

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 13991

(54)

Polarimètre ou torsiomètre photo-électrique perfectionné.

(51)

Classification internationale (Int. Cl. ³). G 01 J 4/04; G 01 L 1/24; G 01 N 21/23.

(22)

Date de dépôt..... 24 juin 1980.

(33) (32) (31)

Priorité revendiquée :

(41)

Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 53 du 31-12-1981.

(71)

Déposant : Société anonyme dite : SOCIÉTÉ PARISIENNE DES ANCIENS ÉTABLISSEMENTS
BARBIER, BENARD & TURENNE, résidant en France.

(72)

Invention de : Claude Samuel.

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire : Rinuy, Santarelli,
14, av. de la Grande-Armée, 75017 Paris.

La présente invention concerne un polarimètre ou torsiomètre photo-électrique perfectionné.

Dans le présent mémoire, on désigne par torsiomètre un appareil destiné, par des moyens optiques, à mesurer la rotation d'un objet autour de l'axe qui joint l'appareil de mesure et l'objet mobile et qui est matérialisé par un faisceau lumineux. Dans ce qui suit, l'appareil comprend deux parties : un émetteur et un récepteur (actif ou passif). L'émetteur est situé à l'endroit d'où l'on désire faire la mesure et sa position fixe l'origine à partir de laquelle les angles de rotation et leurs variations seront mesurées. Le récepteur (ou cible) est fixé sur l'objet dont on cherche à mesurer la rotation ou les vibrations de rotation autour du faisceau lumineux qui joint l'émetteur au récepteur. La distance qui sépare l'émetteur peut atteindre plusieurs dizaines de mètres.

Certains procédés de torsiométrie font appel à l'imagerie optique, la cible étant constituée par une ligne (ou une croix) dont, par des procédés photo-électriques, on mesure l'inclinaison par rapport à une ligne (ou une croix) placée dans l'émetteur. Il est facile de vérifier que ce procédé (ou des procédés analogues) est rapidement limité en précision.

Par contre, l'emploi des procédés de la polarimétrie permet d'atteindre des précisions et des sensibilités inférieures à la seconde d'arc.

Les procédés de polarimétrie sont connus depuis longtemps et ne sont rappelés dans ce qui suit que pour permettre la compréhension des perfectionnements et des dispositifs en résultant qui font l'objet de la présente invention.

Un polarimètre classique se compose d'une source et d'un dispositif optique permettant d'obtenir un faisceau lumineux collimaté. Ce faisceau est polarisé par traversée d'un cristal polariseur puis traverse un nouveau cristal polariseur (dit analyseur) qui est orienté à 90° par rapport au premier (position croisée ou position d'extinction). Dans cette position, aucune lumière ne traverse l'analyseur.

Par rapport à cette position initiale, toute rotation relative de l'analyseur et du polariseur d'un angle α ou toute interposition dans le faisceau d'un produit faisant tourner le plan de polarisation d'un angle α , permet
5 le passage d'une quantité de lumière $I_0 \sin^2 \alpha$ (loi de Malus), où I_0 est l'intensité du faisceau à la sortie du polariseur (aux pertes par absorption près) dans le trajet.

Sous cette forme, un polarimètre est inexploitable en raison de la difficulté de mesurer de faibles
10 variations de lumière continue.

Il est connu depuis le XIXème siècle que l'on peut rendre l'appareil opérationnel visuellement en mesurant des égalités de quantités de lumière, d'où la conception bien connue du polarimètre à pénombre ou polarimètre de Laurent.

15 Depuis l'avènement des mesures photo-électriques, le polarimètre à pénombre visuel et statique a été remplacé par le polarimètre à vibration du plan de polarisation.

Le principe d'un tel appareil est rappelé dans ce
20 qui suit, en se référant à la figure 1, où 1 représente la source lumineuse, 2 le polariseur, 3 un dispositif permettant de faire varier alternativement d'un petit angle $\pm \alpha$ l'orientation du plan de polarisation et 4 un analyseur qui, dans la position zéro de l'appareil, est orienté à l'extinction par
25 rapport au polariseur et qui, dans le cas général, est à un angle ξ par rapport à cette position de référence. Il s'agit, précisément de mesurer cet angle ξ . A cet effet, cet analyseur est suivi d'une cellule photo-électrique 5 associée à un ensemble d'électronique destiné à mesurer le courant
30 délivré par la cellule.

Dans le cas de l'utilisation en torsiomètre, il est clair que l'émetteur est constitué par les ensembles (1), (2) et (3) et que le récepteur (qui dans ce cas est actif) est constitué par les éléments (4) et (5) et peut être situé à
35 plusieurs mètres.

Il est connu que le moyen (3) faisant vibrer le plan de polarisation peut être réalisé de plusieurs façons :
- soit par rotations alternatives d'un petit angle $\pm \alpha$ du polariseur (2) lui-même,

- soit par interposition d'un disque de quartz tournant ayant deux épaisseurs différentes sur chacune de ses moitiés. Dans ce cas, on obtient deux déviations de la direction du plan de polarisation $+\alpha$ et $-\alpha$.
- 5 - soit par vibrations d'une lame demi-onde,
- soit par une cellule de Faraday (bobine magnétique entourant un barreau d'une substance, particulièrement un verre, possédant une forte constante de Verdet).

