



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

⑪ Numéro de publication:

0 142 416
A2

⑫

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

⑲ Numéro de dépôt: 84402088.3

⑤① Int. Cl.⁴: **G 10 K 11/00**

⑳ Date de dépôt: 17.10.84

③① Priorité: 25.10.83 FR 8316994

④③ Date de publication de la demande:
22.05.85 Bulletin 85/21

⑧④ Etats contractants désignés:
DE GB IT

⑦① Demandeur: THOMSON-CSF
173, Boulevard Haussmann
F-75379 Paris Cedex 08(FR)

⑦② Inventeur: Grall, Georges
THOMSON-CSF SCPI 173, bld Haussmann
F-75379 Paris Cedex 08(FR)

⑦④ Mandataire: Desperrier, Jean-Louis et al,
THOMSON-CSF SCPI 173, Bld Haussmann
F-75379 Paris Cedex 08(FR)

⑤④ Système transducteur de sonar pour imagerie.

⑤⑦ Le transducteur sonar de l'invention comporte un empilement d'un nombre pair d'antennes à réseau linéaire identique, l'empilement étant animé d'un mouvement rotatif alternatif de faible amplitude (par exemple 9°, pour dix antennes), les antennes étant alternativement émettrices et réceptrices par moitié, les antennes émettrices, ainsi que les

antennes réceptrices étant mutuellement décalées d'un angle égal à l'angle de rotation de l'ensemble, l'ensemble des antennes réceptrices étant décalé par rapport à l'ensemble des antennes émettrices d'un angle égal au retard de phase d'un lobe d'émission par rapport au lobe de réception correspondant.

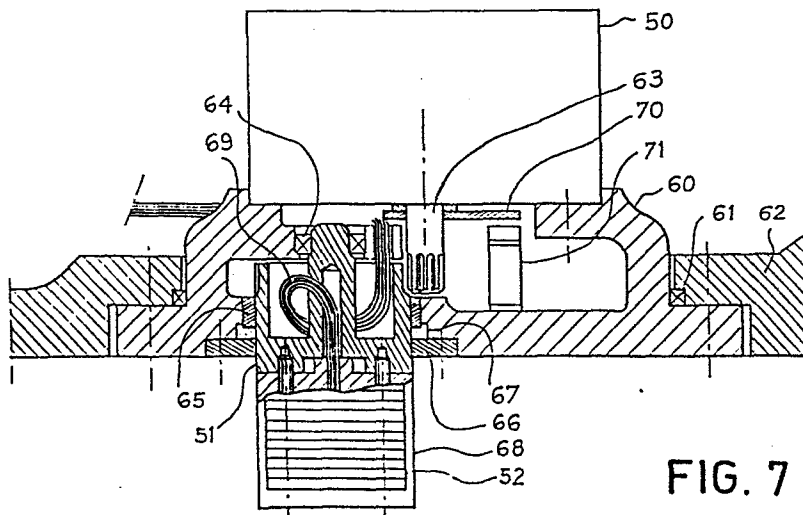


FIG. 7

EP U 142 410 A2

SYSTEME TRANSDUCTEUR DE SONAR POUR IMAGERIE

La présente invention se rapporte à un système transducteur de sonar pour imagerie.

Un sonar d'imagerie est un dispositif sonar fonctionnant à une fréquence de quelques mégahertz et permettant une visualisation des objets posés sur le fond de la mer, comme c'est le cas pour une image optique. Il se substitue à une caméra de télévision lorsque la turbidité de l'eau est importante. Un élément important d'un tel sonar est le système transducteur d'émission et de réception. Ce système transducteur doit assurer un large secteur d'observation avec une résolution élevée.

On connaît un système transducteur comportant une seule antenne de réception et une seule antenne d'émission insonifiant tout le secteur d'observation. Les voies de réception sont préformées électroniquement, et il faut assurer pour chaque voie un retard différent sur chaque signal de transducteur. Pour couvrir par exemple un secteur d'observation de 45° en gisement avec un faisceau ayant une largeur en gisement de $0,6^\circ$, il faudrait former 75 voies, ce qui nécessiterait un circuit électronique de traitement très onéreux. En outre, ce système sonar présente, par rapport à un système à antenne directive, un gain d'antenne réduit, ce qui entraîne une augmentation de la puissance électrique nécessaire à sa mise en oeuvre.

Il est également connu de préformer géométriquement des voies en utilisant autant d'antennes que de voies et en les décalant angulairement de la valeur désirée ($0,6^\circ$ pour l'exemple précité). Pour un nombre élevé de voies, cette technique devient trop onéreuse.

Il est connu enfin de ne pas préformer de voies et d'insonifier l'espace par balayage mécanique d'une seule paire d'antennes d'émission et de réception effectuant un balayage alternatif, mais alors la cadence de formation d'images est insuffisante.

La présente invention a pour objet un système transducteur de sonar pour imagerie qui soit simple et peu onéreux à réaliser, qui ne complique pas les circuits électroniques associés, et qui permette d'obtenir une cadence d'images suffisante tout en ayant un secteur d'observation relativement large et présentant une résolution élevée.

