

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 15815

(54) Procédé et dispositif de recherche gyroscopique du nord.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). G 01 C 19/38.

(22) Date de dépôt..... 17 août 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 7 du 18-2-1983.

(71) Déposant : SOCIETE DE FABRICATION D'INSTRUMENTS DE MESURE (SFIM). — FR.

(72) Invention de : Jean-Marie Vauchy.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Regimbeau, Corre, Martin et Schrimpf,
26, av. Kléber, 75116 Paris.

La présente invention concerne un procédé de recherche gyroscopique du Nord, et un dispositif pour sa mise en oeuvre.

Il est connu d'utiliser un gyroscope pour
5 rechercher la direction du plan méridien local. On peut, d'une part, utiliser un gyromètre auquel on fait balayer un plan parfaitement horizontal jusqu'à obtenir une lecture gyrométrique nulle (ou maximale), cette recherche pouvant par exemple être réalisée par un asservissement
10 commandé par le signal gyrométrique.

Une autre méthode consiste à utiliser un gyrocompas, où une toupie de gyroscope est susceptible d'osciller librement en rotation dans un plan horizontal ; ces oscillations sont dues aux couples gyroscopiques qui
15 s'exercent sur la toupie, et tendent à ramener celle-ci vers le plan méridien local.

Bien que ces systèmes donnent entièrement satisfaction en ce qui concerne la précision de la mesure obtenue, ils nécessitent cependant une réalisation mécanique très soignée, donc coûteuse et fragile, si l'on veut
20 réduire au maximum toutes les sources d'erreurs, notamment celles apportées par les frottements. En outre, la durée de la recherche est toujours très longue si l'on veut obtenir une bonne précision ; des temps de mesure de
25 plusieurs minutes ou plusieurs dizaines de minutes sont tout à fait courants.

L'objet de la présente invention est de décrire un procédé entièrement nouveau de recherche du Nord, ainsi qu'un dispositif d'un nouveau type le mettant
30 en oeuvre. La recherche du Nord se fait en imposant au cadre d'un gyroscope, au moyen d'un moteur électrique synchrone monophasé ou polyphasé, un mouvement continu

de rotation du moment cinétique du gyroscope dans le plan horizontal ; on mesure simultanément le couple instantané variable, correspondant à ladite rotation, ainsi que la position du rotor du moteur synchrone (donc du cadre gyroscopique), à partir des paramètres électriques instantanés de l'alimentation du moteur, et on en déduit les instants de passage du cadre aux points cardinaux locaux et donc l'orientation du stator du moteur, celui-ci étant rendu solidaire du boîtier du chercheur de Nord.

Le moteur sert à la fois de moyen d'entraînement et d'instrument de mesure ; on sait en effet que, dans un moteur synchrone, le glissement, qui est en fonction de la puissance reçue ou délivrée, varie comme le couple moteur ou générateur. Le moteur synchrone peut donc jouer le rôle de couplemètre, et la mesure de ses paramètres d'alimentation électrique peut fournir une indication précise du couple, en fonction du glissement. Comme on le verra plus loin, selon que le couple est moteur ou résistant, le glissement sera en retard ou en avance, et par suite le déphasage tension-courant sera positif ou négatif.

Le moteur est alimenté en tension alternative sinusoïdale de grandeur, fréquence et origine de phases constantes. Les instants de passage aux points cardinaux locaux sont alors déterminés en recherchant les instants où l'intensité et le déphasage tension-courant s'annulent ou bien sont maximaux. On voit qu'une mesure relative du déphasage-passage à zéro ou recherche de maximum-suffira pour déterminer les quatre points cardinaux. On peut ainsi se passer de toute mesure absolue du déphasage, donc éliminer toutes les imprécisions dues au facteur d'échelle, notamment les erreurs instrumentales et de

calibrage.

En outre, il suffira pour repérer la position du cadre de connaître l'orientation du rotor du moteur. En effet, connaissant la vitesse de rotation de celui-ci, ainsi que l'instant où le glissement s'annule, on détermine aisément l'écart angulaire entre l'axe du moteur et la direction du Nord. On voit ainsi que le moteur, outre ses rôles de moyen d'entraînement et de couplemètre, sert à la mesure angulaire ; on évite ainsi le recours à tout dispositif supplémentaire tel qu'un codeur angulaire ou analogue.

