

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **222289**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **399164**

(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) **Ultradźwiękowy przetwornik piezoelektryczny 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 222289 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest ultradźwiękowy przetwornik piezoelektryczny 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 – ultradźwiękowe przetworniki piezoelektryczne. Wykorzystanie ich do monitorowania stanu konstrukcji narzuca jako podstawowo istotne warunki: zdolność przetwornika do generowania i sterowania kierunkiem fali o wąskim zakresie częstotliwości i o niewielkiej dyspersji. Obecnie znane przetworniki często spełniają tylko niektóre z tych wymagań. Przetwornikiem, który może być dostrojony do konkretnej, ściśle określonej częstotliwości/długości fali, jest przetwornik z elektrodami międzypalczastymi, 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  $\lambda$  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 czujników piezoelektrycznych, mające postać matrycy. Odpowiednie sterowanie kolejnością aktywacji poszczególnych czujników 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.

Znane jest również rozwiązanie przetwornika pozwalającego na generowanie ukierunkowanej fali ultradźwiękowej z możliwością sterowania kierunkiem emisji. Przetwornik przedstawiony w artykule Ken I.Salas, Carlos E.S.Cesnik, pt. „Design and Characterization of the CLoVER Transducer for Structural Health Monitoring”, opublikowanym w „Proceedings of SPIE”, 2008, Vol. 6935 złożony jest z licznych mikroprzetworników MFC z elektrodami naniesionymi techniką fotolitograficzną na górną i dolną powierzchnię ceramiczno-polimerowej warstwy piezoelektrycznej. Elektrody naniesione są w zakresie pokrywających się współosiowo powierzchni pierścieniowych. Każdy z mikroprzetworników ma łukowe elektrody grzebieniowe obustronnie wyprowadzone z ukierunkowanej promieniowo szyny zbiorczej, która jest niezależnie podłączana do generatora lub analizatora. Elektrody grzebieniowe sąsiadujących ze sobą mikroprzetworników wzajemnie zachodzą za siebie a strefa kąta środkowego między ich szynami zbiorczymi wyznacza kierunek i jednostkową szerokość fali emitowanej przy połączeniu tych szyn z generatorem. Dyskretny podział koła na sekcje wyznaczone wycinkami po kilkanaście lub kilkadziesiąt stopni powoduje znaczne ograniczenie zdolności sterowania kierunkiem i szerokością rozchodzenia się generowanej fali.

Piezoelektryczny przetwornik według niniejszego wynalazku, podobnie jak w powyżej opisanym, zawiera warstwę piezoelektryczną z wieloma elektrodami elementarnymi, naniesionymi na jej górną i dolną powierzchnię w zakresie pokrywających się współosiowo powierzchni pierścieniowych, które są niezależnie podłączone z generatorem lub analizatorem przy użyciu programowalnego multiprzelącznika. Istota wynalazku polega na tym, że elektrody górne mają postać koncentrycznych pierścieni usytuowanych w równych odstępach od siebie a elektrody dolne stanowią promieniowo ukierunkowane odcinki paskowe, obwodowo rozstawione według jednakowego kąta środkowego.

Korzystnie jest gdy elektrody dolne mają kształt wycinków kołowych o długości równej szerokości powierzchni pierścieniowej.

Również korzystnym jest, gdy elektrody dolne podzielone są na swej długości na co najmniej dwa sektory pierścieniowe odcinkowych elektrod zewnętrznych i wewnętrznych, z których każda elektroda jest niezależnie połączona z multiprzelącznikiem. Długości odcinkowych elektrod dolnych zewnętrznych i wewnętrznych 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 sterowania tym przetwornikiem polega na tym, że wymaganą długość generowanej lub analizowanej

fali ultradźwiękowej dobiera się jako odległość pomiędzy środkami geometrycznymi co najmniej dwóch grup rzędów połączonych elektrod górnych, 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 kierunek i kąt dywergencji rozchodzenia się fali ultradźwiękowej dobiera się poprzez ilość połączonych w sekcje, sąsiadujących ze sobą elektrod dolnych. Połączenie elektrod dolnych może być dokonywane w kilku sekcjach o różnych kierunkach i kątach dywergencji rozchodzenia się fali ultradźwiękowej.

