

PROCÉDÉ ET DISPOSITIONS AMÉLIORANT L'EFFICACITÉ DES PROJECTEURS ULTRA-SONORES PIÉZO-ÉLECTRIQUES.

Dans un brevet antérieur au nom du demandeur n° 505.703, en date du 17 septembre 1918, il a été décrit un émetteur-récepteur de vibrations ultra-sonores utilisant les propriétés piézo-électriques du quartz cristallisé.

Dans cet appareil (projecteur ultra-sonore) on utilise la résonance d'un trilame quartz-métal composé de deux plaques métalliques d'égale épaisseur (cette épaisseur étant sensiblement égale au quart de la longueur d'onde des vibrations élastiques utilisées, dans le métal constituant les plaques) séparées par une plaque mince, ou mosaïque, de quartz cristallisé convenablement taillé, assemblée aux deux armatures précitées. On se reportera à la figure 101 du brevet indiqué plus haut.

Ce dispositif fournit, pour une différence de potentiel U_{eff} d'alimentation entre les deux armatures de métal, à la fréquence de résonance du trilame, une amplitude A_{eff} des ondes élastiques émises dans l'eau par l'une des faces du trilame, en contact avec celle-ci, donnée par la formule :

$$A_{eff} = m_2 \delta U_{eff}$$

ou :

$$m_2 = \frac{\rho_2 V_2}{\rho_0 V_0}$$

Dans ces expressions δ est le module piézo-électrique du quartz correspondant à une compression du cristal dans la direction d'un axe électrique, sans dilatation transversale. ρ_2 est la densité du métal constituant les armatures. V_2 est la vitesse de propagation des ondes élastiques longitudinales dans ce métal.

ρ_0 et V_0 sont les quantités correspondantes pour l'eau ou le liquide dans lequel se fait la propagation.

Le produit δU_{eff} représente l'amplitude des variations d'épaisseur de la lame du quartz sous l'influence de la différence de potentiel U_{eff} appliquée aux armatures, en l'absence de résonance mécanique.

L'introduction des armatures métalliques quart d'onde a pour effet de multiplier par m_2 ($m_2 = 25$ sensiblement, dans le cas de l'acier) l'amplitude des déformations et par conséquent par m_2^2 l'énergie élastique émise, pour une différence de potentiel U_{eff} donnée.

La puissance ainsi rayonnée W a pour expression :

$$W = \rho_0 V_0 A_{eff}^2 S \omega^2,$$

où S est la surface d'émission du trilame émetteur et ω la pulsation correspondant à la fréquence des vibrations élastiques émises.

En remplaçant dans cette expression A_{eff} par sa valeur donnée plus haut :

$$W = \rho_0 V_0 \omega^2 S m_2^2 \delta^2 U_{eff}^2.$$

Cette puissance étant empruntée au circuit électrique alimentant le trilame, la présence du quartz piézo-électrique dans celui-ci introduit l'équivalent, comme sous-traction d'énergie par rayonnement élastique, d'une résistance R qui serait mise en parallèle aux bornes d'un condensateur de même capacité que le trilame.

La valeur de R est donnée par la relation :

$$\frac{1}{R} = \omega^2 \rho_0 V_0 S m_2^2 \delta^2.$$

Pour une fréquence de 40 000 vibrations par seconde, et un trilame quartz-acier circulaire de 20 cm de diamètre, R est sensiblement égal à 100 000 ohms.

L'existence de cette résistance de rayonnement R introduit entre le courant d'alimentation du condensateur piézo-électrique et la différence de potentiel à ses bornes une différence de phase φ correspondant à un facteur de puissance $\cos \varphi$ ayant pour expression :

$$\cos \varphi = \frac{4\pi\delta^2\alpha m_2^2}{K m_1} \varepsilon_1,$$

où α est le coefficient d'élasticité du quartz cristallisé correspondant à la propagation des ondes longitudinales dans la direction de l'axe électrique.

K est le pouvoir inducteur spécifique du quartz.

m_1 a pour valeur le rapport $\frac{\rho_1 V_1}{\rho_0 V_0}$ où ρ_1 et V_1 sont pour le quartz, les grandeurs déjà rencontrées plus haut.

ε_1 est l'angle de phase pour la lame de quartz, donné par l'expression :

$$\varepsilon_1 = \frac{2\pi e}{\lambda},$$

où e est l'épaisseur du quartz et λ la longueur d'onde des vibrations élastiques dans le quartz.

