

⑫

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

⑳ Numéro de dépôt: **88402674.1**

⑤① Int. Cl.⁴: **G 10 K 11/16**

㉔ Date de dépôt: **24.10.88**

③⑦ Priorité: **27.10.87 FR 8714826**

④③ Date de publication de la demande:
24.05.89 Bulletin 89/21

⑧④ Etats contractants désignés: **DE GB NL**

⑦① Demandeur: **THOMSON-CSF**
51, Esplanade du Général de Gaulle
F-92800 Puteaux (FR)

⑦② Inventeur: **Lagier, Michel**
THOMSON-CSF SCPI 19, avenue de Messine
F-75008 Paris (FR)

⑦④ Mandataire: **Desperrier, Jean-Louis et al**
THOMSON-CSF SCPI
F-92045 PARIS LA DEFENSE CEDEX 67 (FR)

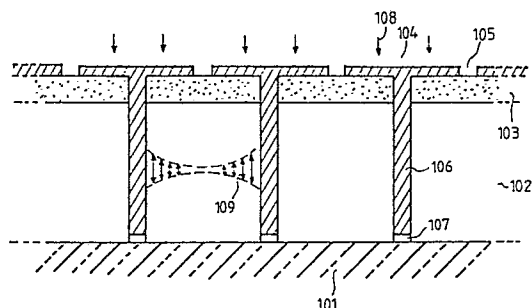
⑤④ **Revêtement anéchoïque pour ondes acoustiques.**

⑤⑦ L'invention concerne les revêtements anéchoïques qui permettent d'empêcher une paroi de réfléchir les ondes acoustiques.

Elle consiste à recouvrir cette paroi (101) d'une couche de matériau élastique faiblement compressible (102) et présentant de fortes pertes au cisaillement puis d'une couche de matériau fortement compressible (103). Un ensemble de plateaux (104) recouvre cette deuxième couche et vibre sous l'action des ondes acoustiques (108). Des tiges (106) fixées sur ces plateaux transmettent ces vibrations à la première couche qui est ainsi sollicitée en cisaillement (109) et vient dissiper l'énergie des vibrations.

Elle permet d'éviter le repérage par sonar des véhicules sous-marins

FIG.1



Description

REVETEMENT ANECHOIQUE POUR ONDES ACOUSTIQUES

La présente invention se rapporte aux revêtements anéchoïques qui permettent d'absorber les ondes acoustiques dans une large bande de fréquences et éventuellement sous de fortes pressions hydrostatiques afin, par exemple, d'échapper au repérage par sonar.

Lorsqu'une onde sonore, plus généralement acoustique, arrive sur une paroi, une partie de son énergie est réfléchiée, une autre partie est transmise, et une troisième partie est absorbée dans la paroi. Pour qu'une telle paroi soit anéchoïque, c'est-à-dire qu'elle ne réfléchisse aucune partie de l'onde acoustique incidente, il faut que celle-ci soit entièrement transmise, ou entièrement absorbée, ou qu'elle se partage entièrement entre la transmission et l'absorption.

On sait qu'à l'interface de deux milieux de propagation acoustique, d'impédance Z_0 pour le milieu dans lequel se propage l'onde incidente, et Z pour le milieu recevant celle-ci, le coefficient de réflexion sur cette interface est

$$R = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}.$$

Pour que l'énergie soit entièrement transmise, il faut que $Z = Z_0$. Ceci est en général impossible compte tenu des matériaux en question, sur lesquels on ne peut pas agir puisque l'un est un milieu naturel, le plus souvent de l'eau, et l'autre un matériau de construction d'une structure, par exemple l'acier d'une coque de sous-marin.

Il est connu dans ce cas de revêtir la paroi d'une couche intermédiaire tendant à rendre cette paroi anéchoïque en satisfaisant d'une part à l'égalité $Z = Z_0$ et en étant d'autre part absorbante.

