(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 540 242**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **84 01469**

(51) Int Cl³ : G 01 C 19/64; H 01 S 3/10.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 31 janvier 1984.

(30) **Priorité** US, 31 janvier 1983, n° 06/462 548.

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande** : BOPI « Brevets » n° 31 du 3 août 1984.

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s)** : *Société dite : SUNDSTRAND OPTICAL TECHNOLOGIES, INC.* — US.

(72) **Inventeur(s)** : Daryl C. Stjern, Frank Daly et Earl Gardner.

(73) **Titulaire(s)** :

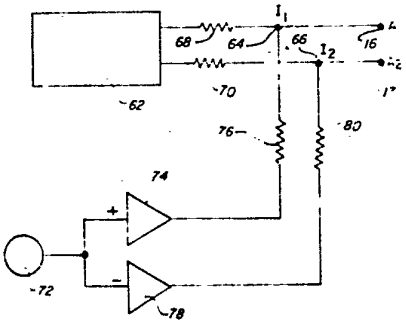
(74) **Mandataire(s)** : Rinuy Santarelli.

(54) Gyroscope à laser comportant des miroirs oscillants et une oscillation de courant.

(57) L'invention concerne les gyroscopes à laser.

Un gyroscope à laser destiné à détecter des vitesses de rotation comporte notamment des moyens d'oscillation primaires destinés à éliminer un verrouillage à des vitesses de rotation faibles et des moyens d'oscillation secondaires destinés à éliminer des non linéarités dans le signal de sortie du gyroscope lorsque la vitesse d'entrée est un harmonique de la fréquence d'oscillation primaire. Les moyens d'oscillation primaires font vibrer deux miroirs avec un déphasage mutuel de 180°. Les moyens d'oscillation secondaires 72, 74, 78 produisent une oscillation de courant aléatoire pour moduler de façon différentielle le courant dans chaque branche du gyroscope afin d'annuler les non linéarités dans le signal de sortie.

Application aux centrales inertielles.



FR 2 540 242 - A1

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

2540242

La présente invention concerne les gyroscopes à laser et porte plus particulièrement sur des moyens destinés à éliminer des erreurs dues au "verrouillage" dans le signal de sortie d'un gyroscope.

Dans un gyroscope à laser destiné à la mesure d'une vitesse angulaire, on fait propager deux faisceaux de lumière monochromatique dans des directions opposées, dans un chemin fermé qui entoure l'axe de rotation du gyroscope. Le chemin est formé par une cavité qui a de façon caractéristique une forme polygonale et comporte des miroirs placés à ses angles pour réfléchir les faisceaux le long du chemin. Lorsqu'on fait tourner le gyroscope, la longueur effective du chemin d'un faisceau est augmentée et la longueur effective du chemin de l'autre faisceau est diminuée, à cause du décalage Doppler. Une fréquence de battement est produite sous l'effet du mélange des deux faisceaux, par exemple avec un prisme de combinaison, le signal de fréquence de battement produisant à son tour des franges d'interférences qui sont détectées de façon caractéristique par une photodiode. Cette dernière produit un signal de sortie sinusoïdal dont la fréquence est linéairement proportionnelle à la vitesse de rotation. La fréquence de battement est donnée par l'expression :

$$\Delta f = \frac{4A}{\lambda P} \Omega$$

dans laquelle : Ω représente la vitesse de rotation ;
A est l'aire géométrique du gyroscope à laser ;
λ est la longueur d'onde du laser ; et
P est le périmètre de la figure géométrique décrite par le chemin qui est le siège d'un effet laser.

La valeur absolue et le signe de la différence de fréquence Δf sont donc représentatifs de la vitesse et

de la direction de rotation du gyroscope.

A de très faibles vitesses de rotation, il apparaît des erreurs dues à des effets de "verrouillage" qui font qu'on n'observe aucune différence de fréquence. Le verrouillage se produit à cause d'imperfections dans la cavité laser, principalement dans les miroirs, qui produisent une rétrodiffusion d'un faisceau laser dans l'autre faisceau laser. A des vitesses de rotation faibles auxquelles l'écart de fréquence entre les deux faisceaux est faible, le couplage de l'énergie rétrodiffusée d'un faisceau dans l'autre fait osciller les deux faisceaux à la même fréquence. Ceci conduit à une bande aveugle, ou région de verrouillage, la vitesse de seuil de verrouillage étant déterminée par la valeur de la rétrodiffusion. Cette bande aveugle fait que le signal de sortie du gyroscope ne suit pas la grandeur d'entrée. Lorsque la vitesse de rotation d'entrée du gyroscope dépasse le seuil de la vitesse de verrouillage, les fréquences des faisceaux se séparent et les faisceaux commencent à produire des impulsions de sortie.

On a employé diverses techniques de variation périodique ou d'oscillation pour éliminer le verrouillage à des vitesses de rotation faibles. L'une de ces techniques consiste à faire osciller les miroirs situés le long du chemin de la cavité du gyroscope, comme il est indiqué dans le brevet U S 4 281 930. La technique de ce brevet exige de faire osciller tous les miroirs à la même fréquence, mais avec un déphasage d'une quantité égale au quotient de 360° par le nombre de miroirs. La différence de phase entre les oscillations appliquées à chacun des miroirs doit être définie avec précision de façon à maintenir constante la longueur du chemin de la cavité. Du fait que la technique du brevet précité exige de faire osciller tous les miroirs du gyroscope, des problèmes sont apparus pour maintenir constante la longueur du chemin de

la cavité, car plus le nombre de miroirs est grand, plus il est difficile de maintenir une commande précise de la différence de phase entre eux.

