

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication : **2 632 732**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **88 07765**

⑤1 Int Cl⁴ : G 01 R 25/00; G 01 C 19/64; G 01 P 3/68.

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 10 juin 1988.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 50 du 15 décembre 1989.

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

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : THOMSON-CSF, Société
Anonyme. — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Hervé Lefevre et Marc Turpin, Thomson-
CSF SCPI.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : René Lardic, Thomson-CSF, SCPI.

⑤4 Dispositif de mesure, dans une gamme étendue, d'un déphasage non réciproque engendré dans un interféromètre en anneau et procédé de mesure.

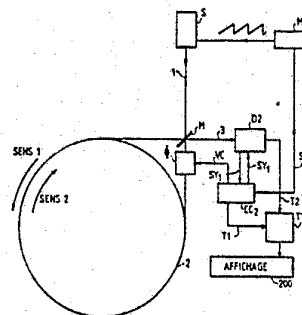
⑤7 L'invention se rapporte à un dispositif de mesure, dans une gamme étendue, d'un déphasage non réciproque engendré dans un interféromètre en anneau et procédé de mesure, et principalement à un gyromètre à fibre optique. Elle concerne également un procédé de mesure, notamment un procédé de mesure de vitesse de rotation.

L'invention concerne une amélioration d'un dispositif de mesure comportant un dispositif de modulation de phase permettant l'asservissement de la phase sur une frange d'interférence du dispositif.

L'amélioration consiste principalement dans le fait que la source lumineuse S émet dans l'anneau 2 plusieurs fréquences lumineuses de façon à permettre de lever l'incertitude sur l'ordre 0, π , 2π , etc. de la frange d'interférence sur laquelle se fait l'asservissement.

L'invention s'applique notamment à la réalisation de dispositifs de mesure des vitesses angulaires.

L'invention s'applique principalement à la réalisation de gyromètres à fibre optique.



FR 2 632 732 - A1

D

**DISPOSITIF DE MESURE, DANS UNE GAMME
ETENDUE, D'UN DEPHASAGE NON RECIPROQUE
ENGENDRE DANS UN INTERFEROMETRE EN ANNEAU
ET PROCEDE DE MESURE**

L'invention se rapporte à un dispositif de mesure, dans une gamme étendue, d'un déphasage non réciproque engendré dans un interféromètre en anneau et son procédé de mesure.

5 Plus particulièrement, elle se rapporte à un gyromètre à fibre optique et à un procédé de mesure de vitesse de rotation.

Une amélioration primordiale aux gyromètres à fibre optique a été décrite dans le brevet français N°84 09311. Ce brevet décrit un gyromètre à fibre optique comportant un
10 dispositif de déphasage. La commande de déphasage est obtenue par une boucle d'asservissement ou avantageusement par une double boucle d'asservissement, la seconde boucle effectuant les corrections de la quantification par la première boucle. Le dispositif décrit dans le brevet FR-84 09311 permet de
15 travailler sur le maximum d'énergie d'une frange d'interférence et ainsi d'avoir une sensibilité et un rapport signal/bruit amélioré. Toutefois, le déphasage introduit ne peut pas croître de façon indéfinie. Ainsi, le signal de déphasage a une variation périodique.

20 Le dispositif décrit dans le Brevet FR-84 09311 fonctionne parfaitement pour un domaine de vitesse angulaire limité. Les boucles d'asservissement permettent de compenser des vitesses de rotation faibles. En effet, des vitesses de rotation trop fortes risquent de provoquer un accrochage du dispositif
25 d'asservissement non plus sur la frange d'interférence d'ordre 0 mais sur une frange d'interférence suivante. Le dispositif continue de "fonctionner" parfaitement à cela près qu'on ne tient pas compte du déphasage entre la frange d'interférence sur

laquelle l'asservissement se passe réellement et la frange d'interférence centrale (d'ordre 0). Il s'ensuit qu'en dehors de la gamme de fonctionnement du gyromètre les mesures sont fausses. De plus cet accrochage risque de devenir stable et les
5 mesures risquent d'être fausses pendant une longue période.

