

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
30 mai 2024 (30.05.2024)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2024/110102 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G01D 5/14 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2023/076591

(22) Date de dépôt international :
26 septembre 2023 (26.09.2023)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2212135 22 novembre 2022 (22.11.2022) FR

(71) Déposant : ABSOLUTE MAGNETICS AG [CH/CH] ;
Eggstrasse 45, 9055 Bühler (CH).

(72) Inventeurs : **ARLOT, Richard** ; 1 rue Beauregard, 70700 BONNEVENT-VELLOREILLE (FR). **FRIGOLI, Cornel** ; Eggstrasse 45, 9055 Bühler (CH). **BAUMGARTNER, Adrian Alfred** ; Gummenstrasse 31, 2562 Port (BE).

(74) Mandataire : **IP TRUST** ; 2 Rue de Clichy, 75009 PARIS (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH,

(54) Title: HIGH-PRECISION ANGULAR OR LINEAR NON-CONTACT MAGNETIC POSITION SENSOR

(54) Titre : CAPTEUR DE POSITION MAGNÉTIQUE SANS CONTACT ANGULAIRE OU LINÉAIRE DE HAUTE PRÉCISION

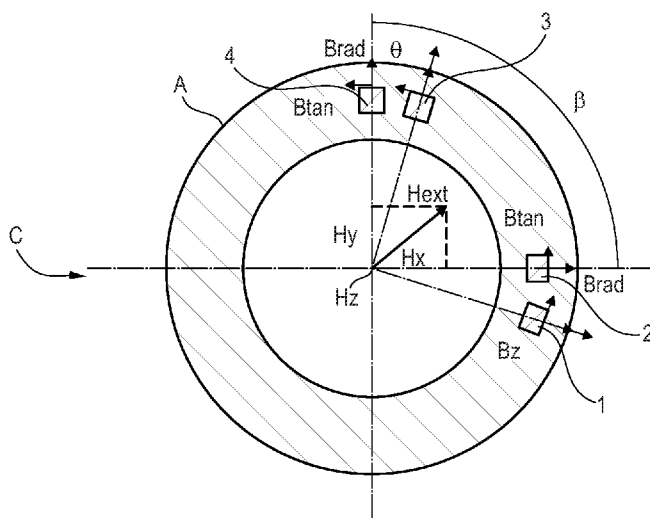


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to an, angular or linear, non-contact magnetic position sensor (C) comprising a permanent magnet (A) generating a magnetic field that varies non-linearly and at least a first pair of probes associated with the permanent magnet (A), each probe being able to measure at least two field components at the same point. A processing circuit is connected to the first pair and is configured to exploit at least some of the measurements furnished by the first pair of probes and to deliver a position signal representative of the absolute position of the permanent magnet (A).

(57) Abrégé : L'invention porte sur un capteur de position magnétique (C) sans contact, angulaire ou linéaire, comportant un aimant permanent (A) générant un champ magnétique variant de façon non linéaire et au moins un premier couple de sondes associées à l'aimant permanent (A), chaque sonde étant apte à mesurer au moins deux composantes de champs en un même point. Un circuit de traitement est relié au premier couple de et est configuré pour exploiter certaines au moins des mesures fournies par le premier couple de sondes

TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS,
ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasienn (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- en noir et blanc ; la demande internationale telle que déposée était en couleur ou en échelle de gris et est disponible sur PATENTSCOPE pour téléchargement.

et pour délivrer un signal de position représentatif de la position absolue de l'aimant permanent (A).

Description

Titre de l'invention : Capteur de position magnétique sans contact angulaire ou linéaire de haute précision

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention concerne le domaine de capteurs de position sans contact, magnétiques et/ou électromagnétiques, pour la mesure précise d'une position absolue angulaire ou linéaire. De tels capteurs permettent de détecter une position angulaire ou un déplacement linéaire avec une grande précision de l'ordre de 0,1% de la course totale, soit $< 0.5^\circ$ pour une détection réalisée sur un tour complet. De tels systèmes, qui peuvent être robustes aux perturbations et d'une grande précision, sont en particulier utilisés dans l'industrie automobile et dans l'industrie robotique.

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

[0002] On connaît dans l'état de la technique, le document EP1083406 décrivant un capteur rotatif composé d'un aimant bague et de 2 éléments de détection magnéto-sensibles mesurant la composante radiale du champ généré par l'aimant bague, aimanté diamétralement. Placés en quadrature, ces deux éléments magnéto-sensibles génèrent deux signaux sinusoïdaux qui permettent de détecter la position angulaire de l'aimant en rotation via l'implémentation de la fonction arc tangente (Atan) de ces deux signaux.

