłe do elektrod dolnych a powierzchnie ich obrysów pokrywają się.

Korzystnym jest, gdy elektrody dolne podzielone są na swej długości na co najmniej dwa poprzeczne sektory odcinkowych elektrod dolnych, z których każda jest niezależnie łączona z multiprzelącznikiem. Długości odcinkowych elektrod dolnych mogą być różne w poszczególnych sektorach.

Sterowanie przedstawionego przetwornika dokonywane jest poprzez programowe łączenie w grupy naniesionych na warstwę piezoelektryczną elementarnych elektrod górnych i dolnych. Istota sposobu polega na tym, że wymaganą długość generowanej lub analizowanej fali ultradźwiękowej dobiera się jako odległość pomiędzy środkami geometrycznymi co najmniej dwóch rzędów połączonych elektrod górnych, w każdym rzędzie o takiej samej lub różnej ilości elektrod sąsiadujących ze sobą oraz oddzielonych od sąsiadujących rzędów o pewną ilość elektrod niepołączonych. Ilość elektrod połączonych-aktywnych i niepołączonych-pasywnych może być różna. W większości przypadków im mniejsza ilość elektrod niepołączonych-pasywnych tym większa sprawność przetwornika.

Wymagany kąt diwergencji rozchodzenia się fali ultradźwiękowej dobiera się przez ilość połączonych w sekcje sąsiadujących ze sobą elektrod dolnych oraz przez ich usytuowanie na boku pola obrysu naniesienia tych elektrod na warstwie piezoelektrycznej.

W przetworniku zawierającym elektrody dolne, których długość podzielona jest poprzecznie na sektory, połączenia odcinkowych elektrod dokonuje się w każdym z sektorów w sekcje o różnej ilości, szerokości i usytuowaniu na boku pola obrysu naniesienia tych elektrod na warstwie piezoelektrycznej. W takim rozwiązaniu jedna lub więcej sekcji odcinkowych elektrod w sektorach połączona jest przez programowalny multiprzelącznik z generatorem a inna lub inne sekcje z analizatorem fali ultradźwiękowej.

W przetworniku według wynalazku aktywowane są strefy warstwy piezoelektrycznej usytuowane na przecięciu się prostopadłych do siebie elektrody górnej i dolnej które połączone są przez programowalny multiprzelącznik z generatorem albo analizatorem. Rozwiązanie umożliwia proste sterowanie

długością, kierunkiem i kątem dywergencji fali. Generowane albo odbierane są fale powierzchniowe o dowolnie wybranej długości λ , która w przypadku równej ilości elektrod aktywnych i pasywnych obliczana jest według następującego wzoru:

$$\lambda = 2 * [e * (d + t)]$$

gdzie:

e – liczba elementarnych elektrod w grupie

t – grubość elementarnej elektrody

d – odległość między elektrodami.

Rozwiązanie pozwala na jednoczesne generowanie albo odbieranie fal o różnej długości. Sterowanie kierunkiem i kątem rozchodzenia się fali odbywa się przez odpowiedni dobór połączeń elektrod dolnych. W zależności od liczby połączonych elektrod dolnych generowana jest wiązka różnej szerokości, natomiast podanie w odpowiedniej sekwencji sygnałów elektrycznych na poszczególne elektrody pozwala na nadanie fali odpowiedniego kierunku. Możliwym jest również jednoczesne wykorzystywanie obu sektorów elektrod dolnych albo każdego z sektorów osobno. Fale mogą być także niezależnie generowane przy jednoczesnym wykorzystaniu obu sektorów elektrod dolnych lub dla tego samego kierunku z różną szerokością.