Le dispositif selon la présente invention permet d'obtenir la précision de mesure du dispositif décrit dans le Brevet FR-84 09311 tout en étendant de façon très importante l'étendue de valeurs mesurables. Pour ce faire, un dispositif
10 selon la présente invention comporte des moyens permettant de déterminer sur quelle frange d'interférence on travaille. Dans ce cas, un accrochage sur une frange différente ne présente plus les inconvénients dans la mesure où, dans la détermination de la vitesse, on tient compte du déphasage supplémentaire
15 introduit par le fait que l'on ne travaille pas sur la frange centrale. Les moyens de mesure de l'ordre de la frange d'interférence sur laquelle les boucles d'asservissement sont accrochées sont effectuées par exemple en faisant, en continu, ou périodiquement, la comparaison des mesures pour des
20 fréquences différentes. Pour des fréquences différentes, seul le zéro de la frange centrale est stable. La variation de la modulation du zéro avec la fréquence permet de déterminer sur quelle frange d'interférence on se trouve et par suite d'effectuer la compensation nécessaire à la détermination de la
25 vitesse de rotation juste.

L'invention a principalement pour objet un gyromètre à fibre optique tel que décrit dans les revendications 1 à 5. L'invention a aussi pour objet un procédé de mesure de vitesse de rotation tel que décrit dans les revendications 6 à 11.

30 L'invention sera mieux comprise au moyen de la description ci-après et des figures annexées données comme des exemples non limitatifs parmi lesquels :

- la figure 1 est un schéma d'un interféromètre à fibre optique décrit dans le Brevet FR-84 09311 ;

35 - la figure 2 est un schéma illustrant les

inconvénients des dispositifs de type connu ;

- la figure 3 est un schéma illustrant le principe du dispositif selon la présente invention ;

5 - la figure 4 est un schéma d'un exemple de réalisation d'un gyromètre à fibre optique selon la présente invention ;

- la figure 5 explique les principes de mesures réalisées sur un dispositif selon la présente invention.

10 Sur les figures 1 à 5 on a utilisé les mêmes références pour désigner les mêmes éléments.

Sur la figure 1, on peut voir un gyromètre à fibre optique de type connu tel que décrit dans le Brevet FR-84 09311. Le dispositif comprend une source S de lumière cohérente 1. La lumière cohérente 1 est scindée en deux par un
15 dispositif de séparation M. La lumière se propage dans un premier sens et dans un second sens dans un anneau 2 formé par un enroulement de fibre optique. La lumière passe, à l'entrée de l'enroulement dans un sens 2 et à la sortie de l'enroulement dans le sens 1, dans un dispositif de déphasage $\emptyset$.
20 A la sortie le dispositif de séparation M envoie la lumière 3, qui est passée par l'anneau 2 dans le sens 1 et dans le sens 2, vers un dispositif de détection D. Le dispositif de détection D reçoit d'un circuit de contrôle CC un signal de synchronisation SY. Le dispositif de déphasage reçoit du circuit de contrôle CC
25 un signal de contrôle VC de commande du déphasage.

Sur la figure 2, on peut voir une courbe 100 représentant l'amplitude A du signal 3 à la sortie de l'anneau 2 de la figure 1 en fonction du déphasage $\Delta\emptyset$. Le système de la figure 1 permet d'une part de travailler sur les parties
30 sensiblement linéaires de la sinusoïde et d'autre part de ramener une interférence à un optimum de puissance détectée. En fonctionnement normal l'asservissement ramène donc les déphasages au point 0 de l'intersection des axes $\Delta\emptyset$ et A, ce qui correspond au fait de travailler sur la frange d'ordre 0 de
35 l'interférence. Toutefois, si on dépasse un seuil notamment π ou

- π au niveau du déphasage, l'asservissement risque de ramener le signal non plus vers un déphasage nul mais vers une autre intersection de la courbe 100 avec l'axe $\Delta \emptyset$ comme par exemple π , 2π , 3π ou, si la vitesse de rotation est opposée $-\pi$, -2π , -3π . Cela correspond au passage d'une ou plusieurs franges d'interférence. Les directions des corrections apportées par les asservissements sont représentées par des flèches.

