

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication : **2 552 222**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **84 14093**

⑤1 Int Cl<sup>4</sup> : G 01 C 19/56; G 01 P 9/04.

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 Date de dépôt : 14 septembre 1984.

③0 Priorité : GB, 16 septembre 1983, n° 83.24856.

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPI « Brevets » n° 12 du 22 mars 1985.

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

⑦1 Demandeur(s) : *FERRANTI Plc, société de droit britan-  
nique.* — GB.

⑦2 Inventeur(s) : *Norman Frederick Watson.*

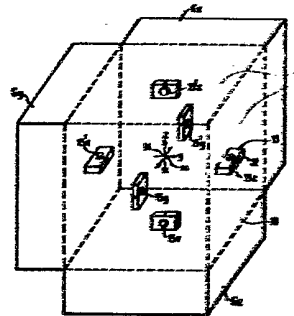
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : *André Bouju.*

⑤4 Ensemble d'accéléromètres pour plate-forme inertielle et plate-forme inertielle le comportant.

⑤7 Grappe d'accéléromètres pour plate-forme inertielle, mon-  
tés dans un bâti cubique 10 comprenant pour chacun des trois  
axes orthogonaux de référence, un gyroscope (Gx, Gy, Gz) et  
des accéléromètres 15, 15' dont deux sont montés par paire,  
équidistants du centre de choc commun des paires pour  
éliminer les erreurs dues aux effets de format. Par traitement  
analogique-économique en temps et capacité de traitement, les  
signaux de chaque paire donnent, par somme et différence, les  
accélérations longitudinale et angulaire, puis des signaux de  
correction des erreurs de cône et de godille.

On peut employer des accéléromètres distincts en haute et  
basse fréquence.



FR 2 552 222 - A1

La présente invention concerne des ensembles d'accéléromètres et en particulier des ensembles d'accéléromètres associés à des plates-formes à inertie.

Les structures de plate-forme à inertie peuvent  
5 prendre de nombreuses formes, une configuration consistant en un agencement de plate-forme utilisé dans le système de navigation inertielle d'un véhicule hôte, agencement suivant lequel un groupe de trois gyroscopes laser à anneaux oscillants sensibles suivant des axes orthogonaux,  
10 et un groupe de trois accéléromètres sensibles suivant des axes orthogonaux sont montés dans une structure rigide commune connue sous le nom de grappe. La plate-forme et la grappe peuvent être fixés rigidement par rapport au véhicule hôte, les gyroscopes et les accéléromètres  
15 captant les accélérations angulaires et de translation de la plate-forme et du véhicule, dans l'espace, lorsque le véhicule manoeuvre. Les signaux produits par les gyroscopes et par les accéléromètres alimentent habituellement un ordinateur de traitement qui, grâce à l'application  
20 d'algorithmes convenables calcule le déplacement du véhicule. On se reportera dans la présente description à ce traitement connu des signaux par ordinateur, mais on n'en donnera pas le détail car ceci fait partie de la technique connue et non de la présente invention.

25 Idéalement les accéléromètres en grappe devraient être soumis seulement aux composantes des accélérations du véhicule qui sont unidirectionnelles ou vibratoires selon des fréquences relativement basses (moins que quelques dizaines de Hz) et les accéléromètres connus généralement  
30 sous le nom d'accéléromètres de Qualité Inertielle sont conçus pour répondre avec précision à des variations à basse fréquence de l'accélération au prix d'une médiocre réponse en haute fréquence. Dans la présente description, le terme "accéléromètre basse fréquence" est utilisé  
35 pour faire référence à un tel accéléromètre de Qualité Inertielle.

Cependant les contraintes dans le positionnement à l'intérieur de la construction de la grappe de trois accéléromètres à axe unique et de gyroscopes signifie que des accélérations supplémentaires sont captées, donnant naissance à des mesures d'accélérations erronées, à moins que ces accélérations supplémentaires ne soient compensées ou supprimées.

Ces sources d'erreur et les équations qui définissent leur solution sont bien détaillées dans les manuels, par ex. dans "Inertial Guidance Engineering" édité par Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, N.J. U.S.A.

Deux de ces sources d'erreur sont dues à ce qu'on appelle l'effet de cône, provoqués par des mouvements des axes d'entrée des gyroscopes donnant naissance à des erreurs dans la mesure des accélérations angulaires et l'effet de godille, suivant lequel des vibrations linéaires et angulaires à fréquence relativement élevée de quelques centaines de Hz selon deux axes orthogonaux produisent une accélération linéaire uniforme le long du troisième axe orthogonal.

Pour compenser ces erreurs, des corrections doivent être appliquées aux accélérations linéaires et angulaires, telles que les mesurent les gyroscopes et les accéléromètres de Qualité Inertielle, ce qui nécessite la mesure et le traitement des signaux qui donnent naissance à l'effet.

Dans le cas des effets de godille, par exemple, l'accélération linéaire fixe qui en résulte se trouve à l'intérieur de la bande passante de travail de l'accéléromètre de Qualité Inertielle, mais résulte d'accélérations vibratoires selon un axe orthogonal à des fréquences qui dépassent celles auxquelles les accéléromètres classiques de qualité inertielle peuvent répondre. Ce sont ces accélérations à haute fréquence (et les mouvements angulaires à haute fréquence correspondant dans le cas de l'effet de cône) qui doivent être mesurées et traitées et un accéléromètre capable de mesurer de telles accéléra-

tions vibratoires à haute fréquence est désigné ci-après comme capable de travailler dans une "gamme à haute fréquence".

5 Bien que la grappe puisse être isolée mécaniquement du bâti où elle est logée, et du véhicule hôte, par des supports élastiques anti-vibratoires, une telle isolation n'est jamais totale et les accélérations provenant du véhicule hôte et modifiées par les supports peuvent  
10 agir sur la grappe et introduire les accélérations vibratoires indiquées ci-dessus.