Le système transducteur conforme à l'invention comporte plusieurs antennes émettrices et réceptrices mues par un dispositif moteur leur faisant effectuer un balayage alternatif.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, le système transducteur comporte un nombre pair d'antennes constituées de réseaux linéaires superposés fonctionnant par moitié alternativement, à chaque changement de sens de rotation, en émission et en réception, ces antennes étant mutuellement décalées angulairement selon des angles égaux entre eux et égaux à l'angle de balayage alternatif rotatif auquel est soumis l'ensemble des antennes.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée d'un mode de réalisation, pris comme exemple non limitatif et illustré par le dessin annexé, sur lequel :

- la figure 1 est une vue schématique simplifiée d'un engin d'exploration sous-marine comportant un système transducteur de sonar pour imagerie,

- la figure 2 est une vue schématique imagée et en perspective de faisceaux sonar émis par un transducteur à plusieurs voies d'émission,

- la figure 3 est une vue de dessus simplifiée des antennes d'un système transducteur conforme à l'invention,

- la figure 4 est une vue en perspective éclatée d'une antenne conforme à l'invention,

- la figure 5 est un diagramme, en fonction du temps, de la position angulaire du système transducteur de l'invention lorsqu'il assure un balayage alternatif,

- la figure 6 est un schéma électrique simplifié d'un circuit d'asservissement du moteur d'entraînement du système transducteur de l'invention, et

- la figure 7 est une vue en coupe représentant un exemple d'implantation du moteur de la figure 6 dans un engin d'exploration.

On a représenté sur la figure 1, de façon simplifiée, un engin 1 non habité d'exploration de fonds sous-marins, généralement appelé "poisson". Cet engin peut être autopropulsé, ou bien remorqué par un bateau de surface 2 comme représenté sur la figure 1.

Lorsque le sonar de coque classique (non représenté) du bateau a

repéré et classifié un, objet reposant sur le fond marin 3, le "poisson" effectue une identification plus précise, et il faut alors localiser le "poisson" avec précision par rapport à cet objet. A cet effet, le "poisson" comporte une caméra de télévision 4 et un sonar haute fréquence 5 comprenant essentiellement un système transducteur 6, et des circuits électriques associés classiques d'émission, de réception, et de traitement, ces circuits étant alimentés en énergie par une batterie 8.

Un câble 9 relie le "poisson" 1 au bateau 2. Par ce câble transitent les signaux vidéo issus de la caméra 4 et les signaux sonar issus du sonar 5, ainsi que d'éventuels signaux de commande à destination du "poisson". Les signaux vidéo et sonar transmis par le câble 9 sont visualisés à bord du bateau 2 sur un moniteur standard de télévision (non représenté) dont l'opérateur commande la commutation sur les signaux vidéo ou sonar.

Sur la figure 2, on a symbolisé un ensemble de faisceaux 10 émis par un transducteur 11 à plusieurs voies d'émission et de réception (il y a cinq voies de chaque sens et donc cinq faisceaux d'émission dans le cas de la figure 2). Ces faisceaux sont émis obliquement (par rapport à la verticale) et insonifient le fond marin (dont une portion 12 supposée sensiblement horizontale et plane a été représentée) selon un secteur d'observation ayant, en gisement, un angle 13.

Compte-tenu des mouvements du "poisson", on a déterminé que le système sonar devait produire, de façon optimale, quatre images par seconde, valeur qui sera adoptée dans la suite de la description, mais cette valeur n'est nullement limitative.

Pour un exemple de réalisation préféré de l'invention, on a adopté les valeurs typiques suivantes : angle 13 (voir figure 2) : 45° . Résolution, à 10 mètres du transducteur : surface carrée de 10 cm de côté. Distance maximale entre le transducteur et le point d'impact de l'extrémité d'un faisceau sur le fond de la mer (distance référencée 14 sur la figure 1) : 10 mètres, le faisceau étant délimité, par convention, par un contour à 3dB d'atténuation du lobe principal du diagramme de directivité. Distance minimale entre la verticale passant par la face d'émission du transducteur et le point d'impact de l'extrémité d'un faisceau, en dessous de laquelle il n'y a pas besoin de localiser des objets : 2 mètres (distance référencée 15 sur la

figure 1). A cette distance minimale 15 correspond une distance minimale 16 entre le transducteur et le point d'impact du faisceau.

La résolution que l'on s'est fixée impose, à la distance maximale précitée de 10 mètres, une largeur en gisement de chacun des faisceaux de l'ensemble 10 (voir figure 2) de $1/100$ rd, soit $0,6^\circ$, la largeur en gisement étant la valeur de l'angle d'ouverture 17 du faisceau conventionnel (c'est à dire considéré selon la convention précitée). Les distances obliques maximale 14 et minimale 16 délimitent un angle de site 18 de 30° .

Dans les conditions précitées, le nombre de voies à former est de $45^\circ/0,6^\circ = 75$ voies.

Pour éviter les inconvénients des systèmes transducteurs connus précités, l'invention propose de préformer géométriquement un faible nombre de voies, cinq dans un exemple de réalisation préféré, à l'émission et à la réception, et de faire subir au système transducteur un balayage mécanique alternatif de faible amplitude, 9° dans un sens, et 9° en sens inverse pour l'exemple de réalisation préféré, de manière à satisfaire à la cadence image requise, tout en ayant des caractéristiques du moteur de balayage peu contraignantes.