Quel que soit le procédé employé, si la source émet une intensité I_0 , alors que la direction du plan de polarisation vibre à la pulsation ω , l'intensité reçue par la cellule (5) s'écrit :

$$I_0 \sin^2 (\alpha \sin \omega t + \xi)$$

15

En considérant les angles α et ξ comme petits, on peut alors écrire cette expression sous la forme :

$$I_0 \left(\frac{\alpha^2}{2} + \xi^2 + 2\alpha \xi \sin \omega t - \frac{\alpha^2}{2} \cos 2\omega t \right)$$

20

Le signal reçu par la cellule et exploité par l'électronique comprend donc trois termes :

- un terme continu $I_0 (\alpha^2/2 + \xi^2)$
- un terme à la pulsation ω dont le coefficient est $2\alpha I_0 \xi$
- 25 - un terme à la pulsation 2ω

C'est le terme à la pulsation ω d'amplitude $2\alpha I_0 \xi$, donc proportionnel à ξ , qui permet la mesure de l'angle ξ cherché.

On peut exploiter directement ce terme, par exemple, par démodulation synchrone, de manière à obtenir la valeur de ξ sous forme de tension continue représentative de ξ .

Malheureusement le gradient, c'est-à-dire $2\alpha I_0$, est proportionnel à α et à I_0 .

35 Si on peut facilement obtenir que l'angle α soit constant, il est beaucoup plus difficile d'obtenir la constante de I_0 à cause des variations éventuelles de la puissance de la source, des variations d'absorption sur le trajet, etc.

Dans la plupart des cas, on utilise donc l'appareil par une méthode de zéro à l'aide d'un asservissement.

Cette méthode consiste à utiliser le terme à la pulsation ω comme signal d'erreur d'un servomécanisme qui peut faire tourner soit le polariseur de l'émetteur, soit l'analyseur de la cible, soit un organe intermédiaire situé entre l'un et l'autre et capable de faire tourner le plan de polarisation jusqu'à annulation du signal d'erreur. La mesure de la rotation de la cible est alors déduite de la rotation imposée au polariseur tournant ou de la commande appliquée à l'organe intermédiaire pour rétablir l'équilibre (disparition du terme à la pulsation ω).

Le bloc diagramme d'un tel système est représenté sur la figure 2 où 6 représente l'ensemble électronique de pré-amplification et d'amplification et où 7 représente l'organe de compensation. Celui-ci peut être, par exemple le polariseur lui-même, ou une lame demi-onde ou une bobine de Faraday.

L'avantage de cette méthode connue est que le gradient ne dépend plus ni de I_0 , ni de α mais dépend des caractéristiques généralement connues et le plus souvent linéaires de l'organe de compensation.

Par contre, le gain de la boucle de contre-réaction dépend des valeurs de α et I_0 ; il en résulte que la bande passante du système dépend de α et I_0 , ce qui est particulièrement fâcheux dans le cas où le torsiomètre est destiné à faire des mesures de vibrations. Il résulte en effet des considérations précédentes qu'une variation de I_0 , par exemple dans le sens d'une diminution (à cause de la distance, ou d'une variation d'absorption sur le trajet ou d'une variation de sensibilité de la cellule) se traduit par une diminution des performances dynamiques du système (qui conserve sa précision statique) sans que l'opérateur en soit prévenu. Il en résulte que la traduction d'une vibration d'amplitude donnée se traduit au niveau de la lecture par une amplitude plus petite et déphasée.

Ce défaut peut être partiellement évité en donnant à l'appareil dans les conditions idéales une bande

passante supérieure à celle réellement nécessaire, de manière qu'il conserve des performances acceptables dans les conditions dégradées. Ce procédé présente toutefois l'inconvénient, dû à l'augmentation de bande passante d'augmenter les bruits, ce qui lui fait perdre une partie de son intérêt.

Pour obvier à ces inconvénients, la présente invention concerne donc un polarimètre ou torsiomètre photo-électrique perfectionné, caractérisé par le fait qu'il comporte en combinaison (a) un émetteur comprenant une source lumineuse intense parfaitement collimatée et monochromatique d'intensité I_0 , un polariseur, un moyen permettant de faire varier alternativement d'un petit angle $\pm \alpha$ l'orientation du plan de polarisation et éventuellement un moyen de compensation des rotations de la cible, (b) un récepteur comprenant un analyseur, une cellule photo-électrique et une boucle de contre-réaction entre ladite cellule et l'analyseur, cette cellule recevant un signal $I_0 \sin^2 (\alpha \sin \omega t + \xi)$ comprenant trois termes, à savoir un terme continu $I_0 (\alpha^2/2 + \xi^2)$, un terme à la pulsation ω dont le coefficient est $2\alpha I_0 \xi$ et un terme à la pulsation 2ω , (c) des moyens permettant de faire disparaître le terme continu ainsi que des moyens permettant de rendre la mesure ou la bande passante indépendante de I_0 et de α et (d) une cible active ou passive.

Suivant d'autres caractéristiques :

- la source lumineuse est un laser
- l'appareil peut comporter en outre un moyen permettant d'améliorer le rapport signal/bruit ;
- le moyen permettant de faire disparaître le terme continu et les moyens permettant de rendre la mesure indépendante de I_0 et de α comprennent en sortie de la cellule, un pré-amplificateur, un amplificateur en boucle ouverte, un démodulateur synchrone et un potentiomètre de réglage de la valeur de α .

L'appareil comporte une cible active ou une cible passive.

Les moyens permettant d'améliorer le rapport signal/bruit comporte un polariseur de Wollaston ou équivalent combiné à un polaroïd et à deux cellules identiques,

associées à deux pré-amplificateurs identiques et un amplificateur différentiel.