De plus les couples de réaction provenant des mécanismes oscillants des gyroscopes peuvent provoquer des mouvements angulaires de la grappe autour du centre  
15 de gravité de la grappe à des fréquences d'oscillations de plusieurs centaines de Hz. Théoriquement de tels mouvements angulaires peuvent être réduits en plaçant les accéléromètres au centre de gravité, mais en pratique le volume des instruments empêche un tel positionnement  
20 idéal et pour calculer le mouvement de la grappe, il est nécessaire de prendre en compte les composantes d'accélération linéaire du mouvement dues à l'écart de la position de l'accéléromètre par rapport à la position idéale et d'effectuer des calculs d'effet de format sur les accélérations mesurées linéaires et angulaires pour ramener  
25 les mesures d'accélération à un point unique de la grappe.

De tels calculs d'effet de format sont classiques et sont aisément effectués par des algorithmes convenables connus, appliqués par l'ordinateur de traitement du dispositif, mais la mise en oeuvre de ces algorithmes, c'est-à-dire les données utilisées dans les calculs dépend des caractéristiques des accéléromètres et des gyroscopes individuels et de tels algorithmes ne sont donc pas facilement adaptables à une solution par ordinateur dans  
35 le cas d'un

changement d'une partie quelconque de l'équipement. Aussi pour effectuer les corrections d'effet de format, la mesure précise de telles accélérations vibratoires nécessite une largeur de bande de mesure couvrant plusieurs  
5 kHz. La capacité de calcul et le temps de calcul requis pour traiter de telles erreurs sur une bande passante large constituent un facteur important dans le coût et les performances du dispositif.

Un objet de la présente invention est donc  
10 de prévoir une grappe d'accéléromètres pour plate-forme à inertie, grâce à laquelle les effets des erreurs soulignés plus haut puissent être éliminés, et/ou les signaux de mesure nécessaires à leur correction soient plus aisément obtenus que dans les dispositifs connus, et aussi une  
15 plate-forme à inertie comportant une telle grappe d'accéléromètres.

Selon un premier aspect de la présente invention, une grappe d'accéléromètres pour plate-forme à inertie comprend, associée à chacun des trois axes orthogonaux,  
20 un ensemble d'accéléromètres comprenant au moins un accéléromètre pouvant travailler dans une gamme à basse fréquence (telle qu'on l'a définie ici), une paire d'accéléromètres pouvant travailler dans une gamme à haute fréquence (telle qu'on l'a définie ici) disposées à égale  
25 distance d'un centre de choc commun aux autres axes orthogonaux et du centre de gravité de la grappe, et des moyens de traitement de signal capables de produire, à partir de la somme des signaux de la paire d'accéléromètres (à haute fréquence), un signal somme représentant l'accélération vibratoire de la grappe le long de l'axe concerné, et capables de produire, à partir de la différence  
30 des signaux de la paire d'accéléromètres (à haute fréquence) un signal différence représentant l'accélération angulaire de la grappe autour de l'un des axes orthogonaux.  
35

Selon un second aspect de la présente invention, une plateforme à inertie comprend une grappe d'accéléromètres, telle que définie dans le paragraphe précédent, comportant un groupe orthogonal de trois gyroscopes et des moyens  
5 de traitement sensibles aux signaux reçus des gyroscopes et de l'ensemble d'accéléromètres, pour calculer le mouvement de la plate-forme dans l'espace à trois dimensions.

On va maintenant décrire des réalisations de l'invention au moyen d'un exemple, en faisant référence  
10 aux figures ci-jointes parmi lesquelles :

- La figure 1 est une représentation en perspective d'une grappe constituée d'un ensemble d'accéléromètres (et de gyroscopes) associés à une plate-forme à inertie selon la présente invention.

15 - La figure 2 est une représentation schématique d'une plate-forme à inertie comprenant une première forme d'ensemble d'accéléromètres à axe unique conforme à la présente invention.

- La figure 3 est une représentation schématique  
20 d'une plate-forme à inertie comprenant une seconde forme d'ensemble d'accéléromètres à axe unique.

En référence à la figure 1, une plate-forme à inertie comporte une grappe de gyroscopes et d'accéléromètres constituée à l'intérieur d'une structure cubique creuse 10. Sur trois des parois extérieures sont montées des boîtes de gyroscopes  $G_x$ ,  $G_y$  et  $G_z$  dont chacune contient une forme connue de gyroscope laser à anneau oscillant mécaniquement. Les faces internes des parois 11 du cube portent des blocs support 12 situés près des centres  
25 des parois pour réaliser des faces de montage planes 13 qui s'étendent perpendiculairement au plan de la paroi.

30 Les blocs sont associés en paires dont chaque élément est situé sur une paroi opposée et ils sont placés de telle façon que les faces de montage de chaque paire  
35 soient coplanaires, ce plan s'étendant à travers la

structure cubique orthogonalement aux deux autres plans, l'intersection des trois plans étant située au centre de gravité 14 de la grappe.

5 Chacune des faces de montage 13 porte un accéléromètre, les accéléromètres étant désignés par 15x, 15'y, 15'z, selon leur axe sensible, indiqué par des flèches sur les blocs de montage, et dont la direction est celle des axes de coordonnées x, y, et z repérés en 16.

10 On peut voir que dans chaque paire, les accéléromètres 15 et 15' sont équidistants de chaque côté du centre de gravité 14.

On peut voir que lorsque la grappe subit une accélération en translation, disons dans la direction de l'axe des x, la moyenne des signaux provenant des accéléromètres 15x et 15'x (une fonction de leur somme) est une mesure de l'accélération de translation dans cette direction. Si le mouvement comporte une rotation autour de l'axe des y, alors les signaux provenant des accéléromètres 15x et 15'x sont soustractifs et leur différence représente l'accélération angulaire autour de cet axe. On notera que la différence des signaux des accéléromètres 15y et 15'y représente l'accélération angulaire autour de l'axe des z, et que la différence des signaux des accéléromètres 15z et 15'z représente l'accélération angulaire autour de l'axe des x.