Przetwornik według wynalazku i możliwe sposoby jego sterowania przedstawione są opisem przykładowego wykonania przetwornika i różnych sposobów połączeń jego elektrod. Przetwornik pokazany w ujęciu schematycznym na rysunku ma elektrody dolne o długości podzielonej na dwa sektory. Poszczególne figury rysunku przedstawiają: Fig. 1 – przekrój poprzeczny przetwornika, Fig. 2 – widok z góry elektrod górnych, Fig. 3 – widok z dołu elektrod dolnych, figury 4 do 6 przykładowe połączenia elektrod górnych, figury 7 do 12 przykładowe połączenia w sekcje elektrod dolnych.

Przetwornik ma warstwę piezoelektryczną P w postaci prostokątnej płytki wykonanej z materiału piezoelektrycznego, na której górną i dolną powierzchnię naniesione są elementarne elektrody górne G i dolne D. Warstwa piezoelektryczna może być wykonana z dowolnego materiału wykazującego właściwości piezoelektryczne, na przykład: tytanianu cyrkonianemu ołowiu PZT, polifluorku winylidenu PVDF względnie z dowolnego piezokompozytu, na przykład MFC lub AFC. Elektrody górne G i dolne D w postaci prostoliniowych odcinków paskowych, o grubości t i długości całkowitej L, usytuowane są równolegle i w równych odstępach d od siebie. W rzucie prostopadłym do płaszczyzny warstwy piezoelektrycznej P elektrody górne G są ukierunkowane prostopadle do elektrod dolnych D, a powierzchnie ich obrysów pokrywają się. W przykładowym wykonaniu przetwornika elektrody dolne D podzielone są na swej długości L na dwa poprzeczne sektory S1, S2 odcinkowych elektrod dolnych zewnętrznych Dz1-Dzn i wewnętrznych Dw1-Dwm, z których każda jest niezależnie łączona z multiprzelącznikiem. Długości odcinkowych elektrod dolnych Dz1-Dzn i Dw1-Dwm są różne w poszczególnych sektorach S1, S2.

Na kolejnych figurach 4 do 12 pokazane są różne opcje sterowania przetwornikiem przez połączenia odpowiednio dobranych grup elektrod z generatorem albo analizatorem, ustalone programem multiprzelącznika. Elektrody połączone-aktywne wyróżnione są na rysunkach przez zaczernienie.

Na Fig. 4 i 5 pokazane są przykładowe zgrupowania elektrod górnych G w rzędach o ilości elektrod $R1=3e$ i $R2=2e$, odpowiednio dla długości fal $\lambda1$ i $\lambda2$. Połączenie elektrod górnych G w rzędach według Fig. 6 powoduje jednoczesną emisję dwóch fal o długościach $\lambda1$ i $\lambda2$. Na Fig. 7 i 8 pokazane są połączenia odcinkowych elektrod dolnych Dz i Dw w sekcje Se1 i Se2, odpowiednio o ilości elektrod $e = 3$ dla kąta dywergencji $\gamma1$ rozchodzenia się fali ultradźwiękowej oraz o ilości $e = 7$ dla kąta dywergencji $\gamma2$. Podanie w odpowiedniej sekwencji sygnałów elektrycznych na poszczególne elektrody pozwala na nadanie fali wymaganego kierunku. Połączenia według Fig. 9 i 10 pokazują, że do generowania fali może być wykorzystany każdy z sektorów osobno. Fale mogą być również generowane przez przetwornik przy jednoczesnym, niezależnym wykorzystaniu sektorów S1 i S2 oraz przy zgrupowaniu w nich sekcji elektrod Se1, Se2 i Se3 o różnej liczbie i usytuowaniu. Sygnał generowany lub odbierany jest wtedy z tego samego kierunku lecz z różną szerokością $\gamma1, \gamma2, \gamma3$ – co obrazują połączenia przedstawione na Fig. 11 i 12.

Podział długości elektrod dolnych D na dwa sektory: S1 – odcinkowych elektrod zewnętrznych Dz, i S2 – odcinkowych elektrod wewnętrznych Dw umożliwia jednoczesne generowanie i odbieranie fal powierzchniowych o konkretnie dobranych długościach λ odpowiednio; w sektorze S1 elektrod łączonych z generatorem a w S2 z analizatorem.