Une autre technique connue pour éliminer le verrouillage à des vitesses de rotation faibles consiste à produire une oscillation de courant, comme l'indique le brevet U S 3 612 690. L'oscillation de courant proposée dans ce brevet utilise une source de bruit dont le signal de sortie est amplifié et limité pour donner une onde rectangulaire dont la fréquence et la largeur d'impulsion varient de façon aléatoire mais dont l'amplitude est constante. Cette onde rectangulaire et une version déphasée de celle-ci sont appliquées à un amplificateur symétrique dont les sorties sont connectées aux anodes du gyroscope à laser, afin de moduler en fréquence le courant partant de chaque anode. Si l'oscillation de courant du brevet U S 3 612 690 est employée dans des conditions telles qu'une anode est bloquée pendant que l'autre fonctionne, il peut apparaître des problèmes consistant en ce que le gain est insuffisant pour produire un effet laser. Même si les deux anodes fonctionnent simultanément, l'oscillation communiquée au courant est insuffisante pour éliminer complètement le verrouillage à certaines vitesses de rotation.

Bien que diverses techniques d'oscillation, comme des oscillations de miroirs ou des oscillations de courant, considérées seules, puissent empêcher le verrouillage à des vitesses de rotation faibles, proches de zéro, on a trouvé que des non linéarités apparaissent dans le signal de sortie du gyroscope à laser lorsque la vitesse d'entrée est un harmonique de la fréquence d'oscillation, ce qui dégrade la précision du gyroscope.

L'invention permet d'éliminer les inconvénients mentionnés ci-dessus des gyroscopes antérieurs à laser destinés à la mesure d'une vitesse angulaire. Le gyroscope à laser de

l'invention utilise une technique d'oscillation primaire pour éliminer le verrouillage à des vitesses de rotation faibles et une technique d'oscillation secondaire pour éliminer des non linéarités dans le signal de sortie du gyroscope lorsque la vitesse d'entrée est un harmonique de la fréquence d'oscillation primaire.

Le gyroscope à laser comprend un corps en quartz à l'intérieur duquel se trouve une cavité laser rectangulaire, avec un miroir placé à chacun de ses coins pour former un chemin en boucle fermée pour les deux faisceaux laser tournant en sens contraire. La technique d'oscillation primaire consiste à faire osciller deux miroirs adjacents, avec un déphasage de 180°, pour maintenir constante la longueur du chemin de la cavité, les deux miroirs restants étant fixes.

Cette technique élimine le verrouillage à des vitesses de rotation faibles, en agissant sur la rétrodiffusion, le résultat consistant en un décalage Doppler de la fréquence des ondes rétrodiffusées, qui sont ainsi écartées des ondes primaires, ce qui minimise les effets de couplage et fait disparaître le verrouillage de fréquence.

La technique d'oscillation secondaire fait appel à une oscillation de courant pour moduler le courant de façon différentielle dans chaque branche du gyroscope, afin d'éliminer des non linéarités dans le signal de sortie du gyroscope lorsque la vitesse d'entrée est un harmonique de la fréquence d'oscillation du miroir. L'oscillation de courant est aléatoire en fréquence comme en amplitude afin d'améliorer l'annulation des non linéarités par intégration.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre d'un mode de réalisation et en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

la figure 1 est une représentation en élévation

et en coupe montrant des détails d'un gyroscope à laser conforme à l'invention ;

la figure 2 est un schéma de composants du gyroscope de la figure 1 ;

la figure 3 est une vue en perspective d'un miroir entraîné de manière piézoélectrique, avec des connexions d'entraînement et de détection ;

la figure 3a est une coupe du dispositif d'entraînement de miroir représenté sur la figure 3 ;

la figure 4 est un graphique qui illustre le problème du verrouillage et sa solution conformément à l'invention ;

la figure 5 est un schéma du circuit d'oscillation de courant ;

la figure 6 est un schéma du circuit de commande d'oscillation de miroir ; et

la figure 6A est un schéma du circuit de commande destiné à maintenir la cavité laser au centre d'un mode.

Comme le montrent les figures 1 et 2, le gyroscope à laser comprend un corps 10, qui peut être en quartz, dans lequel sont disposés quatre canaux de passage de faisceau, 11-14, formant une cavité. Bien que la cavité représentée soit rectangulaire, elle peut être triangulaire ou avoir diverses autres configurations polygonales qui forment un anneau. Les canaux contiennent un ou plusieurs gaz qui conviennent pour le fonctionnement du laser, comme 90% d'hélium et 10% de néon, à une pression de 400 Pa. Des moyens appropriés peuvent être prévus pour établir une décharge dans le gaz entre une cathode 15 et des anodes 16 et 17, chacune d'elles étant en communication avec les canaux 11-14. La cathode 15 et les anodes 16 et 17 produisent deux faisceaux laser tournant en sens inverse qui se propagent dans le chemin de la cavité, défini par des branches 11a, 12a, 13a et 14a.

Un miroir 21-24 est placé à chacun des quatre coins de la cavité, pour réfléchir le faisceau le long de l'anneau. Le signal de sortie de fréquence de battement du gyroscope est détecté par un détecteur 25 associé à l'un des miroirs 21, comme il est bien connu dans la technique. On fait vibrer périodiquement deux miroirs adjacents, comme les miroirs 23 et 24, dans des directions perpendiculaires à leurs faces, comme l'indique la flèche 28, pour produire une oscillation primaire. Chacun des miroirs 23 et 24 est mis en vibration par un dispositif d'entraînement respectif 26 et 27 qui est fixé au miroir correspondant, tandis que les miroirs 21 et 22 sont montés de façon fixe sur le corps 10 du gyroscope. Le mouvement qui est communiqué au miroir 24 est déphasé de 180° par rapport à celui qui est communiqué au miroir 23. On peut ainsi représenter le déplacement du miroir 23 par l'expression A sin (ωt), et le déplacement du miroir 24 par l'expression A sin ($\omega t + \pi$).