20 Nous nous reportons maintenant à la figure 2 qui représente un ensemble d'accéléromètres Ax, comprenant deux accéléromètres 15x et 15'x associés le long de l'axe des x. Les accéléromètres sont des dispositifs à axe unique de construction identique et chacun d'eux a une bande passante de travail qui s'étend de 0 à plusieurs kHz, et fournit un signal de sortie de forme analogique. Un appareil convenable est l'accéléromètre à flexion de quartz Sundstrand QA2000 fabriqué par Sundstrand Data Control Inc., Redmond, Washington, U.S.A.

Les signaux de sortie des appareils 15x, 15'y qui dépendent de l'amplitude de l'accélération alimentent des amplificateurs d'échelle 16, 16' où les amplitudes relatives des accéléromètres sont appareillées et étalonnées.

5 La sortie des amplificateurs 16 et 16' alimente un amplificateur additionneur 17, dont la sortie 18 est proportionnelle à la somme de signaux des accéléromètres, et est une fonction de l'accélération de translation, ou linéaire, de la grappe le long de l'axe des x.

10 La sortie des amplificateurs 16 et 16' alimente aussi les entrées d'un amplificateur soustracteur 19, dont la sortie 20 est proportionnelle à la différence entre les signaux des accéléromètres et est une fonction de l'accélération rotationnelle de la grappe autour de  
15 l'axe des y.

Le signal "somme" provenant de la sortie 18, qui comprend toutes les accélérations de translation de la grappe, suivant l'axe des x est aussi appliqué au moyen d'un convertisseur analogique/numérique 21 à  
20 un ordinateur de traitement 22 qui reçoit les signaux correspondant "somme" et "différence" provenant des autres ensembles accéléromètres  $A_y$  et  $A_z$  et des gyroscopes  $G_x$ ,  $G_y$ ,  $G_z$  de la grappe pour effectuer les calculs qui permettent de définir de façon classique le mouvement de  
25 la grappe dû au mouvement du véhicule.

Les signaux "somme" et "différence" sont analogiques et sont appliqués à un circuit classique 23 du calcul de correction, pour calculer les erreurs de cône et de godille en utilisant un circuit analogique.

30 Les signaux concernant les erreurs ainsi déterminées sont appliqués à l'ordinateur 22 par l'intermédiaire d'un convertisseur analogique/numérique 24 et sont utilisés pour modifier la lecture des accéléromètres et des gyroscopes, de façon à compenser les mouvements de cône et  
35 de godille.

Les corrections effectuées par le circuit de calcul de corrections 23 ne font pas partie de l'invention, car elles représentent la solution d'équations de correction connues, toutefois la forme du circuit va être décrite brièvement dans le souci de faire une description complète.

Le circuit 23 est partagé en deux sections 25 et 26. La section supérieure 25 produit les signaux de correction des effets de cône selon les trois axes, le taux d'effet de cône autour d'un axe particulier, disons l'axe des z, pouvant être défini par  $\left[ \left( \text{angle de rotation autour de l'axe des y} \right) \times \left( \text{vitesse angulaire de rotation autour de l'axe des x} \right) \right] + \left[ \left( \text{angle de rotation autour de l'axe des x} \right) \times \left( \text{vitesse angulaire de rotation autour de l'axe des y} \right) \right]$ , des relations correspondantes existant pour les taux d'effet de cône autour de chacun des axes x et y. Le signal différence provenant de l'ensemble des accéléromètres Ax selon l'axe des x, représente l'accélération angulaire autour de l'axe des y, si bien qu'une première intégration par rapport au temps de ce signal, représente la vitesse angulaire de rotation et qu'une seconde intégration par rapport au temps représente l'angle de rotation autour de l'axe des y.

La sortie 20 de l'ensemble d'accéléromètres Ax (concernant la rotation autour de l'axe des y) est appliquée à un premier étage intégrateur 26y ayant une borne de sortie 27y connectée à un second étage intégrateur 28y, qui a une sortie 29y. La sortie 27y du premier étage intégrateur est également connectée à une entrée d'un multiplicateur 30 dont une seconde entrée est connectée à la sortie d'un second étage intégrateur 28x (qui reçoit les signaux concernant l'axe des x) provenant de l'ensemble d'accéléromètres Az). La sortie 29y du deuxième étage intégrateur est connectée à une entrée d'un multiplicateur 31 dont une seconde entrée est connectée à la sortie du premier étage intégrateur 26x. Les signaux produits

sont additionnés dans un amplificateur additionnel 32 et le signal apparaissant à la sortie 33 représente le taux d'effet de cône autour de l'axe des z. Le signal analogique est appliqué à un convertisseur analogique/numérique 24 et de là au calculteur 22, comme on l'a indiqué plus haut.

Les signaux "différence" correspondants provenant des accéléromètres  $A_y$  et  $A_z$  sont appliqués aux premiers étages intégrateurs 26z et 26x respectivement.

Les autres étages intégrateurs sont couplés eux-mêmes au moyen de multiplicateurs et d'additionneurs pour fournir les signaux de taux d'effet de cône autour de l'axe des x et autour de l'axe des y.

