

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 5 janvier 1984.

③0 Priorité US, 6 janvier 1983, n° 06/456 255.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOP1 « Brevets » n° 28 du 13 juillet 1984.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : **SUNDSTRAND DATA
CONTROL, INC. — US.**

⑦2 Inventeur(s) : Rex B. Peters, Jeffrey Forrest Tonn, Ar-
nold Malametz, Charles K. Lee, Victor B. Corey et Alek-
sander M. Gogic.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Rinuy, Santarelli.

⑤4 Procédé pour déterminer l'accélération d'après les fréquences de transducteurs d'un accéléromètre.

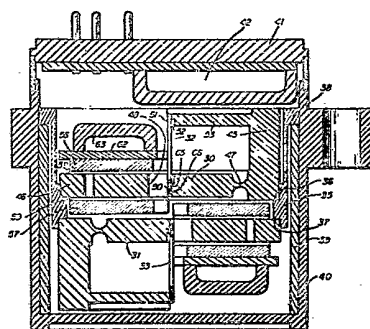
⑤7 L'invention concerne un accéléromètre à deux masselottes
mobiles.

Les systèmes constitués par des masselottes mobiles 30, 31
et des transducteurs de force 32, 33 sont montés de manière
que les axes sensibles des masselottes soient alignés et que
les fréquences de résonance f_1 et f_2 des transducteurs varient
de façon opposée avec la variation de l'accélération. Cette
dernière est déterminée conformément à la relation :

$$a = A_1 f_1 - A_2 f_2 + A_0 \text{ ou } a = A_1 f_1^2 - A_2 f_2^2 + A_0$$

où a est l'accélération et A_1 , A_2 et A_0 sont des coefficients
d'étalonnage.

Domaine d'application : accéléromètres.



L'invention concerne un procédé pour déterminer une accélération à l'aide d'un accéléromètre comportant deux masselottes mobiles retenues chacune par un transducteur de force à poutre résonnante .

5 Il a été proposé un accéléromètre comportant deux masselottes mobiles. Chacune de ces masselottes peut effectuer un mouvement limité par un transducteur de force à poutre résonnante. L'accélération est déterminée par la relation $a = A(f_1 - f_2)$ dans laquelle a est l'accélération, A est le facteur de proportionnalité de l'instrument, et f_1 et f_2 sont les fréquences des deux transducteurs de force.

10 Les facteurs de proportionnalité des deux systèmes à masselottes mobiles et transducteurs de force doivent être accordés étroitement pour que l'on obtienne une bonne linéarité et pour minimiser les erreurs de redressement de vibrations. Ceci est généralement réalisé par un ajustage des masselottes mobiles, c'est-à-dire par l'enlèvement physique d'une certaine masse de l'une ou 20 l'autre des masselottes mobiles jusqu'à ce que les facteurs de proportionnalité des deux systèmes à masselottes mobiles des transducteurs de force concordent. Cette opération est longue et nécessite des étapes répétées et successives d'ajustage et d'essai portant sur l'une 25 des masselottes mobiles ou sur les deux masselottes.

L'invention concerne un procédé perfectionné pour déterminer l'accélération à partir des fréquences de deux transducteurs de force à poutres résonnantes, ce procédé ne nécessitant pas d'accorder les facteurs de 30 proportionnalité des deux systèmes à masselottes mobiles et transducteurs de force.

Une caractéristique de l'invention est que l'accélération est déterminée conformément à la relation

$$a = A_1 f_1 - A_2 f_2 + A_0$$

35 où A_1 , A_2 et A_0 sont des coefficients d'étalonnage.

Une autre caractéristique de l'invention est que l'accélération est déterminée conformément à la relation

$$a = A_1 f_1^2 - A_2 f_2^2 + A_0.$$

Une autre caractéristique de l'invention est que les coefficients d'étalonnage sont déterminés d'après un essai portant sur une plage de températures et d'accélé-
5 lérations pour une condition de fonctionnement souhaitée, par exemple une approximation linéaire de l'accélération.

L'invention sera décrite plus en détail en regard des dessins annexés à titre d'exemple nullement limitatif et sur lesquels :

- 10 - la figure 1 est une coupe longitudinale d'une forme préférée de réalisation de l'accéléromètre à deux masselottes mobiles selon l'invention ;
- la figure 2 est une vue en perspective éclatée d'un système à masselottes mobiles et transducteurs de force
15 de l'accéléromètre de la figure 1 ; et
- la figure 3 est un schéma simplifié d'un processeur de signaux destiné à déterminer une accélération d'après les signaux de fréquence des deux transducteurs de force.

