

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication : **2 633 713**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **84 14108**

(51) Int Cl⁶ : G 01 C 19/72; G 01 B 11/26; G 01 P 9/00.

(12) **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

(22) Date de dépôt : 14 septembre 1984.

(30) Priorité : US, 19 septembre 1983, n° 533 180.

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 1 du 5 janvier 1990.

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

(71) Demandeur(s) : *Société dite : MARTIN MARIETTA COR-
PORATION.* — US.

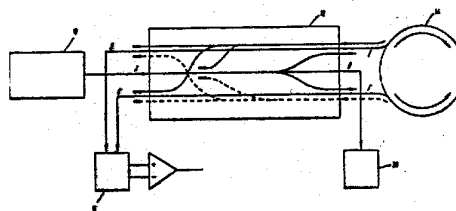
(72) Inventeur(s) : William S. Brockett; James M. Martin.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Cabinet Brot et Jolly.

(54) Procédé et appareil à fibre optique, comprenant un coupleur directionnel, pour la détection d'un taux de rotation.

(57) Ce détecteur de taux de rotation à fibre optique com-
prend un coupleur optique 12 connecté à une boucle de fibre
optique 14. Le coupleur 12 divise un faisceau de lumière en
faisceaux qui sont appliqués aux extrémités de la boucle 14 et
il fournit deux faisceaux de sortie composites, chacun d'entre
eux comprenant un faisceau émergeant de l'une des extrémi-
tés de la fibre optique combiné avec une version à phase
décalée du faisceau de l'autre extrémité de la boucle. La
différence entre ces deux faisceaux composites est mesurée et
constitue une indication du taux et de la direction de rotation
angulaire de la boucle.



FR 2 633 713 - A1

- 1 -

Procédé et appareil à fibre optique, comprenant un coupleur directionnel, pour la détection d'un taux de rotation.

La présente invention se rapporte d'une façon générale à des détecteurs de taux de rotation, ou gyroscopes, et elle concerne spécifiquement un procédé et un appareil à fibre optique pour la détection d'un taux de rotation, particulièrement adaptés pour le guidage à mi-distance et la stabilisation en rotation de missiles.

Les gyroscopes sont utilisés depuis longtemps pour détecter une rotation autour d'un axe. Les plus anciens gyroscopes étaient du type mécanique à masse tournante. Bien que ces gyroscopes soient généralement utilisables pour des applications telles que des corrections de trajet de navire, par exemple, ils ne sont pas en mesure de répondre aux exigences de fonctionnement dynamique associées avec le guidage à mi-distance et la stabilisation en rotation des missiles, en particulier des petits missiles. Parmi les limitations associées aux gyroscopes à masse tournante, figure le fait qu'ils ont des pièces mobiles qui peuvent s'user et qu'ils sont sensibles aux forces de gravité, aux chocs et aux vibrations. En outre, un missile peut subir des variations de température de l'ordre de -65°C à $+85^{\circ}\text{C}$, soit dans les entrepôts, soit en cours d'utilisation, et les gyroscopes mécaniques ne fonctionnent pas de façon satisfaisante dans un si grand domaine. De plus, leur temps de réponse est sévèrement limité.

Un autre type de gyroscope est une version optique, connue de façon usuelle comme gyroscope à anneau laser. Bien que présentant des avantages sur le gyroscope de type mécanique, le gyroscope à anneau laser n'est pas également sans limitations inhérentes, qui réduisent son aptitude à un emploi dans des applications telles que le guidage et la stabilisation des missiles. Entre autres limitations figurent sa complexité de construction, ses dimensions relativement importantes, des considérations

- 2 -

d'alignement, des exigences de haute tension et des problèmes d'étanchéité au gaz.

En outre, un missile peut rester au repos dans un silo ou dans un autre dispositif de stockage pendant une période considérable, pouvant aller jusqu'à 10 ans, avant qu'il soit utilisé et que le gyroscope doive fonctionner. Ni les gyroscopes à masse tournante, ni ceux à anneau laser ne se sont révélés suffisamment fiables dans de telles conditions de longue attente.

Un troisième type de gyroscope, qui est celui qui est le plus adapté en pratique à une utilisation dans le guidage de missiles, est le gyroscope à fibre optique. Ce type de gyroscope fonctionne conformément au principe connu sous le nom d'effet Sagnac. Fondamentalement, ce principe énonce que, lorsque deux faisceaux de lumière se propagent dans des directions opposées autour d'une zone fermée telle qu'une boucle, toute rotation de la boucle autour de son axe produira une différence relative de phase entre les deux faisceaux, et l'amplitude de cette différence de phase sera proportionnelle au taux de rotation angulaire autour de l'axe de la boucle. Pour mettre en oeuvre l'effet Sagnac, un gyroscope à fibre optique emploie une boucle dont l'axe est parallèle à l'axe par rapport auquel la rotation doit être mesurée. Deux faisceaux de lumière sont introduits aux extrémités respectives de la boucle et tout décalage relatif de phase entre eux est détecté en mesurant l'interférence des faisceaux sur un détecteur.

L'intensité du modèle d'interférence mesuré est donnée par l'équation:

$$I = I_0 (1 - \cos K \Omega) \quad (1)$$

dans laquelle I_0 est un pic ou intensité initiale du faisceau, K est le facteur d'échelle de Sagnac et Ω est le taux de rotation angulaire. Le facteur d'échelle

de Sagnac, K , est défini par:

$$K = \frac{8 \pi N A}{c \lambda} \quad (2)$$

- 3 -

où N est le nombre de fois que chaque faisceau parcourt la zone de boucle A normale à l'axe de rotation, c est la vitesse de la lumière et λ est la longueur d'onde de la lumière dans le faisceau. Pour un enroulement de fibre
5 optique, N peut être rendu très important, de sorte que la zone A peut être petite, tout en maintenant une haute sensibilité.

Quand on mesure des taux de rotation angulaire relativement petits, la sensibilité est faible si l'on
10 utilise la mesure de l'Equation (1) dépendant du cosinus. Plus particulièrement, avec un degré zéro, la pente de la fonction cosinus est zéro et elle varie seulement légèrement avec de petits changements par rapport à zéro. En outre, la fonction cosinus est symétrique par rapport
15 à l'axe zéro, de sorte que l'amplitude de l'intensité mesurée conformément à l'équation (1) est indépendante de la direction de rotation. Pour remédier à cette situation, on a proposé diverses techniques de déviation qui introduisent une modulation de phase ou un décalage de
20 fréquence dans le faisceau de lumière. Bien que satisfaisantes pour accroître la sensibilité de la mesure autour d'un degré zéro, ces propositions exigent des élaborations relativement complexes, comparativement aux composants de base exigés par un simple détecteur de Sagnac.