La partie inférieure 26 du circuit 23 du calcul de correction fournit les signaux de correction pour les erreurs de godille qui pour un axe quelconque, par exemple l'axe des y peuvent être définies par  $\left[ (\text{déplacement angulaire autour de l'axe des z}) \times (\text{accélération linéaire le long de l'axe des x}) \right] + \left[ (\text{déplacement angulaire autour de l'axe des x}) \times (\text{accélération linéaire le long de l'axe des z}) \right]$ . Le multiplicateur 35y a une première entrée connectée à la sortie 29z du second étage intégrateur 28z pour recevoir les signaux qui représentent le déplacement autour de l'axe des z et il a une seconde entrée connectée à la sortie "somme" 18 de l'ensemble d'accéléromètres  $A_x$  pour recevoir les signaux représentants l'accélération linéaire le long de l'axe des x. Le multiplicateur 35'y a une première entrée conenctée à la sortie 29x du second étage intégrateur 28x pour recevoir les signaux qui représentent le déplacement autour de l'axe des x et il a une seconde entrée connectée à la sortie "somme" de l'ensemble des accéléromètres  $A_z$ , pour recevoir les signaux qui représentent l'accélération linéaire le long de l'axe des z. Les signaux produits apparaissant

sur les lignes de sortie des multiplicateurs 36y et 36'y sont appliqués à un amplificateur additionnel 37y et le signal de sortie de l'amplificateur sur la ligne 38 représentant la correction de godille est appliqué au  
5 moyen d'un convertisseur analogique/numérique 24 à l'ordinateur 22. Des paires correspondantes de multiplicateurs 35x, 35'x et 35z, 35'z reçoivent les signaux des seconds étages d'intégrateurs et les signaux "somme" des accéléromètres pour produire, à partir des amplifi-  
10 cateurs additionneurs associés 37x et 37z, des signaux de compensation de godille, respectivement concernant les axes des x et des z. Les amplitudes relatives des signaux reçus des ensembles d'accéléromètres et des intégrateurs 28 peuvent nécessiter un ajustement au moyen  
15 d'amplificateurs ou d'atténuateurs convenables (non représentés par souci de clareté).

L'emploi de signaux analogiques et de circuits analogiques, particulièrement de multiplicateurs analogiques dans le circuit de calcul de correction 23 dispensent  
20 l'ordinateur 22 de l'exécution des calculs numériques correspondants, économisant ainsi un temps de traitement considérable. Etant donné que les signaux de compensation de godille sont appliqués, comme on l'a vu à l'ordinateur qui les emploie pour effectuer les corrections des signaux  
25 linéaires d'accéléromètres (dérivés des signaux "somme"), on notera que sur les lignes 38 les signaux analogiques peuvent être convenablement étalonnés et mélangés aux signaux analogiques "somme" provenant des ensembles accéléromètres, réduisant ainsi le nombre d'entrées de l'ordi-  
30 nateur et la quantité de traitements numériques à effectuer.

L'emploi d'accéléromètres pour traduire, sous forme analogique les mesures de mouvements angulaires à haute fréquence, rend possible l'usage de filtres numé-  
35 riques 39 sur la sortie numérique des gyroscopes laser

à anneau, pour éliminer les erreurs et le bruit des gyroscopes à haute fréquence, de façon à obtenir les variations essentiellement à basse fréquence associées aux mouvements du véhicule hôte que demande l'ordinateur 22.

5 L'avantage principal de la grappe décrite est que, bien que le montage des accéléromètres pris séparément soit tel que leurs centres de choc soient à une certaine distance les uns des autres, le centre de choc de chacun des trois ensembles orthogonaux d'accéléromètres peut  
10 coexister au centre de gravité 14 de la grappe et éliminant ainsi complètement la nécessité d'effectuer les corrections d'effet de format sur les signaux d'accéléromètres et simplifiant même d'avantage l'agencement de la grappe.

Non seulement l'agencement décrit ci-dessus  
15 des ensembles d'accéléromètres simplifie la structure des plates-formes à inertie, mais il permet aussi d'obtenir des possibilités supplémentaires. Par exemple bien que la mesure des mouvements angulaires à basse fréquence de la grappe soit réalisée essentiellement par les gyroscopes, et que la mesure à haute fréquence des mouvements  
20 angulaires (pour la correction d'erreurs) soit effectuée par les ensembles d'accéléromètres, il peut y avoir recouvrement dans leur gamme de fonctionnement, si bien que les comparaisons peuvent être faites entre les signaux, de façon à déterminer la précision et/ou la stabilité  
25 de l'ensemble des mesures. On peut aussi obtenir une forme d'auto-contrôle entre les accéléromètres composant chaque ensemble d'accéléromètres. On peut prévoir les moyens d'auto-contrôle (non représentés) comprenant  
30 des moyens d'intégration pour intégrer sur une grande constante de temps les sorties des accéléromètres (de façon à éliminer les effets différentiels de la rotation vibratoire) et pour comparer les résultats de façon à établir les conformités entre les réponses des accéléromètres.  
35

L'agencement de grappes pour plate-forme à inertie décrit ci-dessus, en référence à la figure 2 emploie deux accéléromètres à bande passante large, chacun répondant à la fois aux mouvements "inertiels" à basse fréquence du véhicule hôte et aux mouvements vibratoires à haute fréquence de la grappe ou aux mouvements à haute fréquence induits par le véhicule hôte.

On notera que les accéléromètres ayant ainsi une réponse à bande large sont des appareils complexes et intrinsèquement coûteux. La figure 3 illustre une variante possible en montrant les détails d'un ensemble d'accéléromètres à axe unique.

L'ensemble d'accéléromètres A'x associé à l'axe des x comprend une paire d'accéléromètres piézo-électriques 40x et 40'x ayant une réponse "haute"-fréquence, disons avec une bande passante qui s'étend de 3 Hz à 2 kHz, mais ne convient pas pour détecter les accélérations uniformes ou à basse fréquence associés aux mouvements du véhicule hôte. Des accéléromètres convenables sont le modèle 2250A fabriqué par Endevco Corp., San Juan Capistrano, California, U.S.A. Les accéléromètres à "haute fréquence" tels qu'on les désigne dans la présente description sont disposés de la même manière que les accéléromètres 15x et 15'x décrits plus haut, à propos de la figure 2, c'est-à-dire qu'ils sont à égales distance du centre de gravité 14 sur des faces opposées, leurs axes sensibles étant parallèles et dans la direction de l'axe des x. L'ensemble d'accéléromètres comprend aussi un accéléromètre séparé à "basse fréquence" 40"x qui est un instrument classique commercial de qualité inertielle, tel que le modèle FA2 fabriqué par la compagnie demanderesse ayant une bande de réponse en fréquence qui s'étend de 0 à plus de 50 Hz.