20 Les figures 1 et 2 représentent la forme préférée de réalisation de l'accéléromètre selon l'invention qui comporte deux masselottes mobiles 30, 31 sensibles à des accélérations orientées suivant le même axe, ces masselottes étant montées sur des articulations flexibles
25 respectives, opposées l'une à l'autre. L'accéléromètre comporte des transducteurs de force 32, 33 à poutres résonnantes, montés de manière que, lorsqu'un transducteur travaille en traction, l'autre travaille en compression. L'accélération est mesurée sous la forme d'une fonction
30 de la différence entre les fréquences de résonance des deux transducteurs de force de poutres. Les deux ensembles à masselottes mobiles et transducteurs sont identiques et un seul est représenté sur la figure 2 et sera décrit en détail.

35 Un support cylindrique 35 présente deux surfaces d'appui opposées 36, 37. Le bâti destiné à chacune des masselottes mobiles comprend un élément de montage

qui s'applique sur l'une des surfaces d'appui. Le support 35 comporte une nervure 38 faisant saillie vers l'extérieur et reposant sur une entretoise cylindrique 39 qui supporte les deux ensembles à masselottes mobiles à l'intérieur d'un boîtier 40. Un couvercle 41 présente un
5 compartiment 42 destiné à l'électronique.

L'accéléromètre supérieur de la figure 1, représenté en perspective éclatée sur la figure 2, comporte un bâti 45 qui comprend une bague 46 de montage. La
10 masselotte mobile 30 est reliée au bâti par une section flexible 47. La bague 46 de montage repose sur la surface d'appui 36 du support 35.

La masselotte mobile 30 est de contour sensiblement rectangulaire et elle présente la même épaisseur
15 que la bague 46 de montage. Cette masselotte mobile présente également une ouverture ovale centrale 48.

Le transducteur 32 de force à poutre résonnante est fixé par une première extrémité 50 à la paroi de l'ouverture 48 et il est relié par son autre extrémité
20 51 à la surface extrême 52 d'une poutre 53 en porte-à-faux partant du bâti 45 et constituant un montage souple.

Les plaques 56 et 57 sont fixées sur la surface supérieure et inférieure de la bague 46 de montage, respectivement, et elles sont maintenues en place par des
25 organes 58 de fixation. Des cales 59 sont interposées entre les plaques 56 et 57 et les surfaces de la bague 46 de montage afin de maintenir les surfaces des plaques 56 et 57 espacées des surfaces supérieure et inférieure de la masselotte mobile 30. L'écartement est représenté
30 de façon exagérée sur la figure 1. Les plaques 56 et 57 servent à la fois de surface d'amortissement et de butée pour la masselotte mobile 30, comme décrit plus en détail dans la demande de brevet des Etats-Unis d'Amérique N° 456 254, déposée le 6 janvier 1983.

35 Une plaquette 62 à circuit est montée sur la surface supérieure de la plaque 56 et porte l'électronique associée au transducteur 32 de forme à poutre résonnante. Un couvercle 63 renferme les constituants portés par la

plaquette à circuit.

Ainsi qu'on peut mieux le voir sur la figure 2, la paroi de l'ouverture 48 de la masselotte mobile 30 présente un épaulement 65 ménagé dans la surface la plus proche de l'articulation flexible 47. L'extrémité 50 du transducteur 32 est reliée à la surface 66 éloignée de la poutre en porte-à-faux 53. La surface 66 est choisie de façon à comprendre le centre de percussion de la masselotte mobile 30. Le centre de percussion est le point de la masselotte mobile auquel cette dernière peut être frappée franchement sans que l'axe de pivotement constitué par l'articulation flexible 47 soit ébranlé. Cette relation géométrique minimise la sensibilité de la masselotte mobile aux vibrations de l'accéléromètre.

La forme de réalisation à deux masselottes mobiles, illustrée sur la figure 2, présente un certain nombre d'avantages. Les sources d'erreurs qui produisent des effets de mode commun sur les deux systèmes à masselottes mobiles et transducteurs de force sont réduites. Par exemple, si les deux transducteurs ont des coefficients de température similaires, la sensibilité de l'assemblage à la température est considérablement réduite.