[0003] L'inconvénient de cette solution est sa sensibilité au placement des éléments de détection magnéto-sensibles pour calculer une valeur angulaire précise. Cette solution est aussi sensible à tout champ extérieur. En effet, tout champ parasite possédant une composante mesurable par au moins l'un des deux éléments magnéto-sensibles induira une erreur importante de non-linéarité.

[0004] On connaît aussi le document US7741839 présentant le principe d'un capteur rotatif composé d'un aimant bague et de deux éléments de détection magnéto-sensibles mesurant au même point deux composantes en quadratures du champ généré par l'aimant bague. Ces deux éléments génèrent deux signaux sinusoïdaux qui permettent là encore de détecter la position angulaire de l'aimant en rotation via l'implémentation de la fonction Atan de ces deux signaux.

[0005] La précision du signal détecté n'est pas satisfaisante, limitée par des amplitudes de signaux très différentes, ce qui conduit à un calcul erroné de la position angulaire. Cette solution est aussi sensible à tout champ extérieur.

[0006] Le document US7030608 décrit certaines configurations permettant d'obtenir une égalité entre les composantes de champ, mais l'impact est généralement très limité et requiert un encombrement important. De plus, le problème de sensibilité à tout champ extérieur n'est pas résolu, si bien que cette solution ne peut être considérée que comme

très insuffisante pour de nombreuses applications.

- [0007] Afin d'améliorer la précision, le document FR2893410 propose d'appliquer au rapport des signaux délivrés par des éléments de détection magnéto-sensibles situés au même point, un coefficient de compensation (gain) égal au rapport des amplitudes maximales des composantes de champ en quadratures mesurées. Ainsi la non-linéarité du signal est améliorée, mais la configuration demeure limitée au cas d'un aimant bague aimantée diamétralement.
- [0008] Le document EP1989505 décrit un capteur linéaire ou rotatif présentant un aimant dont l'aimantation est variable linéairement. En appliquant là encore un facteur de proportionnalité (gain), il est possible de déterminer la valeur du déplacement linéaire ou angulaire de l'aimant vis-à-vis de la sonde. Mais là encore la précision reste insuffisante, notamment dans le cas où les harmoniques d'aimantation de l'aimant sont importantes ou encore si l'aimant comporte des inhomogénéités.
- [0009] Le document FR2965347 rapporte une définition de la valeur du gain au cas par cas, via la réalisation de nombreux tests ou de nombreux calculs, pour définir une valeur de gain différente du simple rapport des amplitudes maximales des composantes. Cette solution permet d'améliorer la précision de mesure, mais reste très compliquée à mettre en place (banc de test, simulations) et reste limitée à certaines configurations.
- [0010] L'inconvénient de ces dernières solutions reste leur sensibilité à tout champ extérieur.
- [0011] Le document FR2923903 décrit un capteur angulaire ou linéaire comportant un aimant avec une direction d'aimantation variant linéairement suivant le déplacement, utilisant 2 jeux de sondes placées en quadrature, chaque sonde comportant un couple d'éléments de détection magnéto-sensibles mesurant des composantes de champ en quadrature. En combinant ces différentes composantes de champ pour obtenir deux signaux de même intensité en quadrature, il est possible d'obtenir une mesure angulaire insensible au champ externe selon certaines conditions. Mais la précision angulaire du capteur reste toutefois modeste. Le principe reste valable pour un capteur linéaire.
- [0012] Le document WO2009/101270 permet d'étendre le principe décrit précédemment et introduit un troisième et un quatrième jeu d'éléments de détection magnéto-sensibles, décalés "judicieusement" des premier et second jeux, et positionnés entre eux à l'identique des premier et second jeux. En combinant les signaux de ces 4 jeux d'éléments de détection magnéto-sensibles, il est possible d'obtenir une mesure angulaire insensible au champ externe selon certaines conditions et d'améliorer la précision (au moins sur un demi-tour mécanique soit 180°) du capteur en corrigeant l'erreur d'aimantation liée à la géométrie de l'aimant (notamment en compensation de l'harmonique 3 d'aimantation). Au regard du nombre d'éléments engagés (4 sondes distinctes), cette solution reste très sensible aux erreurs de positionnement des sondes et encore trop imprécise, avec une non-linéarité de $\pm 0.1\%$ de la plage angulaire de

180°, soit au mieux une précision de $\pm 0.18^\circ$ sur cette plage angulaire. C'est encore trop imprécis pour pouvoir être appliqué à certaines applications automobiles et robotiques.