W przetworniku zawierającym elektrody dolne o długość podzielonej poprzecznie na sektory, połączenia odcinkowych elektrod dokonuje się w każdym z sektorów w sekcje o różnych kierunkach i kątach dywergencji rozchodzenia się fali ultradźwiękowej. W takim rozwiązaniu jedna lub więcej sekcji odcinkowych elektrod w sektorach połączona może być 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 tych elektrod górnych i dolnych, 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  $\lambda$ , 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 położenia sekcji i ilości połączonych elektrod dolnych. 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 dla różnych kierunków 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 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 mają postać koncentrycznych pierścieni o grubości t, usytuowanych w równych odstępach d od siebie. Elektrody dolne D stanowią promieniowo ukierunkowane odcinki paskowe o kształcie wycinków kołowych o długości L równej szerokości powierzchni pierścieniowej, obwodowo rozstawionych według jednokowego kąta środkowego ( $\omega$ ). W tym przykładowym wykonaniu przetwornika elektrody dolne D podzielone są na swej długości L na dwa poprzeczne sektory S1, S2 z odcinkowymi elektrodami dolnymi zewnętrznymi Dz1-Dzn i wewnętrznymi Dw1-Dwm. Każda z elektrod jest niezależnie łączona z multiprzelącznikiem. Długości odcinkowych elektrod dolnych Dz1-Dzn i Dw1-Dwm są różne w obu sektorach S1, S2.

Na kolejnych figurach 4 do 12 pokazane są różne przykładowe możliwości sterowania przetwornikiem, poprzez ustalone programem multiprzelącznika połączenia odpowiednio dobranych grup elektrod z generatorem albo analizatorem. Elektrody połączone-aktywne wyróżnione są na rysunkach przez zaczerwienie. 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  $\lambda2$ .

Figury 7 i 8 pokazują połączenia elektrod dolnych dla generowania fali w kierunku K1 i kącie diwergencji  $\gamma1$  przy wykorzystaniu każdego z sektorów osobno. Na Fig. 9 przedstawione jest połączenie elektrod Dz i Dw objętych wspólnym kątem środkowym  $\gamma1$  z emisją fali w kierunku K1. Kolejna Fig. 10 obrazuje połączenia elektrod jednocześnie generujących fale w dwóch kierunkach K2 i K3, z różnymi kątami diwergencji  $\gamma2$  i  $\gamma3$ , przy wykorzystaniu elektrod obu sektorów S1 i S2. Natomiast przy połączeniu według Fig. 11 sekcja Se1 elektrod zewnętrznych Dz emituje falę w kierunku K1 o szerokości kątownej  $\gamma1$ , a sekcja Se2 w kierunku K2 i szerokości  $\alpha1$ . Na ostatniej Fig. 12 pokazana jest emisja dwóch fal skierowanych w tym samym K1 kierunku ale o różnych kątach diwergencji  $\gamma1$  i  $\alpha1$ , odpowiednio z sektora S1 i S2. Przedstawione na figurach przykładowe sposoby połączeń nie wyczerpują wielu innych możliwości, każdorazowo dostosowanych do konkretnych warunków technicznych monitorowanej lub badanej konstrukcji.

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 wyspecyfikowanych długościach  $\lambda$ , odpowiednio: w sektorze S1 połączonych z generatorem a w S2 z analizatorem lub odwrotnie. Przetwornik według wynalazku może pracować jako generator, odbiornik albo jednocześnie generator i odbiornik fal ultradźwiękowych.

#### Wykaz oznaczeń na rysunku

d	odległość między elektrodami górnymi
D	elektrody dolne
Dz1-Dzn	odcinkowe elektrody dolne zewnętrzne
Dw1-Dwm	odcinkowe elektrody dolne wewnętrzne
G	elektrody górne
$\gamma1, \gamma2, \gamma3, \alpha1$	kąt diwergencji fali ultradźwiękowej
$\lambda1, \lambda2, \lambda3$	długość powierzchniowej fali ultradźwiękowej
$\omega$	kąt środkowy między elektrodami dolnymi
K, K1, K2	kierunek fali ultradźwiękowej
L	długość elektrody dolnej
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. Ultradźwiękowy przetwornik piezoelektryczny, zawierający warstwę piezoelektryczną z wieloma elektrodami elementarnymi, naniesionymi na jej górnej i dolnej powierzchni w zakresie pokrywających się współosiowo powierzchni pierścieniowych oraz które są niezależnie łączone przez programowalny multiprzelącznik z generatorem lub analizatorem, **znamienny tym**, że elektrody górne (G) mają postać koncentrycznych pierścieni usytuowanych w równych odstępach (d) od siebie a elektrody dolne (D) stanowią promieniowo ukierunkowane odcinki paskowe, obwodowo rozstawione według jednakowego kąta środkowego ( $\omega$ ).

2. Przetwornik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że elektrody dolne (D) mają kształt wycinków kołowych o długości (L) równej szerokości powierzchni pierścieniowej.

3. Przetwornik według zastrz.1 albo 2, **znamienny tym**, że elektrody dolne (D) podzielone są na swej długości (L) na co najmniej dwa sektory pierścieniowe (S1, S2) odcinkowych elektrod zewnętrznych (Dz1-Dzn) i wewnętrznych (Dw1-Dwm), z których każda elektroda jest niezależnie połączona z multiprzelącznikiem.