Chacun des dispositifs d'entraînement 26 et 27 pour les miroirs 23 et 24 est un élément bimorphe modifié. Les figures 3 et 3a montrent la structure de base à deux lames pour le dispositif d'entraînement 26. Deux disques piézoélectriques 30 et 32 sont portés par des branches 34 d'une monture 36 qui porte également le miroir 23. Les deux disques comportent des électrodes de masse 39 et 40, placées dos à dos, qui sont reliées électriquement à des branches 34 mises à la masse. Une électrode 42 sur le disque 30 et une électrode annulaire extérieure 43 sur le disque 32 sont interconnectées électriquement en 44 et sont attaquées par un amplificateur d'attaque 46, par l'intermédiaire d'un conducteur 48. Le miroir 23 est accouplé en 49 au disque 30 pour être mis en oscillation par ce dernier. On utilise une électrode centrale 50 sur le disque 32 pour détecter la tension qui est produite lorsque le disque 32 oscille, la tension étant "prélevée" comme on le voit en 52

et 54 pour être utilisée. Cette structure élimine les instabilités de dilatation thermique qu'on trouve dans un élément bimorphe classique avec un détecteur accouplé.

On fait osciller les miroirs 23 et 24 avec un déphasage mutuel de 180°, de façon que la longueur totale du chemin de la cavité ne change pas. Le laser en anneau est donc maintenu au centre d'un mode (c'est-à-dire à une position de fréquence située au centre de la courbe de gain), et l'oscillation du miroir n'entraîne qu'une perturbation minimale de la longueur du chemin. Du fait qu'on fait osciller seulement deux des miroirs, et non tous les miroirs, on peut définir plus aisément la relation de phase entre les deux miroirs qui oscillent, et donc la longueur du chemin de la cavité.

Chaque miroir se déplace d'environ une longueur d'onde et demie, pour éliminer le verrouillage à des vitesses de rotation faibles. Pendant que le miroir accomplit ses translations dans un sens et dans l'autre , le faisceau laser se déplace dans un sens et dans l'autre entre les faces de miroir. Ceci entraîne un déplacement des centres de diffusion par rapport aux modes du champ de l'onde stationnaire en translation, ce qui satisfait les exigences de déphasage de la modulation de phase. De plus, le déplacement entre les groupes de diffusion des miroirs change au cours du temps. C'est la sommation vectorielle de ces groupes de diffusion qui donne naissance à une certaine valeur de verrouillage. L'oscillation des miroirs a pour effet de moduler dans le temps le vecteur de diffusion résultant, de façon à réduire davantage le verrouillage.

La technique d'oscillation de miroirs a plusieurs avantages par rapport à d'autres techniques de décalage utilisées à l'heure actuelle, comme l'oscillation de la totalité du corps du gyroscope. Bien que la technique d'oscillation de miroirs ne soit pas purement optique du fait que les

miroirs sont entraînés par des éléments transducteurs piézoélectriques, le déplacement des miroirs est extrêmement faible en comparaison du déplacement qui est communiqué à un gyroscope à laser dont on fait osciller le corps, le déplacement des miroirs étant de façon caractéristique de l'ordre de 0,5 µm crête-à-crête. En outre, du fait de la fréquence d'oscillation élevée des miroirs, qui peut être de l'ordre de 9 kHz, le couplage du mouvement des miroirs vers des mouvements produits par l'environnement, comme des chocs et des vibrations, est minimisé.

On fait osciller les miroirs sans ajouter d'éléments à la cavité optique de base, de façon que la structure soit insensible à des effets thermiques et magnétiques qui constituent des inconvénients propres aux techniques de décalage par cellule de Faraday, par miroirs magnétiques et (dans une certaine mesure) par oscillateurs multiples. Du fait qu'il n'y a pas d'éléments à pertes supplémentaires dans la cavité, un gyroscope comportant des miroirs soumis à une oscillation peut être réduit à une taille extrêmement faible sans diminution notable des performances. De plus, du fait que les éléments d'entraînement des miroirs sont extérieurs à la cavité laser hermétique, la technique employée s'adapte aisément à diverses structures de référentiels à gyroscopes répondant à des exigences spéciales en ce qui concerne les conditions de montage, l'environnement ou la durée de vie. La nature simple de la structure de base procure un instrument économique et à fiabilité élevée.

Bien que les deux miroirs soumis à oscillation éliminent le verrouillage à des vitesses de rotation faibles, on a trouvé que des non linéarités apparaissent dans le signal de sortie du gyroscope lorsque la vitesse d'entrée est un harmonique de la fréquence d'oscillation, comme on l'envisage ci-après.

Avec l'existence d'une rétrodiffusion dans une

cavité de gyroscope à laser, l'équation de la fréquence de battement, $\dot{\psi}$, est de la forme :

$$\dot{\psi}/2\pi = B_o + B_L \sin(\psi + E) \qquad (1)$$

dans laquelle B_o est proportionnel à la vitesse de rotation d'entrée, B_L est la fréquence de verrouillage et E est la phase de l'onde stationnaire verrouillée résultante. La théorie de l'oscillation d'un miroir modifie l'équation (1) en transformant E en une variable fonction du temps, E(t). Lorsqu'on fait osciller le miroir en direction longitudinale dans la cavité, les points de diffusion individuels sur le miroir se déplacent dans le faisceau. Du fait que l'oscillation appliquée au miroir est sinusoïdale, la contribution de phase de chaque miroir, E_m, devient :

$$E_m = B_m \sin(\omega_o t), \qquad (2)$$

Dans cette relation, $\omega_o = 2\pi f_D$, et f_D désigne la fréquence d'oscillation tandis que B_m représente l'amplitude d'oscillation du miroir.