25 Une autre approche, qui fournit un décalage de phase de 90° entre les deux faisceaux de lumière traversant la boucle de fibre optique, est décrit dans un article de S.K. Sheem intitulé "Fiber Optic Gyroscope with 3 x 3 Directional Coupler", paru dans Applied Physics Letter
30 37, du 15 Novembre 1980, pages 869 à 871. Dans cette approche, un coupleur directionnel 3 x 3 à champ évanescent est utilisé comme diviseur de faisceau pour fournir passivement un décalage relatif de phases entre les deux faisceaux qui émergent de la boucle optique.

35 Il est désirable d'utiliser le concept décrit dans l'article de Sheem dans un gyroscope pratique à fibre optique, qui soit particulièrement adapté à une application

- 4 -

au guidage de missiles et à une stabilisation en rotation. A cet effet, conformément à la présente invention, les faisceaux émergeant du coupleur optique sont traités pour fournir une indication précise du taux de rotation. Fondamentalement, le coupleur optique fournit deux faisceaux de sortie composites dont chacun comprend un faisceau émergeant de l'extrémité de la boucle de fibre optique, combiné avec une version décalée en phase du faisceau de l'autre extrémité de la boucle. La différence entre ces deux faisceaux composites est mesurée pour fournir à la fois une indication sur le taux et sur la direction de rotation angulaire de la boucle.

Selon d'autres caractéristiques de l'invention, le signal de sortie de différence du gyroscope à taux de rotation est compensé pour prendre en considération les propriétés de la source de lumière, de la boucle optique et du coupleur optique, qui dépendent de la température, ainsi que les changements de puissance de la source de lumière et la dérive due aux caractéristiques fonctionnelles du circuit de traitement du signal. Selon un autre aspect de la présente invention, les composants optiques et de détection sont regroupés dans une configuration ovale qui fournit un arrangement compact peu exigeant du point de vue spatial.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront de façon plus détaillée dans la description qui va suivre, dans laquelle on se référera aux dessins annexés, d'une forme de réalisation préférée de l'invention. Sur ces dessins :

La figure 1 est un diagramme à blocs, optique et électrique, illustrant les constituants de base d'un gyroscope à fibre optique construit conformément à la présente invention ;

Les figures 2A et 2B sont des graphiques illustrant l'intensité du faisceau émergeant de la boucle à fibre optique en fonction du taux de rotation ;

La figure 3 est un schéma électrique illustrant

- 5 -

le circuit de traitement du signal du gyroscope à fibre optique ;

La figure 4 est une vue en plan d'une forme de réalisation préférée d'un ensemble de gyroscope ;

5 La figure 5 est une coupe transversale de l'ensemble de la figure 3 ;

La figure 6 est une vue en perspective, avec arrachements partiels, d'un arrangement de gyroscope à fibre optique pour la détection d'un taux de rotation suivant
10 trois axes orthogonaux.

Comme indiqué précédemment, un gyroscope à fibre optique opère sur la base de l'effet Sagnac. Succinctement, lorsque deux faisceaux de lumière traversant une
15 boucle optique dans des directions opposées et que la boucle tourne autour de son axe central, la longueur effective du trajet, pour le faisceau qui traverse la boucle dans la direction de rotation, sera plus longue que celle du faisceau qui traverse dans la direction opposée. En conséquence, les deux faisceaux mettront
20 des durées différentes pour traverser la boucle et ne seront plus en phase, lorsqu'ils émergeront des extrémités respectives de la boucle, si l'on suppose qu'ils étaient en phase en pénétrant dans la boucle. Le décalage de phase est proportionnel au taux de rotation. La mesure
25 du décalage de phase est obtenue en combinant les deux faisceaux de façon qu'ils interfèrent entre eux et en mesurant l'intensité du faisceau résultant par rapport à une intensité de pointe, par exemple l'intensité de deux faisceaux combinés qui sont en phase. L'intensité est
30 définie par l'Equation (1) donnée précédemment qui est :

$$I = I_0 (1 - \cos K \Omega).$$

Pour fournir une sensibilité plus importante à des taux faibles de rotation angulaire, un coupleur optique directionnel (3 x 3) est utilisé pour engendrer les deux
35 faisceaux qui sont introduits aux extrémités respectives de la boucle de fibre optique et pour combiner les faisceaux émergeant de la boucle d'une manière telle

- 6 -

qu'ils soient décalés en phase d'une valeur déterminée l'un par rapport à l'autre. En référence à la figure 1, de la lumière provenant d'une source convenable 10 est fournie à une fenêtre A pour un canal d'un coupleur optique

5 12. La source de lumière 10 peut être n'importe quel laser convenable, mais est de préférence une diode laser du type connu comme "diode superradiante" qui engendre une sortie de lumière qui n'est pas parfaitement cohérente, mais englobe plutôt un petit domaine du spectre de lon-

10 gueurs d'ondes de la lumière. Plus particulièrement, un laser conventionnel émet de la lumière à une ou plusieurs longueurs d'onde définies avec précision, où chaque ligne d'émission a une largeur spectrale de moins d'un Angström (10^{-10} m). Habituellement moins de 10 longueurs d'onde

15 distinctes apparaissent dans le faisceau de sortie. Au contraire, une diode superradiante émet de la lumière suivant un spectre presque continu, qui est de l'ordre de 200 à 400 Angströms (10^{-10} m) et typiquement d'environ 300 Angströms (10^{-10} m) de large.