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

5. Sposób sterowania piezoelektrycznym przetwornikiem ultradźwiękowym, polegający na programowanym łączeniu w grupy elementarnych elektrod przetwornika, naniesionych na górną i dolną powierzchnię warstwy piezoelektrycznej w zakresie pokrywających się współosiowo powierzchni

pierścieniowych, elektrod niezależnie łączonych przez programowalny multiprzelącznik z generatorem lub analizatorem, oraz którego elektrody górne mają postać koncentrycznych pierścieni usytuowanych w równych odstępach od siebie a elektrody dolne stanowią promieniowo ukierunkowane odcinki paskowe, obwodowo rozstawione według jednakowego kąta środkowego, **znamienny tym**, że wymaganą długość ( $\lambda$ ) generowanej lub analizowanej fali ultradźwiękowej dobiera się jako odległość pomiędzy środkami geometrycznymi co najmniej dwóch grup rzędów (R1, R2) połączonych elektrod górnych (G), w każdym rzędzie (R1, R2) o takiej samej lub różnej ilości elektrod sąsiadujących ze sobą oraz oddzielonych od sąsiadujących rzędów o pewną ilość elektrod niepołączonych.

6. Sposób według zastrz. 5, **znamienny tym**, że wymagany kierunek (K) i kąt diwergencji ( $\gamma$ ) rozchodzenia się fali ultradźwiękowej dobiera się poprzez ilość połączonych w sekcje (Se1, Se2), sąsiadujących ze sobą elektrod dolnych (D).

7. Sposób według zastrz. 6, **znamienny tym**, że połączenia elektrod dolnych (D) dokonuje się w kilku sekcjach (Se1, Se2) o różnych kierunkach (K1, K2) i kątach diwergencji ( $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ ) rozchodzenia się fali ultradźwiękowej.

8. 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) o różnych kierunkach (K1, K2) i kątach diwergencji ( $\gamma_1, \alpha_1$ ) rozchodzenia się fali ultradźwiękowej.