Lorsque la cible est passive, l'appareil comporte une source lumineuse, son polariseur et ses moyens de vibration pour la partie émetteur et un miroir percé d'un trou pour le passage du faisceau d'émission, une lentille collectrice de la lumière reçue par le miroir et la cellule photo-électrique de mesure et ses organes annexes pour la partie récepteur.

Suivant un mode de réalisation particulier, la cible consiste en un polaroïd et une surface rétrodiffusante constituée par exemple par une surface perlée.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront plus clairement de la description qui va suivre faite en regard des dessins annexés sur lesquels :

- les figures 1 à 3 sont des schémas explicatifs des polarimètres connus ;

- les figures 4 et 5 sont des courbes représentant la forme des signaux délivrés par le pré-amplificateur associé à la cellule et le signal après passage dans un amplificateur en boucle ouverte ;

- la figure 6 est un schéma illustrant les moyens prévus selon l'invention pour agir sur la mesure ;

- la figure 7 est un schéma d'une des variantes possibles d'un moyen pour agir sur le rapport signal/bruit ;

- les figures 8 et 8a sont des schémas de deux modes de réalisation du moyen illustré à la figure 7 appliqués à l'appareil selon l'invention ;

- la figure 9 est une variante de réalisation dans le cas d'un torsiomètre avec cible passive ; et

- la figure 10 est une illustration d'application du moyen illustré à la figure 9.

Dans la description qui va suivre, le moyen d'obtenir la vibration du plan de polarisation, comme le moyen d'obtenir la contre-réaction, c'est-à-dire le retour à l'équilibre de l'appareil, sont des cellules de Faraday.

Bien que ces moyens soient particulièrement commodes, surtout depuis l'existence de verres spéciaux

possédant une grande constante de Verdet et qu'il soit ainsi possible d'obtenir des vibrations importantes du plan de polarisation sans avoir à consommer beaucoup de puissance dans des bobines de dimensions prohibitives, ces moyens ne
5 sont donnés qu'à titre d'exemple, tout homme de l'art pouvant transposer aisément à l'emploi de tout autre moyen d'obtenir le même effet.

Dans la description qui va suivre, le cas de la polarimétrie et de la torsiométrie seront traités simulta-
10 nément, les deux techniques ne différant en effet que par l'éloignement éventuel de la cible dans le cas de la torsiométrie et par l'adjonction entre l'émetteur et le récepteur d'une cuve classique dans le cas de la polarimétrie. Seul le cas de la cible passive sera traité séparément, ce problème
15 n'existant que dans la torsiométrie.

Un torsiomètre appliquant un des moyens de l'invention comprend donc (voir figure 3) un laser (1a), polarisé ou non, un polariseur (2) une bobine de Faraday (3a) de vibration commandée en courant alternatif à une fréquence
20 suffisante pour obtenir la bande passante souhaitée ; de préférence cette bobine de Faraday est incluse dans un circuit accordé comportant en série une capacité et une petite résistance permettant de mesurer et d'asservir le courant dans la bobine, une bobine de Faraday de contre-
25 réaction (7a) commandée par un amplificateur de puissance faisant partie de l'ensemble électronique (6), un analyseur (4) et une cellule photo-électrique (5).

L'ensemble d'alimentation de la bobine (3a) d'excitation est représenté en (8).

On réalise l'ensemble (8) de commande de la
30 bobine (3a) de telle sorte que la fréquence d'excitation soit constamment à l'accord du circuit oscillant constitué par la self de la bobine et la capacité. Cet accord permet d'obtenir dans la bobine un courant parfaitement sinusoïdal dans une charge apparente purement résistive et par conséquent
35 d'obtenir un courant relativement important dans la bobine à l'aide d'un amplificateur de puissance ne nécessitant pas des tensions d'alimentation élevées.

A titre d'exemple, une bobine ayant une self de 50 mH et une résistance de 5 ohms peut être commandée à 1000 Hz par un courant de 1 ampère avec 5 volts seulement aux bornes de l'ensemble. Avec dans la bobine un verre du type Flint lourd il est possible d'obtenir une vibration sinusoïdale α du plan de polarisation d'amplitude de 0,5 à 1° sans échauffement appréciable de la bobine. En employant des verres spéciaux à grande constante de Verdet, il est possible d'atteindre en fonctionnement permanent des amplitudes supérieures à $\pm 10^\circ$ avec un échauffement tolérable.

On asservit l'amplitude du courant sinusoïdal parcourant la bobine de Faraday donc l'angle d'oscillation du plan de polarisation à toute valeur comprise entre zéro et la valeur maximum fixée par les caractéristiques technologiques de l'ensemble (8). Ce choix de la valeur de l'angle α permet, comme la suite le montrera, d'optimiser dans une bande passante donnée le rapport signal/bruit pour des conditions données de fonctionnement de l'appareil.

Pour obtenir ces différentes valeurs de α , l'utilisateur dispose sur le coffret (8) d'un bouton (9) commandant un potentiomètre d'affichage de la valeur de consigne de α .

Dans ces conditions, le signal reçu par la cellule (5) et transformé en tension par le pré-amplificateur associé est représenté sur la figure 4.

En trait plein est représenté le signal

$$I_{\alpha} \left(\frac{\alpha^2}{2} - \frac{\alpha^2}{2} \cos^2 \omega t \right)$$

qui existe à l'équilibre du système.

En trait interrompu est représenté le signal en présence d'un décalage ξ , qui contient en plus le signal d'erreur $2\alpha I_0 \xi \sin \omega t$.