20 Le coupleur optique 12 mélange des champs optiques suivant les trois canaux, avec un recouvrement de champ évanescent, pour fournir trois faisceaux de sortie aux trois fenêtres D, E, F, à l'autre extrémité du coupleur. Les faisceaux aux fenêtres E et F sont décalés en phase

25 de façon égale par rapport au faisceau d'entrée par la fenêtre A et au faisceau de sortie par la fenêtre D. Les fenêtres E et F sont connectées aux deux extrémités d'une boucle de fibre optique 14 et, par conséquent, reliées l'une à l'autre, en retour. La lumière émergeant

30 du coupleur par la fenêtre E pénètre à nouveau dans le coupleur par la fenêtre F, après avoir traversé la boucle de fibre optique, et vice-versa. La lumière passe alors des fenêtres E et F à travers le coupleur jusqu'aux fenêtres A, B, C. La lumière passant de la fenêtre E à

35 la fenêtre B ne subit aucun changement de phase, puisque la lumière demeure dans un unique canal. Il en est de même pour le faisceau de lumière pénétrant par la fenêtre F et

- 7 -

émergeant par la fenêtre C. Cependant, la lumière qui passe de la fenêtre E à la fenêtre C et de la fenêtre F à la fenêtre B subit un retard de phase additionnel dû au couplage d'un canal de fibre à un autre. Par conséquent, la lumière qui émerge de chacune des fenêtres B et C comprend une paire de faisceaux dont l'un a été retardé par rapport à l'autre, en provoquant ainsi un net décalage de phase entre les deux faisceaux de sortie de la boucle. Si ce décalage de phase peut être rendu effectivement égal à 90° , une sensibilité maximum pour les mesures à de faibles taux angulaires est obtenue.

Plus précisément, si l'on se réfère à la figure 2A, la différence de phase entre les deux faisceaux émergeant de la boucle optique 14 (les faisceaux pénétrant par les fenêtres E et F du coupleur 12) est définie par l'Equation (1). A faible taux de rotation, $\cos K\Omega$ est approximativement égal à zéro. Par conséquent, l'intensité mesurée I reste située autour de 0. En outre, elle est symétrique par rapport aux taux de rotation zéro et, par conséquent, insensible à la direction de rotation.

Toutefois en introduisant un décalage de phase de 90° entre les deux faisceaux de sortie, l'intensité de sortie s'exprime par :

$$I = I_0 (1 - \sin K\Omega). \quad (3)$$

Comme représenté sur la figure 2 l'effet de ce décalage de phase est d'amener la mesure du taux de rotation 0 approximativement au milieu de la partie linéaire de la courbe, en fournissant ainsi une sensibilité maximum autour de 0. De plus, ce décalage rend la mesure de sortie sensible à la direction aussi bien qu'au taux de rotation, puisqu'une rotation dans des directions opposées provoquera des changements de polarité opposée pour l'intensité mesurée.

Les intensités, I_B et I_C des faisceaux de lumière émergeant respectivement des fenêtres B et C du coupleur optique sont définies par :

$$I_B = I_0 (B_1 - B_2 \cos (\Phi + \Psi) + B_3 \sin (\Phi + \Psi)) \quad (4)$$

$$I_C = I_0 (B_1 - B_2 \cos (\Phi + \Psi) - B_3 \sin (\Phi + \Psi)) \quad (5)$$

- 8 -

où B_1 , B_2 et B_3 sont reliés au coefficient de couplage optique entre les canaux du coupleur optique, I_0 est l'intensité de pointe liée à la sortie initiale de la source 10, ψ est relié aux erreurs de déport de phase introduites par le coupleur, et Φ est le décalage de phase de Sagnac. Ces deux intensités sont mesurées respectivement par une paire de détecteurs 16. A moins que le coefficient B_3 du coupleur optique soit 0, on peut voir, à partir des Equations 4 et 5, que les quantités mesurées contiennent des composants dépendant à la fois du cosinus et du sinus. Par conséquent, elles se trouvent quelque part entre la pire situation, illustrée par la figure 2A, et la meilleure situation, représentée par la figure 2B. En prenant la différence entre les signaux de sortie des détecteurs, les composants en cosinus sont annulés et le résultat suivant est obtenu :

$$I_B - I_C = 2B_3 I_0 \sin (\Phi + \psi). \quad (6)$$

Cette différence est reliée au taux de rotation optimum de la boucle à fibre optique et fournit une résolution optimum pour des taux angulaires faibles, puisque la rotation zéro est centrée sur la partie linéaire à forte pente de la courbe.

Un circuit de traitement de ce signal pour fournir une indication du taux de rotation est illustré schématiquement sur la figure 3. Les deux faisceaux composites qui émergent des fenêtres B et C du coupleur sont introduits respectivement dans les deux détecteurs 16 pour mesurer leur intensité et, par conséquent, la différence de phase entre les deux faisceaux dans la boucle. Comme représenté sur la figure 3, ces détecteurs peuvent comprendre deux photodiodes qui sont montées en parallèle et opposées, pour fournir ainsi un signal de sortie traduisant la différence entre les deux intensités. Bien entendu, tout autre arrangement convenable pour déterminer la différence entre les deux intensités, par exemple l'introduction des signaux de sortie de deux photodétecteurs aux entrées respectives d'un détecteur différentiel, peut

- 9 -

également être utilisé. Le signal de différence des deux photodétecteurs est amplifié par un préamplificateur et est présenté à un multiplexeur 20, où il est combiné avec d'autres signaux d'information et introduit dans
5 un convertisseur analogique à numérique 22. Le signal numérique du convertisseur 22, est introduit dans un micro-
processeur 24, qui détermine le taux de rotation angulaire de la boucle 14 à partir de l'information de sortie concernant la différence de phase entre les faisceaux émer-
10 geant de la boucle, sur la base d'algorithmes conventionnels, qui définissent le taux de rotation en fonction de l'intensité mesuré.

Pour disposer d'une indication précise du taux de rotation, qui puisse être utilisée pratiquement dans des
15 applications telles que le guidage de missiles et la stabilisation en rotation, le signal de différence d'intensité doit être corrigé en fonction de différents facteurs qui peuvent l'influencer. Un tel facteur est un
changement d'intensité de la lumière de la source 10. Pour
20 assurer une compensation pour cela, la lumière de la diode superradiante est introduite dans un détecteur de réaction 26 ainsi qu'au coupleur 12. Ce détecteur fournit un signal à un circuit conventionnel de contrôle de courant (non
représenté) à l'intérieur d'un contrôleur de laser 28. Le
25 circuit de contrôle de courant répond au signal d'entrée fourni par le détecteur 26 pour maintenir sensiblement constante l'intensité de la diode laser 10.