On a représenté sur la figure 3 une vue de dessus simplifiée des réseaux linéaires du transducteur 19 du mode de réalisation préféré de l'invention. Ce transducteur 19 comporte dix antennes à réseaux linéaires identiques superposées, leur milieu étant situé sur un axe, perpendiculaire au plan de la figure 3, dont on voit la trace 20 sur cette figure. Cinq de ces antennes fonctionnent en émission, et les cinq autres en réception. On voit sur la figure 3, cinq réseaux d'antenne référencés 21 à 25, par exemple les cinq réseaux d'émission disposés au-dessus des cinq réseaux de réception, ces derniers étant respectivement orientés en gisement de la même façon que les réseaux d'émission, et étant donc occultés par elles dans la vue de dessus de la figure 3. Les cinq réseaux 21 à 25 sont mutuellement décalés d'un angle de 9° . Chacun des réseaux 21 à 25 émet un faisceau ultrasonore directif, les faisceaux étant respectivement référencés 26 à 30. La direction de chaque faisceau est perpendiculaire à l'axe longitudinal du réseau linéaire correspondant et à l'axe 20, et ces faisceaux sont mutuellement décalés d'un angle de 9° . L'ensemble 19 des dix antennes tourne autour de l'axe 20 selon

un mouvement alternatif d'amplitude 9° (9° dans un sens et 9° dans l'autre sens). Par conséquent, ce mouvement alternatif permet d'observer complètement le champ angulaire de 45° requis.

Chaque réseau linéaire est formé de plusieurs transducteurs élémentaires émetteurs ou récepteurs, suivant le cas, dont les signaux électriques à l'émission ou à la réception sont additionnés par simple connexion électrique entre les transducteurs élémentaires du même réseau linéaire.

Dans le mode de réalisation décrit ci-dessous, la face active de chaque réseau a une longueur de 60λ et une hauteur de 2λ . Un tel réseau produit, à la fréquence de fonctionnement de 2MHz (la fréquence de fonctionnement est avantageusement comprise entre 1 et 5 MHz), un diagramme de rayonnement dont la largeur angulaire (à 3 dB d'atténuation) en gisement est de l'ordre de $0,95^\circ$, et celle en site de l'ordre de 30° . La résolution angulaire en gisement requise de $0,60^\circ$ est obtenue par le produit des diagrammes d'émission et de réception.

Du fait de la rotation du système transducteur, il se produit un retard de phase du faisceau d'émission par rapport au faisceau de réception correspondant, ce retard de phase étant fonction de la vitesse de rotation du système et de la distance de la cible. Afin d'assurer la coïncidence entre les faisceaux d'émission et de réception, on décale angulairement les réseaux récepteurs par rapport aux réseaux émetteurs correspondants en leur faisant subir une légère rotation d'angle α autour de l'axe 20, (ce qui fait qu'en toute rigueur, dans la vue de dessus de la figure 3), les réseaux récepteurs ne sont pas complètement masqués par les réseaux émetteurs, mais en dépassent légèrement) afin d'assurer à l'émission une avance de phase égale en valeur absolue audit retard. Dans le mode de réalisation décrit, pour lequel la distance maximale D référencée 14 est de 10m, et la vitesse de rotation ω du système transducteur est de $45^\circ/s$ (pour obtenir quatre images par seconde), l'angle de décalage est $\alpha = 2D \cdot \omega / C = 0,6^\circ$ (C étant la vitesse du son dans l'eau). Chaque réseau est alternativement émetteur et récepteur suivant le sens de rotation, pour assurer l'avance de phase à l'émission. Des moyens, évidents pour l'homme de l'art, sont prévus pour commuter alternativement les voies émission et réception du sonar sur les réseaux correspondants.

On a représenté sur la figure 4 une vue éclatée d'un mode de réalisation préféré d'une antenne 31 à réseau linéaire conforme à l'invention.

L'antenne 31 comporte un réseau linéaire 32 constitué d'une barre de céramique piézoélectrique 33 sur les faces latérales supérieure et inférieure de laquelle on dispose par métallisation un ruban longitudinal 34 de matière électriquement conductrice. De fines entailles 35 sont pratiquées dans la barre 33. Elles sont régulièrement espacées perpendiculairement à l'axe longitudinal de la barre, ces entailles coupant les rubans 34. On obtient ainsi un réseau formé de transducteurs élémentaires 36. Sur la figure 4 on a représenté neuf transducteurs. Par exemple, la barre 33 a une longueur de $60\lambda = 45\text{mm}$ (à la fréquence de 2 MHz, la vitesse C du son dans l'eau est de 1500m/s) et une épaisseur de $2\lambda = 1,5\text{ mm}$. La face latérale de la barre 33 opposée à sa face active est fixée par collage sur une barre 37, en matériau réflecteur, de mêmes longueur et épaisseur qu'elle. La barre 37 est par exemple en matériau synthétique poreux tel que du "Klégécel". L'ensemble des barres 33 et 37 est fixé par collage sur la face frontale plane d'une galette isolante 38 semi-circulaire en époxy de même épaisseur que ces deux barres. La galette 38 comporte à sa partie arrière une entaille 39 permettant l'introduction de l'extrémité d'un câble de connexion électrique 40 à une paire de fils blindée et le passage de l'axe de rotation. La plaque 41 formée par la galette 38 prolongée par les barres 37 et 33 est prise en sandwich entre deux galettes 42 et 43 de même forme qu'elle, et d'une épaisseur de 0,6mm par exemple. Les deux galettes 42 et 43 sont revêtues sur leurs grandes faces externes d'une pellicule métallique de blindage électromagnétique 44, 45 respectivement, par exemple en cuivre. Les faces internes (c'est à dire celles appliquées sur la plaque 41) des galettes 42 et 43 comportent une métallisation, 46, 47 respectivement, en forme de T dont la barre "horizontale" s'applique sur la métallisation 34 correspondante en établissant un contact électrique, et dont la barre "verticale" s'étend jusqu'au niveau de l'entaille 39 où elle se termine par un oeillet au centre duquel est pratiqué un trou borgne, 48, 49 respectivement, permettant ainsi la fixation par soudure de chacun des deux fils du conducteur 40 dont la tresse de blindage est reliée aux blindages 44 et 45.