L'application numérique de cette formule au cas des projecteurs ultrasonores réalisés conformément aux principes et modes de construction décrits dans le brevet cité plus haut donne pour $\cos \varphi$ des valeurs très faibles si on les compare aux valeurs du facteur de puissance des transformateurs industriels de l'énergie contenue dans le courant alternatif, moteurs ou transformateurs par exemple.

Le calcul montre qu'un projecteur ultra-sonore constitué par un trilame quartz-acier de fréquence propre 40 000 et de diamètre 20 cm, monté dans son carter métallique étanche, a un facteur de puissance de l'ordre de 0,05.

L'effet des capacités parasites, souvent importantes, des conducteurs allant au projecteur ultra-sonore dans les postes ultra-sonores industriels, vient encore diminuer le $\cos \varphi$ de l'installation entière.

D'autre part un projecteur ultra-sonore dans lequel l'amplitude de vibration est uniforme dans toute l'étendue de la surface vibrante donne naissance à un rayonnement qui, à grande distance, présente, par suite des phénomènes de diffraction, un maximum M central dans la direction normale au projecteur, puis, pour un projecteur circulaire, un premier minimum nul dans les directions faisant avec la normale un angle α tel que $\sin \alpha = 1,2 \frac{\lambda}{d}$, où λ est la longueur d'onde des vibrations dans le milieu de propagation et d le diamètre de la surface émettrice, et enfin une suite de maxima secondaires M_1, M_2 , etc., décroissants séparés par des minima nuls (voir fig. 110).

L'existence de ces maxima secondaires d'émission peut présenter, en pratique, certains inconvénients, en particulier, celui de pouvoir faire commettre à des observateurs peu expérimentés des erreurs d'appréciation de direction, à l'émission comme à la réception.

La présente invention a pour objet des procédés et modes de réalisation des projecteurs ultra-sonores permettant d'augmenter considérablement le facteur de puissance de ces appareils, dont le fonctionnement devient alors très proche de celui d'un véritable moteur à courant alternatif, et d'améliorer le mode d'émission de l'énergie ultra-sonore dans le milieu.

Le premier de ces résultats est obtenu en choisissant convenablement les épaisseurs des armatures métalliques et celle de la lame de quartz.

Si on désigne par ε_1 l'angle de phase de cette lame; par ε_2 celui de la lame métallique intérieure, en contact avec l'air; par ε_3 celui de la lame métallique extérieure, en contact avec le milieu de propagation, le facteur de puissance présente un maximum pour les valeurs suivantes approchées de ces paramètres :

$$\varepsilon_3 = \frac{\pi}{2} = 100 \text{ grades}; \varepsilon_1 = 74 \text{ grades et } \varepsilon_2 = 22 \text{ grades.}$$

La valeur $\varepsilon_3 = \frac{\pi}{2}$ relative à la lame métallique extérieure qui fait de celle-ci une lame quart d'onde, n'est exacte qu'en première approximation, et s'écarte de la valeur réelle d'une quantité proportionnelle au nombre $\frac{4\pi d^2}{K}$ rencontré plus haut. L'écart est très faible, grâce à la petitesse de cette quantité pour le quartz.

La valeur du facteur de puissance correspondant à ces conditions de maximum est voisine de 0,6.

L'épaisseur de quartz nécessaire à la réalisation des conditions précédentes ($\varepsilon_1 = 74$ grades) est assez grande.

On peut la diminuer de manière appréciable sans s'écarter sensiblement du maximum de $\cos \varphi$ à condition de faire varier en même temps ε_2 conformément à la relation de résonance :

$$\operatorname{tg} \varepsilon_1 \cdot \operatorname{tg} \varepsilon_2 = \frac{m_1}{m_2},$$

rapport qui est, par exemple, voisin de $1/3$ dans le cas où le métal est de l'acier.

En prenant $\varepsilon_1 = \frac{\pi}{4} = 50$ grades, on trouve :

$$\varepsilon_2 = 0,32 \text{ radian} = 20 \text{ gr environ.}$$

Dans le cas d'une fréquence de 40 000, ces valeurs correspondent à l'épaisseur de 30 mm pour une armature extérieure en acier; de 15 mm pour la lame de quartz; de 6 mm pour une armature intérieure en acier; et dans ces conditions la valeur du cos φ du trilame est encore supérieure à 0,5.

