



CONFÉDÉRATION SUISSE
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

Int. Cl.³: G 01 H 3/12

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein



FASCICULE DU BREVET A5

(11)

631 262

(21) Numéro de la demande: 4217/79

(22) Date de dépôt: 04.05.1979

(30) Priorité(s): 10.05.1978 FR 78 13863

(24) Brevet délivré le: 30.07.1982

(45) Fascicule du brevet
publié le: 30.07.1982

(73) Titulaire(s):
Centre Technique des Industries Mécaniques,
Senlis (FR)

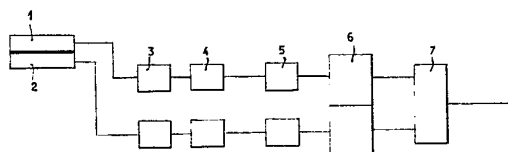
(72) Inventeur(s):
Jean-Michel Lambert, Saint-Valier (FR)

(74) Mandataire:
Dr. A.R. Egli & Co., Patentanwälte, Zürich

(54) Dispositif de mesure d'intensité acoustique.

(57) Le dispositif comprend un ou deux couples de deux microphones accolés dos à dos (1, 2), des moyens de conversion analogique-numérique (6) pour établir une série de codes numériques caractéristiques des signaux en des instants successifs différents, et des moyens de calcul automatique (7) à partir de ces codes numériques, des transformées de Fourier représentatives de chacun des signaux, et des intensités acoustiques correspondants à chacune des fréquences des transformées de Fourier des deux signaux.

Application à l'étude des bruits de machines.



REVENDEICATIONS

1. Dispositif de mesure d'intensité acoustique, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un couple de deux capteurs de pression acoustique parallèles disposés dans des plans différents à faible distance l'un de l'autre, symétriquement sur une direction de mesure joignant leurs centres, des circuits respectifs de traitement des signaux électriques fonction de la pression acoustique fournis par les capteurs comprenant, sur chaque circuit, des moyens d'amplification des signaux, des moyens de filtrage limitant la gamme des fréquences prises en compte et des moyens de conversion analogique-numérique pour établir une série de codes numériques caractéristiques desdits signaux en des instants successifs, et des moyens de calcul automatique, à partir de ces codes numériques, des transformées de Fourier représentatives de chacun desdits signaux, et des intensités acoustiques correspondant à chacune des fréquences de calcul des transformées de Fourier des deux signaux.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de filtrage sont réglés pour éliminer les fréquences supérieures à une fréquence maximale correspondant à l'analyse de Fourier réalisée et correspondant à une longueur d'onde au moins égale au double de la distance entre les deux capteurs.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comporte, pour former les capteurs, deux microphones accolés dos à dos de sorte que leurs membranes sensibles à la pression acoustique soient parallèles à une faible distance l'une de l'autre.

4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comprend deux couples de microphones analogues, mais dont les membranes sont à des distances différentes, et auxquels sont associés des circuits de traitement et des moyens de calcul réglés pour des gammes de fréquences respectives différentes.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 ou 4, caractérisé en ce que les microphones sont du type à effet électret.

L'invention concerne l'étude des bruits émis par des sources sonores telles que les machines industrielles. Elle a pour objet un dispositif qui permet de mesurer l'intensité acoustique en un point d'un champ sonore. L'intensité acoustique est une grandeur vectorielle dont la direction est celle du déplacement de l'énergie acoustique; elle se distingue en cela des niveaux sonores mesurés par les dispositifs du type sonomètre. Ainsi, le dispositif de mesure de l'intensité acoustique est sensible à la direction de propagation des ondes sonores et est capable d'afficher des valeurs positives ou négatives, pour des ondes provenant de directions opposées.

On connaît déjà des dispositifs de mesure d'intensité acoustique qui comportent des circuits de traitement des signaux électriques fournis par deux capteurs, notamment deux microphones, qui sont disposés à proximité l'un de l'autre (Journal of the Acoustic Society of America, Vol. 62, no 4, October 1977, page 1057-1059, New York, U.S.A.).

On connaît également des circuits de traitement analogique-numérique basés sur le principe de la transformée de Fourier («Electronique et Applications industrielles» no 243 Novembre 1977, pages 29-35).

On a proposé enfin («Noise Control Engineering» Vol. 9, no 3, Nov.-Déc. 1977, pages 155-162) de placer les deux microphones capteurs avec leurs membranes disposées côte à côte, dans le même plan.