L'ensemble des éléments de l'antenne 31, une fois monté et collé, est

enrobé d'une gaine de néoprène (non représentée) assurant l'étanchéité du montage.

Le transducteur de l'invention est formé par l'empilage de cinq paires d'antennes telles que l'antenne 31 décrite ci-dessus, les paires étant mutuellement décalées de 9° , et les deux antennes d'une paire étant décalées entre elles de $0,6^\circ$.

Selon une variante de réalisation, on peut faire deux empilements comportant chacun cinq antennes décalées entre elles de 9° , les deux empilements étant décalés entre eux de $0,6^\circ$.

10 Les cinq signaux de sortie des réseaux fonctionnant en mode de réception sont traités séparément de manière connue en soi, par amplification, filtrage, détection et intégration, puis sont multiplexés pour être transmis vers le bateau de surface 2 via le câble 9. Ces signaux multiplexés sont ensuite numérisés et stockés dans une mémoire dont les adresses
15 d'écriture tiennent compte du fait que les échantillons à mémoriser représentent des informations issues de voies écartées mutuellement d'un angle de 9° . Cette mémoire est remplie dans l'intervalle de temps correspondant à la durée de balayage du secteur de 9° , soit 200 ms puisque la vitesse de rotation choisie dans l'exemple décrit est de $45^\circ/s$. Cette mémoire est relue
20 au standard télévision à grande vitesse de lecture pour visualisation sur ledit moniteur de télévision. Dans un exemple de réalisation, le gain d'antenne est d'environ 32 dB, ce qui permet d'alimenter les cinq réseaux d'émission en parallèle avec une puissance électrique de 30 W environ, chaque réseau recevant 6 W environ.

25 Le diagramme de la figure 5 montre l'évolution en fonction du temps t de la position angulaire A du transducteur de l'invention en fonctionnement, c'est à dire lorsqu'il effectue un balayage alternatif à la vitesse angulaire de $45^\circ/s$, en étant mû par un motoréducteur à commande électrique asservi en vitesse. La courbe de la figure 5 a la forme d'une dent de scie régulière et
30 symétrique par rapport à un axe des temps Ot situé à la moitié du débattement angulaire, dent de scie dont la pente a pour valeur absolue $45^\circ/s$ et dont les sommets sont arrondis à cause du temps T_0 nécessaire à l'établissement de la vitesse de rotation lors du changement de sens de rotation. De part et d'autre de l'axe Ot , la partie linéaire de la courbe est

comprise entre les positions angulaires $-4,5^\circ$ et $+4,5^\circ$, dans une zone utile Z.U de durée 200 mS.

On a représenté sur la figure 6 un exemple de réalisation du circuit d'asservissement du moteur d'entraînement 50 du transducteur de l'invention. Le moteur 50 entraîne par l'intermédiaire d'un réducteur 51 le transducteur 52.

Le réducteur 51 a un rapport de réduction de $1/25$ par exemple. Le moteur 50 entraîne également un générateur 53 dont la tension de sortie est envoyée à un comparateur 54 recevant d'autre part d'un commutateur 55 une tension de consigne commutée alternativement (selon une période égale à $Z.U + T_0$) entre les valeurs $+V_0$ et $-V_0$ correspondant aux tensions fournies par le générateur 53 pour un débattement angulaire de $+4,5$ et $-4,5^\circ$ (par rapport à une position angulaire à mi-débattement) du transducteur 52. La tension de sortie de 54 est amplifiée par un amplificateur 50A et alimente le moteur 50. La commutation du commutateur 55 est commandée par deux amplificateurs 56, 57 reliés chacun à une butée optique de gisement à éléments photosensibles 58, 59 respectivement, déterminant lesdits débattements angulaires de $+4,5^\circ$ et $-4,5^\circ$.

On a représenté sur la figure 7 un exemple d'implantation du moteur et du transducteur sur le "poisson". Les caractéristiques du moteur choisi sont :

- couple nominal : 3 cm.N
- constante de temps mécanique : $\tau = 4,5$ ms
- Inertie : $I_c = 100 \text{ g.cm}^2$

Compte-tenu du réducteur, de rapport $1/25$, la constante de temps du système mécanique est à peu près égale à celle du rotor du moteur, soit $\tau_{\text{eff}} = 5$ ms. L'accélération maximale est égale à $-\frac{2\omega}{\tau}$, soit 314 rd/s^2 , fournissant un couple d'inertie $C_i = I_c \cdot \frac{2\omega}{\tau} = 0,35 \text{ cm.N}$. Ce couple est faible devant celui du moteur choisi qui doit vaincre essentiellement les couples de frottements secs.