Le premier problème provient du fait qu'on peut parfaitement ne pas s'en apercevoir et si on s'en aperçoit on ne peut pas savoir sur quelle frange on est. Ainsi, le résultat de la valeur du déphasage $\Delta \emptyset$ détecté peut être erroné.

Le dispositif selon la présente invention permet d'effectuer un asservissement sur des franges d'interférence différentes de la frange d'ordre 0 en pouvant identifier chacune de ces franges d'interférence.

Sur la figure 3, les diverses franges d'interférence correspondent à des régions différentes du déphasage. La région référencée 0 correspond au travail autour du 0 de déphasage c'est-à-dire de la frange centrale d'interférence. Les franges d'ordre 1 correspondant à un déphasage $\Delta \emptyset$ égal à $-\pi$ ou $+\pi$ sont numérotées respectivement -I et +1. Les franges d'interférence d'ordre 2 correspondant au déphasage de -2π et $+2\pi$ sont référencées, sur la figure 3, -II et +II et ainsi de suite.

Sur la figure 4, on peut voir un exemple de réalisation du dispositif selon la présente invention permettant de déterminer sur quelle frange d'interférence on travaille pour pouvoir en déduire la vitesse de rotation. Dans l'exemple de réalisation de la figure 4, on effectue une modulation en fréquence de la source de lumière cohérente S.

Cette modulation a pour but d'obtenir au moins deux fréquences et de travailler ainsi sur au moins deux longueurs d'ondes.

Selon un exemple de réalisation illustré par le diagramme de la figure 5, on prévoit de travailler sur trois fréquences. On travaille ainsi, par exemple, sur une longueur

d'onde centrale et sur deux longueurs d'ondes dérivées de cette longueur d'onde centrale.

5 La longueur d'onde centrale permet au gyromètre de travailler comme décrit dans la Demande de Brevet déjà citée et permet notamment de faire fonctionner les doubles boucles d'asservissement pour ramener le point de fonctionnement de l'interféromètre à une intersection de la courbe centrale 100 avec l'axe $\Delta \emptyset$, c'est-à-dire à l'un des points $-\pi, 0, 2\pi$, etc.

10 Seul le zéro central est indépendant de la longueur d'onde. Le décalage des franges d'interférence des différentes ondes augmente en s'éloignant de l'ordre zéro. Aux points $(-\pi, \pi, 2\pi, \text{etc})$ autre que le zéro central, le zéro sera modulé à la fréquence de modulation de la source avec une amplitude d'autant plus grande que l'on sera éloigné du zéro central.
15 Cette profondeur de modulation est représentée sur la figure 5 par le segment 19-20 au point π et le segment 17-18 au point 2π , et on voit que cette profondeur de modulation augmente en s'éloignant du zéro central.

20 La mesure de cette profondeur de modulation permet de déterminer à quel point de fonctionnement $-\pi, 0, \pi, 2\pi$, etc, on se trouve. Le procédé de l'invention permet ainsi d'élargir la gamme de mesure de fonctionnement du gyromètre décrit dans le brevet cité.

25 De façon générale, le procédé de l'invention fonctionne avec une source S modulée en fréquence. On travaille avec un continuum de longueurs d'ondes comprises entre deux longueurs d'ondes extrêmes et une longueur d'onde centrale ce qui ramène au fonctionnement précédent.