Mais, jusqu'à présent, toutes les dispositions proposées

pour les deux microphones-capteurs étaient essentiellement dissymétriques par rapport à la direction de mesure.

Le dispositif de mesure de l'intensité acoustique selon l'invention ne présente pas l'inconvénient d'une telle dissymétrie par rapport à la direction de mesure, grâce à une disposition particulière des deux microphones-capteurs; ledit dispositif est caractérisé dans la revendication 1 précédente.

Dans une forme de réalisation avantageuse, les moyens de filtrage sont réglés pour éliminer les fréquences supérieures à une fréquence maximale déterminée pour l'analyse de Fourier et correspondant à une longueur d'onde au moins égale au double de la distance entre les deux capteurs. Si $f_{\max}$ est cette fréquence, les instants successifs pour l'établissement des codes numériques sont séparés par des intervalles de 15 temps tous égaux à $t = \frac{1}{2} f_{\max}$.

Dans le dispositif selon l'invention, l'utilisation de deux capteurs à une faible distance l'un de l'autre permet de déterminer la composante de l'intensité acoustique dans la direction dite de mesure, c'est-à-dire dans la direction joignant les centres des membranes des microphones. La mesure prend en compte la différence de phase entre les pressions détectées par chacun des capteurs. La disposition des capteurs dos à dos présente l'intérêt d'une symétrie du dispositif par rapport à la direction de mesure. Ainsi la réponse du dispositif est-elle la même pour toutes ondes sonores dont la direction de propagation fait un angle donné fixe avec la direction de mesure. La distance séparant les deux capteurs fixe la limite haute fréquence du dispositif de mesure de l'intensité acoustique. Cette limite est d'autant plus élevée que la distance est petite, car la longueur d'onde ne doit pas être inférieure à deux fois la distance séparant les capteurs.

Les circuits de traitement des signaux et les moyens de calcul que comporte le dispositif selon l'invention permettent d'effectuer des transformations de Fourier sur deux voies simultanément de manière à assurer un repérage de phase d'un signal par rapport à l'autre. Le traitement numérique permet d'obtenir les valeurs de la composante de l'intensité acoustique pour chaque fréquence de calcul des transformées de Fourier. L'information obtenue est beaucoup plus détaillée que dans le cas où l'on utiliserait un traitement analogique fournissant un résultat global intégré pour toutes les fréquences.

Le dispositif selon l'invention peut être utilisé par exemple pour déterminer la puissance acoustique d'une machine sur site. L'intégration d'un ensemble de valeur de l'intensité acoustique sur une surface entourant la source sonore, donne la puissance acoustique de cette source. La réverbération du son par les parois du local ainsi que la présence de sources sonores parasites sont prises en compte directement, c'est-à-dire sans nécessiter de corrections a posteriori sur les mesures d'intensité acoustique. En effet, l'intensité acoustique au voisinage d'une machine, contrairement au niveau sonore, n'est pas augmentée par la réverbération du local, car le champ sonore réverbéré est diffus. Des sources sonores stationnaires placées à l'extérieur de la surface de mesure ne modifient pas non plus le résultat car leur contribution est positive en certains points, négative en d'autres, nulle au total.

L'invention sera mieux comprise en se référant à des modes de réalisation particuliers du dispositif de mesure d'intensité acoustique schématiquement représenté sur les figures 1 à 3 des dessins annexés, dans lesquels:

La figure 1 est un schéma synoptique d'un dispositif selon l'invention à deux capteurs de pression.

La figure 2 représente le montage mécanique des deux capteurs.

La figure 3, en variante de la figure 2, se rapporte à un dispositif à deux couples de capteurs.

En se référant à la figure 1, on commencera donc par décrire ici l'ensemble formé par un couple de capteurs et les circuits associés, cet ensemble constituant déjà en lui-même un dispositif selon l'invention.