Si le matériau est homogène, on ne sait pas satisfaire dans la pratique à ces deux conditions. En effet pour que le matériau soit absorbant, il faut qu'il présente des pertes, c'est-à-dire que son coefficient $\operatorname{tg} \delta$ soit grand. Dans ces conditions l'impédance Z est complexe (il y a un déphasage entre la pression et la vitesse), alors que l'impédance Z_0 est réelle, tout au moins dans le cas courant de l'eau.

Bien entendu une impédance complexe ne saurait être égale à une impédance réelle et la condition d'égalité des impédances ne peut donc être satisfaite.

Par ailleurs l'absorption des ondes acoustiques est définie par un coefficient d'absorption α qui est relié au coefficient $\operatorname{tg} \delta$ par la relation $\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} \operatorname{tg} \delta$. De ce fait on a entre R et α la relation : $R = \frac{\alpha \lambda}{4\pi}$.

Il est connu de fabriquer un matériau partiellement anéchoïque en noyant des particules solides dans une matrice formée d'un matériau d'élastomère. Ces hétérogénéités provoquent ainsi une diffusion et l'apparition dans ce matériau d'ondes de cisaillement, ce qui augmente le coefficient d'absorption.

Cependant le pouvoir anéchoïque d'une tel matériau reste limité, en raison de la relation existant entre les coefficients d'absorption et de réflexion, principalement aux basses fréquences.

Il est également connu de fabriquer un revêtement partiellement anéchoïque dans lequel l'énergie est dissipée par frottement visqueux. Pour cela on muni la paroi de conduits perpendiculaires à celle-ci dont la réalisation la plus connue est dite en nids d'abeilles. Le fond de ces conduits est muni de volumes compressibles formés par exemple avec un matériau en mousse comportant des alvéoles remplies de gaz. Selon le dimensionnement adopté, en particulier la longueur et le diamètre des conduits, on obtient une fréquence d'adaptation pour laquelle l'anéchoïsme est total.

Un tel revêtement est décrit par exemple dans le brevet français n° 84 05558 déposé au nom de la Société ALSTHOM ATLANTIQUE.

Outre le fait que l'anéchoïsme n'est suffisant que dans une bande passante centrée sur la fréquence d'adaptation, un tel revêtement anéchoïque est de fabrication complexe, et par conséquent d'un coût élevé.

L'invention propose un revêtement anéchoïque absorbant dans lequel les ondes acoustiques, qui sont des ondes de compression, sont utilisées pour exciter selon un mode de cisaillement un matériau qui présente des pertes importantes. Pour cela ces ondes acoustiques sont reçues sur un ensemble de plateaux supportés par une couche de matériau compressible et suivent le mouvement de l'onde acoustique. Ces plateaux comportent des tiges qui sont ancrées dans le sein d'une couche de matériau à pertes. Sous l'effet du mouvement communiqué aux tiges par les plateaux, le matériau est déformé en cisaillement et dissipe l'énergie provenant de l'onde acoustique.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement dans la description suivante présentée à titre d'exemple non limitatif et faite en regard des figures annexées qui représentent :

- la figure 1, une vue en coupe d'un revêtement selon l'invention ; et

- la figure 2, une courbe d'atténuation en fonction de la fréquence de l'onde incidente.

Sur la figure 1 on a représenté en coupe la paroi 101 qu'il s'agit de traiter acoustiquement.

Sur cette paroi on a fixé, par collage par exemple, une couche 102 d'un matériau élastique tel qu'un élastomère présentant de fortes pertes, c'est-à-dire un coefficient $\operatorname{tg} \delta$ important. Cet élastomère est faiblement compressible et de forte raideur et présente en outre une grande résistance au cisaillement.

Par dessus cette couche 102 on a fixé, par collage par exemple, une couche 103 formée d'un matériau fortement compressible et de faible raideur, tel que par exemple une mousse à cellules fermées.