Comme mesure additionnelle de compensation pour des changements de l'intensité de la diode laser 10, ainsi que
30 pour normaliser les effets que le coupleur 12 lui-même et l'efficacité de couplage de la diode laser dans le coupleur peuvent avoir sur les intensités mesurées, le faisceau de lumière non couplé émergeant de la fenêtre D du coupleur est introduit dans un autre détecteur 30.
35 L'intensité du faisceau non couplé du coupleur 12, telle que mesurée par le détecteur 30 est amplifiée dans un préamplificateur 32 et introduite dans le multiplexeur 20,

- 10 -

pour être fournie ensuite au microprocesseur 24. Le micro-
processeur, en déterminant le taux de rotation, utilise
le signal de normalisation fourni par le détecteur 30
comme une référence à laquelle est comparé le signal
5 de différence, pour annuler ainsi les effets que la diode
laser 10, l'efficacité de couplage ou le coupleur 12 peu-
vent avoir sur la mesure d'intensité.

La température peut aussi avoir un effet sur la
mesure de l'intensité de lumière. Parmi les divers compo-
10 sants dont les propriétés de transmission ou de mesure
de lumière sont affectées par la température, on men-
tionnera la source de laser 10, le coupleur optique 12,
la boucle de fibre optique 14, et les photodétecteurs 16
et 30. Pour compenser les effets de changements de
15 température sur les trois premiers de ces composants, un
dispositif de mesure de température convenable, tel qu'un
thermistor 33, peut être disposé au voisinage de n'importe
lequel d'entre eux ou de tous les trois. L'information
de température fournie par un tel dispositif peut être
20 amenée au microprocesseur 24 par l'intermédiaire du mul-
tiplexeur 20.

La mesure des effets des changements de température
sur les photodétecteurs 16 et 30 peut être obtenue au
moyen d'un quatrième photodétecteur 34. Ce photodétecteur
25 est conçu pour fournir un signal de sortie en relation
avec le "courant noir" des détecteurs. Plus précisément,
le photodétecteur est connecté à une source de tension
constante et est à niveau constant de lumière incidente.
Ce niveau constant peut être zéro, c'est-à-dire pas de
30 lumière, par exemple. Avec un tel arrangement, tout chan-
gement du signal de sortie du photodétecteur 34 traduira
l'effet de la température sur ses caractéristiques opé-
rationnelles. Cette information peut être fournie au micro-
processeur 24 par le multiplexeur, pour corriger la mesure
35 de différence d'intensité.

La manière selon laquelle les signaux d'information
de température sont utilisés pour corriger le signal de

- 11 -

mesure d'intensité peut être basé sur une information convenable déterminée empiriquement, qui corrèle les effets des changements de température aux changements d'intensité mesurés du coupleur 12. Un algorithme propre à fournir
 5 une intensité de température compensée I' peut avoir la forme générale :

$$I' = (I - I_{\text{offset}}) [1 + \alpha T_1 + \beta (T_1 - T_2)] \quad (7)$$

où T_1 et T_2 sont des températures mesurées en deux points de la boucle par exemple et sont relatifs à une température
 10 initiale T_0 . Les coefficients α et β sont des constantes qui sont fonctions de la température.

Le terme I_{offset} concerne une autre source possible d'erreur, dont il faut tenir compte dans la mesure du taux de rotation. Cette erreur est causée par la dérive due aux
 15 caractéristiques inhérentes aux détecteurs 16 et au préamplificateur, ainsi qu'au bruit du détecteur. Pour compenser les erreurs de ce type, la diode laser est périodiquement mise en fonction et arrêtée. Le signal de sortie du préamplificateur 18 est mesuré pendant une période durant laquelle
 20 la diode laser 10 est interrompue et où, par conséquent, les détecteurs 16 ne reçoivent pas d'entrée de lumière de celle-ci. Tout signal mesurable obtenu du préamplificateur à ce moment est dû à un déport introduit par l'un ou les deux détecteurs 16 et par le préamplificateur 18, et
 25 peut être soustrait du signal de sortie obtenu lorsque la diode laser 10 est en fonction, pour obtenir une valeur correcte.

Dans une forme préférée de l'invention, cette action de correction peut en outre être entreprise pour compenser
 30 d'autres formes de bruit telles que celles dues à une dispersion de lumière ou similaire. Par exemple, une partie de la lumière traversant la boucle 14 peut subir des réflexions multiples aux interfaces de divers composants optiques avant qu'elle ne soit reçue par les détecteurs. En consé-
 35 quence, cette lumière subira un retard par rapport à la partie la plus importante du faisceau dont elle est issue et pourra ainsi causer une erreur lorsqu'elle sera ensuite

- 12 -

reque. Pour compenser de tels effets de lumière dispersée, le faisceau sortant de lumière de la diode laser 10 est modulé d'une façon pseudo-aléatoire. Dans ce but, le micro-
processeur 24 fournit un signal pseudo-aléatoire de modulation au contrôleur de laser 28.

Cette modulation peut prendre deux formes possibles. Selon une première approche, l'amplitude du courant appliquée à la diode laser 10 peut varier d'une façon aléatoire, pour fournir essentiellement une forme analogique de modulation. Selon une autre approche préférée, une
forme numérique de modulation est appliquée à la sortie du laser. Dans cette approche, le laser est actionné et interrompu de manière aléatoire sous la commande d'impulsions appliquées au contrôleur de laser 28 par le micro-
processeur 24.

A l'intérieur du microprocesseur 24, le signal de sortie de différence qui est reçu du préamplificateur 18 est corrélé avec le signal de modulation qui est appliqué au contrôleur de laser. Plus spécifiquement, le délai entre l'application d'une impulsion d'actionnement au contrôleur de laser et la réception d'un signal d'information concernant cette impulsion peut être déterminé pour le système électro-optique. Sur la base d'une telle information, le microprocesseur prendra en considération le signal de
sortie du préamplificateur à des temps appropriés pour obtenir l'information du taux de rotation et il ne tient pas compte de ce signal pendant toutes les autres périodes, comme se rapportant à du bruit, à une rétro-diffusion, à une dérive ou similaire.

Une fois que le taux de rotation a été déterminé par le microprocesseur 24, celui-ci fournit un signal de sortie indicatif de ce taux à un convertisseur numérique à analogique 36. Le signal de sortie analogique de taux qui est produit par le convertisseur 36 peut être appliqué à un
équipement approprié de commande de trajet ou de stabilisation de rotation du missile (non représenté), par exemple. De plus, le microprocesseur peut fournir une indication de la direction de rotation, basée sur la direction de chan-

- 13 -

gement du signal de différence à partir du point de référence zéro.