Les polarimètres connus se contentent de supprimer le terme continu par une liaison capacitive et d'exploiter le signal d'erreur par une démodulation synchrone précédée ou non d'une amplification sélective, par un amplificateur accordé, du signal à la pulsation ω .

Ce mode de traitement laisse le gain de la boucle de contre-réaction fonction de α et de I_0 . Pour rendre le gain indépendant de I_0 , il suffit de remarquer que le coefficient du terme à la pulsation 2ω est comme celui du terme à la pulsation ω proportionnel à I_0 .

Un premier procédé permettant d'éliminer l'influence de I_0 consiste à détecter par démodulation synchrone à la pulsation 2ω , le signal $I_0 \alpha^2 / 2 \cos 2\omega t$ pour obtenir un terme continu proportionnel à $I_0 \alpha^2 / 2$, puis à utiliser un circuit convenable (multiplicateur électronique monté en diviseur) pour diviser le terme $2\alpha I_0 \xi \sin \omega t$ par $I_0 \alpha^2 / 2$.

On obtient ainsi un signal d'erreur $4 \xi / \alpha \sin \omega t$ indépendant de I_0 .

Un second procédé, encore plus simple, consiste après suppression du terme continu, à faire passer le signal alternatif restant dans un amplificateur à grand gain en boucle ouverte pour obtenir le signal carré représenté sur la figure 5. Quand ξ est nul, on obtient un signal carré à rapport cyclique égal à 1 à la pulsation 2ω .

Quand il existe un signal d'erreur ξ , une des alternances s'élargit alors que l'autre diminue. La forme du signal de la figure 5 ne dépend manifestement plus de la valeur I_0 et le signal résultant a un contenu en harmonique à la pulsation ω qui, pour les petites valeurs de ξ , est proportionnel à $4V \xi / \alpha$.

Le gain de la boucle est donc proportionnel à $1/\alpha$, si aucune précaution supplémentaire n'est appliquée.

Après démodulation synchrone du signal représenté sur la figure 5, afin d'obtenir le signal d'erreur continu, il suffit de transférer ce signal vers l'amplificateur de puissance par l'intermédiaire d'un potentiomètre dont l'arbre de commande du curseur tourne proportionnellement à α pour obtenir un gain de boucle indépendant de α . Le potentiomètre peut donc être couplé mécaniquement à celui qui règle le niveau de α .

Le bloc diagramme de la chaîne complète d'asservissement est représenté sur la figure 6. Sur cette figure, 5

représente la cellule photo-électrique, P.A. le pré-amplificateur, B.O. l'amplificateur en boucle ouverte, DMS le démodulateur synchrone, 10 le potentiomètre de compensation de gain de la boucle et 10a qui lui est mécaniquement couplé,
 5 le potentiomètre de réglage de la valeur de α , A.P. est l'amplificateur de puissance, 11 est la bobine de Faraday de contre-réaction et 12 une résistance en série avec la bobine et aux bornes de laquelle la tension qui est mesurée est représentative et rigoureusement proportionnelle à l'angle
 10 dont a tourné la cible.

Il est bon que cette résistance ait un coefficient de température aussi faible que possible (Manganin).

Sur la figure 6, la liaison L entre le pré-amplificateur et l'amplificateur en boucle ouverte est représentée schématiquement sous forme d'une liaison capacitive.
 15

La présente invention se propose aussi d'améliorer le rapport signal/bruit.

En effet, quelle que soit la source utilisée, le niveau de puissance émise par la source n'est pas rigoureusement constant ; autour de la valeur moyenne I_0 considérée
 20 jusqu'à présent, il peut être soumis à de petites fluctuations que l'on désigne sous le nom de bruit de la source. Parmi ces fluctuations certaines sont dans la bande de fréquence qui entoure la fréquence de modulation de direction
 25 du plan de polarisation. Elles sont associées au terme dit continu $I_0 \alpha^2 / 2$ et sont de même nature que le terme signal d'erreur $2\alpha I_0 \sum \sin \omega t$.

Si la partie continue de $I_0 \alpha^2 / 2$ est bien arrêtée par liaison capacitive, il n'en est pas de même du bruit de
 30 la source qui apparaît finalement comme une partie du bruit de mesure.

Un calcul sommaire permet de mieux comprendre l'influence des différents bruits.

On a vu que le signal utile est proportionnel à
 35 $2\alpha I_0$.

Les bruits ont essentiellement deux origines :
 (a) la source lumineuse, et on vient de voir que la contribution de son bruit est proportionnelle à $I_0 \alpha^2 / 2$ soit

$K_1 I_0 \alpha^2 / 2$, et (b) le récepteur, c'est-à-dire essentiellement la cellule et son pré-amplificateur où le bruit est indépendant en première approximation de la lumière reçue, soit K_0 . Le total du bruit est donc :

5

$$B = \sqrt{K_0^2 + (K_1 I_0 \frac{\alpha^2}{2})^2}$$

Le rapport gradient sur bruit est donc :

$$\frac{2\alpha I_0}{\sqrt{K_0^2 + (K_1 I_0 \frac{\alpha^2}{2})^2}}$$

Pour chaque valeur de I_0 , il y a une valeur α_{opt} qui donne une valeur maximum à ce rapport et on voit donc
15 l'intérêt qu'il y a à pouvoir régler α à cette valeur optimale. Le réglage de α a été décrit ci-dessus.

Il n'en reste pas moins qu'il y a intérêt à diminuer le plus possible les valeurs K_0 et K_1 . La diminution de K_0 ne peut être obtenue qu'en choisissant une cellule ayant
20 la détectivité maximum et en lui associant un pré-amplificateur aussi parfait que possible.