Mais l'emploi d'une lame de quartz unique ayant une épaisseur de l'ordre de celle qui vient d'être indiquée diminuerait beaucoup la capacité du condensateur piézo-électrique et obligerait à fournir les volt-ampères d'alimentation sous différence de potentiel très élevée et intensité très faible.

De plus, l'introduction des capacités parasites des conducteurs, en parallèle sur celle du trilame, dans les postes ultra-sonores industriels, capacités qui seraient alors relativement grandes vis-à-vis de celle du trilame ainsi constitué, ferait retomber à une valeur encore faible le cos φ de l'installation totale.

Pour ces raisons, il peut être avantageux en pratique de remplacer la lame de quartz unique par plusieurs lames séparées par des armatures métalliques, minces, le sens d'orientation de l'axe électrique changeant de 180° d'une lame de quartz à la suivante.

On obtient alors la disposition schématisée figure 102 dans le cas d'un nombre impair de lames de quartz; celle de la figure 103 dans le cas d'un nombre pair de lames.

Sur la figure 102, a^1 désigne la lame d'acier intérieure, a^2 désigne la lame d'acier

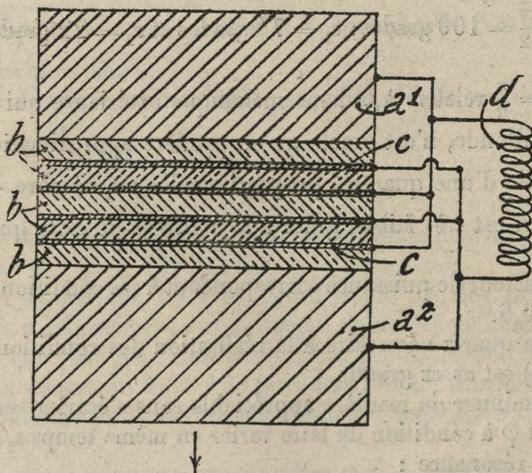


Fig. 102.

extérieure dont la surface externe est émettrice dans le sens indiqué par la flèche. Le diélectrique est formé par les lames de quartz b séparé par des armatures métalliques minces c , l'armature a^1 et les lames métalliques c de rang pair sont

toutes connectées ensemble à un pôle du poste émetteur, dont l'autre pôle est relié à l'armature a^2 et aux lames c de rang impair. Le poste émetteur est schématisé par une self d dans les figures.

Sur la figure 103 les mêmes lettres de référence désignent les mêmes organes :

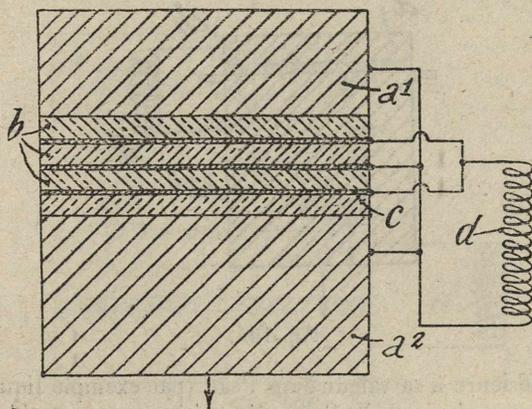


Fig. 103.

on remarquera que sur cette figure les deux armatures a^1 , a^2 sont reliées entre elles, ainsi qu'avec des lames métalliques c de rang pair et sont en outre connectées à un pôle du poste émetteur schématisé par d dont l'autre pôle est relié aux lames c de rang impair.

Au lieu d'utiliser des lames c conductrices intermédiaires d'épaisseurs négligeables, on peut aussi bien mettre des lames d'épaisseur demi-onde ou multiple de la demi-onde.

De même, la lame métallique extérieure peut avoir une épaisseur quart d'onde ou multiple impair du quart d'onde.

Ce dernier mode de montage permet, par exemple, de rendre notable la distance séparant la face émettrice de la lame extérieure en contact avec le milieu de propagation, de l'emplacement choisi pour les lames de quartz, disposition pouvant offrir des avantages pratiques dans le cas de certaines installations sous-marines.

La réalisation d'un projecteur ultra-sonore conforme à cette dernière condition est représentée schématiquement dans la figure 104.