Comme représenté sur la figure 7, le moteur 50 est fixé sur un support amovible 60 lui-même fixé de façon étanche (joint 61) sur la coque 62 du "poisson" en un endroit approprié. L'arbre de sortie 63 du moteur 50 entraîne le réducteur 51 supporté en bout par un roulement 64 et guidé latéralement par une bague de guidage 65, le roulement 64 et la bague 65 étant solidaires

du support 60. Le réducteur 51 est logé dans une cavité du support 60, refermée de façon étanche par une plaque alésée 66 par l'alésage de laquelle le réducteur 51 fait légèrement saillie au-delà du support 60. Le transducteur 52 est fixé en bout du réducteur 51 et protégé par un radôme 68 fixé de façon étanche sur l'extrémité saillante du réducteur 51. Le câble de connexion électrique 65 du transducteur 52 passe dans l'axe creux du réducteur 51, en sort latéralement et est raccordé aux circuits électroniques 7 du "poisson" (voir figure 7) en faisant une boucle permettant la rotation alternative du transducteur.

10 Une palette 70 est fixée sur l'arbre 63 du moteur 50 et coopère avec deux détecteurs optiques, par exemple du type à réflexion, dont un seul, référencé 71, est visible sur la figure 7, ces deux détecteurs étant fixés sur le support 60 en des endroits appropriés. Ces deux détecteurs comportent les éléments photosensibles 58 et 59 représentés en figure 6.

REVENDICATIONS

1. Système transducteur de sonar pour imagerie caractérisé par le fait qu'il comporte plusieurs antennes émettrices et réceptrices (21 à 25) mues par un dispositif moteur (50) leur faisant effectuer un balayage alternatif.

2. Système transducteur selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'il comporte un nombre pair d'antennes constituées de réseaux linéaires superposés fonctionnant par moitié alternativement à chaque changement de sens de rotation en émission et en réception, ces antennes étant mutuellement décalées angulairement selon des angles égaux entre eux et égaux à l'angle de balayage alternatif rotatif auquel est soumis l'ensemble des antennes.

3. Système transducteur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé par le fait que la vitesse de rotation angulaire du système étant de ω °/s, C étant la vitesse du son dans l'eau, D étant la distance maximum d'observation, les antennes émettrices sont décalées en avance de phase par rapport aux antennes réceptrices correspondantes d'un angle α tel que $\alpha = 2D \cdot \omega / C$.

4. Système transducteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que chaque antenne comporte un réseau linéaire constitué d'une barre parallélépipédique de céramique piézoélectrique (33) sur les faces latérales supérieure et inférieure de laquelle on dispose par métallisation un ruban longitudinal (34) de matière électriquement conductrice, dans laquelle on pratique de fines entailles (35) régulièrement espacées, perpendiculairement à l'axe longitudinal de la barre pour former des transducteurs (36), cette barre étant fixée sur un réflecteur (37) de même épaisseur, lui-même fixé sur la face frontale d'une palette isolante (38) de même épaisseur, l'ensemble étant pris en sandwich entre deux palettes (42,43) blindées extérieurement (44,45) comportant chacune sur leur face interne une métallisation (46,47) venant en contact électrique avec lesdites métallisations (34) de la barre de céramique, et reliée à un fil d'un conducteur (40) de raccordement de l'antenne.

5. Système transducteur selon la revendication 4, pour un sonar ayant un secteur d'observation en gisement de 45° , présentant une résolution de 10 cm x 10 cm à une distance maximale d'observation de 10 cm, caractérisé par le fait qu'il comporte dix antennes superposées à réseaux linéaires, les réseaux émetteurs étant, de même que les réseaux récepteurs, mutuellement décalés de 9° , l'ensemble tournant suivant un mouvement alternatif d'amplitude 9° , et que les réseaux récepteurs sont décalés par rapport aux réseaux émetteurs correspondants d'un angle de $0,6^\circ$.

6. Système transducteur selon l'une des revendications 4 ou 5, caractérisé par le fait que chaque réseau linéaire a une longueur de 60λ et une hauteur de 2λ , λ étant la longueur d'onde des ondes ultrasonores émises dans l'eau.