Wykaz oznaczeń na rysunku

d	odległość między elementarnymi elektrodami
D	elektrody dolne
Dz1-Dzn	odcinkowe elektrody dolne zewnętrzne
Dw1-Dwm	odcinkowe elektrody dolne wewnętrzne
G	elektrody górne
$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$	kąt diwergencji fali ultradźwiękowej
$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$	długość powierzchniowej fali ultradźwiękowej
L	długość elektrody
P	warstwa piezoelektryczna
R1, R2	rzędy elektrod górnych G
S1, S2	sektory elektrod dolnych D
Se1, Se2	sekcje elektrod dolnych D
T	grubość elektrody górnej G

Zastrzeżenia patentowe

1. Piezoelektryczny przetwornik ultradźwiękowy, zawierający warstwę piezoelektryczną z naniesionymi na jej górnej i dolnej powierzchni wieloma elementarnymi elektrodami, niezależnie łączonymi przez programowalny multiprzelącznik z generatorem lub analizatorem, **znamienny tym**, że elektrody górne (G) i dolne (D) mają postać prostoliniowych odcinków paskowych ($t \times L$) usytuowanych równolegle i w równych odstępach (d) od siebie, przy czym w rzucie prostopadłym do płaszczyzny warstwy piezoelektrycznej (P) elektrody górne (G) są ukierunkowane prostopadle do elektrod dolnych (D) a powierzchnie ich obrysów pokrywają się.

2. Przetwornik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że elektrody dolne (D) podzielone są na swej długości (L) na co najmniej dwa poprzeczne sektory (S1, S2) odcinkowych elektrod dolnych (Dz1-Dzn, Dw1-Dwm), z których każda jest niezależnie łączona z multiprzelącznikiem.

3. Przetwornik według zastrz. 2, **znamienny tym**, że długości odcinkowych elektrod dolnych (Dz1-Dzn, Dw1-Dwm) są różne w poszczególnych sektorach (S1, S2).

4. Sposób sterowania piezoelektrycznym przetwornikiem ultradźwiękowym, polegający na programowanym łączeniu w grupy naniesionych na warstwę piezoelektryczną elementarnych elektrod przetwornika, mających postać prostoliniowych odcinków paskowych usytuowanych równolegle i w równych odstępach względem siebie oraz z którym elektrody górne w rzucie prostopadłym do płaszczyzny warstwy piezoelektrycznej ukierunkowane są prostopadle do elektrod dolnych a powierzchnie ich obrysów pokrywają się, **znamienny tym**, że wymaganą długość (λ) generowanej lub analizowanej fali ultradźwiękowej dobiera się jako odległość pomiędzy środkami geometrycznymi co najmniej dwóch rzędów (R1, R2) połączonych elektrod górnych (G), w każdym rzędzie (R1, R2) o takiej samej lub różnej ilości (e) elektrod sąsiadujących ze sobą oraz oddzielonych od sąsiadujących rzędów o pewną ilość elektrod niepołączonych.

5. Sposób według zastrz. 4, **znamienny tym**, że wymagany kąt diwergencji (γ) rozchodzenia się fali ultradźwiękowej dobiera się przez ilość (e) połączonych w sekcje (Se1, Se2), sąsiadujących ze sobą elektrod dolnych (D) oraz przez ich usytuowanie na boku pola obrysu naniesienia tych elektrod na warstwie piezoelektrycznej (P).

6. Sposób według zastrz. 5, **znamienny tym**, że w przetworniku zawierającym elektrody dolne (D), których długość (L) podzielona jest poprzecznie na sektory (S1, S2), połączenia odcinkowych elektrod (Dz, Dw) dokonuje się w każdym z sektorów (S1, S2) w sekcje (Se1, Se2, Se3) o różnej ilości (e), grubości (t) i usytuowaniu na boku pola obrysu naniesienia tych elektrod na warstwie piezoelektrycznej (P).