La diminution de K_1 à source lumineuse donnée peut être obtenue par le moyen de compensation suivant qui fait l'objet de la présente invention et qui consiste à faire
25 disparaître le terme continu, non par une liaison capacitive mais en l'opposant à un terme continu de même valeur et obtenu à partir d'un signal lumineux issu de la même source et ayant suivi le même trajet.

Ce mode de réalisation, selon l'invention, est
30 représenté sur la figure 7 où 4a représente l'analyseur de la cible, F2 et F3 les faisceaux lumineux sortant de cet analyseur, P un polaroïd, 5b et 5c deux cellules identiques, associées à deux pré-amplificateurs identiques et A un amplificateur différentiel.

35 L'analyseur 4a est, par exemple, un polariseur de Wollaston, qui a la particularité de sortir, séparés géométriquement, les deux composantes du plan de polarisation de la lumière reçue, ou tout autre polariseur ayant la même propriété.

L'un des deux faisceaux, le faisceau F2 dit de mesure est celui qui est au voisinage de l'extinction, le deuxième F3 dit faisceau de compensation est donc à pleine lumière.

5 Plus précisément, le faisceau de mesure a pour intensité :

$$I_0 \left(\frac{\alpha^2}{2} + \xi^2 + 2\alpha \xi \sin \omega t - \frac{\alpha^2}{2} \cos 2\omega t \right)$$

10

et le faisceau de compensation a pour intensité :

$$I_0 - I_0 \left(\frac{\alpha^2}{2} + \xi^2 + 2\alpha \xi \sin \omega t - \frac{\alpha^2}{2} \cos 2\omega t \right)$$

15

Quand l'asservissement fonctionne, le terme continu du faisceau de mesure est réduit à $I_0 (\alpha^2/2)$ et le terme continu du faisceau de compensation à $I_0 (1-\alpha^2/2)$.

Les deux pré-amplificateurs ayant été réglés aussi identiques que possible, il suffit de tourner le polaroïd (P) à une valeur telle que l'affaiblissement du faisceau de compensation soit dans le rapport $\alpha^2/2 / 1-\alpha^2/2$ pour que les deux pré-amplificateurs délivrent des signaux continus identiques, y compris dans les niveaux de bruit qui leur sont associés et pour que la sortie de l'amplificateur différentiel (A) ne contienne plus de terme continu ni les bruits correspondants associés.

25

En fait, les deux pré-amplificateurs ne sont pas rigoureusement identiques et la suppression du terme continu n'est pas parfaite.

30

Eventuellement, un asservissement supplémentaire non représenté peut permettre de régler automatiquement l'équilibrage de l'amplificateur différentiel de manière à réaliser presque exactement la suppression du terme continu.

35

Il est ainsi possible de diminuer d'une manière importante la valeur du terme K_1 dans le bruit, éventuellement jusqu'à le rendre négligeable vis-à-vis du terme K_0 .

Quand ce résultat est atteint, il y a tout intérêt à travailler avec la valeur maximum de α compatible avec un bon fonctionnement de la bobine.

Il convient de noter que cette solution nécessite deux cellules et deux pré-amplificateurs et que, par conséquent, le terme K_0^2 doit être remplacé par $2K_0^2$. Néanmoins, compte tenu des valeurs relatives des coefficients K_0 et K_1 , une diminution même relativement petite du terme K_1 au prix d'une augmentation du terme K_0 est très intéressante.

Cette suppression du terme continu par compensation permet de réaliser un polarimètre photo-électrique fonctionnant sans fréquence porteuse, c'est-à-dire sans bobine de Faraday d'excitation. Il s'agit alors de la transposition exacte d'un polarimètre visuel du type à pénombre (ou de Laurent) dans lequel l'angle de pénombre serait de 45° .

Le schéma d'un tel polarimètre simplifié est donné dans les figures 8 et 8a.

L'analyseur est un polariseur de Wollaston, ou tout autre équivalent, qui à l'équilibre est orienté à 45° du plan de polarisation émis par le polariseur de l'émetteur. Les deux cellules sont branchées tête-bêche soit en série (figure 8), soit en parallèle (figure 8a) à l'entrée d'un même pré-amplificateur.

Pour un écart ξ par rapport à la position d'équilibre, la première délivre un courant :

$$i_1 = KI_0 \sin^2 \left(\frac{\pi}{4} + \xi \right)$$

et le deuxième un courant

$$i_2 = KI_0 \cos^2 \left(\frac{\pi}{4} + \xi \right)$$

Le signal continu délivré par le pré-amplificateur est alors proportionnel à

$$\sin^2 \left(\frac{\pi}{4} + \xi \right) - \cos^2 \left(\frac{\pi}{4} + \xi \right)$$

c'est-à-dire à $\sin^2 \xi$.

Ce signal continu est amplifié par l'amplificateur de puissance A.P. qui commande la bobine 7a. Ce

montage réalisé avec un pré-amplificateur ayant une faible dérive de tension d'offset est susceptible de donner une excellente sensibilité malgré son extrême simplicité.

Il est des cas d'application en torsiométrie dans
5 lesquels le fait d'être obligé de travailler avec une cible active est un inconvénient majeur et où l'encombrement doit être réduit au minimum. C'est le cas d'une manière générale si la cible doit être placée sur un objet de petites dimensions que le poids et la liaison par fil risqueraient de
10 perturber dans ses mouvements. Plus précisément, c'est le cas où la cible doit être placée par exemple sur une maquette destinée à être essayée en soufflerie.