Dans l'équation (2), on suppose que la contribution de rétrodiffusion de chaque miroir est la somme d'un grand nombre de diffusions dont on peut considérer les effets en moyenne statistique. Lorsque deux seulement des miroirs, c'est-à-dire les miroirs 23 et 24, sont soumis à une oscillation avec un déphasage de 180°, la rétrodiffusion totale est égale à la somme des contributions de rétrodiffusion provenant de chacun des miroirs soumis à une oscillation, ce qui fait qu'on peut écrire l'équation (1) sous la forme :

$$\dot{\psi}/2\pi = B_o + B_{L1}\sin(\psi + B_{m1}\sin(\omega_o t) + B_{L2}\sin(\psi + B_{m2}\sin(\omega_o t + \pi)) \qquad (3)$$

dans laquelle B_{mi} est l'amplitude d'oscillation du miroir de rang i et B_{Li} est la contribution à la vitesse de verrouillage qui résulte de la rétrodiffusion du miroir de rang i. La solution de l'équation (3) est donnée par :

$$\Psi = 2\pi B_o t + M\sin(2\pi f_D t) +$$

$$2\pi B_L \left\{ J_o(M) \frac{\cos(2\pi B_o t)}{2\pi B_o t} + J_1(M) \left[\frac{\cos 2\pi(B_o + f_D)t}{2\pi(B_o + f_D)} - \frac{\cos 2\pi(B_o - f_D t)}{2\pi(B_o - f_D)} \right] \right\} \qquad (4)$$

Dans cette expression, M est ce qu'on appelle l'indice de modulation et J_n est la fonction de Bessel d'ordre n.

L'équation (4) montre que la contribution aux termes de couplage ou de verrouillage devient très grande lorsque la vitesse d'entrée est un harmonique de la fréquence d'oscillation des miroirs, f_D, c'est-à-dire lorsque:

$$B_o = 0, \pm f_D \pm 2f_D, \ldots \qquad (5)$$

Comme le montre la figure 4, des non linéarités, indiquées en 60, dans le signal de sortie du gyroscope sont centrées sur les harmoniques de la fréquence d'oscillation.

Lorsque le terme de couplage B_o est égal à zéro, il donne naissance à la bande aveugle ou à la région de verrouillage aux vitesses de rotation faibles. Ainsi, si on choisit M de façon que la fonction de Bessel d'ordre 0, J_o, soit égale à zéro, il n'y a pas de verrouillage au voisinage des vitesses de rotation nulles. Les valeurs de M pour lesquelles J_o est égal à zéro, c'est-à-dire les racines de la fonction de Bessel, sont les suivantes :

$$M = 2{,}405,\ 5{,}52,\ 8{,}654 \qquad (6)$$

La valeur M= 2,405 procure la valeur optimale pour l'amplitude d'oscillation des miroirs, B_m, pour $J_o = 0$. Ainsi, pour optimiser l'oscillation des miroirs, il est important de maintenir une commande précise de l'amplitude et de la fréquence d'oscillation des miroirs, l'amplitude d'oscillation des miroirs B_m étant donnée par la relation:

$$B_m = \frac{M\lambda}{4\pi} \sin \phi \qquad (7)$$

dans laquelle $\emptyset$ est l'angle d'incidence entre le faisceau et le miroir, M est l'indice de modulation et λ est la longueur d'onde du laser.

Lorsque l'indice de modulation, M, est une racine de la fonction de Bessel, la non linéarité ou le verrouillage près des vitesses de rotation nulles est éliminée. Cependant, il existe toujours des non linéarités ou des bandes de verrouillage sur des harmoniques supérieurs de la fréquence d'oscillation. La largeur de ces bandes de verrouillage est la suivante :

$$\left| 2B_L J_n(M) \right| \qquad (8)$$

Le gyroscope à laser emploie une oscillation de courant de plasma en tant que technique d'oscillation secondaire qui module le gyroscope dans les régions des bandes de verrouillage qui apparaissent lorsque la fréquence d'entrée est un harmonique de la fréquence d'oscillation, afin de produire un signal de sortie continu.

Dans un plasma à décharge de type hélium-néon, il existe un mouvement résultant du gaz qui est produit par l'effet de circulation de Langmuir. Dans une couche ayant une épaisseur approximativement égale à un libre parcours moyen des ions près de la paroi du passage, il y a une circulation résultante de gaz de la cathode vers l'anode. Cette circulation est due à un transfert différentiel de quantité de mouvement vers les parois du passage, par les électrons et les ions. Le débit est proportionnel au courant de décharge. La contre-pression résultante qui s'établit au niveau de l'anode induit un contre-courant de gaz de Pioselle de l'anode vers la cathode le long du centre du passage. Ce mouvement résultant du volume de gaz le long du centre du passage produit un décalage Doppler différentiel de la courbe de gain de chacun des faisceaux tournant en sens contraire, dans le référentiel des molécules de gaz. Ceci conduit à des effets de déplacement de mode différents

dans un sens et dans l'autre sur chaque faisceau. Dans un gyroscope ayant une décharge dans deux branches dans lequel il y a un courant de plasma égal dans chaque branche, ces effets s'annulent. Lorsqu'un courant de plasma variant de façon sinusoïdale, ou de préférence de façon aléatoire, est appliqué avec un déphasage de 180° dans chaque branche, la séparation de fréquence résultante des faisceaux, ou la contribution de fréquence de battement, $\dot{\psi}_{cd}$, qui résulte de l'oscillation de courant est donnée par la relation :

$$\dot{\psi}_{cd} = P\left[A - IB\right]\ 2i_c \sin(\omega_i t); \qquad (9)$$

dans laquelle P est déterminé par divers paramètres physiques du gyroscope (par exemple le diamètre du passage, la pression et la composition du gaz, le gradient de tension dans le plasma); A et B sont respectivement les coefficients de déplacement de mode dans un sens et dans l'autre, I est l'intensité de la lumière laser, $\omega_i = 2\pi f_i$ et f_i est la fréquence d'oscillation de courant et i_o est l'amplitude de l'oscillation de courant, $\dot{\psi}_{cd}/2\pi$ s'ajoute à la contribution de fréquence de battement due aux miroirs soumis à une oscillation, dans l'équation (3), de la manière suivante :

$$\dot{\psi}/2\pi = B_o + B_{L1}\sin(\psi + B_{mi}\sin(\omega_o t)) + B_{L2}\sin(\psi + B_{m2}\sin(\omega_o t + \pi) + \psi_{cd}/2\pi \qquad (10)$$

C'est cette séparation de fréquence des faisceaux produite par l'oscillation de courant qui annule de façon aléatoire les bandes de verrouillage apparaissant lorsque la vitesse d'entrée est un harmonique de la fréquence d'oscillation des miroirs. En outre, du fait que le courant de plasma qui est appliqué dans chaque branche du gyroscope est déphasé de 180°, on obtient des effets de décalage maximaux du fait de la circulation de Langmuir qui annule en moyenne les bandes de verrouillage ou les non linéarités ré-

siduelles.