30 Dans ce qui précède et notamment dans la description se rapportant à la figure 5, on a considéré un fonctionnement avec trois fréquences de la source S. Le procédé de l'invention et le système qui en découlera fonctionne également en utilisant deux fréquences. Dans ce cas l'une des deux longueurs d'onde, par exemple celle donnant lieu à la courbe 101 de la figure 5,
35 servira à régler le double asservissement de la façon déjà

connue dans la Demande de Brevet déjà citée. La détection du point de fonctionnement ($-\pi, 0, \pi, 2\pi$, etc) se fait ensuite de la même façon que précédemment sur les deux longueurs d'ondes.

Pour mettre en oeuvre le procédé de l'invention selon un exemple préféré de réalisation du système de l'invention, la source S est un laser semi-conducteur. Ainsi, il est possible d'obtenir une modulation en fréquence, en effectuant, grâce à un dispositif M0, une modulation en courant du laser semi-conducteur. La modulation en courant provoque dans une certaine plage de fréquence une modulation en fréquence de la lumière 1 émise par la source S.

Dans un premier cas, la modulation est continue, par exemple en dents de scie asymétriques comme illustré sur la figure 4, en dents de scie symétriques ou est de forme sinusoïdale. La fréquence de modulation est issue d'un signal de synchronisation SY_2 généré par le circuit de commande CC2. La fréquence du signal de synchronisation SY_2 est par exemple un sous-multiple de la fréquence du signal VC de commande de modulation du modulateur de phase généré par le circuit de commande CC2. Le signal VC est déterminé par le circuit CC2 à partir d'un signal de détection SYO fourni par le dispositif de détection synchrone D2. Le circuit CC2 génère d'autre part un signal de synchronisation SY_1 nécessaire au fonctionnement du dispositif de détection synchrone D2 qui reçoit le signal 3 de l'anneau 3.

Le système de l'invention comporte en outre un dispositif de traitement recevant d'une part par une liaison T1, un signal de déphasage dérivé des deux asservissements appliqués par le circuit de commande CC2 et, d'autre part, par une liaison T2, la valeur de la profondeur de modulation (franges d'interférence dues aux ondes transmises par la source S) après asservissement par le circuit CC2 et obtention d'un fonctionnement à l'un des points d'ordre $-\pi, 0, \pi, 2\pi$, etc.

Le circuit TT détermine, à partir de l'amplitude du signal reçu sur la liaison T2, le point de fonctionnement du

système. Il corrige alors en conséquence le signal de déphasage reçu sur la liaison T1.

Le résultat de la mesure est affiché sur un dispositif d'affichage 200.

5 Dans un second exemple de réalisation, la modulation de la source S n'est pas permanente. La source S travaille à une fréquence fixe sauf dans des instants, par exemple répartis périodiquement dans le temps, où il est nécessaire de déterminer sur quelle frange d'interférence on travaille. Une fois que la
10 frange d'interférence a été déterminée il est possible de travailler sur une fréquence unique pendant un intervalle de temps pendant lequel on pense qu'il n'y aura pas de changement de frange d'interférence.

Pour compléter la description du système de
15 l'invention, sur la figure 5, on peut voir l'influence de la variation de la fréquence optique et donc de la longueur d'onde sur le déphasage induit dans l'anneau 2 de la figure 1. Sur la figure 5, on a représenté en plus de la courbe 100 correspondant à une longueur d'ondes λ une courbe 101
20 correspondant à une longueur d'ondes $\lambda - \Delta\lambda$ et une courbe 102 correspondant à $\lambda + \Delta\lambda$.

Pour un déphasage nul, les trois courbes 100, 101 et 102 passent par point 0 intersection de l'axe $\Delta\phi$ et l'axe A.

