

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫② Date de dépôt : 23.03.10.

③⑦ Priorité :

⑦① Demandeur(s) : SAGEM DEFENSE SECURITE
Société anonyme — FR.

⑦② Inventeur(s) : RAGOT VINCENT.

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 30.09.11 Bulletin 11/39.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦③ Titulaire(s) : SAGEM DEFENSE SECURITE Société
anonyme.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET BOETTCHER.

⑤④ PROCÉDE DE MESURE ANGULAIRE AU MOYEN D'UN CAPTEUR VIBRANT AUQUEL SONT APPLIQUEES
DES COMMANDES MODULEES.

⑤⑦ Procédé de mesure angulaire au moyen d'un capteur
comportant un résonateur axisymétrique associé à des
moyens de mise en vibration du résonateur et à des moyens
de détection d'une orientation de la vibration par rapport à
un repère du capteur, comprenant les étapes d'appliquer
une commande de précession de manière à asservir une
orientation de la vibration sur une valeur de consigne angu-
laire et de déterminer une mesure angulaire à partir de la
commande de précession. Le procédé comprend une pha-
se de modulation de la valeur de consigne angulaire de telle
manière que ladite valeur de consigne balaie uniformément
une plage angulaire de π radians et qu'une dérivée tempo-
relle de la consigne est déduite de la commande de préces-
sion préalablement à la détermination de la mesure
angulaire.



La présente invention concerne un procédé de mesure angulaire au moyen d'un capteur de type gyroscope vibrant.

Un tel capteur comprend un résonateur axisymétrique associé à des moyens de mise en vibration du résonateur et à des moyens de détection d'une orientation de la vibration par rapport à un repère du capteur. Ces moyens comprennent respectivement au moins deux groupes d'actionneurs solidaires du boîtier du capteur et/ou du résonateur et au moins deux groupes de détecteurs également solidaires du boîtier et/ou du résonateur.

Idéalement, le groupe des deux détecteurs constitue un repère orthonormé qui se confond avec la base modale du mode de vibration retenu pour faire fonctionner le résonateur. De même, dans le cas idéal, le groupe des deux actionneurs constitue un repère orthonormé qui se confond avec la base modale du mode de vibration retenu pour faire fonctionner le résonateur.

Les signaux (représentatifs de la déformée du résonateur qui est engendrée par la mise en vibration de celui-ci) observés dans la base formée par les détecteurs décrivent une trajectoire elliptique caractérisée par son grand axe de longueur p , son petit axe de longueur q .

$$p \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix} \cdot \cos \phi + q \cdot \begin{bmatrix} -\sin \theta \\ \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \sin \phi$$

$$\dot{\phi} = \omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot F_0$$

L'angle électrique θ caractérise l'orientation de la vibration dans la base modale, la phase ϕ est l'intégrale par rapport au temps de la pulsation de résonance ω_0 .

Pour mettre en œuvre un tel capteur, il convient de compenser l'effet des forces d'amortissement pour maintenir constante l'amplitude de la vibration, ce rôle est confié à la commande d'entretien (Ca).

Par ailleurs l'anisotropie de fréquence qui provoque l'excentricité de l'ellipse appelée quadrature doit être annulée afin d'éviter l'apparition de termes de dérive liée à ladite quadrature, ce rôle est confié à la
5 commande de quadrature (Cq).

Les commandes dites de précession (Cp) et de raideur (Cr) agissent respectivement sur l'angle électrique et la phase de la vibration.

Ce type de capteur peut fonctionner selon deux
10 modes, à savoir un mode gyroscope et un mode gyromètre.

En mode gyroscope, l'angle électrique est librement entraîné par les mouvements de rotation appliqués au boîtier de l'appareil selon son axe sensible.

En mode gyromètre, une force dite commande de
15 précession (Cp) est appliquée aux actionneurs de sorte à maintenir constant l'angle électrique. Cette force étant proportionnelle à la vitesse appliquée selon l'axe sensible du capteur constitue une mesure de ladite vitesse.