Les sorties des deux accéléromètres à haute fréquence 40x et 40'x alimentent au travers d'amplificateurs d'échelle 31 et 31', des amplificateurs additionneurs

et soustracteurs respectivement 42 et 43 dont les sorties sont connectées à un circuit de calcul de corrections 44 correspondant au circuit 23 de la figure 2.

5 La sortie 45 de l'amplificateur additionneur 42 est également connectée de manière à amener les signaux à un circuit de combinaison 46, circuit auquel sont également amenés les signaux de sortie analogique de l'accéléromètre à basse fréquence 40"x.

10 Les signaux des accéléromètres à haute et à basse fréquence sont convenablement étalonnés dans les amplificateurs respectivement 47 et 48 qui ont des sorties différentielles. Une sortie de chaque amplificateur est connectée à l'autre et réalise un rail commun 49 pour un filtre passe-bas 50, connecté pour recevoir les signaux  
15 provenant de l'amplificateur 47 et pour un réseau filtre passe-haut 51, connecté pour recevoir les signaux provenant de l'amplificateur 48. Les sorties de filtre sont connectées à deux entrées d'un amplificateur de combinaison 52 qui a une sortie 53 qui fournit les signaux d'accéléromètres  
20 s'étendant au-delà de la bande passante combinée à un convertisseur analogique/digital 54 et de là à un calculateur 55, correspondant à l'ordinateur 22 de la figure 2. Les composants des réseaux filtre sont choisis pour donner une fréquence de recouvrement approximativement  
25 égale à 10 Hz.

Les ensembles d'accéléromètres similaires A'y et A'z produisent aussi les signaux "somme" et "différence" pour le circuit de calcul de correction 44 et les signaux de réponse linéaire en haute et basse fréquence pour  
30 l'entrée à l'ordinateur 55.

On notera que dans ce signal combiné d'accéléromètres, seuls les composants vibratoires provenant de l'accéléromètre 40"x inférieurs à la fréquence de recouvrement de 10 Hz sont sujets à des erreurs dues à l'effet  
35 de format, si bien que même s'il est nécessaire que le calculateur contienne un algorithme de correction d'effet de

format, celui-ci est moins complexe et demande une capacité de calcul relativement petite grâce à cette réduction de la gamme des fréquences au-dessous de 10 Hz. La mesure des erreurs d'effet de format peut être encore simplifiée si l'accéléromètre à basse fréquence associé à l'un des axes est situé au centre de gravité 14, si bien qu'il ne souffre pas d'erreur d'effet de format et que les algorithmes de compensation n'ont à être appliqués que aux deux autres accéléromètres à basse fréquence seulement.

10           Ainsi, la constitution d'une grappe pour plateforme à inertie employant des ensembles d'accéléromètres dans lesquels au moins les parties répondant en haute fréquence sont disposées symétriquement, de façon à ce que leur centre de choc soit commun et coïncide avec  
15 leur centre de gravité de la grappe, permet que les vibrations de translation et de rotation soient déterminées et utilisées pour éliminer les sources d'erreur telles que les effets de cône et de godille, sous une forme analogique plus avantageuse que la forme numérique utilisée  
20 dans les ordinateur de traitement classique, tout en éliminant ou au moins en réduisant les erreurs d'effet de format.

Des moyens peuvent être prévus, comme on l'a souligné plus haut, pour l'auto-contrôle entre les accéléromètres à haute fréquence de chaque ensemble. On peut  
25 aussi prévoir d'autres moyens d'auto-contrôle (non représentés) où il y ait recouvrement des bandes opératoires des accéléromètres haute et basse fréquence. Les signaux de la bande commune peuvent être isolés par des filtres  
30 passe-bande respectifs et comparés pour vérifier un manque de conformité des réponses.

On a aussi montré que les ensembles d'accéléromètres peuvent être constitués d'accéléromètres à bande large ou de combinaisons d'accéléromètres ayant des

bandes passantes réduites. La demande de brevet britannique n° 83 24855 décrit un ensemble d'accéléromètres à axe unique, qui comprend un seul accéléromètre à basse fréquence de qualité inertielle et un accéléromètre à haute  
5 fréquence dont les sorties sont étalonnées et couplées au moyen d'un filtre de recouvrement pour donner une sortie unifiée qui couvre toute la bande de travail large décrite ci-dessus ; c'est-à-dire similaire aux accéléromètres 40"x, 40x et à l'unité de combinaison 46. Puisqu'un  
10 ensemble d'accéléromètres indépendant peut être produit et calibré de façon à fournir la réponse désirée sur toute l'étendue de la bande passante, il est plus facilement remplacé dans l'ensemble du dispositif que ne peuvent l'être des accéléromètres séparés ayant des caractéristiques différentes.

15 On notera qu'un tel ensemble d'accéléromètres indépendant peut être utilisé par paire, comme une alternative à l'accéléromètre à bande large décrit en référence à la figure 2.