Un autre exemple est la dérive de la base de temps sur laquelle les fréquences de sortie des transducteurs sont mesurées. La polarisation de l'accéléromètre est très sensible aux variations de la base de temps dans un capteur à masselotte mobile unique. Si les ensembles à masselottes mobiles et transducteurs sont approximativement accordés de manière que A_0 soit inférieur au maximum, la dérive de la base de temps est principalement un signal de mode commun et la sensibilité de la polarisation est notablement réduite.

La disposition des deux masselottes mobiles 30 et 31, telle que leurs articulations flexibles soient opposées l'une à l'autre, provoque une annulation de la sensibilité des deux masselottes mobiles aux accélérations transversales.

Des erreurs de redressement de vibrations se produisent lorsque l'accéléromètre est soumis à un signal d'entrée oscillant ayant une période plus courte que la période de mesure des fréquences des transducteurs.

- 5 Une réponse non linéaire des transducteurs provoque un redressement de ces signaux d'entrée oscillants avec, pour résultat, un décalage du signal de sortie de l'accéléromètre. Avec l'ensemble à deux masselottes mobiles, comportant des transducteurs montés de manière que l'un
10 travaille en traction quand l'autre travaille en compression, les erreurs de redressement de vibrations tendent à s'annuler.

- La figure 3 représente schématiquement le capteur 75 d'accélération à deux masselottes mobiles
15 ainsi que le circuit électronique associé et une unité 76 de traitement de signaux comprenant un microprocesseur programmé destiné à déterminer, d'après les fréquences de transducteurs de force et d'autres signaux d'entrée pertinents, tels que la température, l'accélération à
20 laquelle l'instrument est soumis.

- Le capteur 75 comprend les deux systèmes mécaniques 78 à masselottes mobiles et transducteurs de force à poutres résonnantes et un circuit électronique 79 associé
25 au capteur et produisant des fréquences f_1 , f_2 représentant les fréquences de résonance de chaque transducteur de force et donc les forces exercées sur ces transducteurs à la suite de l'accélération à laquelle les masses sont
soumises. Un capteur 80 de température mesure la température des systèmes mécaniques 78 et produit un signal
30 f_t dont la fréquence est une fonction de la température.

- L'unité 76 de traitement de signaux comprend un compteur 81 d'impulsions et de fréquences, un microprocesseur 82 et une mémoire morte programmable 83. Une horloge pilote
35 84 fournit des signaux de synchronisation au microprocesseur et au compteur d'impulsions. Des lignes de données/adresses DA, d'adresses AD et de commande CD, comprenant le nombre indiqué de bus, interconnectent le compteur 81, le microprocesseur 82 et la mémoire morte 83. Cette dernière contient un code de logiciel et des coefficients et le

microprocesseur contient des mémoires vives incorporées, des accès d'entrée/sortie parallèles et des accès d'entrée/sortie en série.

Les signaux de fréquence f_1 et f_2 des trans-
 5 ducteurs de force et le signal de température f_t sont
 appliqués au compteur 81 d'impulsions qui produit des
 signaux numériques représentant chaque fréquence à utiliser
 dans le microprocesseur 82. L'accélération calculée
 est produite du microprocesseur 82, au choix sous une
 10 forme parallèle à 8 bits en 85 ou sous une forme série
 en 86.

Conformément à l'invention, des facteurs ou
 coefficients de pondération sont établis pour les fréquences
 des transducteurs de force des deux masselottes mobiles.
 15 Par exemple, l'accélération peut être déterminée comme
 étant :

$$a = A_1 f_1 - A_2 f_2 + A_0$$

où A_1 est le facteur ou coefficient de pondération pour
 un premier transducteur de force,
 20 A_2 est le facteur ou coefficient de pondération pour
 l'autre transducteur de force, et
 A_0 est le terme de correction d'erreur non centrée.

Cependant, de préférence, l'accélération
 est déterminée en fonction du carré des fréquences des
 25 transducteurs de force, conformément à la relation :

$$a = A_1 f_1^2 - A_2 f_2^2 + A_0.$$

La relation utilisant le carré des fréquences
 permet d'obtenir une meilleure linéarité et une plus
 faible sensibilité aux variations de sensibilité d'un
 30 transducteur de force par rapport à l'autre. En parti-
 culier, l'erreur de redressement de vibrations due à de
 petites variations de la proportionnalité relative des
 deux transducteurs, par exemple sous la forme d'une
 fonction de la fréquence, est généralement d'un ordre
 35 de grandeur inférieur lorsque le carré de la fréquence
 est utilisé.