Le circuit produisant l'oscillation de courant, représenté sur la figure 5, comprend un régulateur de courant 62, dont les sorties à courant constant sont connectées à des jonctions de sommation 64 et 66 par l'intermédiaire de résistances de précision respectives 68 et 70, les jonctions de sommation 64 et 66 étant respectivement connectées aux anodes 16 et 17. Le signal de sortie d'un générateur de bruit aléatoire 72 est amplifié par un amplificateur non inverseur 74, connecté par une résistance 76 à la jonction de sommation 64 qui est associée à l'anode 16. Le signal de sortie du générateur de bruit aléatoire 72 est également appliqué à un amplificateur inverseur 78, connecté par l' intermédiaire d'une résistance 80 à la jonction de sommation 66 qui est associée à l'anode 17, de façon que le courant aléatoire qui est appliqué à la jonction de sommation 66 et à l'anode 17 soit déphasé de 180° par rapport au courant aléatoire qui est appliqué à la jonction de sommation 64 et à l'anode 16.

Le signal de bruit aléatoire qui est appliqué à l'anode 16 et le signal de bruit déphasé de 180° qui est appliqué à l'anode 17 introduisent un effet de circulation de Langmuir qui annule la bande de verrouillage résiduelle qui se manifeste lorsque la vitesse d'entrée est un harmonique de la fréquence d'oscillation des miroirs. Du fait que l'oscillation de courant qui est appliquée au gyroscope est aléatoire en amplitude comme en fréquence, l'annulation des non-linéarités par intégration est améliorée.

On réalise une commande précise des miroirs 23 et 24 soumis à une oscillation, au moyen d'un circuit d'asservissement représenté sur la figure 6, pour maintenir la relation de phase entre les miroirs et pour commander l'amplitude d'oscillation et le circuit de commande de la

figure 6A, afin de maintenir le gyroscope à laser au centre du mode. Du fait que l'efficacité de la technique de décalage par oscillation des miroirs dépend de l'indice de modulation, M, la commande de l'amplitude d'oscillation est importante. Même si on suppose une commande précise des miroirs, des variations notables de l'amplitude d'oscillation peuvent résulter des causes suivantes :

1) Des variations dans les caractéristiques de la matière piézoélectrique, sous l'effet d'une variation de température.

2) Des effets d'hystérésis et de dépolarisation dans la matière piézoélectrique.

3) Des variations de l'élasticité de l'ensemble transducteur-miroir.

Le circuit de la figure 6 commande la tension qui est appliquée aux transducteurs d'entraînement piézoélectriques 26 et 27 pour les miroirs 23 et 24, pour faire osciller les miroirs avec un déphasage précis de 180°. Un générateur de signal sinusoïdal 82 attaque le transducteur d'entraînement piézoélectrique 26 par l'intermédiaire d'un circuit de commande automatique de gain 84 et d'un amplificateur élévateur de tension 86 connecté en série avec ce circuit. Le générateur de signal sinusoïdal 82 est également connecté au transducteur d'entraînement piézoélectrique 27 par l'intermédiaire d'un circuit de commande automatique de gain 88 connecté en série avec un amplificateur élévateur de tension 89, et le générateur de signal sinusoïdal est connecté au circuit de commande de gain 88 par l'intermédiaire d'un amplificateur inverseur 90, de façon que le transducteur d'entraînement piézoélectrique 27 soit entraîné avec un déphasage de 180° par rapport au transducteur d'entraînement piézoélectrique 26. Les circuits de commande automatique de gain 84 et 88 et les amplificateurs élévateurs de tension 86 et 89 commandent l'amplitude de la tension appliquée aux trans-

ducteurs d'entraînement piézoélectriques 26 et 27 pour donner l'amplitude désirée B_m pour l'oscillation des miroirs.

Le signal de sortie du transducteur d'entraînement piézoélectrique 26 est renvoyé vers une entrée non inverseuse d'une jonction de sommation 92, tandis que le signal de sortie du transducteur d'entraînement piézoélectrique 27 est renvoyé vers une entrée inverseuse de la jonction de sommation 92. Les chemins de réaction respectifs vers la jonction de sommation 92 compensent des changements dans la différence de phase entre les transducteurs d'entraînement piézoélectriques 26 et 27, pour maintenir le déphasage de 180°, ces changements de phase résultant de caractéristiques des transducteurs piézoélectriques, par exemple des variations de température. Le signal de sortie du transducteur d'entraînement piézoélectrique 25 est également appliqué à une entrée inverseuse d'une jonction de sommation 94, tandis que le signal de sortie du transducteur d'entraînement piézoélectrique 26 est appliqué à une entrée inverseuse d'une jonction de sommation 96. Chacune des jonctions de sommation 94 et 96 commande l'amplitude du signal d'attaque des transducteurs piézoélectriques pour la maintenir constante.

La figure 6A montre un circuit de commande qui maintient le gyroscope à laser en fonctionnement au centre d'un mode, et ce circuit comporte une sortie sur une ligne 99 qui est connectée à une seconde entrée de l'amplificateur élévateur de tension 89. Le circuit de commande de longueur de chemin réagit au signal de sortie du détecteur à photodiode 25 qui détecte l'intensité du signal de sortie du gyroscope à laser. Le signal de sortie de la photodiode est appliqué à un démodulateur 100 auquel est également appliquée une référence à 5 kHz provenant d'un générateur 101, pour déterminer s'il y a eu un déphasage par rapport au cen-

tre du mode. Si aucun déphasage n'est détecté, le gyroscope à laser fonctionne au gain maximal, c'est-à-dire au centre du mode. Cependant, si le démodulateur 100 détecte un déphasage, le signal de sortie d'erreur du démodulateur est intégré par un intégrateur 102. Le signal de sortie de l'intégrateur 102 est appliqué à une jonction de sommation 104 dont l'autre signal d'entrée est le signal de référence à 5 kHz. Le signal de sortie de la jonction de sommation 104 est appliqué à l'un des transducteurs d'entraînement piézoélectriques comme le transducteur 27, par l'intermédiaire de l'amplificateur élévateur de tension 89, afin d'annuler le déphasage et de maintenir le gyroscope à laser au centre d'un mode. On notera que la fréquence du signal de référence que produit le générateur 101 ne doit pas être un sous-harmonique de la fréquence d'oscillation des miroirs.