La lettre de référence a^2 désigne une lame d'acier extérieure, dont l'épaisseur est égale à :

$$(2n + 1) \frac{\lambda}{4}$$

b désigne la lame mince de quartz et a^1 la lame d'acier intérieure. La self schématisant le poste émetteur est désignée par la lettre d .

L'augmentation du facteur de puissance d'un projecteur ultra-sonore peut être également obtenue en utilisant une disposition indiquée dans un autre

but dans le brevet n° 502.913 et qui consiste à intercaler entre le projecteur ultra-sonore et l'eau une lame quart d'onde d'un milieu pour lequel le produit de sa densité par la vitesse de propagation des ondes longitudinales dans

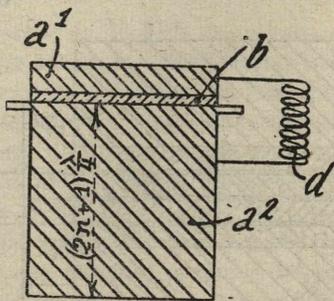


Fig. 104.

ce milieu est inférieure à sa valeur dans l'eau (par exemple liquide organique léger, gaz sous pression, etc.). Cette disposition permettrait d'atteindre la valeur optimum 0,7 du facteur de puissance en utilisant des lames minces de quartz. Le projecteur serait alors constitué de la manière suivante (fig. 114) : en contact avec l'eau serait une lame mince ou une lame demi-onde métallique a^4 ,

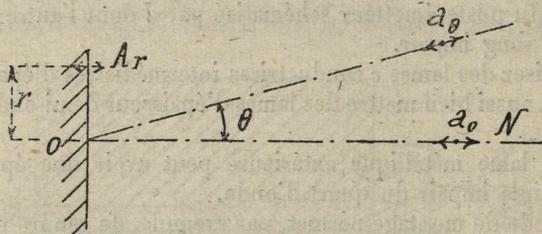


Fig. 105.

puis la lame légère quart d'onde a^3 , puis la lame métallique quart d'onde a^2 , puis la mosaïque de quartz b , et enfin une plaque métallique isolée a^1 , dont l'épaisseur serait liée à celle de la mosaïque par la condition de résonance :

$$\operatorname{tg} \varepsilon_1 \operatorname{tg} \varepsilon_2 = \frac{m_1}{m_2}.$$

Il importe de remarquer que lorsqu'on se donne la différence de potentiel efficace d'alimentation et qu'on suppose constante la capacité du projecteur, le maximum d'énergie rayonnée correspond à un facteur de puissance égal à $\frac{\sqrt{2}}{2} = 0,7$ environ. Le maximum 0,6 que la variation d'épaisseur du quartz permet de réaliser pour le facteur de puissance s'approche donc beaucoup de cette valeur.

Les deux procédés indiqués pour l'accroissement du facteur de puissance comportent par conséquent des maxima de celui-ci sensiblement égaux.

La liaison élastique entre les lames de quartz et les armatures métalliques est assurée dans ces différents montages :

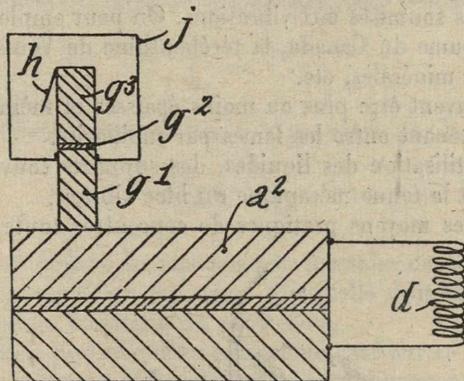


Fig. 106.

1° Soit par interposition de ciments solides ou pâteux convenables, tels que mélanges de cires, résines, poix, goudron, caoutchouc, gommés, liquides

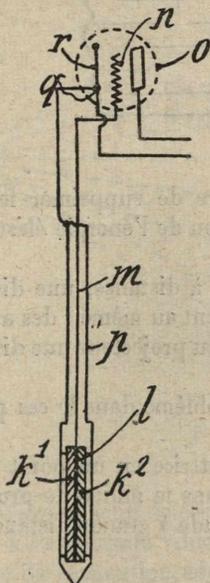


Fig. 107.