Ce chercheur de Nord est particulièrement adapté aux situations dans lesquelles il est nécessaire de trouver très rapidement la direction du Nord avec une précision de 0,5 à quelques degrés, par exemple pour le pointage des radars ou l'orientation d'un char. Sa construction simple le rend particulièrement robuste, et la transformation de toutes les mesures en signaux électriques permet une lecture à distance, et également tout traitement de signal approprié.

On notera enfin que l'invention se prête particulièrement bien à des mesures répétitives suivies de calculs à caractère statistique, ce qui permet d'améliorer ses qualités métrologiques. Chaque rotation fournit un nouveau point de mesure qui est analysé et permet d'augmenter la précision du résultat final.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée ci-dessous, faite en référence aux dessins annexés où :

. la figure 1 est une vue schématique du dispositif selon l'invention ;

. les figures 2 et 3 sont des schémas explicatifs du procédé.

5 Sur la figure 1, on peut voir le dispositif d'ensemble, contenu dans un boîtier 100 dont on supposera les faces supérieure 101 et inférieure 102 horizontales. Cette horizontalité peut, par exemple, être obtenue par une mise à niveau préalable dudit boîtier.

10 Ce boîtier contient le gyroscope 200 composé d'un cadre 210 susceptible d'être entraîné en rotation autour d'un axe vertical 220 (axe O Z). Ce cadre porte la toupie 230 du gyroscope tournant autour d'un axe horizontal 240. Le moment cinétique \vec{H} du gyroscope est ainsi capable de balayer le plan horizontal XOY.

15 Le cadre est entraîné dans son mouvement de rotation autour de l'axe vertical 220 par le rotor d'un moteur électrique synchrone 300 monophasé ou polyphasé, dont le stator est solidaire du boîtier 100. Ce moteur est relié à un circuit 400 d'alimentation. Un circuit 500 mesure les paramètres de cette alimentation ; les
20 résultats de ces mesures sont analysés par un circuit 600 de traitement du signal.

On va maintenant expliquer, en référence aux figures 2 et 3, le fonctionnement de ce chercheur de Nord.

25 Le repère OXYZ est un trièdre de référence lié au boîtier, donc entraîné par la terre. On supposera tout d'abord le plan XOY parfaitement horizontal. On appelle α l'angle, variable, formé entre l'axe OX et le moment cinétique \vec{H} du gyroscope, et β l'angle formé entre
30 la direction du Nord ON - qui est la trace du plan méridien local passant par l'axe vertical OZ dans le plan OXY - et l'axe OX. Le vecteur rotation terrestre \vec{R}

présente une composante horizontale \vec{r} dirigée selon l'axe ON. Lorsque le cadre 210 tourne par rapport au boîtier 100 autour de l'axe OZ, il apparaît un couple gyroscopique Γ d'axe OZ, et de valeur :

$$5 \quad \Gamma = H. r \sin (\alpha - \beta)$$

Ce couple est une fonction sinusoïdale de l'angle α , qui s'annule donc quand le moment cinétique \vec{H} passe dans le plan méridien selon la direction ON, c'est-à-dire quand :

$$\alpha = \beta \text{ ou } \alpha = \beta + \pi$$

10 et il est maximal, en valeur absolue, lorsque \vec{H} est perpendiculaire au plan méridien :

$$\alpha = \beta + \frac{\pi}{2} \text{ ou } \alpha = \beta + \frac{3\pi}{2}$$

Lorsque \vec{H} s'éloigne du Nord, le couple gyroscopique est résistant; lorsqu'il se rapproche du Nord, le couple 15 gyroscopique est moteur. Dans le premier cas, le moteur synchrone agit en moteur, dans le second cas il agit en générateur. En régime permanent, sur un tour, le bilan énergétique, aux frottements près, est nul ; la puissance consommée dans le demi-tour où l'on s'éloigne du Nord 20 est restituée dans le demi-tour où l'on se rapproche du plan méridien.