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

REVENDICATIONS

1. Gyroscope à laser destiné à détecter une vitesse de rotation d'entrée, ce gyroscope comportant deux faisceaux tournant en sens contraire, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens destinés à éliminer des erreurs dans le signal de sortie du gyroscope qui résultent du verrouillage des faisceaux, comprenant : des moyens d'oscillation primaires (26, 27) destinés à éliminer le verrouillage à des vitesses de rotation faibles, ces moyens primaires ayant une fréquence fixe; et des moyens d'oscillation secondaires (72, 74, 78) destinés à éliminer des non-linéarités dans le signal de sortie du gyroscope lorsque la vitesse d'entrée est un harmonique de la fréquence d'oscillation primaire.

2. Gyroscope à laser selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens d'oscillation secondaires comprennent des moyens (72, 74, 78) destinés à annuler de façon aléatoire les non-linéarités dans le signal de sortie du gyroscope.

3. Gyroscope à laser selon la revendication 1, comprenant un corps (10) à l'intérieur duquel se trouve une cavité (11-14) de forme polygonale, formant un chemin en boucle fermée dans lequel se propage chacun des faisceaux tournant en sens contraire, et un miroir (21, 22, 23, 24) placé à chacun des coins de la cavité pour réfléchir les faisceaux, caractérisé en ce que les moyens d'oscillation primaires comprennent des moyens (26, 27) destinés à faire vibrer au moins deux (23, 24) des miroirs, chacun des miroirs vibrants étant mis en vibration avec une différence de phase, par rapport aux autres miroirs vibrants, égale à 360° divisés par le nombre de miroirs qui sont mis en vibration.

4. Gyroscope à laser selon la revendication 1, comportant un corps (10) dans lequel se trouve une cavité (11-14) formant un chemin en boucle fermée dans lequel se

propage chacun des faisceaux tournant en sens contraire, cette cavité comportant des première et seconde branches (11a-14a) dans lesquelles circule un courant produisant les faisceaux qui tournent en sens contraire, et les moyens d'oscillation secondaires comprennent des moyens (72, 74, 78) destinés à moduler de façon aléatoire et différentielle le courant dans chacune des branches, pour annuler les non linéarités.

5. Gyroscope à laser destiné à détecter des vitesses de rotation, ce gyroscope contenant une cavité (11-14) qui forme un chemin en boucle fermée dans lequel se propagent deux faisceaux tournant en sens contraire, cette cavité comportant des première et seconde branches (11a-14a) dans lesquelles circule un courant qui produit les faisceaux tournant en sens contraire, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens destinés à éliminer des non-linéarités dans le signal de sortie du gyroscope qui résultent du verrouillage des faisceaux, ces moyens comprenant des moyens (62, 72, 74, 78) destinés à moduler de façon différentielle le courant dans chaque branche (11a-14a), le courant variant de façon aléatoire en fréquence et en amplitude pour annuler les non-linéarités.

6. Gyroscope à laser selon la revendication 5, dans lequel le courant circule dans la première branche (11a, 12a) d'une première anode (16) vers une cathode (15) et dans la seconde branche (13a, 14a) d'une seconde anode (17) vers la cathode (15), caractérisé en ce que les moyens de modulation comprennent : des moyens (62) destinés à produire un signal de sortie à courant constant; des moyens (72) destinés à produire un signal de bruit aléatoire; des premiers moyens (76, 68, 64) destinés à sommer le signal de bruit aléatoire et le signal de sortie à courant constant, le signal de sortie des premiers moyens étant appliqué à la première anode (16) pour faire varier de façon aléatoire l'amplitude et la fréquen-

ce du courant dans la première branche (11a, 12a); des moyens (78) destinés à inverser le signal de bruit aléatoire; et des seconds moyens (70, 80,66) destinés à sommer le signal de bruit aléatoire inversé et le signal de sortie à courant constant, le signal de sortie des seconds moyens étant appliqué à la seconde anode (17) pour faire varier de façon aléatoire l'amplitude et la fréquence du courant dans la seconde branche (13a, 14a) avec un déphasage de 180° par rapport au courant dans la première branche.

7. Gyroscope à laser destiné à détecter des vitesses de rotation, ce gyroscope comportant un corps (10) qui contient une cavité (11-14) de forme polygonale, formant un chemin en boucle fermée dans lequel se propagent deux faisceaux tournant en sens contraire, et comportant un miroir (21, 22, 23, 24) placé à chacun des angles de la cavité pour réfléchir les faisceaux le long du chemin, cette cavité comportant des première et seconde branches (11a-14a) dans lesquelles circule un courant produisant les faisceaux qui tournent en sens contraire, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens destinés à éliminer des erreurs dans le signal de sortie du gyroscope qui résultent du verrouillage des faisceaux, comprenant: des moyens d'oscillation primaires (26, 27) destinés à faire vibrer au moins deux (23, 24) des miroirs, mais pas tous les miroirs, à la même fréquence et dans une direction perpendiculaire à la surface de chaque miroir, chacun des miroirs vibrants étant mis en vibration avec une différence de phase par rapport aux autres miroirs vibrants, égale au quotient de 360° par le nombre de miroirs mis en vibration, pour éliminer le verrouillage à des vitesses de rotation faibles; et des moyens d'oscillation secondaires (72, 74, 78) destinés à moduler de façon différentielle et aléatoire le courant qui circule dans chacune des branches, pour annuler les non linéarités.