La portion optique du gyroscope qui est représentée schématiquement sur la figure 1 peut être regroupée d'une manière compacte, qui facilite l'utilisation du gyroscope dans les missiles. En référence aux figures 4 et 5, la boucle de fibre optique 14 est enroulée sur une bobine 38 en un matériau ayant un faible coefficient de dilatation thermique. Un matériau qui est particulièrement approprié pour une utilisation dans un tel contexte est un composite à charge de fibres de carbone, tel que le composé époxy de moulage renforcé par du carbone commercialisé sous l'appellation Fiberite E21718. De préférence, ce matériau est moulé par injection de façon telle que le coefficient de dilatation thermique soit approximativement égal suivant trois axes orthogonaux de la bobine L.

La bobine 38 comprend essentiellement un tambour 40 comportant une bride à chacune de ses extrémités. Une longueur de fibre optique, 50 mètres par exemple, est enroulée sur le tambour entre les deux brides pour former la boucle de fibre optique 14. La fibre est enroulée sur le tambour en plusieurs couches et un matériau d'assemblage approprié tel qu'un ruban ou un adhésif est interposé entre les couches adjacentes. Cet assemblage vise à fournir une surface douce pour la couche suivante qui est disposée par dessus. De plus, il évite le croisement de fibres de différentes couches, en supprimant ainsi la formation de contraintes, qui peuvent aboutir à des pertes dans la transmission lumineuse.

Dans la forme préférée de mise en oeuvre de l'invention, une fibre hautement bi-réfringente est utilisée pour former la boucle de fibre optique. Le terme "hautement bi-réfringente" désigne un certain degré de biréfringence. Fondamentalement, la bi-réfringence d'une fibre est donnée par la différence d'indice de réfraction suivant deux axes orthogonaux quelconques dans la section transversale de la fibre où ces axes sont les axes appelés axes de principe,

définis par la propriété qu'une entrée de lumière avec une polarisation linéaire suivant l'un de ces axes sortira de la fibre avec le même état de polarisation linéaire. La mesure de biréfringence utilisée dans la fibre est donnée

5 par :

$$\Delta\beta = \beta_x - \beta_y \quad (8)$$

où β est la constante de propagation. Pour une fibre à simple mode $\beta \approx k = 2\pi n / \lambda$. Ainsi,

$$\Delta\beta = \frac{2\pi}{\lambda} (n_x - n_y). \quad (9)$$

10 Une mesure de la biréfringence d'une fibre est la "longueur de battement" qui est la longueur de fibre suivant laquelle deux trajets de propagation diffèrent de 2π radians en phase ou d'une longueur d'onde en trajet optique. Autrement dit, cette longueur de battement L_B est définie par

$$15 \quad L_B = 2\pi / \Delta\beta = \lambda / (n_x - n_y) \quad (10)$$

ou

$$L_B = 2\pi / (\beta_x - \beta_y) \quad (11)$$

Une haute bi-réfringence est définie comme le cas dans lequel $L_B \leq 10$ mm. Comme la lumière qui se propage suivant ce type de fibre se déplace à deux vitesses sensiblement différentes suivant les deux axes de polarisation, seule une petite quantité de lumière est couplée d'un axe à l'autre. Par conséquent, des erreurs dues à un tel couplage seront réduites. Quand la sortie de lumière non

20 cohérente de la diode superradiante est combinée avec cette propriété de la fibre, la possibilité d'une erreur de signal due à un couplage axe-à-axe est réduite encore davantage.

Plus particulièrement, l'avantage de la fibre bi-réfringente utilisée avec des diodes superradiantes à

30 faible cohérence réside dans la différence de durée de trajet pour les deux polarisations. Par exemple, il existe des fibres biréfringentes qui ont des longueurs de battement descendant jusqu'à 1 mm. Par conséquent, à chaque

35 mm de trajet les deux axes sont décalés d'une longueur d'onde, qui est typiquement d'environ $0,85 \mu\text{m}$. La longueur de cohérence de la diode superradiante peut être de

- 15 -

seulement 1 mm. Par conséquent, les deux axes sont incohérents après une longueur donnée par :

$$L_f = L_{COH} \left(\frac{L_B}{\lambda} \right)$$

$$L_f = (1 \text{ mm}) \left(\frac{1 \text{ mm}}{0.00085 \text{ mm}} \right) = 1,200 \text{ mm}$$

5 $L_f = 1,2 \text{ m.}$

Même des petits gyroscopes peuvent avoir une boucle d'au moins 50 mètres de fibre. Par conséquent, la lumière dispersée ou la lumière couplée directement dans les deux axes ne sera pas cohérente et, ainsi, n'interferera pas, en produisant un signal détectable relié aux changements relatifs de phase. Le seul signal qui est produit est un niveau de courant continu qui peut être compensé.

Une disposition que rend possible ce phénomène est de pomper également les deux axes avec la lumière. Chacun d'entre eux détectera indépendamment les changements de phases induits par les taux angulaires en raison de l'absence de cohérence en croisement d'axes. Les mesures s'additionneront simplement aux détecteurs. Les facteurs d'échelle pour les deux axes ne différeront pas, car l'indice de réfraction n'apparaît pas dans l'équation de facteur d'échelle (Equation 2). Cet avantage de la combinaison d'une diode superradiante avec une fibre hautement biréfringente est encore accru davantage par l'effet de la modulation qui est imposée à la sortie de la diode. Plus spécifiquement, la modulation agit pour "endommager" la cohérence de la diode laser, avec pour conséquence un élargissement encore accru de son spectre de sortie. Ainsi, la lumière couplée entre les deux axes de polarisation n'est pas cohérente et ne contribue donc pas au signal.

La bobine 38 a de préférence une forme ovale. Ce profil est préféré, car il est le mieux adapté aux autres constituants du système de détection. Dans ce but, la bobine 38 a une plaque de base 44 qui supporte ses divers constituants. La diode laser 10, le coupleur optique 12 et les détecteurs 16, 30 sont montés sur la plaque de base à l'intérieur du tambour 40 et de la bobine 14. Le volume restant à l'intérieur du tambour 40 après le montage de

- 16 -

ces constituants sur la plaque de base est rempli avec un matériau de remplissage 46.

A titre d'exemple, on a établi qu'un détecteur de taux de rotation construit suivant les figures 4 et 5 en utilisant une boucle de fibre optique de 50 mètres pèse seulement 42,5 g. La longueur totale de l'ensemble du détecteur est de 8,6 cm, sa largeur est de 3,55 cm, et sa hauteur est seulement de 1,3 cm. On appréciera que l'ensemble exige un volume et un poids minimum facilitant leur application à bord de petits missiles.