Cette couche 103 est recouverte d'un ensemble de plateaux 104 séparés par des joints 105. Ces

joints présentent une largeur minimale et sont donc juste assez larges pour désolidariser les mouvements des plateaux entre eux tout en exposant un minimum de la surface de la couche 103 au milieu de propagation, l'eau le plus généralement. Ces plateaux sont rigides et peuvent être fabriqués soit en métal, soit avec un matériau composite tel qu'un stratifié de fibres de verre ou de carbone noyées dans une matrice en résine. Avantagusement leur masse est la plus faible possible.

Sur chaque plateau est fixée, sensiblement en son milieu, une tige 106 qui pénètre dans un trou ménagé dans les couches 103 et 102 où cette tige est enfoncée à force, de manière à être solidaire des parois de ce trou et à s'ancrer dans la masse de la couche d'élastomère 102.

La longueur de cette tige est telle qu'elle laisse un espace libre 107 entre son extrémité inférieure et la paroi 101 de manière à ne pas toucher cette paroi en dépit de l'action de la pression hydrostatique du milieu de propagation et de celle des ondes acoustiques.

Sous l'effet de la pression d'une onde acoustique incidente, représentée par les flèches 108, les plateaux se déplacent selon une direction normale à la paroi 101. Sous l'effet de ce mouvement, la couche 103 est comprimée entre les plateaux et la couche 102. Cette dernière ne subit pas de déformations appréciables sous l'effet direct du mouvement du plateau.

Les tiges 106 suivent elles-mêmes le mouvement des plateaux et comme elles sont solidaires de la paroi des trous dans lesquels elles sont enfoncées elles sollicitent en cisaillement la couche 102. La déformation du matériau de la couche 102 résultant de ce cisaillement est représentée sur la figure par les flèches 109. Tout naturellement cette déformation est maximale à l'interface entre la tige et la couche et décroît vers la partie médiane entre deux tiges.

L'amortissement de l'onde acoustique de compression incidente est donc obtenu d'une part par la différence de raideur entre les couches 102 et 103, et d'autre part par les pertes élastiques du mode de cisaillement dans la couche 102.

Pour obtenir la meilleure absorption possible, on détermine les paramètres des couches d'une part en fonction de la condition d'adaptation d'impédance, et d'autre part en fonction de la fréquence de résonance désirée, qui elle-même correspond à la fréquence pour laquelle on souhaite un maximum d'absorption.

La condition d'adaptation d'impédance est donnée en première approximation par :

$$p_0 C_0 S_0 \approx p C_s S$$

Dans cette égalité p_0 et C_0 sont respectivement la masse volumique et la vitesse de compression de l'eau, p et C_s sont la masse volumique et la vitesse de cisaillement de l'élastomère, S_0 est la surface d'un plateau et S la surface latérale d'une tige (πdh si d est le diamètre et h la hauteur).

Comme la vitesse C_s est dépendante de la fréquence, on choisit de préférence comme valeur

de la fréquence f_0 pour laquelle la formule ci-dessus est satisfaite, la valeur qui correspond à la fréquence de résonance de la structure. Cette fréquence de résonance est voisine de

$$\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{M_c C_{el}}}$$

dans laquelle M_c est la masse d'un ensemble plateaux/tiges et C_{el} la compliance équivalente de cisaillement de l'élastomère.

Dans ces conditions on obtient un anéchoïsme égal à 100% à cette fréquence f_0 .

Comme il faut d'autre part éviter un effet d'antenne dans lequel les plateaux, excités par le rayonnement incident, se mettent à rayonner à leur tour, on dimensionne les plateaux de telle manière que leur plus grande dimension et leur espacement soient très inférieurs à la longueur d'onde moyenne de la bande acoustique dans laquelle on veut obtenir un effet anéchoïque. A titre de variante, on peut remplacer un alignement d'ensembles plateau/tige par un profilé en forme de T dont la branche verticale est ancrée dans la couche d'élastomère, et dont la longueur maximale satisfasse à cette condition.