1/4

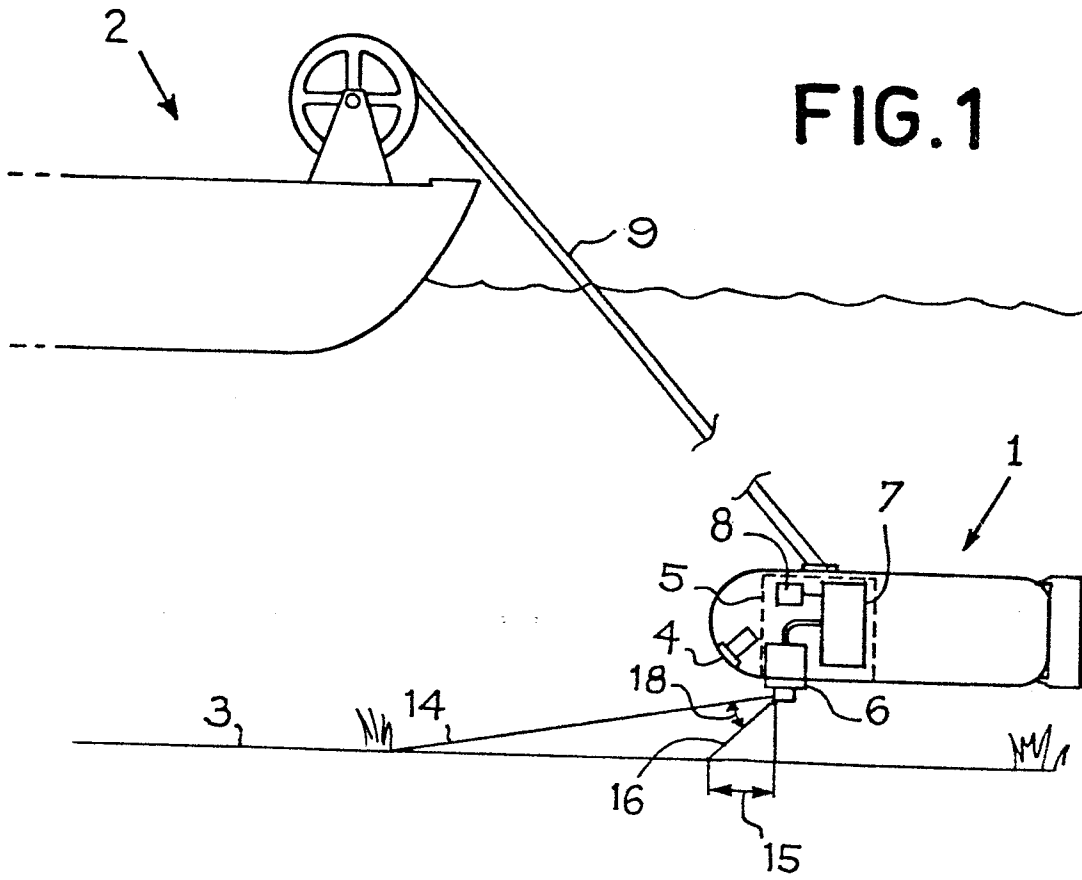


FIG. 1

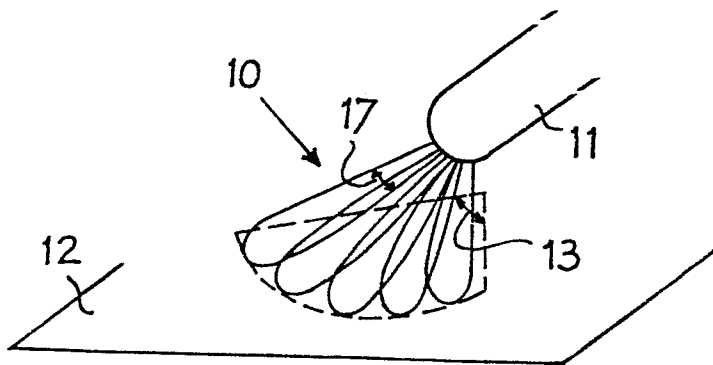
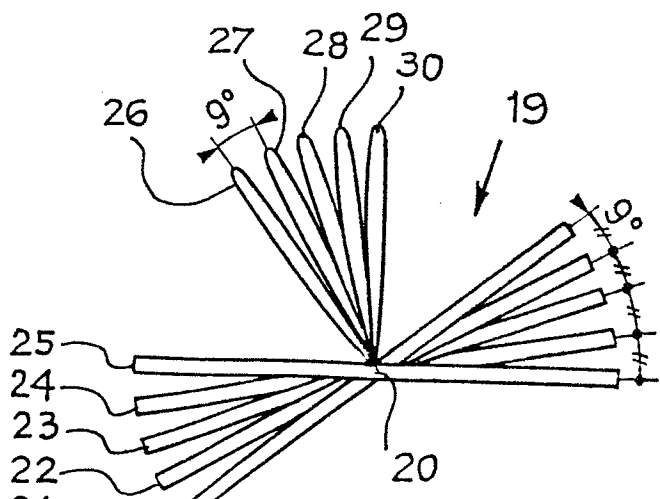