7. Sposób według zastrz. 6, **znamienny tym**, że jedna lub więcej sekcji (Se1) odcinkowych elektrod w sektorach (S1, S2) połączona jest przez programowalny multiprzelącznik z generatorem a inna lub inne sekcje (Se2) z analizatorem fali ultradźwiękowej.

Rysunki

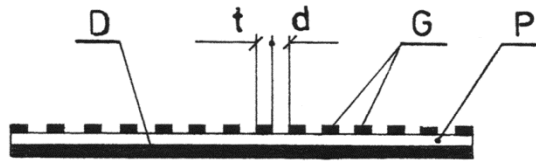


FIG.1

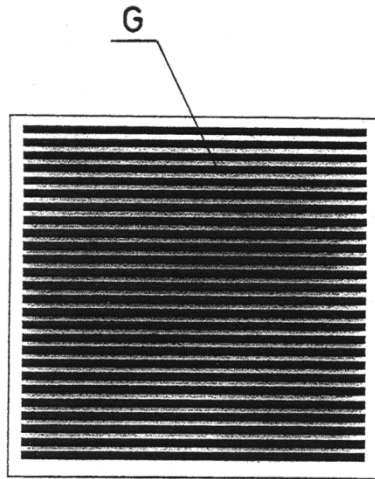


FIG.2

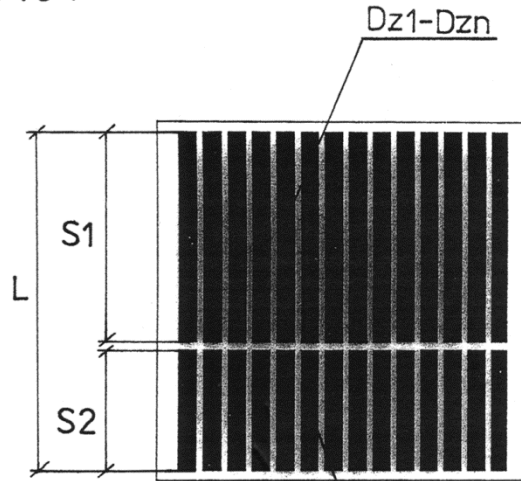


FIG.3

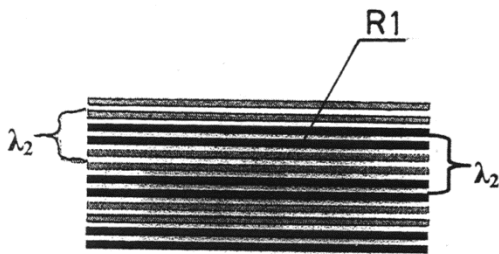


FIG.4

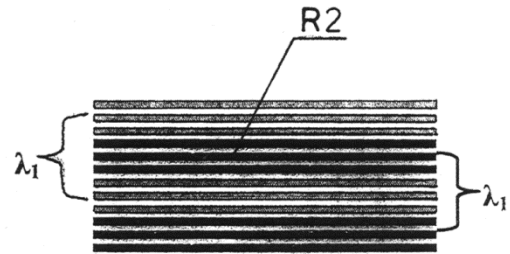


FIG.5

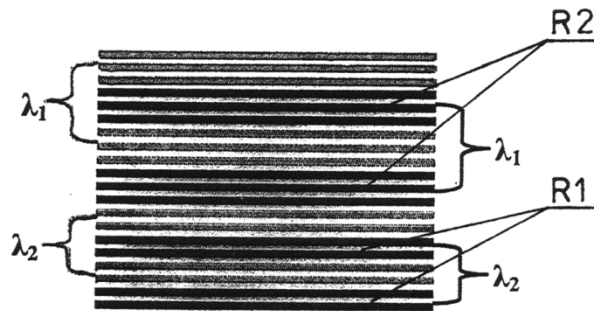


FIG.6