REVENDEICATIONS

1. Grappe d'accéléromètres pour plate-forme à inertie comprenant, associé à chacun des trois axes orthogonaux (x, y, z) un ensemble d'accéléromètres (Ax, Ay, Az, A'x, A'y, A'z) comprenant au moins un accéléromètre pouvant travailler dans une gamme à basse-fréquence (comme définie ici), une paire d'accéléromètres (15, 15') pouvant travailler dans une gamme à haute fréquence (comme définie ici) disposés à égale distance d'un centre de choc commun aux autres axes orthogonaux et du centre de gravité (14) de la grappe, et des moyens de traitement de signal (16, 16', 17, 19, 31, 31', 42, 43) capables de produire, à partir de la somme des signaux de la paire d'accélérateurs à haute fréquence, un signal "somme" représentant l'accélération vibratoire de la grappe le long de l'axe concerné, et capables de produire, à partir de la différence des signaux provenant de la paire d'accéléromètres à haute fréquence, un signal "différence" représentant l'accélération angulaire de la grappe autour de l'un des axes orthogonaux.

2. Grappe d'accéléromètres selon la revendication 1, caractérisée en ce que les moyens de traitement de signal comprennent des moyens d'étalonnement (16, 16', 31, 31') capables de commander les amplitudes absolue et relative des signaux produits par les deux accéléromètres (15, 15', 40, 40') de la gamme à haute fréquence, un amplificateur additionneur (17, 42) sensible à ces signaux étalonnés pour produire un signal "somme" qui se rapporte à la moyenne algébrique des signaux et un amplificateur à entrée différentielle (19, 43) sensible aux différences d'amplitude et de polarité entre ces signaux étalonnés de façon à produire le signal "différence".

3. Grappe d'accéléromètres selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisée en ce que la grappe comprend une structure support cubique fermée (10), la paire d'accéléromètres à haute fréquence (15,

15', 40, 40') associée à chacun des trois axes de coordonnées étant supportée par les faces internes opposées de la structure du support.

5 4. Grappe d'accéléromètres, selon l'une quel-  
conque des revendications précédentes, caractérisée par  
la présence de moyens d'auto-contrôle capables de comparer  
les signaux produits par la paire d'accéléromètres (15,  
15', 40, 40') de la gamme à haute fréquence, intégrés  
sur une période longue par rapport à celle du mouvement  
10 de rotation relatif de la paire d'accéléromètres et de  
donner une indication de toute différence dans leurs  
réponses.

5. Grappe d'accéléromètres selon l'une des  
revendications 1 à 4, caractérisée en ce que chaque ensemble  
15 d'accéléromètres comprend deux accéléromètres ayant chacun  
une largeur de bande de travail qui s'étend de 0 Hz à  
plusieurs kHz.

6. Grappe d'accéléromètres selon l'une des  
revendications 1 à 4, caractérisée en ce que chaque ensem-  
20 ble d'accéléromètres comprend des accéléromètres distincts  
pour la mesure des variations à basse fréquence et à  
haute fréquence de l'accélération.

7. Grappe d'accéléromètres selon la revendi-  
cation 6, caractérisée en ce que l'accéléromètre à basse  
25 fréquence de l'un des ensembles d'accéléromètres est  
situé au centre de gravité de la grappe.

8. Grappe d'accéléromètres selon la revendi-  
cation 6 ou la revendication 7, caractérisée par la pré-  
sence de moyens de combinaison (46, 52) sensibles aux  
30 signaux "somme" des moyens de traitement et aux signaux  
des accéléromètres à basse fréquence, pour produire un  
signal unifié relié à l'accélération qui s'étend sur  
une largeur de bande couvrant les gammes de fonctionnement  
à basse et à haute fréquence des accéléromètres consti-  
35 tuants à basse et à haute fréquence.

9. Grappe d'accéléromètres selon la revendication 8, caractérisée en ce que les moyens de combinaison comprennent un réseau de filtrage de recouvrement qui comprend des moyens de filtrage passe-bas (50) connectés pour  
5 recevoir des signaux provenant de l'accéléromètre à basse fréquence et laisser passer les signaux dont les fréquences sont inférieures à une fréquence de recouvrement prédéterminée et des moyens de filtrage passe-haut (51) connectés pour recevoir les signaux provenant des moyens addition-  
10 neurs des moyens de traitement et laisser passer des signaux supérieurs à la fréquence de recouvrement.

10. Grappe d'accéléromètres selon l'une des revendications 6 à 9, caractérisée par la présence de  
15 moyens d'auto-contrôle supplémentaires comprenant des moyens de filtrage capables de laisser passer les signaux provenant de l'accéléromètre qui peut fonctionner dans la bande à basse fréquence et les signaux provenant des accéléromètres qui peuvent travailler dans la bande à  
20 haute fréquence, dans une bande commune aux deux types d'accéléromètres et des moyens de comparaison capables de comparer les signaux reçus de chaque type d'accéléromètre et d'indiquer toute différence dans leurs réponses.

11. Plate-forme à inertie comprenant une grappe formée par des gyroscopes orthogonaux ( $G_x$ ,  $G_y$ ,  $G_z$ ), une  
25 grappe d'accéléromètres conforme à l'une quelconque des revendications précédentes et des moyens de calcul (22, 55) sensibles aux signaux reçus des gyroscopes et des ensembles d'accéléromètres pour calculer le mouvement de la plate-forme dans l'espace à trois dimensions.

30 12. Plate-forme à inertie selon la revendication 11, comprenant des moyens de calcul de correction analogique (23, 44) sensibles aux signaux "somme" et "différence" de chaque ensemble d'accéléromètres, pour  
35 fournir des signaux de correction en fonction des mouvements de cône et de godille subis par la grappe pour un

traitement en liaison avec les signaux des accéléromètres et des gyroscopes.

13. Plate-forme à inertie selon la revendication 11 ou la revendication 12 comprenant des moyens  
5 de contrôle croisé sensibles aux signaux provenant des gyroscopes qui indiquent le mouvement autour des axes de coordonnée, et aux signaux provenant de la grappe d'accéléromètres qui indiquent également le mouvement  
10 des instruments correspondants.