FIG. 2

FIG. 3



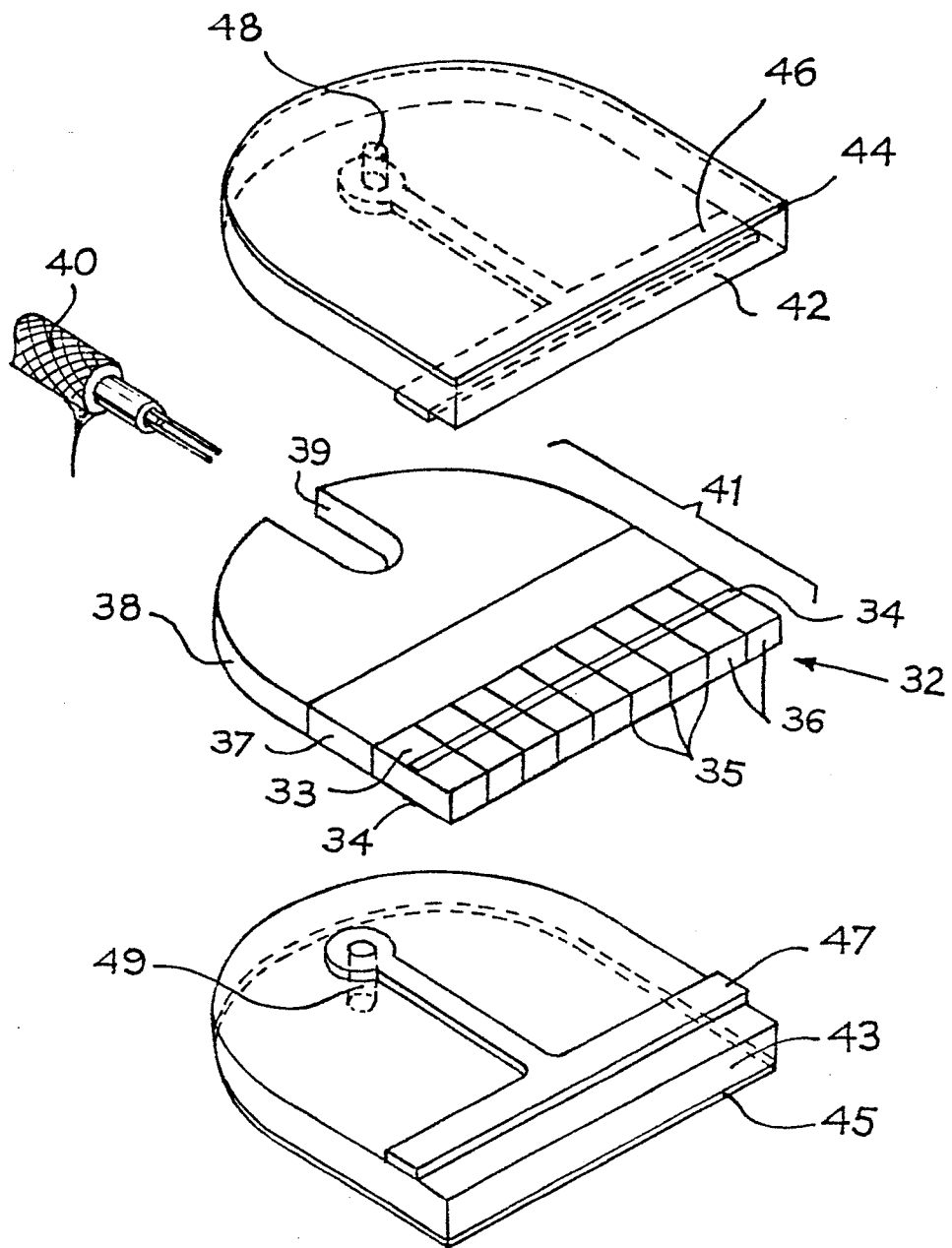


FIG. 4

3/4

FIG. 5

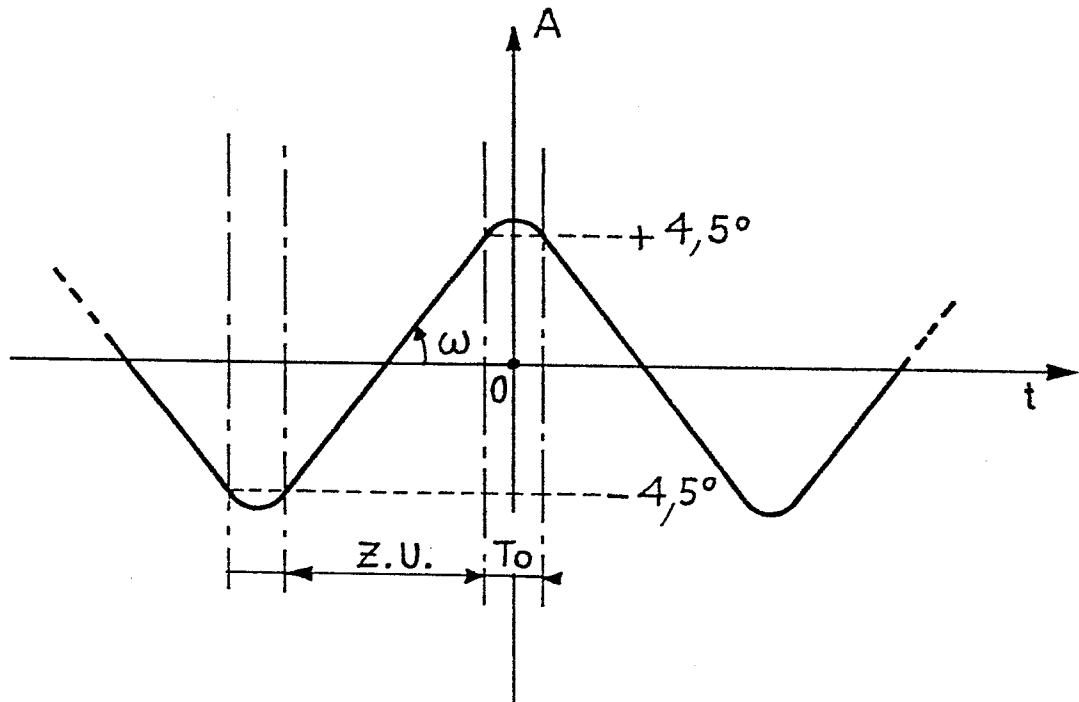
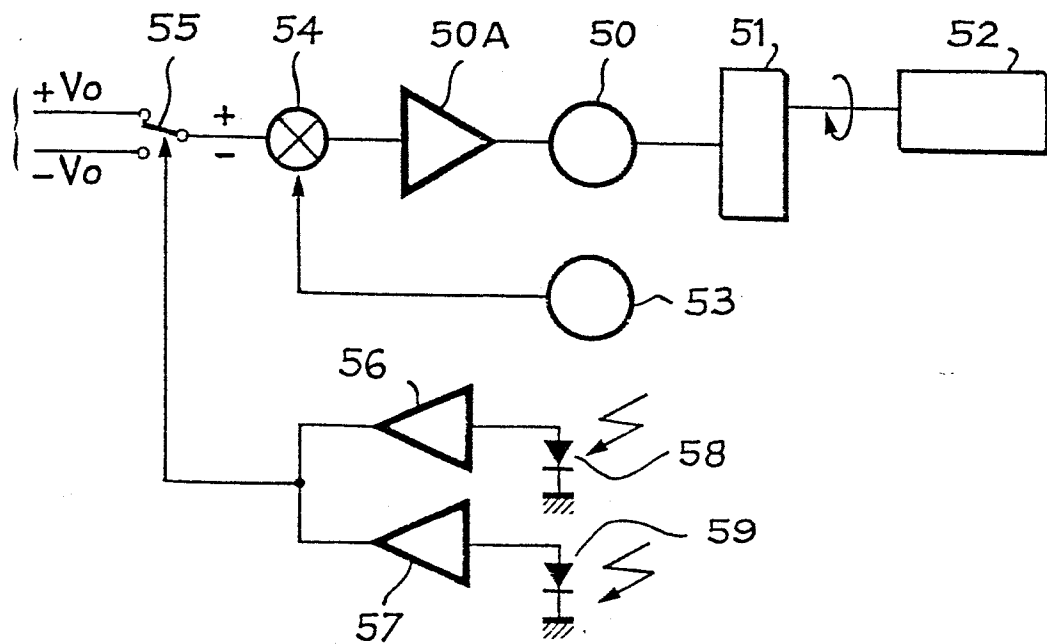