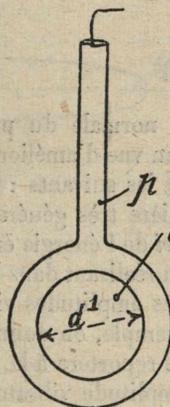


Fig. 108.

isolants, bakélite ou résines synthétiques similaires, etc., caractérisés par le fait que le produit utilisé adhère fortement au quartz et au métal des armatures.

On peut employer par exemple un ciment dont la composition en poids est la suivante :

Poix 250, résine 190, cire 400, gomme pur para 160.

2° Soit par simple interposition d'une couche de liquide isolant entre les différentes surfaces soumises aux vibrations. On peut employer comme liquide par exemple le baume du Canada, la térébenthine de Venise, les huiles végétales, animales ou minérales, etc.

Ces couches peuvent être plus ou moins épaisses et même se réduire à une pellicule, se maintenant entre les lames par capillarité.

Dans le cas d'utilisation des liquides, des supports convenablement garnis d'isolants assurent la tenue mécanique du bloc vibrant.

Le procédé et les moyens pratiques de concentrer toute l'énergie rayonnée

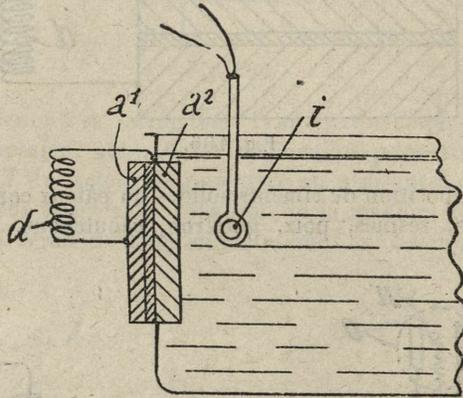


Fig. 109.

autour de la normale du projecteur, c'est-à-dire de supprimer les maxima secondaires, en vue d'améliorer la forme d'émission de l'énergie élastique dans le milieu sont les suivants :

D'une manière très générale, on peut obtenir à distance, une distribution donnée *a priori* de l'énergie émise, ou, ce qui revient au même : des amplitudes vibratoires, en réalisant dans la surface émettrice du projecteur une distribution convenable des amplitudes vibratoires.

A titre d'exemple, on donne la solution du problème dans le cas particulier suivant (on se reportera à la fig. 105) :

Soit A , l'amplitude vibratoire à la surface émettrice en un point situé à la distance r du centre de celle-ci; a_0 l'amplitude dans le milieu de propagation, à grande distance, sur la normale ON ; a_θ l'amplitude à grande distance suivant la direction faisant avec la normale l'angle θ .

On désire réaliser la loi :

$$\frac{a_\theta}{a_0} = e^{-K \sin^2 \theta}$$

où e est la base des logarithmes népériens et K une constante.

Cette loi correspond à l'existence d'un seul maximum dans la direction de la normale à l'émetteur; maximum d'autant plus pointu que la constante K a une valeur plus élevée.

Cette distribution du rayonnement est obtenue par une distribution des amplitudes vibratoires A , dans la surface émettrice représentée par la loi :

$$\frac{A_r}{A_0} = e^{-K'r^2},$$

où K' est une seconde constante liée à la première par la loi :

$$KK' = \frac{\pi^2}{\lambda^2},$$

λ étant la longueur d'onde du mouvement vibratoire dans le milieu de propagation. Ceci est la condition théorique à laquelle doit satisfaire l'amplitude vibratoire à la surface émettrice du projecteur.

Pour la réalisation pratique d'un projecteur basé sur ce principe, on divise, par exemple, sa surface en éléments isolés mécaniquement et électriquement