Par contre, pour un déphasage égal à π ou à $-\pi$ de la
25 courbe 100 de longueur d'ondes les autres courbes 101 et 102 présentent des amplitudes A non nulles. Au point π la courbe 102 présente une amplitude positive référencée 20. Au point correspondant au déphasage $-\pi$ pour la courbe 100, la courbe 102 présente une amplitude positive référencée 24. Au point
30 correspondant au déphasage π pour la courbe 100 la courbe 101 présente une amplitude A négative référencée 19. Au point correspondant au déphasage $-\pi$ de la courbe 100, la courbe 101 présente une amplitude négative référencée 23.

Au point correspondant au déphasage égal à 2π pour la
35 courbe 100 la courbe 101 présente une amplitude positive

référéncée 17.

Au point dont le déphasage correspond pour la courbe 100 à 2 π la courbe 102 présente une amplitude négative référéncée 18.

5 Comme on peut le voir sur l'exemple de la figure 5, les points 20 et 19, 17 et 18 sont placés symétriquement par rapport à l'axe . Les amplitudes augmentent donc au fur et à mesure qu'on s'éloigne du point 0 sur l'axe .

10 On déterminera la frange d'interférence sur laquelle on travaille en mesurant les différences d'amplitude pour les courbes 101 et 102, soit la mesure de la modulation du zéro moyen.

15 On voit que la différence de valeur de déphasage pour les courbes 101 et 102 varie avec la frange d'interférence sur laquelle on travaille. L'amplitude de modulation du zéro d'asservissement est d'autant plus grande que l'ordre de la frange est élevé.

20 Il est évident que la détection et l'échantillonnage devront nécessairement être effectués de façon synchrone avec la modulation.

REVENDECATIONS

5 1. Dispositif de mesure d'un déphasage non réciproque engendré dans un interféromètre en anneau comportant des moyens de déphasage optique ($\emptyset$) et des moyens d'asservissement (CC2) d'une frange d'interférence sur laquelle on effectue les mesures de déphasage, caractérisé par le fait qu'il comporte des moyens (D2, CC2, MO) permettant d'identifier la frange d'interférence sur laquelle on travaille, des moyens (TT) permettant d'effectuer les corrections des mesures pour tenir compte d'un déphasage éventuel par rapport à la frange d'interférence d'ordre 0.

10 2. Dispositif de mesure selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'il comporte une source (S) de lumière émettant, sur commande, au moins deux fréquences différentes et des moyens de détections (D2) comportant des moyens de mesure de profondeur de modulation de franges d'interférences.

15 3. Dispositif de mesure selon la revendication 2, caractérisé par le fait que la source (S) de lumière cohérente est un laser à semi-conducteur et qu'il comporte des moyens (MO) de modulation du courant de commande et/ou d'alimentation du laser à semi-conducteur.

20 4. Dispositif de mesure selon la revendication 2, caractérisé en ce que les moyens de déphasage optique ($\emptyset$) et les moyens d'asservissement (CC2) sont prévus pour fonctionner sur l'une des deux dites fréquences émises par la source (S).

25 5. Dispositif de mesure selon la revendication 2, caractérisé en ce que la source (S) émet trois fréquences différentes dont une fréquence centrale, les moyens de déphasage optique ($\emptyset$) et les moyens d'asservissement (CC2) étant prévus pour fonctionner sur la fréquence centrale et les moyens de mesure d'amplitude (D2) fonctionnant sur les deux autres fréquences.

30

6. Procédé de mesure d'un déphasage non réciproque dans un interféromètre en anneau par comparaison des phases d'ondes ayant suivi un parcours dans deux sens opposés d'un anneau selon lequel on effectue un déphasage variable des ondes
5 et un asservissement du déphasage sur une frange d'interférence, caractérisé par le fait qu'il comporte les étapes de :

- détermination de la frange d'interférence sur laquelle on travaille ;
- 10 - compensation dans les mesures d'un déphasage éventuel par rapport à la frange d'ordre 0.

7. Procédé selon la revendication 7, caractérisé par le fait que la détermination de la frange d'interférence sur laquelle on travaille est effectuée à l'aide d'au moins deux
15 fréquences de fonctionnement différentes par mesure d'amplitude d'interférences.