2540242

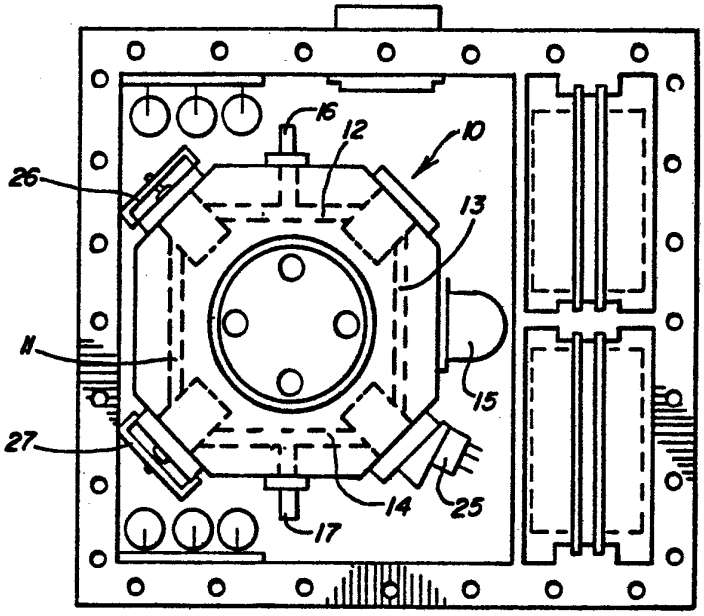


FIG. 1

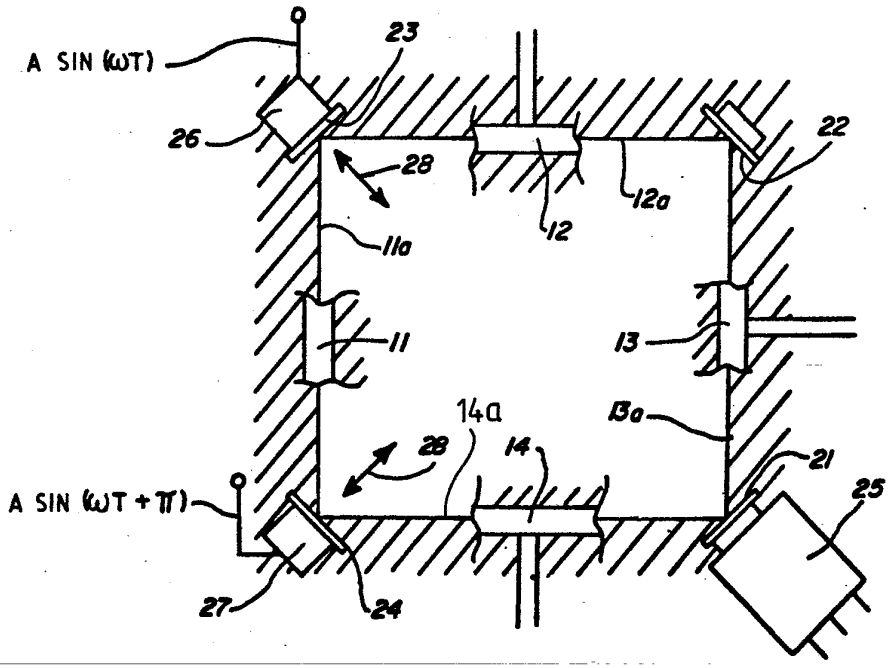
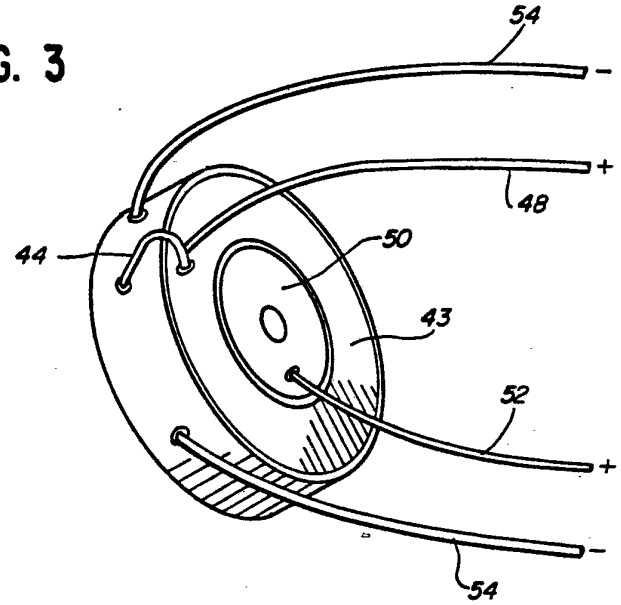