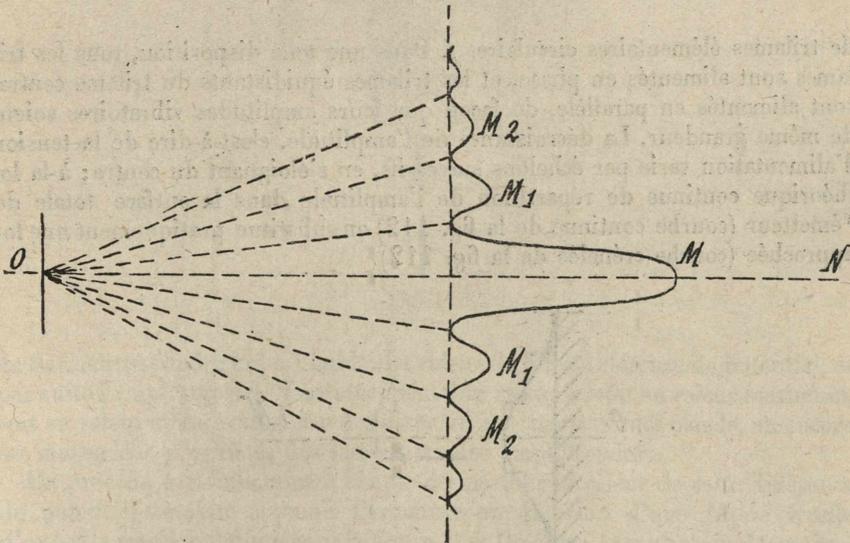


Fig. 110.

et on alimente chacun de ces éléments, sous une différence de potentiel proportionnelle à l'amplitude vibratoire que doit fournir l'élément et fixée par la loi théorique de répartition adoptée.

Tous ces éléments seront alimentés en phase, soit à partir d'un générateur de courant alternatif unique, chacun des circuits allant aux éléments du projecteur comportant un moyen de régler la différence de potentiel aux bornes de l'élément, par exemple : des résistances montées en parallèle ou en série

avec l'élément, soit par des générateurs de courant alternatif différents, mais liés entre eux pour permettre l'alimentation en phase.

La figure 111 représente par exemple la face émettrice d'un projecteur formé

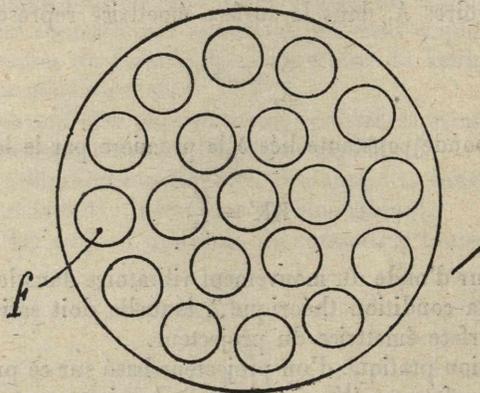


Fig. 111.

de trilames élémentaires circulaires f . Dans une telle disposition, tous les trilames sont alimentés en phase, et les trilames équidistants du trilame central sont alimentés en parallèle, de façon que leurs amplitudes vibratoires soient de même grandeur. La décroissance de l'amplitude, c'est-à-dire de la tension d'alimentation varie par échelons successifs, en s'éloignant du centre; à la loi théorique continue de répartition de l'amplitude dans la surface totale de l'émetteur (courbe continue de la fig. 112) on substitue pratiquement une loi approchée (courbe crénelée de la fig. 112).

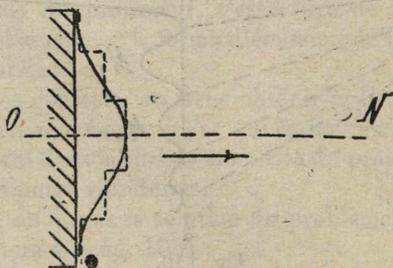


Fig. 112.

On peut encore réaliser la loi de répartition des amplitudes à l'émission indiquée en utilisant un émetteur à amplitude vibratoire constante dans toute sa surface et en interposant sur le parcours du rayonnement un écran de matière absorbante, dont l'épaisseur varie du centre à la périphérie, de façon convenable — ainsi qu'il est représenté par exemple en k (fig. 113).

Après construction et assemblage du trilame unique ou des trilames élé-

mentaires d'un émetteur de vibration, l'exploration expérimentale de la répartition des amplitudes vibratoires à leur surface peut se faire par exemple à l'aide du dispositif suivant :

Un résonateur métal g^1 quartz g^2 métal g^3 demi-onde (pour la fréquence de l'émetteur ou une fréquence voisine), de faible section, de l'ordre, par exemple, du centimètre carré, est posé sur la surface à explorer a^2 , ainsi que le montre la figure 106 en élévation.

Ce résonateur peut être constitué par exemple par deux cylindres g^1 , g^3 , d'acier d'égale section, séparés par une lame g^2 de quartz piézo-électrique convenablement collée au métal.