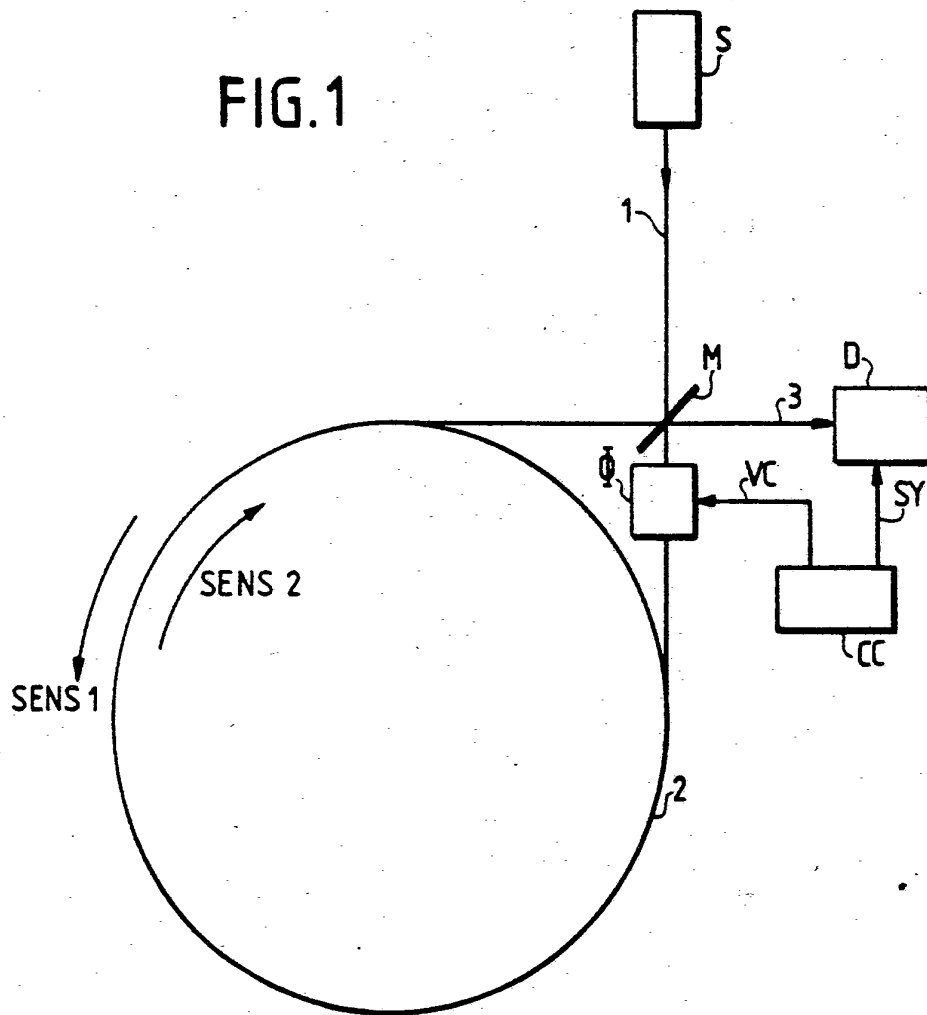
8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé par le fait que l'on effectue une modulation en fréquence de la source émettant des ondes dans les deux sens opposés de
20 l'anneau.

9. Procédé selon la revendication 6, caractérisé par le fait que l'on effectue, à intervalles de temps réguliers, une modulation en fréquence de la source émettant les ondes dans les deux sens opposés de l'anneau.

25 10. Procédé selon la revendication 7,8 ou 9, caractérisé par le fait que la détermination de la frange d'interférence sur laquelle on travaille est effectuée par la mesure d'amplitude d'interférences correspondant à deux fréquences de la source.