En fait, trois détecteurs de ce type peuvent facilement être adaptés sur un missile pour détecter la rotation autour de chacun des axes de roulis, de tangage et de lacet. En référence à la figure 6, trois ensembles de détecteurs 48, 50 et 52 sont montés dans un logement 54 d'une manière telle que leurs axes respectifs soient orthogonaux entre eux. Dans l'illustration de la figure 6, les ensembles de détection sont représentés comme ayant chacun une configuration circulaire. On notera toutefois qu'ils peuvent avoir le profil ovale préféré illustré par la figure 4. Outre ces ensembles de détection, des plaques 56 de circuit imprimé, qui contiennent les composants du circuit de traitement (illustré par la figure 3) peuvent être montés à l'intérieur du logement.

Bien entendu, l'homme de l'art pourra mettre en oeuvre la présente invention sous d'autres formes spécifiques sans sortir du cadre de celle-ci. Les formes de réalisation qui ont été décrites doivent par conséquent être considérées sous tous leurs aspects comme illustrant l'invention, sans aucun caractère limitatif. L'invention englobe donc tous les équivalents des organes et des moyens qui ont été décrits ci-dessus.

- 17 -

REVENDECATIONS

1.- Appareil pour la mesure d'un taux de rotation angulaire par rapport à un axe, caractérisé en ce qu'il comprend : une source de lumière (10); un coupleur directionnel optique (12) à 3 x 3 fenêtres, connecté pour recevoir la lumière de ladite source de lumière par une fenêtre (A) à une première extrémité et pour fournir au moins deux faisceaux de sortie par deux fenêtres (E, F) à l'autre extrémité; une boucle de fibre optique (14) qui est disposée de manière à tourner autour dudit axe et qui a deux extrémités connectées optiquement, respectivement, auxdites deux fenêtres (E, F) de ladite autre extrémité dudit coupleur, ladite boucle de fibre optique recevant le faisceau de sortie de chacune desdites fenêtres et retournant un faisceau d'entrée audit coupleur à l'autre desdites deux fenêtres; des moyens (16) pour mesurer l'intensité d'un faisceau de lumière composite émergeant de chacune des autres deux fenêtres (B, C) à ladite première extrémité dudit coupleur ; et des moyens de détermination de la différence entre les deux intensités mesurées, aptes à fournir une indication du taux de rotation angulaire par rapport audit axe en fonction de ladite différence.

2.- Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de détermination fournissent aussi une indication de direction de rotation par rapport audit axe.

3.- Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, des moyens pour contrôler la température d'au moins un élément constitué par ladite source (10), ledit coupleur (12) et ladite boucle de fibre optique (14), et pour ajuster ladite indication en fonction des changements de la température contrôlée.

4.- Appareil selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'il comprend, en outre, des moyens (30) pour mesurer l'intensité de la lumière émergeant de la troisième fenêtre à ladite autre extrémité dudit coupleur et en ce que lesdits moyens de détermination ajustent ladite indication en fonction des changements de ladite intensité mesurée.

- 18 -

5.- Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens pour moduler la sortie de ladite source de lumière (10) et en ce que lesdits moyens de détermination comprennent des moyens pour corrélérer la différence déterminée et la modulation de la source de lumière.

6.- Appareil selon la revendication 5, caractérisé en ce que ladite modulation est d'une nature pseudo-aléatoire.

10 7.- Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens pour contrôler l'effet des changements de température sur lesdits moyens de mesure et en ce que lesdits moyens de détermination comprennent des moyens pour ajuster l'intensité mesurée en fonction des effets liés à la température contrôlée.

15 8.- Appareil selon la revendication 1, dans lequel la sortie de lumière de ladite source de lumière (10) est sensiblement continue suivant un spectre de longueurs d'onde.

20 9.- Appareil selon la revendication 8, caractérisé en ce que ledit spectre s'étend d'environ 200 à 440 Angströms (10^{-10} cm).

25 10.- Appareil selon la revendication 9, caractérisé en ce que ladite source de lumière (10) est une diode superradiante.

11.- Appareil selon la revendication 8, caractérisé en ce que ladite boucle de fibre optique (14) est constituée d'une fibre optique hautement bi-réfringente.

30 12.- Un procédé pour déterminer le taux de rotation angulaire par rapport à un axe, comprenant les phases suivantes : engendrer un faisceau primaire de lumière ; moduler ledit faisceau de lumière d'une manière pseudo-aléatoire ; diviser le faisceau modulé de lumière en au moins deux faisceaux secondaires de lumière ; propager
35 chacun desdits faisceaux secondaires de lumière suivant une boucle de fibre optique (14) dans des directions opposées ; combiner les deux faisceaux secondaires de

- 19 -

lumière qui émerge de la boucle de fibre optique (14) pour produire un modèle d'interférence ; mesurer l'intensité dudit modèle d'interférence ; corrélérer l'intensité mesurée avec la modulation dudit faisceau primaire de lumière
5 pour effectuer ainsi une discrimination entre les mesures qui contiennent une information relative à la rotation de ladite boucle et les mesures relatives seulement au bruit ; et déterminer le taux de rotation de ladite boucle à partir desdites mesures qui contiennent l'information relative à ladite rotation.
10

13.- Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que ladite modulation comprend la phase d'interruption de la génération dudit faisceau primaire de lumière d'une manière pseudo-aléatoire.

15 14.- Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que ledit faisceau de lumière est divisé en trois faisceaux secondaires de lumière et en ce qu'il comprend en outre les phases de contrôle de l'intensité du faisceau secondaire de lumière qui n'est pas couplé dans la boucle
20 de fibre optique (14) et d'ajustement de l'intensité mesurée dudit modèle d'interférence en fonction des changements d'intensité dudit faisceau secondaire contrôlé.

15.- Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que ladite phase de combinaison comprend une phase
25 de formation des deux faisceaux composites à partir des deux faisceaux secondaires qui émergent de la boucle de fibre optique (14) pour former ainsi deux modèles d'interférences et de mesure de la différence relative d'intensité desdits deux modèles.

30 16.- Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une phase d'ajustement de l'intensité mesurée en fonction des changements de la température ambiante.