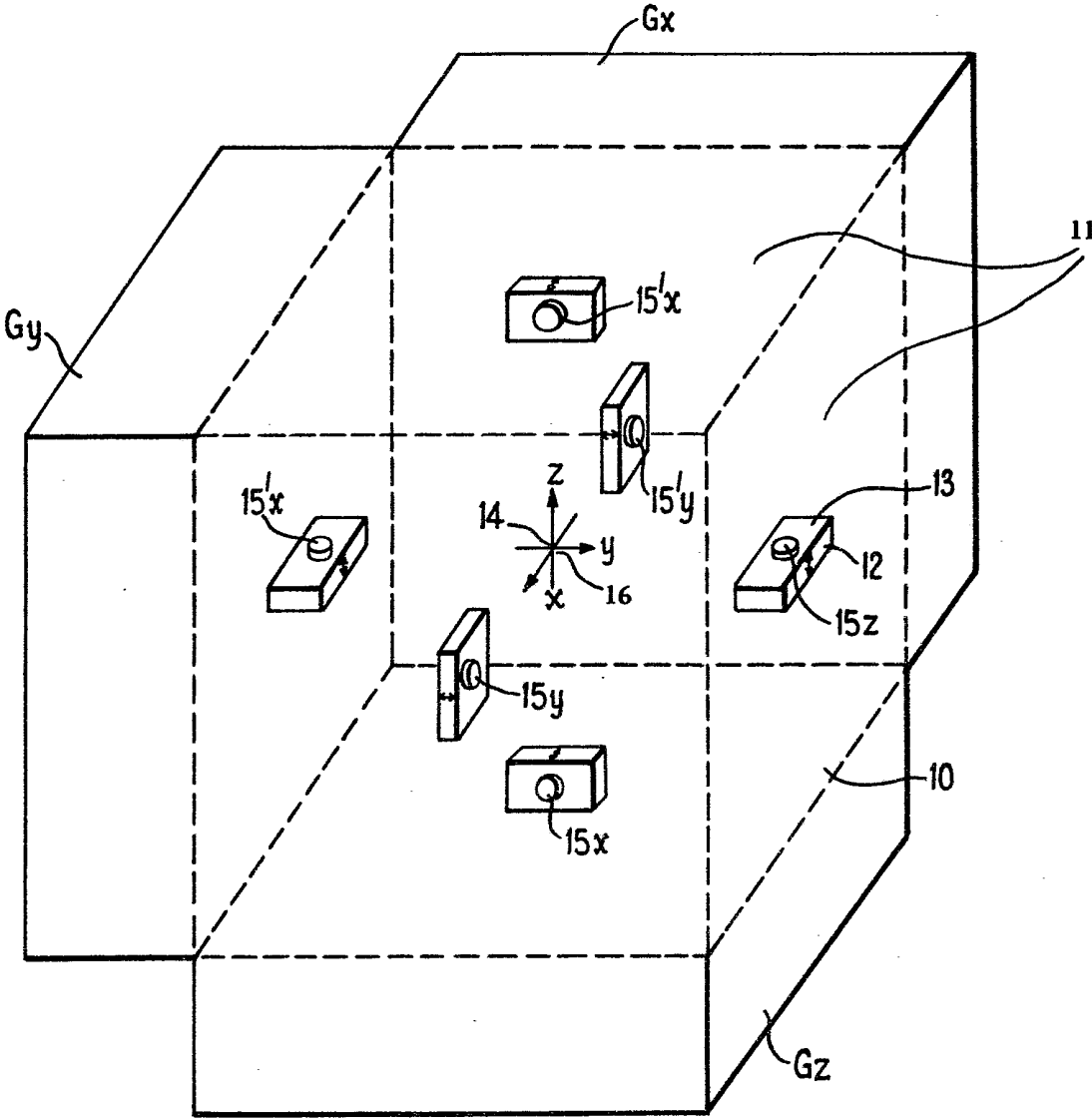


FIG.1

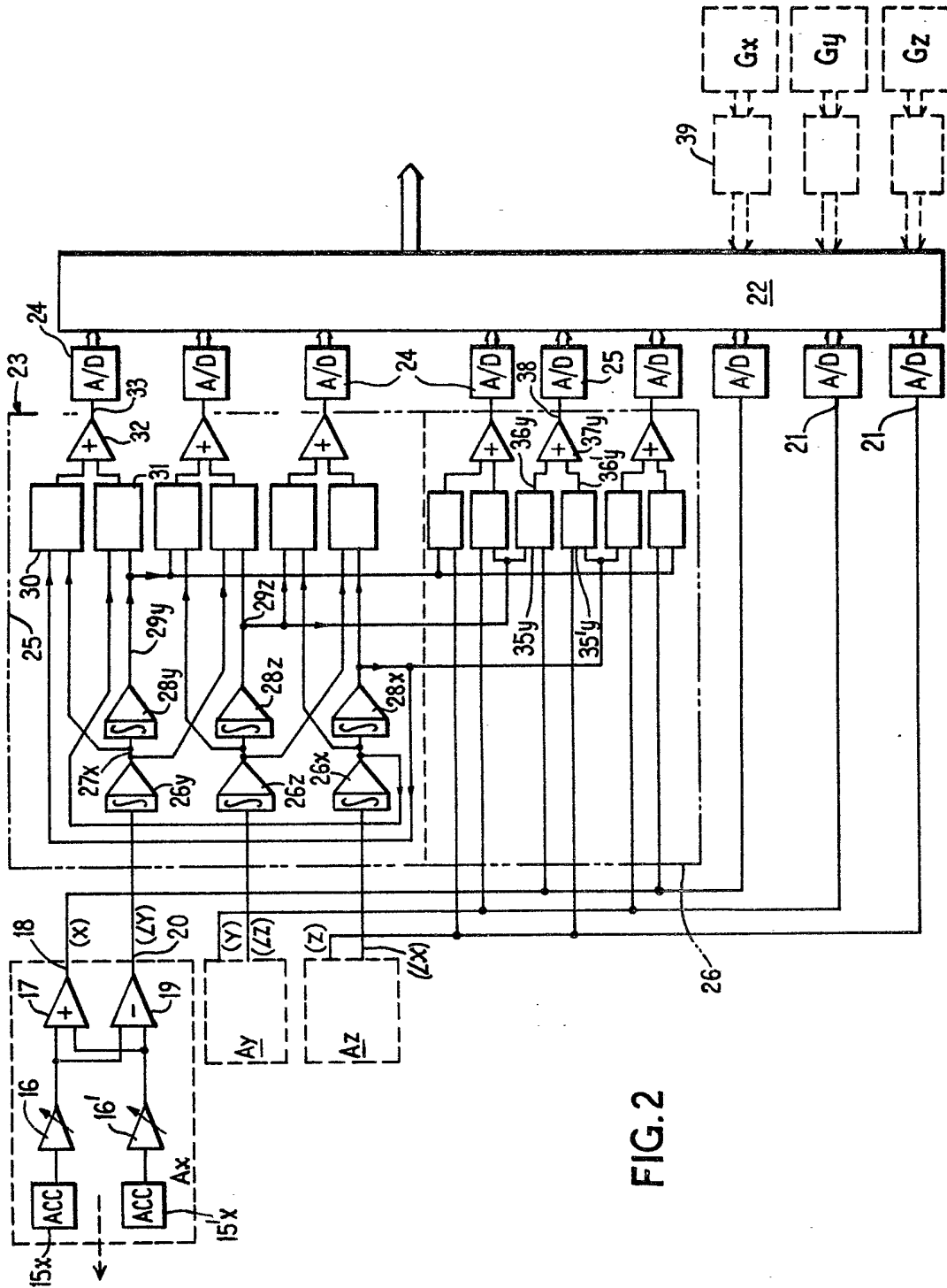