Sous l'effet des défauts de réalisation, la dérive d'un tel capteur dépend de la position de la vibration par rapport au boîtier de l'appareil et donc de l'angle θ . À l'origine du temps près, l'ellipse est inchangée quand θ est remplacé par $\theta + \pi$, on en déduit que la dérive, les erreurs de codage angulaire en mode gyroscope
20 et le facteur d'échelle en mode gyromètre sont des fonctions π périodiques en θ . Ces fonctions se décomposent donc en séries de Fourier constituées de termes en $\cos(2n\theta)$ et $\sin(2n\theta)$ où n décrit l'ensemble des entiers naturels.

Au voisinage de la fréquence de résonance, les
30 fonctions de transfert des actionneurs et des détecteurs sont modélisées par des matrices de gain complexes 2×2 . Le facteur d'échelle du gyromètre est proportionnel au produit des gains projeté dans la direction orthogonale à
35 la vibration et les erreurs de codage angulaire du gyros-

cope sont proportionnelles aux anisotropies de gain en détection.

On peut montrer que la dérive d'un tel capteur est la somme :

- 5 - De l'effet des anisotropies d'amortissement ;
- du produit des effets des anisotropies de gain en détection et de la commande d'entretien ;
- du produit des effets des anisotropies de gain en commande et de la commande d'entretien ;
- 10 - du produit des effets du déphasage et de la commande de quadrature.

Quand les mêmes électrodes sont utilisées alternativement comme détecteurs puis comme actionneurs, les matrices de gain détecteur et moteur sont transposées l'une de l'autre. Il en résulte que la composante moyenne de la dérive (terme en 0θ de la série de Fourier) est naturellement voisine de zéro. Les composantes en $\cos(2\theta)$ et $\sin(2\theta)$ de cette dérive, qui sont les principaux termes d'erreur, sont variables en fonction de la température.

Il est possible de déterminer lesdites composantes pour établir en usine, lors d'une opération de calibrage de chaque capteur, un modèle d'erreur de manière à permettre une compensation desdites erreurs lors du fonctionnement du capteur en fonction des températures d'utilisation.

En revanche, il n'est pas possible de tenir compte du vieillissement du capteur.

Le vieillissement reste donc une source d'instabilité importante.

Un but de l'invention est de fournir un moyen pour améliorer les performances des capteurs de ce type.

A cet effet, on prévoit, selon l'invention, un procédé de mesure angulaire au moyen d'un capteur comportant un résonateur axisymétrique associé à des moyens de

mise en vibration du résonateur et à des moyens de détection d'une orientation de la vibration par rapport à un repère lié au boîtier du capteur et/ou au résonateur, comprenant les étapes d'appliquer une commande de précession de manière à asservir une orientation de la vibration sur une valeur de consigne angulaire et de déterminer une mesure angulaire à partir de la commande de précession. Le procédé comprend une phase de modulation de la valeur de consigne angulaire de telle manière que ladite valeur de consigne balaie uniformément une plage angulaire de $k\pi$ radians, k étant un nombre entier, dans un sens puis dans l'autre et en ce qu'une dérivée temporelle de la consigne est déduite de la commande de précession préalablement à la détermination de la mesure angulaire.

Dans le cas d'un capteur fonctionnant classiquement en gyromètre, la commande de précession est appliquée de sorte à asservir l'orientation de la vibration (ou angle électrique) à une valeur de consigne constante. La commande de précession compense alors la somme de la dérive et de la vitesse angulaire appliquée selon l'axe sensible du capteur, avec une erreur de facteur d'échelle qui dépend des gains des moyens de mise en vibration et des moyens de détection.

L'invention consiste à moduler la consigne angulaire uniformément entre deux valeurs espacées de $k\pi$ radians où k est un entier. À la commande de précession du gyromètre « classique » s'ajoute alors la dérivée temporelle de la consigne angulaire entachée de l'erreur de facteur d'échelle de précession. Par balayage uniforme, on entend une trajectoire angulaire telle que le temps passé en moyenne sur des secteurs angulaires, de largeur sensiblement égale (par exemple à 10% près), pris dans la plage angulaire, est identique.

La détermination de la mesure angulaire est alors réalisée à partir de la commande de précession à laquelle

est retranchée la dérivée temporelle de la consigne angulaire d'asservissement. La mesure angulaire est une moyenne des valeurs ainsi calculées. L'angle électrique étant imposé, les moyennes en temps se confondent avec
5 les moyennes en angle.