Selon un procédé de fabrication d'un revêtement suivant l'invention, on part d'une plaque rigide en métal ou en matériau composite sur laquelle on fixe les tiges par un procédé adéquat, par exemple vissage, soudure, emmanchement en force ou frettage thermique. On perce ensuite une couche de caoutchouc mousse aux emplacements des tiges, puis on enfle cette couche sur ces tiges de manière à ce qu'elle repose sur la plaque rigide. Après avoir placé cet ensemble dans un moule dont les bords sont suffisamment hauts, on coule la couche d'élastomère, qui vient se mouler sur la couche de caoutchouc mousse et autour des tiges que l'on a pris soin de prolonger par des manchons. Après polymérisation de l'élastomère on démoule l'ensemble, on retire les manchons de manière à obtenir les espaces 107 au bout des tiges, puis on sépare les plateaux en pratiquant par exemple des traits de scie qui ménagent les joints 105.

Dans un exemple de réalisation pratique, les dimensions du revêtement anéchoïque sont les suivantes :

- plateaux de forme carrée de côté égal à : 20 mm
- longueur de la tige : 60 mm
- diamètre de la tige : 6 mm
- épaisseur de la mousse : 10 mm
- épaisseur de l'élastomère : 55 mm

Les plateaux sont formés à partir d'une plaque d'acier épaisse de 1 mm et, dans cet exemple, les tiges sont formées à partir d'un tube d'acier d'épaisseur 1 mm, pour être creuses afin que la masse de l'ensemble ne soit pas trop importante.

Le matériau élastomère utilisé est un polyuréthane dont les caractéristiques sont :

- $\tan \delta = 0,5$
- vitesse des ondes de compression : 1700 m/s
- vitesse des ondes de cisaillement : 207 m/s

- masse volumique : 1120 kg par m³

La couche de mousse compressible est dans cet exemple fabriquée avec un polyuréthane semblable à celui de la couche d'élastomère, mais traité pour obtenir une mousse qui présente une masse volumique de 740 kg/m³ sous une pression de 30 bars, et dans laquelle la vitesse des ondes de compression est égale à 410 m/s. Un tel matériau garde ses caractéristiques de compressibilité sous de fortes pressions, 30 bars par exemple, et permet donc au revêtement anéchoïque de fonctionner sous une immersion importante, 300 m par exemple pour cette même pression de 30 bars.

On a représenté sur la figure 2 l'atténuation en fonction de la fréquence. On constate que la fréquence de résonance est voisine de 4 kHz et que l'on obtient une atténuation supérieure à - 15 dB dans une bande passante s'étendant de 2 à 7 kHz.

Revendications

1. Revêtement anéchoïque pour ondes acoustiques, destiné à être placé sur une paroi (101) réfléchissante, caractérisé en ce qu'il comprend :

- une première couche (102) de matériau élastique faiblement compressible et présentant de fortes pertes aux ondes de cisaillement, destinée à être fixée sur ladite paroi ;
- une deuxième couche (103) de matériau élastique fortement compressible fixée sur la première couche ;
- un ensemble de plateaux (108) rigides fixés sur la deuxième couche pour recevoir les ondes acoustiques ; et
- un ensemble de tiges (106) rigides fixées sur les plateaux, traversant la deuxième couche (103) et venant s'ancrer dans la masse de la première couche (102) pour solliciter celle-ci en cisaillement sous l'action des ondes acoustiques reçues par les plateaux.

2. Revêtement selon la revendication 1, caractérisé en ce que les plateaux (105) ont une forme géométrique permettant de recouvrir toute la surface de la deuxième couche (103) en présentant entre eux un joint (105) de largeur minimale.

3. Revêtement selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la deuxième couche (103) est formée d'une mousse comportant des alvéoles gazeuses.

4. Revêtement selon la revendication 3, caractérisé en ce que la deuxième couche (102) est formée d'un élastomère en polyuréthane.