FIG. 2

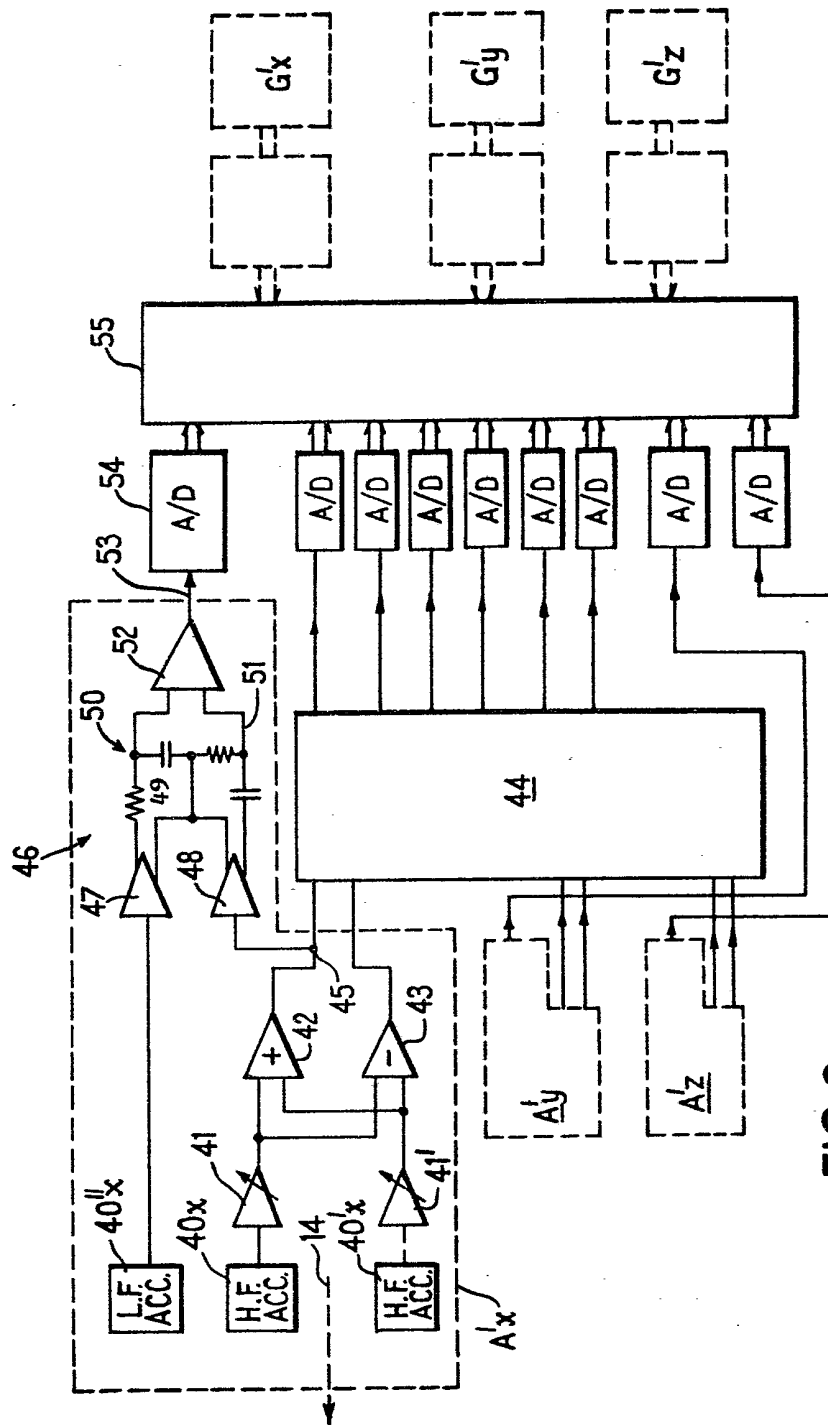


FIG. 3