Selon une caractéristique particulière, le procédé comprend une étape de recalage d'un modèle d'erreur du capteur et, de préférence, l'étape d'appliquer également une commande de quadrature, une commande d'amplitude et
10 une commande de raideur, le recalage étant réalisé en modulant au moins l'une desdites commandes pendant le balayage et en observant une évolution de la vibration en réponse à cette modulation.

Ainsi, le balayage de plage angulaire par la vibration est mis à profit pour recaler en cours
15 d'utilisation le modèle d'erreur du gyroscope en superposant aux commandes de ce dernier des perturbations adéquates et observant leur effet sur la vibration. Ceci permet d'identifier et compenser tout ou partie :

20 - des erreurs de gain et de phase des détecteurs et des moteurs ;

- des couplages entre les moyens de mise en vibration et les moyens de détection ;

- des anisotropies d'amortissement et de raideur.

25 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description qui suit d'un mode de mise en œuvre particulier non limitatif de l'invention.

Le procédé de l'invention est mis en œuvre au
30 moyen d'un capteur à résonateur vibrant de type classique.

Un tel capteur, de type gyroscope vibrant, comprend un boîtier dans lequel est monté un résonateur axisymétrique vibrant associé à des moyens de mise en vibration
35 du résonateur et à des moyens de détection d'une

orientation de la vibration dans un repère du capteur. Les moyens de mise en vibration et les moyens de détection peuvent être de type piézoélectrique ou électrostatique. Ces moyens comprennent des électrodes qui sont re-
5 liées à un circuit de traitement pour être ici utilisées alternativement pour la mise en vibration du résonateur et la détection de l'orientation de la vibration par rapport au repère du capteur.

La structure du capteur est classique et ne sera
10 pas décrite plus en détail ici.

Le principe général de fonctionnement de la mesure angulaire au moyen d'un tel capteur consiste à mettre le résonateur en vibration en provoquant une déformée de celui-ci en ellipse présentant un grand axe et à dé-
15 tecter l'orientation de ce grand axe dans le repère du capteur.

La mise en vibration est obtenue en appliquant des signaux électriques sur les électrodes. Ces signaux électriques sont constitués par une superposition de com-
20 mandes.

La commande d'entretien (C_a) est déterminée pour compenser l'effet des forces d'amortissement de manière à maintenir constante l'amplitude de la vibration.

La commande de quadrature (C_q) est déterminée
25 pour éliminer une excentricité de l'ellipse appelée quadrature provoquée par une anisotropie de fréquence, de manière à éviter l'apparition de termes de dérive liée à ladite quadrature.

La commande de précession (C_p) agit sur l'angle électrique, c'est-à-dire sur l'orientation du grand axe
30 de la vibration.

La commande de raideur (C_r) agit sur la phase de la vibration.

Pour la mise en œuvre du procédé conforme à
35 l'invention, le capteur est utilisé en mode gyromètre.

En mode gyromètre, la commande de précession (C_p) appliquée aux actionneurs crée une force maintenant l'orientation de la vibration ou angle électrique sur une valeur prédéterminée. Cette force étant proportionnelle à la vitesse angulaire appliquée selon l'axe sensible du capteur constitue une mesure de ladite vitesse.

Dans ce mode de fonctionnement, le procédé de mesure angulaire comprend ainsi les étapes d'appliquer une commande de précession de manière à asservir une orientation de la vibration sur une valeur de consigne angulaire et de déterminer une mesure angulaire à partir de la commande de précession.

Dans le procédé de l'invention, la valeur de consigne n'est pas constante mais modulée de telle manière qu'elle balaie uniformément une plage angulaire de $k\pi$ radians dans un sens puis dans l'autre avec k entier. De préférence, la plage angulaire vaut π radians.

La mesure de vitesse angulaire est déterminée en retranchant à la commande de précession la dérivée temporelle de la consigne angulaire.

Le procédé de l'invention comprend en outre une étape de recalage d'un modèle d'erreur du capteur, cette étape de recalage étant réalisée périodiquement, par exemple à intervalles de temps préprogrammés, au cours de l'utilisation du capteur.