On sait d'autre part que le couple γ fourni par un moteur synchrone est représenté, en module, par la formule :

$$25 \quad \gamma = M. B. \sin \psi$$

où \vec{B} est le champ magnétique d'induction tournant engendré par le stator et \vec{M} , qui caractérise l'aimant tournant est solidaire de la direction du rotor du moteur, et ψ est l'angle compris entre \vec{B} et \vec{M} (angle de glissement). Un tel 30 moteur peut également fonctionner en alternateur, ψ changeant alors de signe. La valeur moyenne de ψ étant, dans l'application présente, nulle, les couples Γ et γ

tendent à s'équilibrer, de telle sorte qu'on a :

$$Hr \sin (\alpha - \beta) = MB \sin \psi$$

$$\text{d'où} \quad \sin (\alpha - \beta)$$

On voit donc qu'il existe une relation déterminée entre α et ψ , donc entre α et les grandeurs d'alimentation électrique du moteur synchrone : tension, courant et déphasage tension-courant. Il est donc possible de déterminer les instants où l'intensité et le déphasage s'annulent ou bien sont maximaux, c'est-à-dire les instants t_1 et t_4 pour lesquels on a :

$$\begin{cases} \alpha - \beta = 0 \\ \alpha - \beta = \pi \end{cases}$$

et les instants t_3 et t_4 où l'on a :

$$\begin{cases} \alpha - \beta = \frac{\pi}{2} \\ \alpha - \beta = 3 \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

Si on sait mesurer α à ces instants, on pourra connaître la valeur recherchée de β .

Avantageusement, la valeur de l'angle sera donnée par une mesure de la phase de la tension d'alimentation aux instants t_1 à t_4 , qui sera transformée par calcul en valeur angulaire de α , au glissement près. Pour éliminer l'influence de ce glissement, on peut remarquer que celui-ci est nul quand on a $\alpha - \beta = 0$ et $\alpha - \beta = \pi$; il est donc sans influence sur la précision de la mesure aux instants t_1 et t_2 . Par contre le glissement ψ est maximal aux instants t_3 et t_4 , mais de sens opposé puisque en t_3 le moteur tire le cadre tournant et qu'en t_4 il pousse ce cadre. Si on additionne les valeurs des mesures obtenues à ces deux instants, on élimine l'influence du glissement du moteur.

D'autre part, il y a lieu de remarquer que, si la vitesse de rotation du champ tournant \vec{B} est constante, le moteur étant synchrone, celle de \vec{H} ne l'est pas, en raison de la variation permanente de l'angle de glissement.

Il existe donc une accélération angulaire $\ddot{\alpha}$ non nulle, et par conséquent un couple d'inertie de rotation qui lui est proportionnel, créant des oscillations de $\dot{\alpha}$ autour de sa valeur moyenne. Un filtrage approprié, au
5 niveau des circuits électroniques de mesure 500 et de calcul 600, permettra d'éliminer ces perturbations.

D'autres perturbations peuvent également être apportées par le balourd du cadre tournant. Ce balourd risque de produire un couple de mêmes caractéristiques que le couple Γ produit par la rotation
10 terrestre ; il doit donc être minimisé suffisamment par construction, ou bien être compensé par un calcul. Dans ce dernier cas, préalablement à la recherche du Nord, on fait tourner le cadre 210 avec la toupie 230
15 arrêtée, et on met en mémoire dans l'électronique de calcul 600 les signaux électriques correspondants. Ces signaux, correspondant aux effets du couple dû au balourd, seront ensuite, lors de la mesure proprement dite, soustraits des valeurs brutes obtenues.

20 On pourrait, de la même façon, mettre en mémoire les grandeurs électriques correspondant aux frottements mécaniques du dispositif. Ces erreurs instrumentales sont cependant sans influence sur le résultat final ; en effet, on ne procède, comme on l'a
25 vu plus haut, qu'à des mesures relatives et non à des mesures absolues. La correction ne serait nécessaire que si l'on voulait connaître la valeur absolue du couple gyroscopique, par exemple pour obtenir une information de latitude.

30 Les calculs statistiques opérés par le circuit 600 de traitement du signal sont tout à fait classiques, tels qu'une pondération par la méthode des moindres

carrés, ou par celle du filtre Calmann. Ce traitement peut être effectué par une unité incorporée au chercheur de Nord, tel qu'un microprocesseur, ou bien être effectué à distance dans un centre de calcul, notamment en temps différé.