30 11. Procédé selon la revendication 7,8 ou 9, caractérisé par le fait que la détermination de la frange d'interférence sur laquelle on travaille est effectuée par comparaison de l'amplitude du signal de deux fréquences différentes pour un même déphasage.

FIG. 1



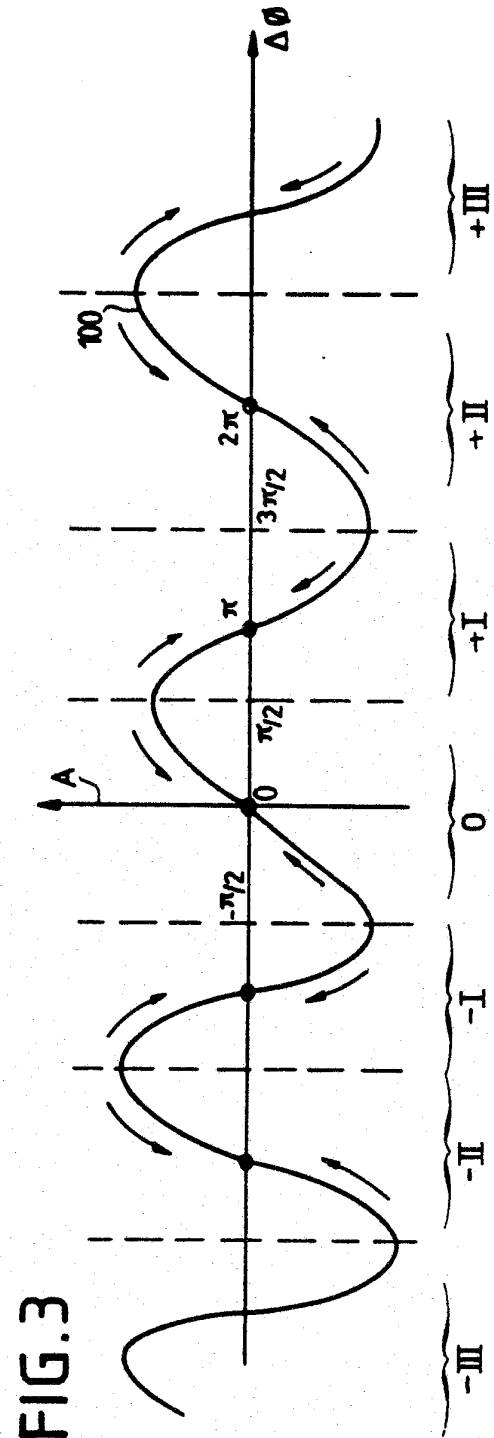
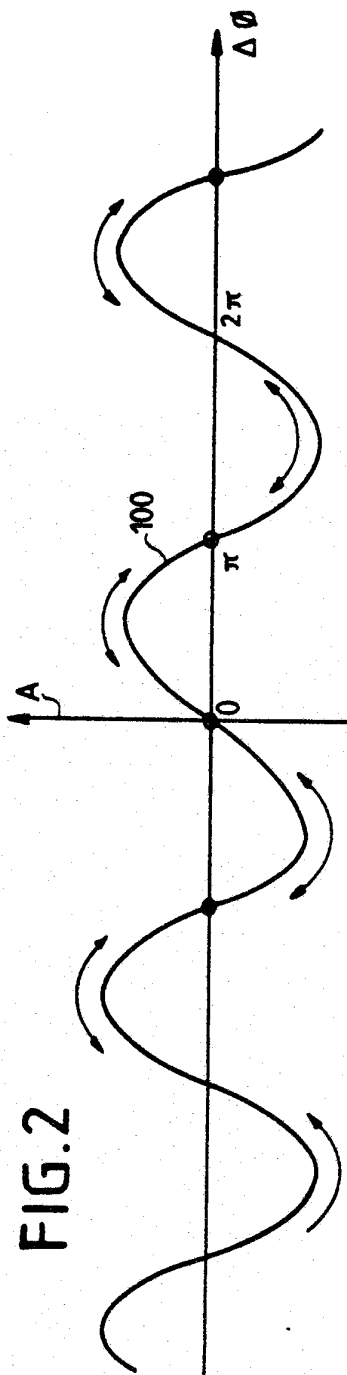