Les coefficients d'étalonnage A_1 , A_2 et A_0 sont modélisés pour des conditions de travail choisies de l'accéléromètre, par exemple pour la température. En particulier, les coefficients sont de préférence déterminés de manière que l'algorithme donne la meilleure approximation de l'accélération d'entrée sur toute la plage des signaux d'entrée. Le jeu de coefficients est déterminé d'après l'étalonnage de l'instrument à plusieurs températures distinctes T_j de la plage de travail de l'accéléromètre. Les coefficients peuvent être représentés par une matrice

$$\{A_{ij}\}; j = 1, 2, 3, \dots; i = 1, 2, 0.$$

Chaque coefficient A_i est ensuite modélisé à l'aide d'une fonction polynomiale d'adaptation des moindres carrés par rapport à la température :

$$A_i = \sum_{k=0}^n B_{ik} \cdot T^k; i = 1, 2, 0$$

D'autres jeux de coefficients d'étalonnage peuvent être utilisés sur la base d'une propriété autre que la linéarité. Par exemple, le coefficient peut être choisi de façon à minimiser la dérivée $\frac{da}{dT}$ de l'accélération par rapport à la température.

Le modèle de l'accélération sur la base de la meilleure approximation de l'accélération réelle sur toute la plage des signaux d'entrée minimise l'erreur due au redressement de vibrations et est préféré.

La modélisation est de préférence effectuée par prise de mesures de l'accélération dans la plage de $-1g$ à $+1g$ en passant par $0g$, à des températures comprises dans la plage des températures de fonctionnement de l'instrument. En général, l'accélération d'entrée est la gravité terrestre et l'accéléromètre est positionné de façon que son axe sensible prenne successivement 24 attitudes différentes par rapport à la verticale. Le procédé est répété à diverses températures sur toute la plage de travail.

Les coefficients d'étalonnage sont déterminés comme indiqué ci-dessus et cette information est mémorisée dans la mémoire morte programmable 83 afin d'être appelée par le microprocesseur lorsqu'elle est nécessaire.

- 5 Le nombre de températures auxquelles des mesures sont effectuées et le nombre de termes des polynômes de températures sont des facteurs entrant dans la détermination de la précision de la mesure de l'accélération.

- 10 Sous la commande du microprocesseur 82, les fréquences numériques f_1 , f_2 et la température sont échantillonnées périodiquement à la sortie du compteur 81 d'impulsions. Les coefficients d'étalonnage A_1 , A_2 et A_0 sont extraits de la mémoire morte programmable 83 et l'accélération est calculée.

- 15 Sur la figure 3, il est également représenté des lignes D de transmission de données, BAI de transmission de bits d'adresses inférieures, et BAS de transmission de bits d'adresses supérieures, aboutissant à la mémoire morte programmable 83, la ligne BAI partant
20 d'une bascule BASC.

Il va de soi que de nombreuses modifications peuvent être apportées au procédé décrit et représenté sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour déterminer l'accélération à partir des fréquences de transducteurs (32, 33) de force à poutres résonnantes faisant partie d'un accéléromètre à deux masselottes mobiles (30, 31) sensibles à la même accélération, cet accéléromètre comportant également les deux transducteurs de force (32, 33) à poutres résonnantes reliés chacun à une masselotte mobile afin de détecter la force engendrée dans la masselotte mobile par l'accélération, ces transducteurs ayant des fréquences de résonance f_1 et f_2 qui varient en opposition avec une variation d'accélération, le procédé étant caractérisé en ce que, pour déterminer l'accélération à partir des fréquences des transducteurs, il utilise la relation :

$$a = A_1 f_1 - A_2 f_2 + A_0,$$

où A_1 , A_2 et A_0 sont des coefficients d'étalonnage.