FIG. 6



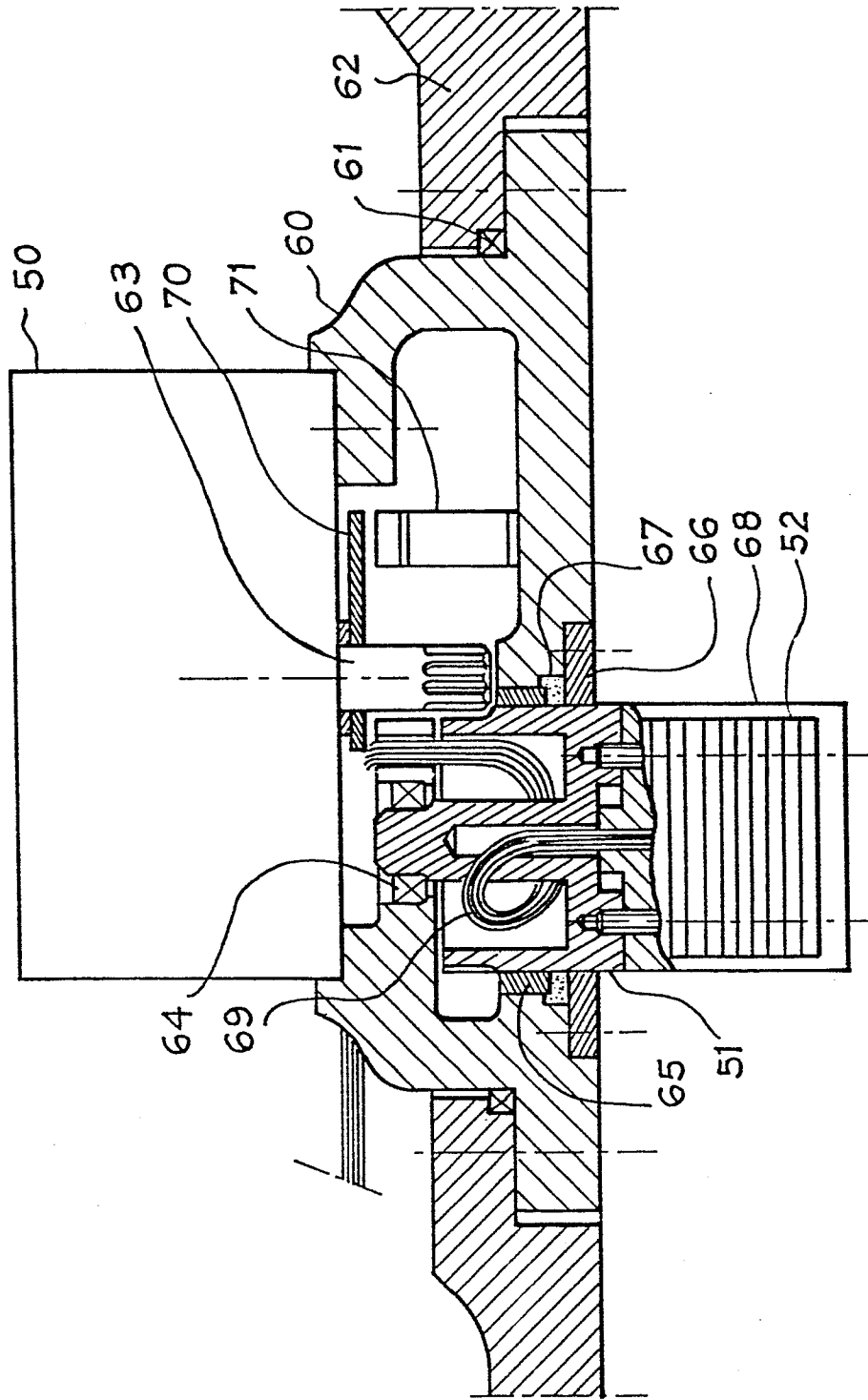


FIG. 7