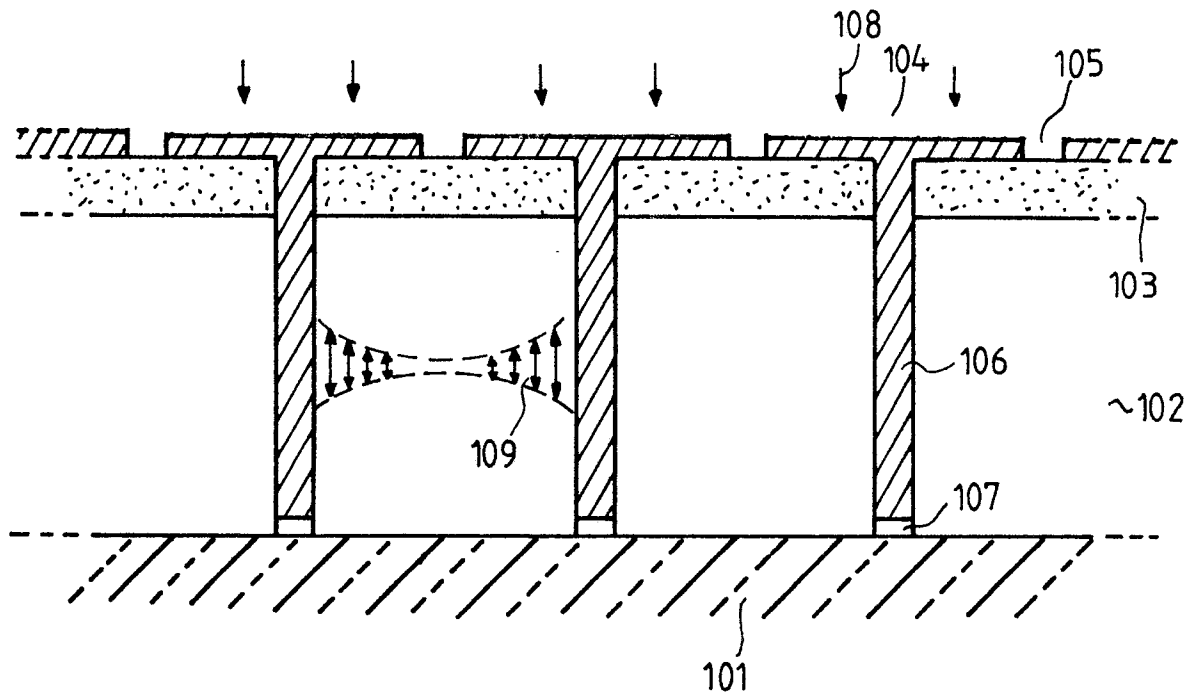
5. Revêtement selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, destiné à être plongé dans un fluide transmettant les ondes acoustiques, caractérisé en ce que les dimensions et la masse des plateaux (104) et des tiges (106), les vitesses des ondes acoustiques dans le fluide et la première couche (102), et les masses volumiques du fluide et de cette couche

permettent d'obtenir l'adaptation des impédances en compression et en cisaillement pour une fréquence (f_0) qui est la même que celle à laquelle résonnent les ensembles plateau/tige.