2. Procédé pour déterminer l'accélération à partir des fréquences de transducteurs (32, 33) de force à poutres résonnantes faisant partie d'un accéléromètre comportant deux masselottes mobiles (30, 31) sensibles à la même accélération, ainsi que les deux transducteurs (32, 33) qui sont reliés chacun à une masselotte mobile afin de détecter la force induite dans la masselotte mobile par une accélération, les transducteurs ayant des fréquences de résonance f_1 , f_2 qui varient en opposition avec une variation de l'accélération, le procédé étant caractérisé en ce que, pour déterminer l'accélération à partir des fréquences des transducteurs, il utilise la relation :

$$a = A_1 f_1^2 - A_2 f_2^2 + A_0,$$

où A_1 , A_2 et A_0 sont des coefficients d'étalonnage.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que les coefficients d'étalonnage sont déterminés de façon à établir la meilleure approximation de l'accélération sur toute la plage des signaux d'entrée et sur la plage des températures de travail de l'accéléromètre.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'accéléromètre est étalonné à des températures distinctes T_j et en ce que les coefficients d'étalonnage sont représentés par une matrice de coefficients :

$$5 \quad \{A_{ij}\} ; j = 1, 2, 3, \dots ; i = 1, 2, 0.$$

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que chaque coefficient A_i est modélisé au moyen d'une fonction polynomiale à adaptation des moindres carrés par rapport à la température, représentée par :

$$10 \quad A_i = \sum_{k=0}^n B_{ik} \cdot T^k ; i = 1, 2, 0.$$

6. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que les coefficients d'étalonnage sont déterminés pour une valeur minimale de la dérivée de l'accélération par rapport à la température, $\frac{da}{dT}$, où T est la température.

FIG. 1

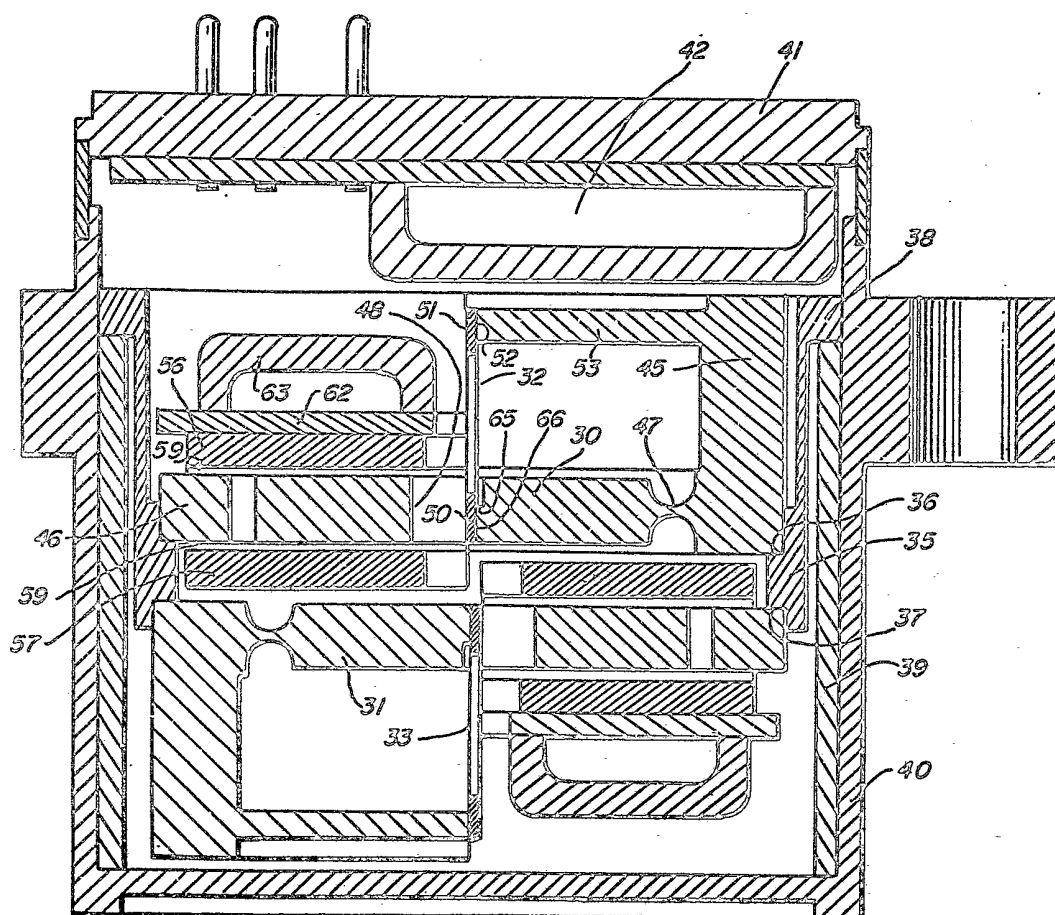


FIG. 2