On a supposé jusqu'à présent que le plan XOY était parfaitement horizontal, par une mise à la verticale préalable de l'axe OZ. S'il n'en était pas ainsi, on pourrait mesurer la pente et l'inclinaison du boîtier 100 suivant les axes OX et OY au moyen de capteurs électriques 510 et 520, dont les signaux seraient introduits dans le circuit 600 de traitement du signal pour ramener au plan horizontal la valeur de l'angle β .

Enfin, on peut doter la liaison stator-boîtier 15 d'un débattement en rotation de réglage qui permet d'éliminer par un calibrage instrumental une éventuelle erreur à caractère septimatique. Dans une variante perfectionnée, ce débattement pourrait être motorisé et télécommandé.

Il est bien entendu que la description qui 20 précède n'a été donnée qu'à titre purement indicatif et que de nombreuses variantes et modes de mise en oeuvre du procédé, notamment en intervertissant les rôles de la tension et de l'intensité d'alimentation, peuvent être envisagés sans pour autant sortir du domaine de l'inven- 25 tion.

REVENDICATIONS

1. Procédé de recherche gyroscopique du Nord, caractérisé en ce qu'il consiste à :

- . imposer au cadre d'un gyroscope, au moyen d'un moteur électrique synchrone, un mouvement continu de rotation de son moment cinétique dans un plan horizontal,
- 5 . mesurer le couple appliqué ou reçu dudit cadre à partir des paramètres électriques instantanés de l'alimentation du moteur,
- . déterminer les instants de passage du cadre du gyroscope aux points cardinaux locaux à partir de ces mesures.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le moteur est alimenté en tension sinusoïdale de grandeur, fréquence et origine de phase constantes et que les instants de passage aux points cardinaux locaux sont déterminés en recherchant les instants où l'intensité et le déphasage tension-courant s'annulent ou bien sont maximaux.

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la position angulaire du cadre par rapport au boîtier du dispositif est mesurée à partir de la phase de la tension d'alimentation.

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que, en outre, on additionne les valeurs des paramètres électriques mesurés au moment où ceux-ci sont maximaux, de manière à éliminer l'influence du glissement du moteur à ces instants.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que, au cours de la mesure, on filtre les perturbations résultant de l'accélération angulaire du cadre du gyroscope.

6. Procédé selon une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte une étape préalable de mémorisation du signal parasite dû au balourd de construction, par enregistrement du signal produit en
5 faisant tourner le gyroscope arrêté.

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les mesures sont répétées à chaque tour et analysées par des méthodes statistiques.

10 8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on mesure en outre la pente et l'inclinaison du plan de rotation au cas où celui-ci ne serait pas horizontal, ces mesures permettant de corriger les résultats obtenus.

15 9. Chercheur de Nord pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une des revendications précédentes, du type comportant :

. un gyroscope (200) disposé de manière que son moment cinétique (\vec{H}) soit horizontal,

20 . un cadre (210) portant ce gyroscope, mobile autour d'un axe vertical (OZ),

caractérisé en ce qu'il comporte en outre :

. un moteur synchrone (300) d'entraînement du cadre en rotation continue autour de l'axe vertical (OZ),

25 . des moyens (400) d'alimentation électrique du moteur,

. des moyens (500) de mesure des paramètres d'alimentation,

30 . des moyens (600) pour déterminer la position angulaire du cadre par rapport au plan méridien et par rapport au boîtier, en fonction de ces paramètres,

. des moyens de correction des erreurs instrumentales.

10. Chercheur de Nord selon la revendication 9, caractérisé en ce que les moyens d'alimentation électrique
5 fournissent une tension alternative sinusoïdale stable en grandeur, fréquence et origine de phase.

11. Chercheur de Nord selon la revendication 9, caractérisé en ce que les moyens d'alimentation électrique
10 fournissent une intensité alternative sinusoïdale stable en grandeur, fréquence et origine de phase.

12. Chercheur de nord selon l'une des revendications 9 à 11, caractérisé en ce qu'il comporte des
moyens (510, 520) de mesure de la pente et de l'inclinaison du plan de rotation du cadre, permettant la
15 correction des mesures angulaires effectuées.