FIG. 4

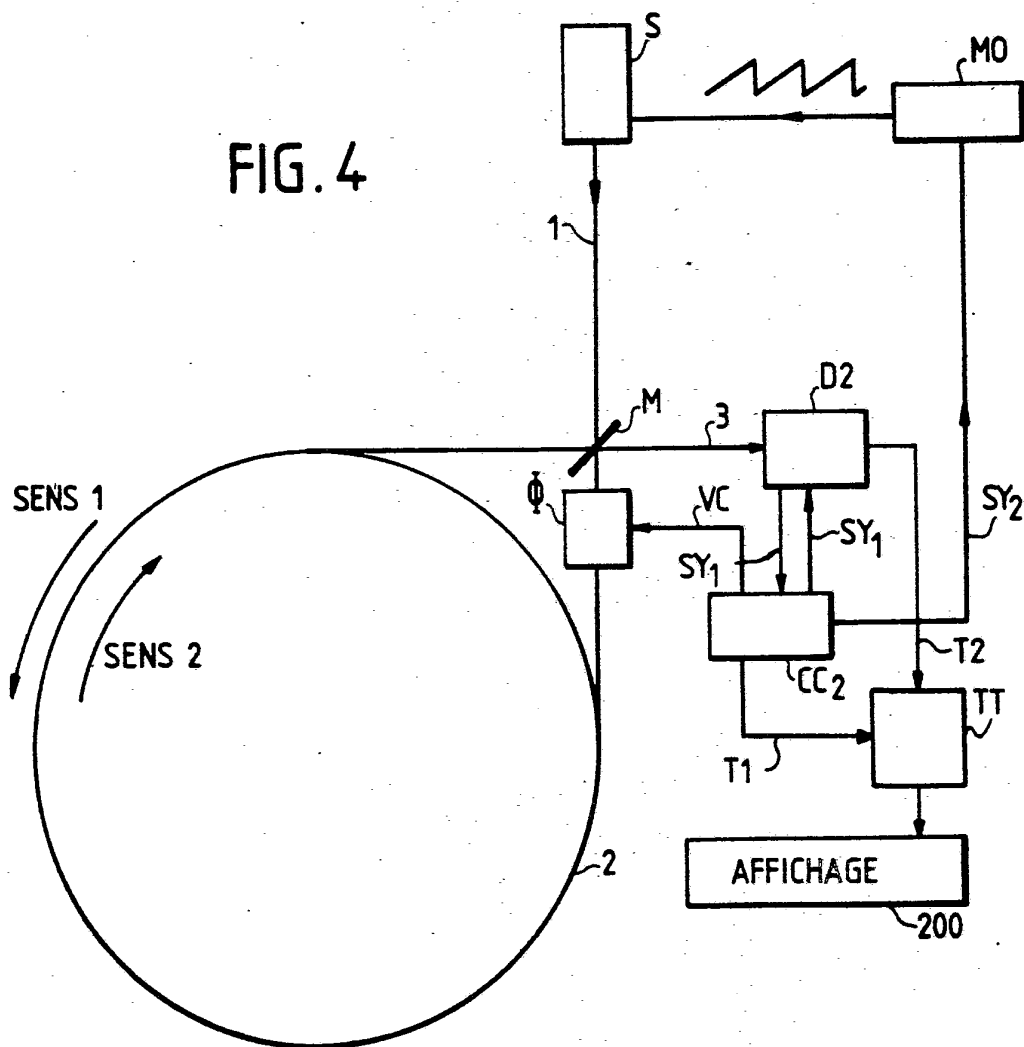


FIG. 5