17.- Un ensemble de détection à fibre optique d'un
35 taux de rotation, caractérisé en ce qu'il comprend : une bobine (38) de configuration ovale : une longueur de fibre optique (14) enroulée à la périphérie externe de ladite

- 20 -

bobine pour former une boucle ovale ; un coupleur directionnel optique (12) ayant au moins deux fenêtres disposées à chacune de ses deux extrémités opposées, les deux fenêtres disposées à une première extrémité du coupleur étant connectées optiquement aux extrémités opposées de ladite longueur de fibre et ledit coupleur étant disposé dans un évidement à l'intérieur de ladite bobine ; une diode laser (10) disposée à l'intérieur dudit évidement, ladite diode étant connectée optiquement à une fenêtre à une autre extrémité du coupleur ; et une paire de détecteurs d'intensité de lumière disposés à l'intérieur dudit évidement, lesdits détecteurs de lumière étant connectés optiquement à deux fenêtres à ladite autre extrémité dudit coupleur.

15 18.- Ensemble de détection selon la revendication 10, caractérisé en ce que ladite bobine (38) est faite en un composite à charge de fibres de carbone.

19.- Ensemble de détection selon la revendication 17, caractérisé en ce que ledit coupleur (12) est un coupleur directionnel 3 x 3.

20 20.- Ensemble de détection selon la revendication 19, caractérisé en ce qu'il comprend un troisième détecteur d'intensité de lumière logé à l'intérieur dudit évidement, qui est connecté optiquement à une troisième fenêtre à ladite première extrémité dudit coupleur.

21.- Ensemble de détection selon la revendication 17, caractérisé en ce que ladite fibre optique est en un matériau hautement biréfringent.

22.- Ensemble de détection selon la revendication 21, caractérisé en ce que ladite diode laser (10) est une diode superradiante dont la sortie de lumière couvre un spectre de longueurs d'onde de lumière.

FIG. 1

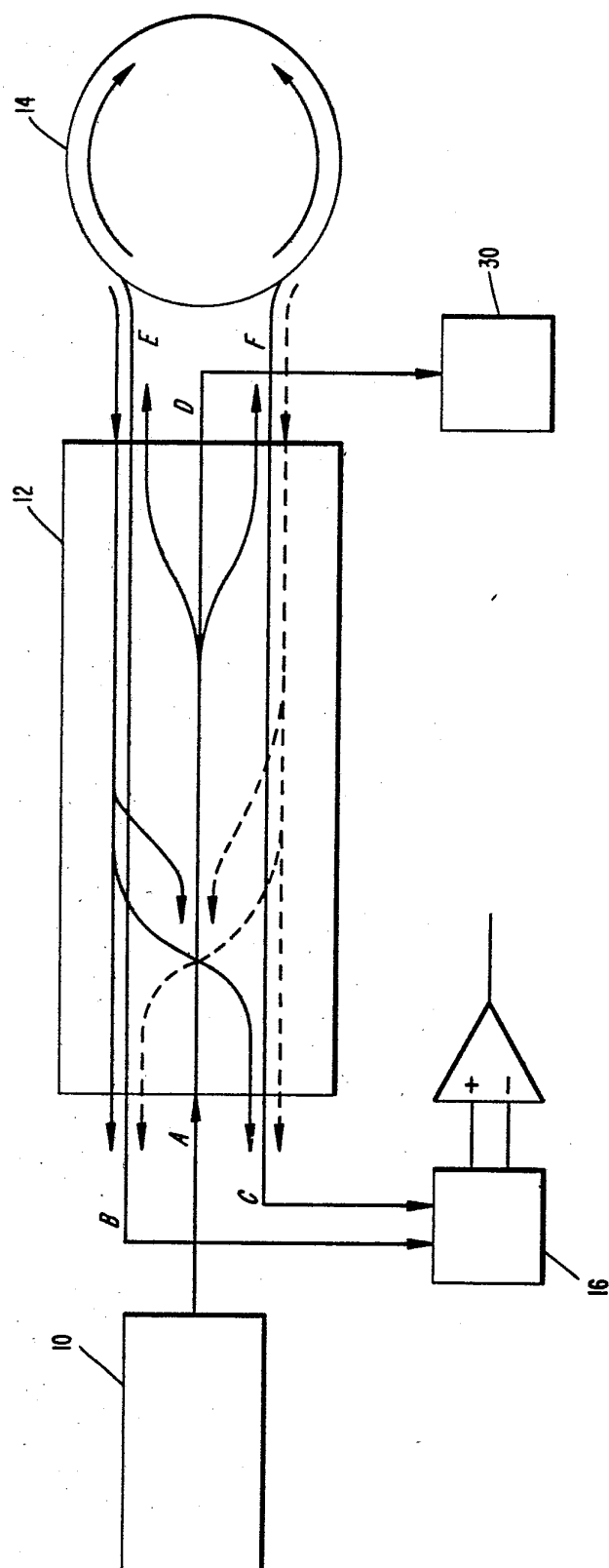


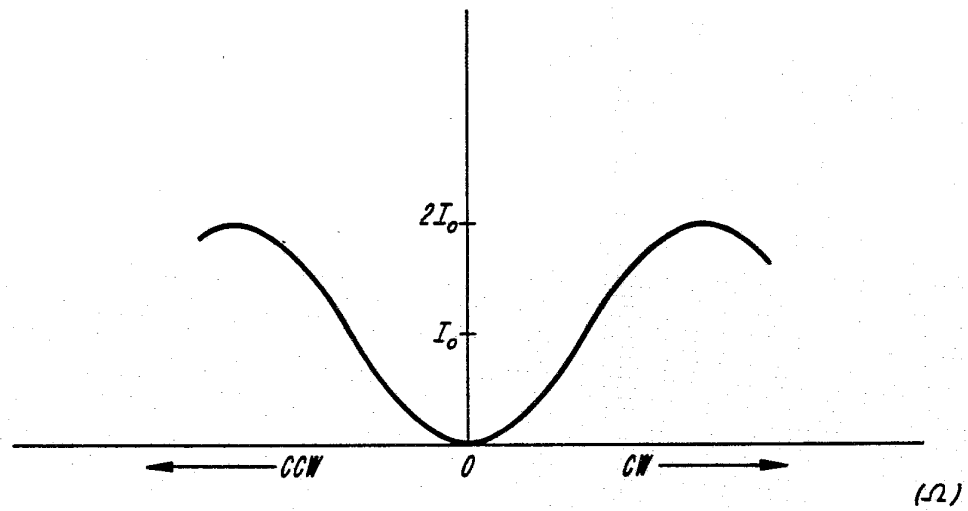
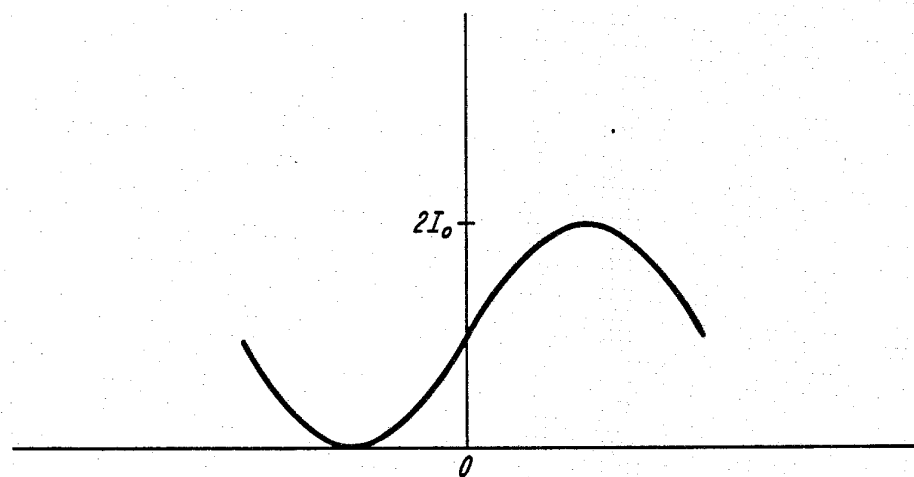
FIG. 2AFIG. 2B