9. Sposób według zastrz. 7, **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

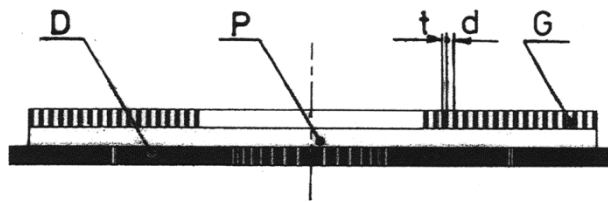


FIG. 1

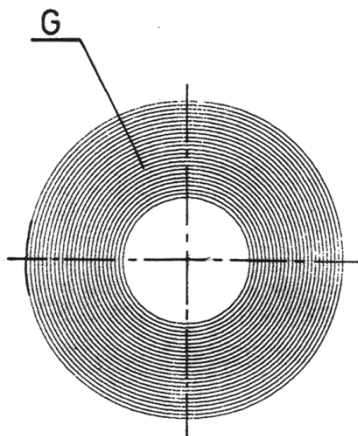


FIG. 2

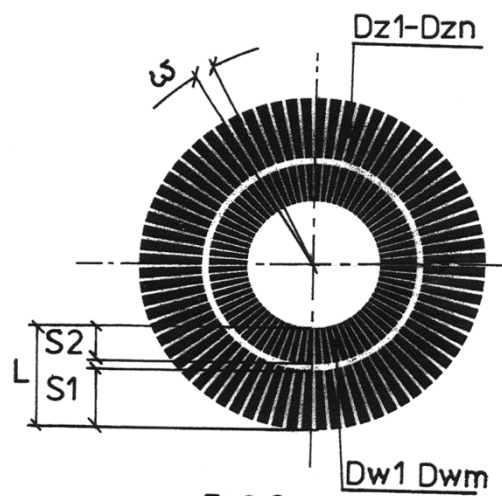


FIG. 3

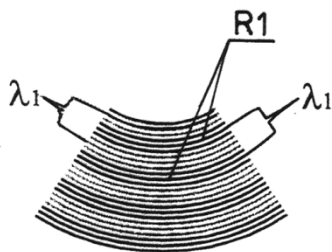


FIG. 4

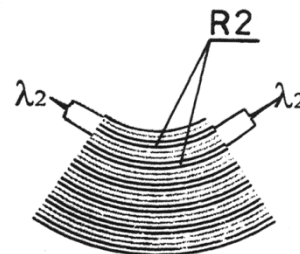


FIG. 5

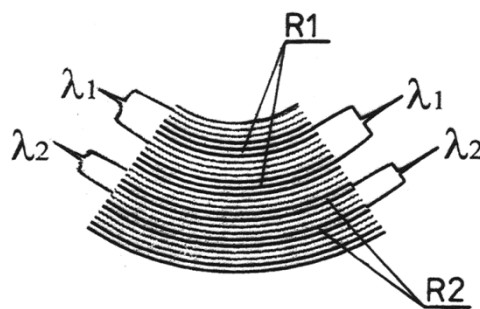


FIG. 6

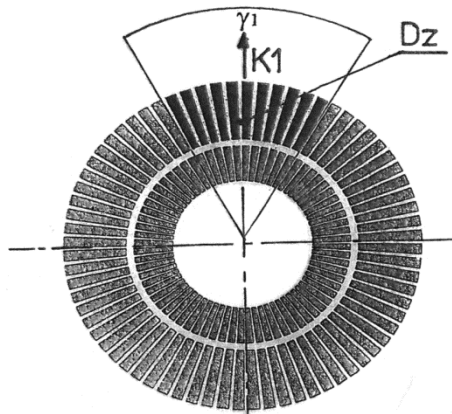


FIG. 7

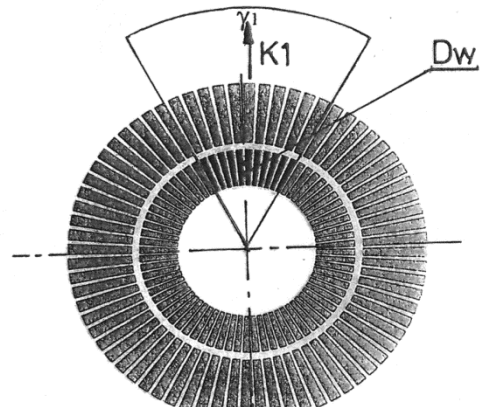


FIG. 8

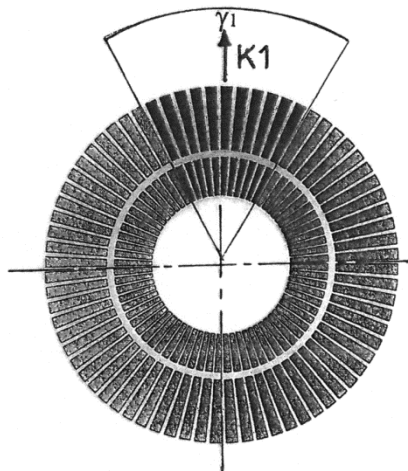


FIG. 9

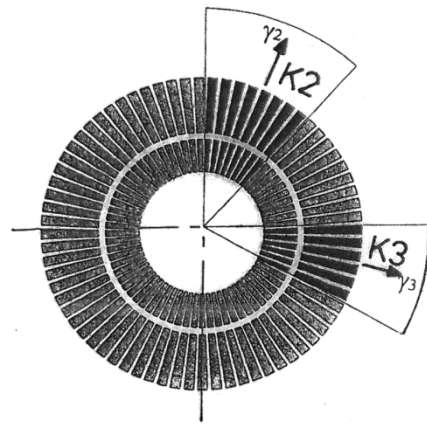


FIG. 10

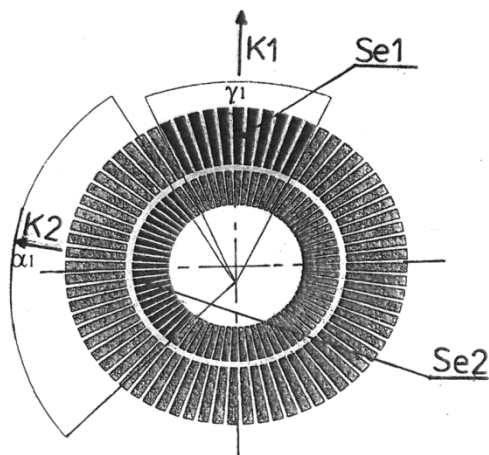


FIG. 11

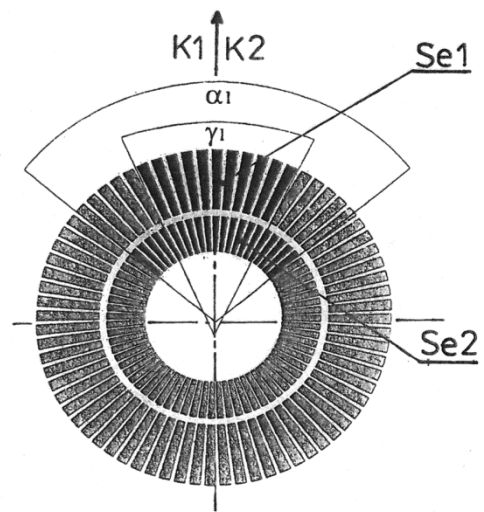


FIG. 12