Le recalage est réalisé en modulant au moins l'une desdites commandes pendant le balayage et en observant une évolution de la vibration en réponse à cette modulation.

La commande de précession est modulée pour effectuer le balayage uniforme et la commande de raideur est avantageusement modulée pour rendre le modèle d'erreur observable du fait des perturbations que la modulation va engendrer. Comme la commande de raideur est peu utilisée dans le fonctionnement normal du capteur, son utilisation

dans le cadre du recalage n'affecte pas la réponse normale du capteur.

Il serait également possible d'utiliser la commande d'entretien et/ou la commande de quadrature dont l'influence est plus importante, mais il serait alors nécessaire de tenir compte du fait que l'amplitude et/ou la quadrature de la vibration ne soit plus constantes, ce qui complique le traitement des observations en vue d'identifier et compenser les paramètres du modèle d'erreur.

On notera que la compensation des paramètres du modèle d'erreurs est effectuée de manière classique et est d'autant plus aisée que, ces paramètres variant peu à court terme, on dispose de temps pour effectuer la compensation.

Le procédé de l'invention utilise ainsi un gyroscope vibrant axisymétrique dans un mode de fonctionnement particulier permettant d'identifier et compenser les erreurs de dérive et de facteur d'échelle du capteur durant l'utilisation de celui-ci.

Ceci est obtenu en asservissant la vibration sur une consigne angulaire variable balayant uniformément dans le temps un secteur angulaire de π rad et en injectant des perturbations connues sur les commandes du résonateur pour d'identifier et compenser l'évolution des termes d'erreur indépendamment des mouvements du support.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisations décrits mais englobe toute variante entrant dans le champ de l'invention telle que définie par les revendications.

En particulier, l'invention est applicable à tout type de capteurs angulaires et notamment quelle que soit la forme du résonateur axisymétrique.

La présente invention est décrite dans le cas particulier où deux détecteurs et deux actionneurs seule-

ment sont utilisés, mais le procédé s'applique au cas plus général où les électrodes sont plus nombreuses.

Les électrodes peuvent être solidaires du boîtier et du résonateur, ou seulement du résonateur.

REVENDICATIONS

1. Procédé de mesure angulaire au moyen d'un cap-
teur comportant un résonateur axisymétrique associé à des
5 moyens de mise en vibration du résonateur et à des moyens
de détection d'une orientation de la vibration par rap-
port à un repère lié au boîtier du capteur et/ou au réso-
nateur, comprenant les étapes d'appliquer une commande de
précession de manière à asservir une orientation de la
10 vibration sur une valeur de consigne angulaire et de dé-
terminer une mesure angulaire à partir de la commande de
précession, caractérisé en ce que le procédé comprend une
phase de modulation de la valeur de consigne angulaire de
telle manière que ladite valeur de consigne balaie uni-
15 formément une plage angulaire de $k\pi$ radians, k étant un
nombre entier, dans un sens puis dans l'autre et en ce
qu'une dérivée temporelle de la consigne est déduite de
la commande de précession préalablement à la détermina-
tion de la mesure angulaire.

20 2. Procédé selon la revendication 1, comprenant
une étape de recalage d'un modèle d'erreur du capteur.

3. Procédé selon la revendication 2, comprenant
l'étape d'appliquer également une commande de quadrature,
une commande d'amplitude et une commande de raideur, le
25 recalage étant réalisé en modulant au moins l'une desdi-
tes commandes pendant le balayage et en observant une
évolution de la vibration en réponse à cette modulation.

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel
au moins une des commandes modulées pour le recalage est
30 la commande de raideur.



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 739290
FR 1001158

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2007/084042 A1 (CHALLONER A D [US] ET AL CHALLONER A DORIAN [US] ET AL) 19 avril 2007 (2007-04-19) * alinéas [0027], [0051], [0052] *	1-4	G01C19/56
X	US 2009/205422 A1 (CARON JEAN-MICHEL [FR] ET AL) 20 août 2009 (2009-08-20) * alinéas [0010], [0056] - [0060]; figures 3,4 *	1-4	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01C
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 novembre 2010		Asthalter, Tanja	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1001158 FA 739290

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **24-11-2010**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2007084042 A1	19-04-2007	AUCUN	

US 2009205422 A1	20-08-2009	AUCUN	