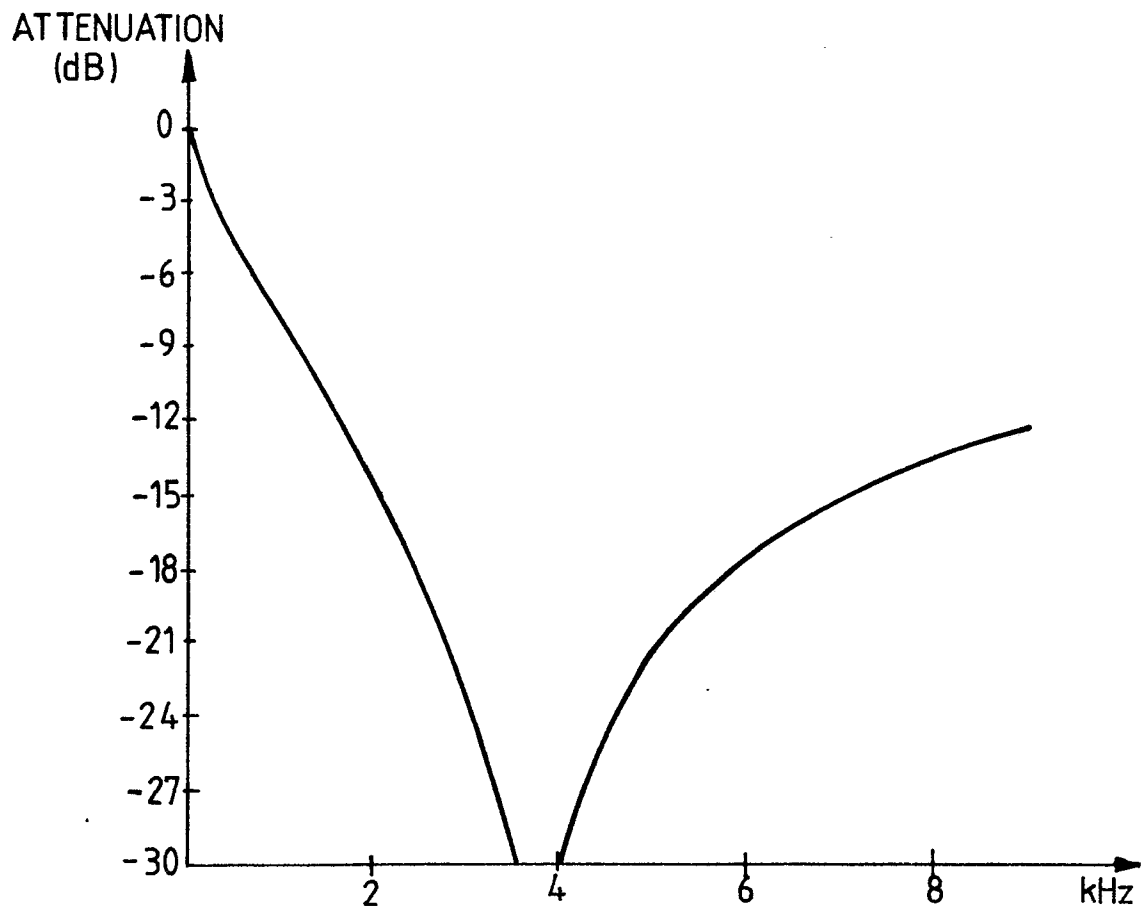
6. Revêtement selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'adaptation des impédances est déterminée par l'égalité $\rho_0 C_0 S_0 = \rho C_s S$ pour une fréquence déterminée par

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{M_c C_{el}}}.$$

FIG_1



FIG_2





DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.4)
A	FR-A-2 238 411 (DELEGUE MINISTERIEL POUR L'ARMEMENT) * Figure 3; revendications; page 1, lignes 1-4; page 2, lignes 8-31 * ---	1,2,5	G 10 K 11/16
A	EP-A-0 044 956 (MESSERSCHMIDT-BOLKOW-BOHM) * Page 1, lignes 1-7; revendication 1; figures 1,2 * ---	1,2	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 9, no. 111 (M-379)[1834], 15 mai 1985, page 42 M 379; & JP-A-59 231 240 (TAKAOKA KOGYO K.K.) 25-12-1984 * En entier * ---	1	
A	DE-B-1 293 329 (BROWN BOVERI) * Figure 2; revendication 4 * ---	3,4	
D,A	EP-A-0 161 458 (ALSTHOM ATLANTIQUE) * Page 5, lignes 18-29; revendications 2,6,7 * -----	5,6	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)
			G 10 K
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 16-01-1989	Examineur SWARTJES H.M.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			