Dans un tel cas, le dispositif peut être réalisé de la manière représentée sur la figure 9 où les éléments
15 constitutifs de l'émetteur-récepteur sont le laser 1a, le polariseur tournant 2 commandé par le moteur M, la bobine de Faraday d'excitation 3b pour la partie émetteur et un miroir 13 percé d'un trou pour le passage du faisceau d'émission, une lentille 14 collectrice de la lumière reçue par le miroir
20 et la cellule photo-électrique 5d de mesure, pour la partie récepteur.

La cible est alors constituée d'un polaroïd P et d'une surface rétrodiffusante 15 constituée par exemple d'une surface perlée du type "Scotchlite".

25 Une telle cible peut facilement être réalisée dans des dimensions n'excédant pas quelques millimètres de diamètre et moins d'un millimètre d'épaisseur.

Pour les besoins de la figure, l'organe de contre-réaction a été représenté cette fois sous forme du
30 polariseur émetteur tournant entraîné par un moteur d'asservissement. La mesure est alors obtenue par mesure à l'aide d'un codeur approprié non représenté lié à la rotation du polariseur. Cette solution a l'intérêt de permettre la mesure dans le champ complet de 360°, ce que ne permettrait pas un
35 autre organe de contre-réaction comme la cellule de Faraday.

Le fonctionnement est alors le suivant :

Le plan de polarisation défini par le polariseur 2 vibre sous l'influence de la cellule de Faraday 3b. Le

faisceau est envoyé au travers du trou du miroir 13 vers la cible P et 15 qui peut être située à plusieurs mètres.

Le polaroïd P agit comme analyseur et la quantité de lumière qui a traversé le polaroïd varie selon la formule fondamentale déjà donnée. A partir de cet instant, l'état de polarisation ou de dépolarisation de la lumière n'a plus d'importance, c'est la variation de la quantité de lumière qui est porteur de l'information utile.

Si la surface rétrodiffusante 15 est de bonne qualité, la plus grande partie de la lumière qui a traversé le polaroïd P est renvoyée dans un cône de petit angle centré sur la direction de l'émetteur. Elle est donc reçue par le miroir 13 et collectée vers la cellule 5d par la lentille 14.

A partir de la cellule, l'électronique d'exploitation peut être du type déjà décrit et représenté à la figure 6.

A la rigueur, la surface rétrodiffusante 15 pourrait n'être qu'une surface blanche diffusant la lumière dans toutes les directions. Il en résulterait seulement une perte de lumière, le miroir collecteur 13 ne pouvant pas, pour des raisons évidentes, être de trop grande dimension. Or, on a vu dans l'étude du rapport signal/bruit toute l'importance du niveau de lumière reçue.

Dans le cas où le plan de la cible est perpendiculaire au faisceau incident le fonctionnement comme torsiomètre est rigoureusement le même que celui précédemment décrit.

On peut même faire des mesures sur une cible inclinée sur l'axe du faisceau jusqu'à des angles atteignant et même dépassant 45°. Mais, il faut alors tenir compte de l'influence de la réfraction du faisceau dans l'épaisseur du polaroïd et de l'influence de la rotation du plan de polarisation due aux lois de Fresnel. Ces précautions ne sont à prendre naturellement que si une grande précision est recherchée.

Si l'on place trois cibles ainsi constituées, non coplanaires, sur un même objet, il devient possible à l'aide de trois torsiomètres de reconstituer entièrement la position angulaire de l'objet dans l'espace.

Dans le cas où la surface rétrodiffusante est suffisamment directive, il est même possible, comme représenté sur la figure 10 d'utiliser une cible unique CI avec trois torsiomètres T1, T2, T3 chacun ne recevant que la lumière qu'il a envoyée. Dans le cas où on craindrait l'influence de la lumière envoyée par l'un sur les autres, il est possible d'utiliser dans les trois torsiomètres des lasers de longueurs d'ondes différentes, chaque cellule étant précédée par un filtre interférentiel à la longueur d'onde qui lui correspond. Il est aussi possible de distinguer les trois torsiomètres munis de lasers identiques par une modulation à des fréquences différentes.

Il va de soi que la présente invention n'a été décrite qu'à titre purement explicatif et nullement limitatif et que toute modification pourra y être apportée sans sortir de son cadre tel que défini par les revendications ci-après.

REVENDEICATIONS

1. - Polarimètre ou torsiomètre photo-électrique perfectionné, caractérisé par le fait qu'il comporte en combinaison (a) un émetteur comprenant une source lumineuse
5 intense parfaitement collimatée et monochromatique d'intensité I_0 , un polariseur, un moyen permettant de faire varier alternativement d'un petit angle α l'orientation du plan de polarisation et éventuellement un moyen de compensation des rotations de la cible, (b) un récepteur comprenant un analy-
10 seur, une cellule photo-électrique et une boucle de contre-réaction entre ladite cellule et l'analyseur, cette cellule recevant un signal $I_0 \sin^2 (\alpha \sin \omega t + \xi)$ comprenant trois termes à savoir un terme continu $I_0 (\alpha^2/2 + \xi^2)$, un terme à la pulsation ω dont le coefficient est $2\alpha I_0 \xi$ et un terme à la
15 pulsation 2ω , (c) des moyens permettant de faire disparaître le terme continu ainsi que des moyens permettant de rendre la mesure ou la bande passante indépendante de I_0 et de α et (d) une cible active ou passive.