L'effet de vibration de la surface d'appui est de faire vibrer longitudinalement le résonateur demi-onde. L'armature métallique supérieure de celui-ci se trouve donc portée, par rapport à l'armature inférieure, à un potentiel alternatif proportionnel à l'amplitude des vibrations, et, relativement grand, si la capacité

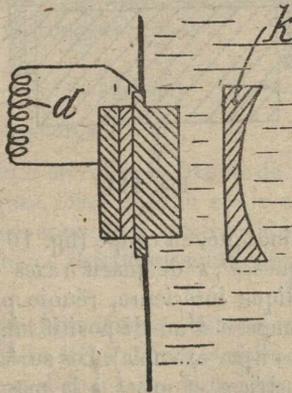


Fig. 113.

de l'armature supérieure est faible. La valeur de cette différence de potentiel, et par suite l'amplitude des vibrations, peut être mesurée, soit en valeur maximum, soit en valeur efficace au moyen des dispositifs électrostatiques usuels, ou encore au moyen des propriétés des lampes triodes amplificatrices.

Un procédé particulièrement simple de mesurer la valeur de cette différence de potentiel consiste à munir l'armature en question d'une légère feuille d'or h , à la manière indiquée sur la figure 106. Un électroscope est ainsi constitué et l'écartement de la feuille, repéré sur une graduation convenable permet d'étalonner l'appareil.

Une cage métallique représentée en j , fixée au sommet de l'armature inférieure entoure l'armature munie de la feuille d'or, protégeant l'ensemble contre les champs électriques parasites extérieurs qui pourraient fausser les mesures.

Des écrans électromagnétiques seraient de même utilisés dans le cas où la mesure de potentiel serait faite à l'aide des dispositifs électrométriques usuels ou encore au moyen des lampes triodes simplifiées.

L'exploration expérimentale du champ vibratoire dans le milieu de propaga-

tion, soit au voisinage de la face émettrice du projecteur, ce qui permet aisément d'étudier la répartition des amplitudes dans cette surface, soit à plus grande distance, ce qui permet d'étudier la loi de répartition du rayonnement dans le milieu, peut être obtenue par exemple par le dispositif suivant (on se reportera aux fig. 107, 108 et 109) :

Un récepteur piézo-électrique a périodique i , de petites dimensions transversales d_1 vis-à-vis de la longueur d'onde du rayonnement, peut être constitué

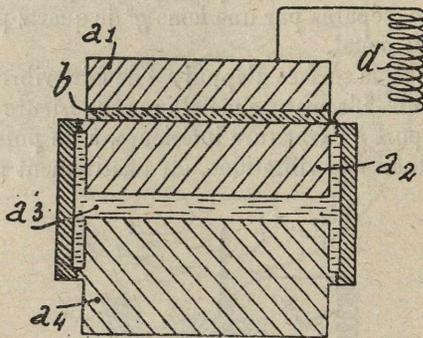


Fig. 114.

par exemple, comme il est indiqué, en coupe (fig. 107) et de face (fig. 108) par l'assemblage de deux disques k^1, k^2 de quartz à axes électriques opposés, collés sur une armature l métallique intérieure, réunie par un conducteur m à la grille n de la première lampe o d'un dispositif amplificateur-redresseur (tel qu'un voltmètre-amplificateur par exemple). Les surfaces extérieures du trilame mince sont rendues conductrices et mises à la masse du carter métallique p de petites dimensions, contenant l'ensemble (carter entourant la tranche du trilame et la mettant à l'abri des pressions dues aux vibrations du milieu). La masse de l'appareil est réunie en q à la masse du dispositif-amplificateur-redresseur, à un des pôles des filaments r par exemple.

L'appareil amplificateur et ses connexions sont convenablement protégés des champs parasites par des écrans métalliques, non représentés.

L'appareil i (sonde piézo-électrique) ainsi réalisé est présenté, ainsi qu'on le voit (fig. 109) dans le milieu de propagation avec son plan perpendiculaire aux plans d'ondes de façon à ne pas troubler le rayonnement de la face émettrice du trilame a^1, a^2 à étudier.

Dans ces conditions, les déviations de l'appareil de mesure branché à la sortie de l'amplificateur-redresseur sont fonction de l'amplitude des vibrations du milieu au niveau de la sonde piézo-électrique et permettent la mesure, soit de l'amplitude vibratoire, soit l'énergie du rayonnement.