Les deux microphones 1 et 2 du couple représenté sur la figure 1, sont des microphones à condensateur du type à effet électret. Ces microphones ont l'avantage de présenter des dimensions très réduites (épaisseur de l'ordre de 3 mm), ce qui permet de les coller dos à dos de telle sorte que les deux membranes soient disposées parallèles l'une à l'autre à une faible distance, qui peut être inférieure à 10 mm par exemple. La distance entre les deux membranes est choisie en fonction de la gamme des fréquences que l'on désire prendre en compte dans les calculs. Elle est déterminée de manière à être inférieure ou au plus égale à la demi-longueur d'onde correspondant à la valeur maximale des fréquences. A titre d'exemple, la distance entre les membranes peut être fixée à 7 mm pour une gamme de fréquence d'analyse de 100 Hz à 10 KHz. En pratique, cette distance permet encore d'analyser des fréquences plus élevées, allant jusqu'à la fréquence audible maximale (20 KHz) dont la longueur d'onde est 1,7 cm. Une distance plus importante entre les deux microphones peut être utilisée pour réaliser des mesures d'intensités acoustiques dans les fréquences audibles les plus basses (20 Hz).

Les signaux fournis par chacun des microphones, représentatifs des variations de pression acoustique sur une période suffisamment courte pour qu'il n'y ait pratiquement pas variation des caractéristiques acoustiques de la source examinée, sont individuellement traités dans les circuits représentés sur la figure 1. Chacun des circuits comprend un pré-amplificateur 3 qui, bien que cela n'apparaisse pas sur la figure 1, est en fait incorporé à la capsule microphonique et un amplificateur 4. Le signal amplifié peut être éventuellement enregistré sur support magnétique pour être traité ultérieurement par les moyens de calcul.

En vue du traitement numérique, chacune des voies de traitement comprend un filtre passe-bas 5 qui élimine les fréquences supérieures à la fréquence maximale d'analyse prédéterminée. Les signaux sont ensuite échantillonnés et mis sous forme numérique par traitement en parallèle dans deux convertisseurs analogiques-numériques en 6. Des blocs de 512 valeurs successives du signal échantillonné sont envoyés sur un calculateur 7 pour y être traités par transformations de Fourier. Dans ces conditions, le calculateur permet de déterminer les transformées de Fourier, en parties réelles et parties imaginaires, pour 256 valeurs de la fréquence.

Le calculateur numérique assure également le calcul de la composante de l'intensité acoustique dans la direction de mesure définie à partir des transformées de Fourier des deux signaux pour les différentes fréquences de calcul de ces transformées.

Si les pressions acoustiques au niveau de capteurs sont désignées par $p_1(t)$ et $p_2(t)$, l'intensité acoustique globale, dans la direction joignant les centres des capteurs, s'exprime par la relation approchée suivante:

$$I \approx \frac{1}{2\rho \Delta x} [(p_1 + p_2) + (p_1 - p_2) \cos \Delta x] \quad (1)$$

dans laquelle Δx est la distance séparant les capteurs, ρ la masse volumique de l'air.

Ayant calculé à partir des signaux $p_1(t)$ et $p_2(t)$ leurs transformées de Fourier complexes $X_1(f)$ et $X_2(f)$ (f étant la fréquence) on peut calculer l'intensité acoustique, en fonction

de la fréquence, par l'expression suivante (2), déduite de la relation (1) ci-dessus:

$$I(f) = \frac{1}{jKf} \langle X_1 X_2^* - X_1^* X_2 \rangle \quad (2)$$

Dans cette expression, K est une constante qui est en théorie égale à $4\pi \Delta x \rho$, mais qui peut être corrigée pour tenir compte de la diffraction des ondes sonores par le dispositif, l'astérisque est utilisée pour désigner le nombre complexe conjugué, $\langle \rangle$ désigne une valeur moyenne dans le temps et j est le nombre complexe $\sqrt{-1}$.

En variante, on peut aussi effectuer les calculs de l'intensité acoustique par l'expression approximative:

$$I(f) \approx \frac{1}{Kf} | \langle X_1 X_2^* \rangle | \cdot \text{Argument}(\langle X_1 X_2^* \rangle) \quad (3)$$

Dans cette relation, l'argument du spectre croisé moyen $\langle X_1 X_2^* \rangle$ représente en fait le déphasage des signaux, dépendant de la fréquence. $| \langle X_1 X_2^* \rangle |$ désigne le module du nombre complexe $\langle X_1 X_2^* \rangle$.

Dans la mise en œuvre pratique de l'invention, les calculs de l'intensité acoustique peuvent être effectués, par l'une ou l'autre des relations (2) et (3). Afin de diminuer l'incertitude sur le résultat, il est avantageux d'utiliser dans chaque calcul un nombre statistiquement important d'échantillons de données, soit par exemple une centaine d'échantillons. Un signal stationnaire pendant une durée de l'ordre de 30 secondes est suffisant pour permettre l'échantillonnage correspondant.