2. - Polarimètre ou torsiomètre selon la reven-
20 dication 1, caractérisé par le fait que la source lumineuse est un laser.

3. - Polarimètre ou torsiomètre selon la reven-
dication 1 ou 2, caractérisé par le fait qu'il peut compor-
ter, en outre, un moyen permettant d'améliorer le rapport
25 signal/bruit.

4. - Polarimètre ou torsiomètre selon les reven-
dications 1, 2 ou 3, caractérisé par le fait que le moyen
permettant de rendre la mesure indépendante de I_0 et de α
comprennent en sortie de la cellule, un pré-amplificateur, un
30 amplificateur en boucle ouverte, un démodulateur synchrone et un potentiomètre de réglage de la valeur de α .

5. - Polarimètre ou torsiomètre selon la reven-
dication 3, caractérisé par le fait que le moyen permettant
d'améliorer le rapport signal/bruit comporte un polariseur de
35 Wollaston ou équivalent combiné à un polaroïd et à deux cellules identiques associées à deux pré-amplificateurs identiques et un amplificateur différentiel.

6. - Polarimètre ou torsiomètre selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait que lorsque la cible est passive, il comporte une source lumineuse, son polariseur et ses moyens de vibration pour la
5 partie émetteur et un miroir percé d'un trou pour le passage du faisceau d'émission, une lentille collectrice de la lumière reçue par le miroir et la cellule photo-électrique de mesure et ses organes annexes pour la partie récepteur.

7. - Polarimètre ou torsiomètre selon la reven-
10 dication 6, caractérisé par le fait que la cible consiste en un polaroïd et une surface rétrodiffusante constituée par exemple par une surface perlée.