On peut faire indiquer directement les amplitudes des vibrations par l'appareil de mesure, en imposant à l'amplificateur redresseur des conditions de fonctionnement telles que la courbe d'étalonnage des déviations en fonction des voltages appliqués à l'entrée soit rectiligne; on mesurerait directement les

énergies en travaillant au contraire avec une courbe d'étalonnage parabolique, natures de courbes que permettent d'obtenir assez facilement les appareils à lampes triodes.

Il est bien entendu que la construction des condensateurs piézo-électriques utilisés dans la présente invention peut être réalisée avec toute autre substance que le quartz, présentant le phénomène de la piézo-électricité.

Le deuxième objet de la présente invention n'intéressant que la loi de variation de l'amplitude vibratoire à la face émettrice, sans préjuger du phénomène mis en jeu dans la production des vibrations, est applicable, de plus, à tout émetteur-récepteur de vibrations élastiques par un procédé autre que celui basé sur l'utilisation des phénomènes piézo-électriques. Entre autres, il est applicable aux émetteurs basés sur le principe dit : « du condensateur chantant », utilisant le phénomène de la pression électrostatique ; aux émetteurs basés sur des phénomènes d'électrostriction ; aux émetteurs basés sur des phénomènes d'attractions magnétiques entre substances magnétiques ou champs produits par des systèmes de conducteurs.

RÉSUMÉ.

L'invention présente a pour objet :

1° Un procédé permettant d'accroître le facteur de puissance des projecteurs ultra-sonores piézo-électriques, basé sur un choix convenable et fixé par le calcul, de façon précise, des épaisseurs relatives des lames de cristal piézo-électrique, ainsi que des lames métalliques utilisées dans la construction de projecteur ;

2° Un mode de réalisation de la lame de substance piézo-électrique utilisée, consistant à la diviser en lames élémentaires, empilées, séparées par des armatures métalliques minces ou d'épaisseur demi-onde, le sens de l'axe piézo-électrique de la substance changeant de 180° d'une lame piézo-électrique à la suivante, cette disposition présentant de plus l'intérêt d'un accroissement notable de la capacité du condensateur à diélectrique piézo-électrique utilisé, permettant de diminuer l'importance relative des capacités parasites qui s'introduisent dans les postes ultra-sonores industriels et permettant de plus de fournir les volt-ampères d'alimentation sous différence de potentiel, relativement faible et intensité élevée ;

3° Une lame métallique extérieure de projecteur ultra-sonore, caractérisée par une épaisseur multiple impair du quart de la longueur d'onde du rayonnement élastique dans la substance utilisée ;

4° Un procédé permettant d'accroître le facteur de puissance d'un projecteur ultra-sonore piézo-électrique, consistant à intercaler entre le projecteur et le milieu de propagation une lame quart d'onde d'un milieu pour lequel le produit ρV est inférieur à la valeur du même produit pour le milieu de propagation ;

5° Un mode d'assemblage des éléments du condensateur piézo-électrique soit par utilisation de certaines substances adhérant fortement au corps piézo-électrique utilisé et au métal des armatures, soit par l'usage d'un liquide isolant, assurant la continuité élastique de l'ensemble vibrant aux intersurfaces ;

6° Un procédé permettant de réaliser un émetteur-récepteur de vibrations élastiques produisant à distance, dans le milieu de propagation, une distribution des amplitudes vibratoires, donnée *a priori*, basé sur une correspondance fixée par le calcul, entre la loi de distribution envisagée et la loi de répartition des amplitudes vibratoires dans la surface émettrice ;

7° L'application du procédé du 6° aux émetteurs de vibrations basés sur des principes autres que celui de la piézo-électricité ;

8° Un dispositif expérimental de mesure de la répartition des amplitudes vibratoires d'un émetteur quelconque, consistant en un résonateur métal-quartz-métal demi-onde avec dispositif mesurant la différence de potentiel entre armatures, cette armature pouvant être faite notamment à l'aide d'une feuille d'or électrométrique ;

9° Un dispositif de sonde piézo-électrique aperiodique de dimension latérale inférieure à la longueur d'onde du rayonnement dans le milieu de propagation, et présentée dans celui-ci avec son plan normal au plan d'onde, dispositif permettant la mesure expérimentale directe, soit de l'amplitude vibratoire, soit de l'énergie du rayonnement.