FIG. 2

FIG. 3



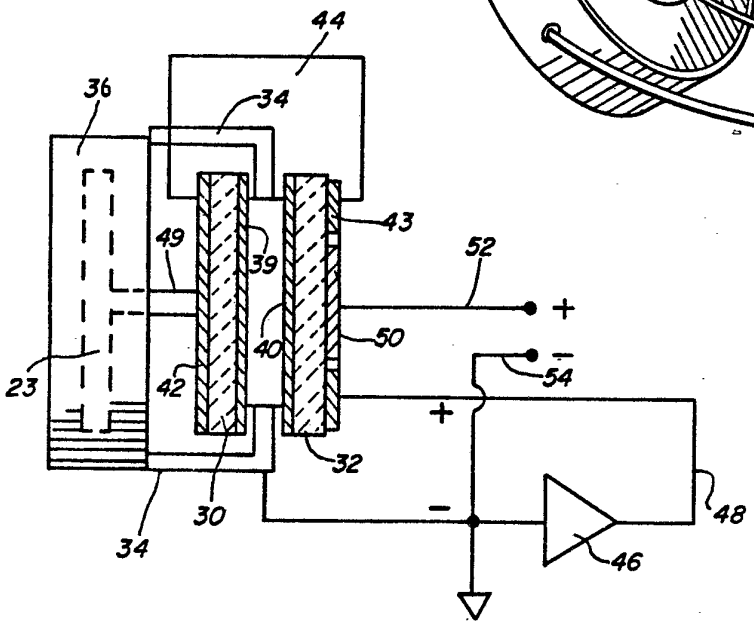
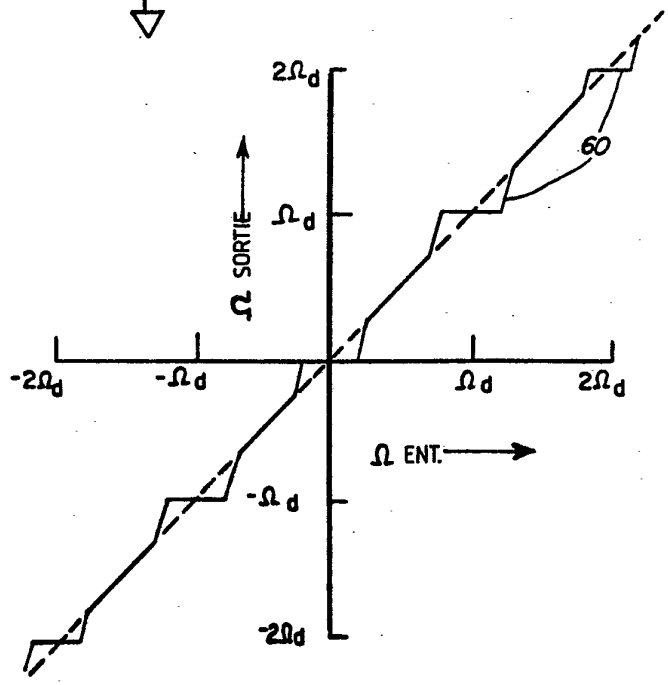


FIG. 3a

FIG. 4



2540242

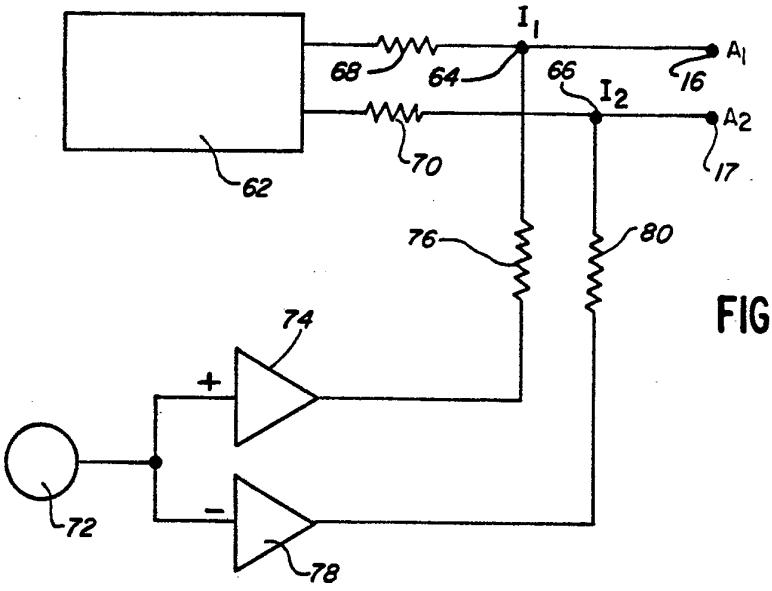


FIG. 5

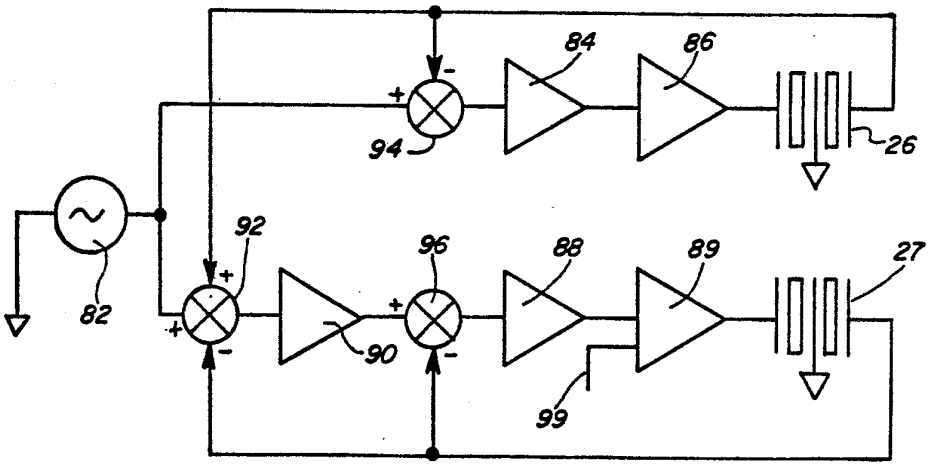


FIG. 6

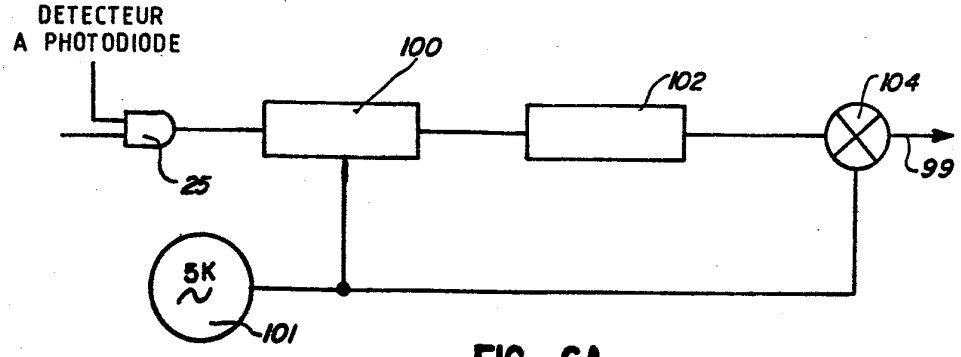


FIG. 6A