1/3

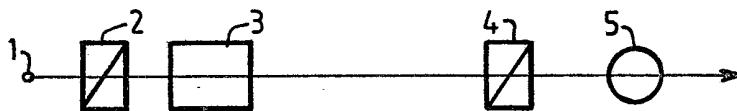


FIG. 1

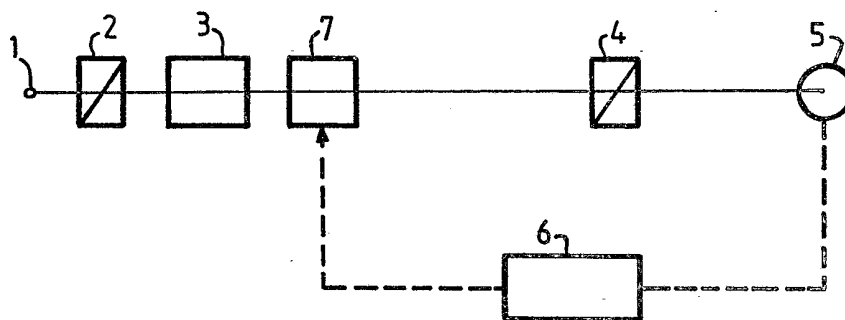


FIG. 2

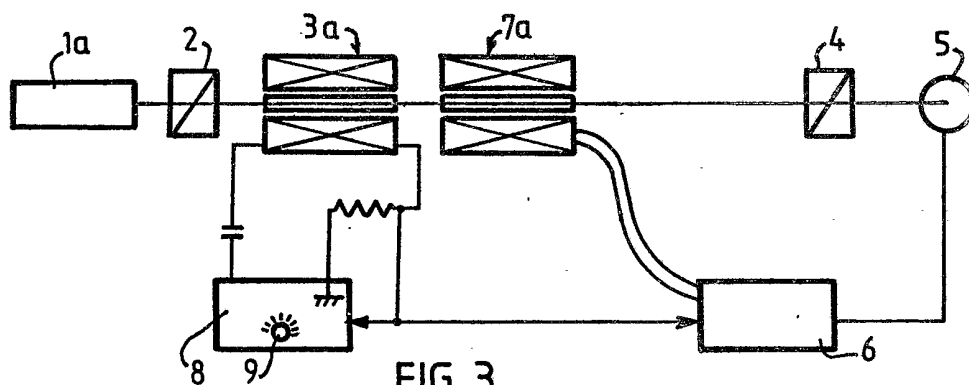


FIG. 3

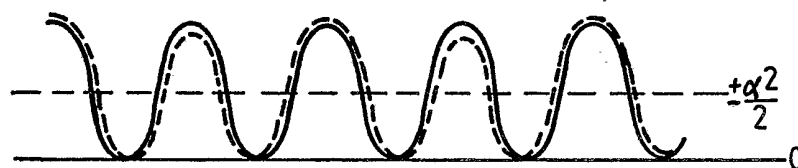


FIG. 4

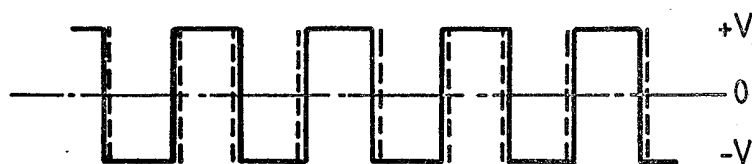


FIG. 5

2/3

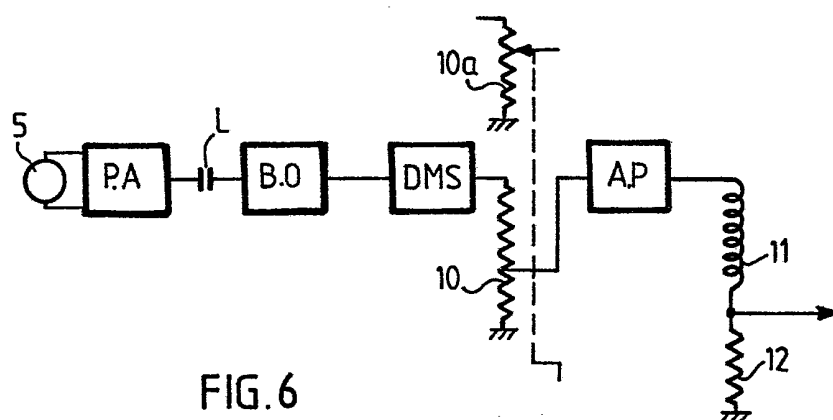


FIG. 6

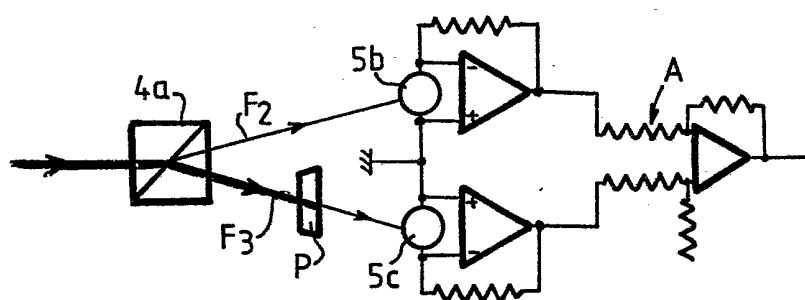


FIG. 7

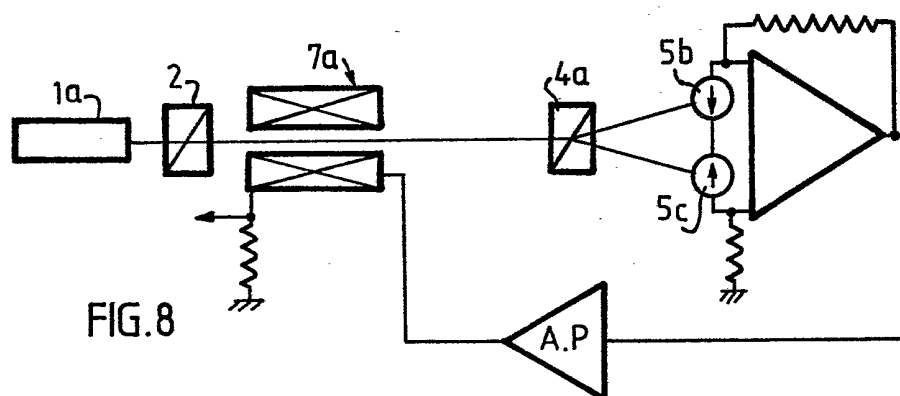


FIG. 8

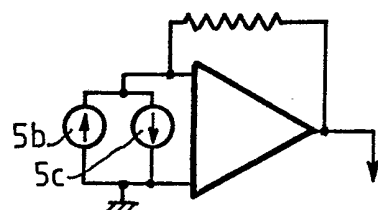


FIG. 8a

3/3

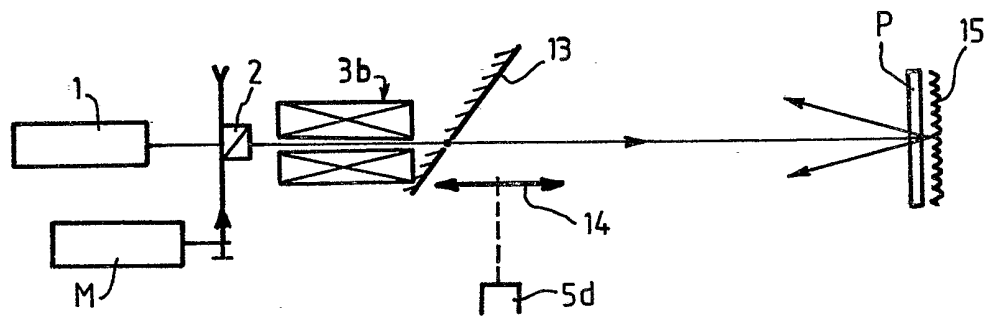


FIG. 9

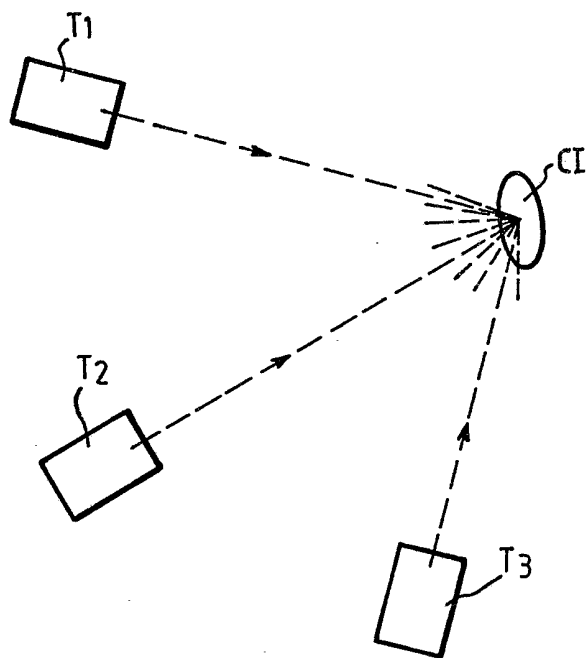


FIG. 10