Dans ce cas, on effectue la sommation des spectres croisés obtenus pour chacun des échantillons.

Du point de vue mécanique les microphones 1 et 2 sont montés, comme le montre la figure 2, à l'extrémité d'une tige support 8, prolongée par un fourreau enserrant les fils électriques qui les relient à une source d'alimentation 1,5 V et aux circuits de traitement.

Dans la variante de réalisation de la figure 3, la tige support 8, portant les microphones 1 et 2, comporte en outre un bras perpendiculaire 10 aux deux extrémités duquel sont montés respectivement deux autres microphones 11 et 12. Ces derniers constituent un couple de capteurs analogues au couple des microphones 1 et 2, mais leurs membranes sont plus éloignées. Dans le cas d'un exemple particulier de réalisation, qui n'est nullement limitatif de l'invention, le dispositif comprend deux couples de capteurs, chacun des couples comprenant deux microphones, accolés dos à dos. La distance séparant les microphones n'est pas la même pour chaque couple. Le couple le plus rapproché est tel que la distance séparant les membranes des microphones est de 7 mm. Il permet d'obtenir les valeurs de l'intensité acoustique pour les fréquences comprises entre 1 KHz et 10 KHz. Le second couple est tel que la distance séparant les membranes des microphones est de 12 cm, il permet d'obtenir les valeurs de l'intensité acoustique pour la gamme de fréquence 0-1 KHz. Les circuits de traitement des signaux et de calcul sont réglés respectivement pour ces gammes de fréquence, mais leur principe de fonctionnement est analogue.

Naturellement, l'invention n'est nullement limitée aux détails de réalisation qui ont été décrits dans le cadre d'exemples particuliers. Elle englobe au contraire toutes leurs variantes. En particulier, les membranes des deux couples de microphones de la réalisation de la figure 3 sont toutes parallèles entre elles, mais il peut être avantageux d'orienter les membranes du second couple perpendiculairement à celles du premier couple.

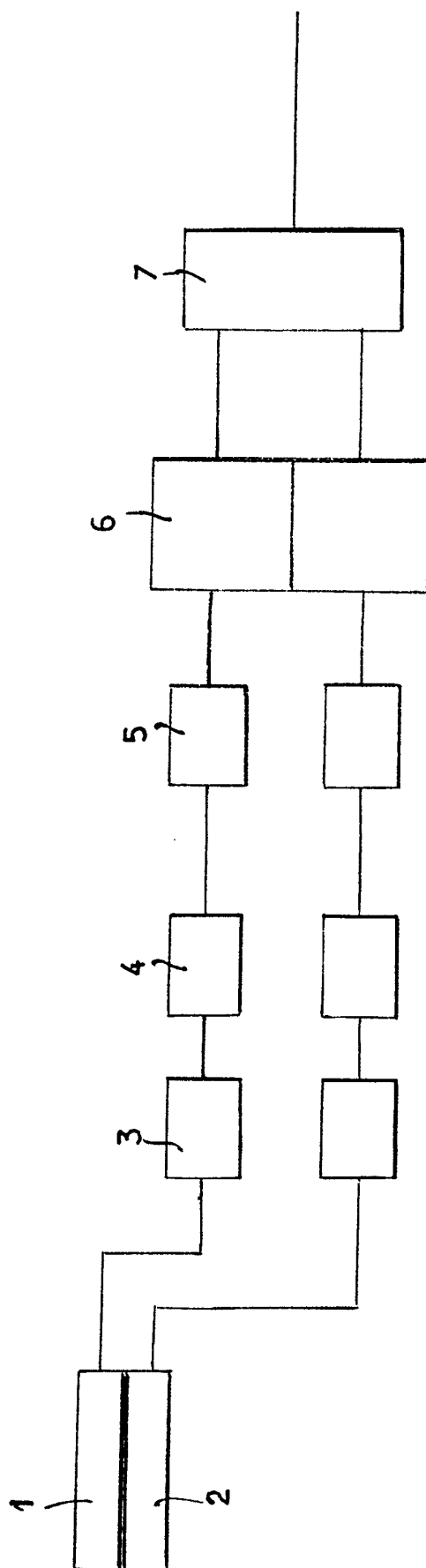


FIG.1