FIG. 3

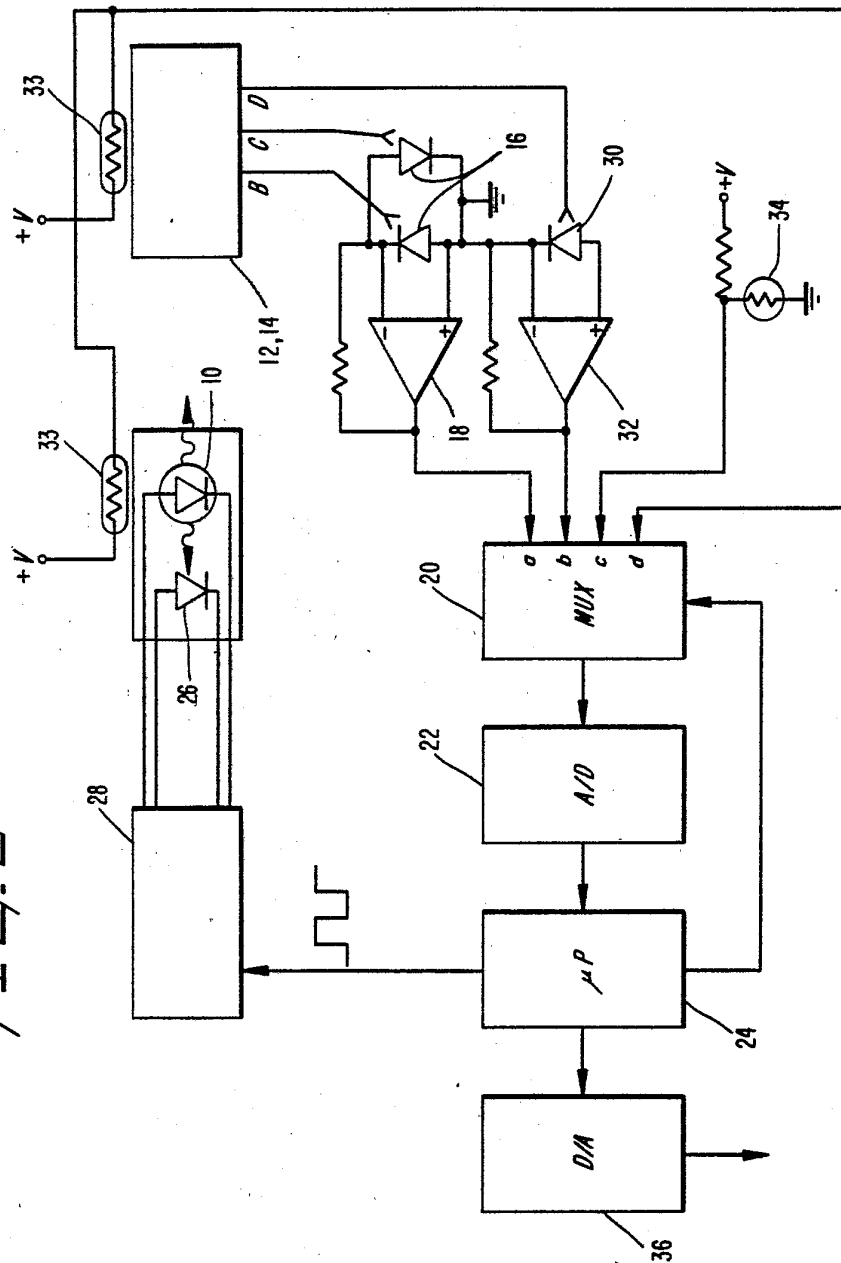
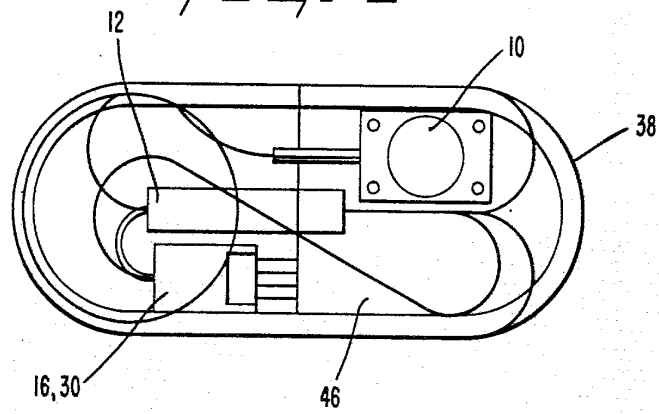
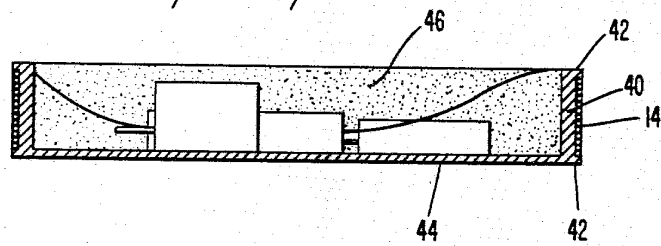


Fig. 4*Fig. 5**Fig. 6*