- [0013] Le document EP2711663 décrit cette fois un capteur à deux pistes et au moins 2 sondes, permettant une précision angulaire très importante en combinant une détection globale effectuée sur une 1^{re} piste et une mesure plus fine issue de la mesure d'une seconde piste multipolaire. Cette solution nécessite néanmoins une bonne précision sur la détection globale, possiblement via l'utilisation de sondes additionnelles (4 au total) sur ce capteur 1. L'inconvénient de cette solution reste sa sensibilité au champ externe, et sa sensibilité aux erreurs de positionnement des sondes et des deux pistes magnétiques.
- [0014] On connaît aussi dans l'état de la technique le document FR3118804 fournissant un dispositif simple de mesure angulaire ou de déplacement linéaire en utilisant (au moins) un élément de détection magnéto-sensible capable de mesurer au moins deux composantes de champ et un aimant aimanté avec un profil d'aimantation comportant une combinaison d'au moins deux contributions périodiques permettant de calculer simultanément une position globale dans le tour (ou le multitour) et une position locale plus précise de la valeur du déplacement.
- [0015] Un inconvénient de certaines des solutions de l'état de la technique est la sensibilité à un champ magnétique extérieur.
- [0016] Il est toujours possible de blinder le capteur, mais cela rajoute des pièces et augmente très significativement le coût de fabrication ainsi que l'encombrement du capteur.

OBJET DE L'INVENTION

- [0017] La présente invention se propose de résoudre, en partie au moins, les problèmes mentionnés ci-dessus en tirant profit des principes divulgués dans le document FR3118804. L'invention permet notamment de faciliter le calcul de la position globale et de la position locale. L'invention permet notamment de réaliser simplement une mesure précise d'une position angulaire (ou linéaire) et peut être configurée pour présenter une insensibilité aux champs extérieurs.

BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

- [0018] En vue de la réalisation de ce but, l'objet de l'invention propose un capteur de position magnétique sans contact, angulaire ou linéaire, comportant :
- un aimant permanent générant un champ magnétique variant de façon non linéaire suivant la direction de déplacement, ladite variation comportant dans les différentes composantes de champ une combinaison d'au moins un premier signal quasi périodique, dit « signal porté » et d'au moins un deuxième signal quasi périodique, dit « signal porteur », le premier et le deuxième signal étant

différents l'un de l'autre,

- au moins un premier couple de sondes comprenant une première sonde principale et une première sonde secondaire, le premier couple étant associé à l'aimant permanent et chaque sonde étant aptes à mesurer au moins deux composantes de champs en un même point ; et
- un circuit de traitement relié aux sondes et configuré pour exploiter certaines au moins des mesures fournies par les sondes et pour délivrer un signal de position représentatif de la position absolue de l'aimant permanent.

[0019] Selon l'invention, les deux sondes du premier couple de sondes sont positionnées l'une par rapport à l'autre pour permettre, par combinaison différentielle des mesures des composantes de champ, d'isoler un premier signal quasi périodique représentatif d'une position globale et un deuxième signal quasi périodique représentatif d'une position locale.

[0020] Selon d'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives de l'invention, prises seules ou selon toute combinaison techniquement réalisable :

- le capteur de position magnétique comprend un deuxième couple de sondes comprenant une seconde sonde principale et une seconde sonde secondaire, le deuxième couple de sondes étant associé à l'aimant permanent et chaque sonde du deuxième couple de sondes étant aptes à mesurer au moins deux composantes de champs en un même point, les deux couples de sondes étant positionnés relativement entre eux de manière à obtenir une mise en quadrature des signaux obtenus par combinaison différentielle ;
- le circuit de traitement établi :
 - la mesure de la position globale du capteur en combinant les composantes de champ selon la formule : $\text{Atan2} ((\text{Br1}+\text{Bt3})+(\text{Br2}+\text{Bt4}) ; \text{Gain}*((\text{Br3}-\text{Bt1})+(\text{Br4}-\text{Bt2})))$ ou
 - la mesure de la position locale du capteur en combinant les composantes de champ selon la formule : $\text{Atan2} ((\text{Br3}-\text{Bt1})-(\text{Br4}-\text{Bt2}); \text{Gain}*(\text{Bz1}-\text{Bz2})),$

[0021] dans lequel Bri, Bti et Bzi représentent respectivement le champ radial, tangentiel et axial mesuré par une sonde d'indice i et dans lequel Gain est une grandeur choisie de façon à minimiser l'erreur angulaire calculée sur l'excursion du capteur ;

- le circuit de traitement établi la mesure de la position locale du capteur en combinant les composantes de champ selon la formule : $\text{Atan2} ((\text{Bz3}-\text{Bt1})-(\text{Bz4}-\text{Bt2}) ; \text{Gain}*((\text{Bz1}+\text{Bt3})-(\text{Bz2}+\text{Bt4})))$, dans lequel Bri, Bti et Bzi représentent respectivement le champ radial, tangentiel et axial mesuré par une sonde d'indice i et dans lequel Gain est une grandeur choisie de façon à minimiser l'erreur angulaire calculée sur l'excursion du capteur ;

- le circuit de traitement établi la mesure de la position globale et/ou la mesure de position locale sur différentes faces de l'aimant permanent simultanément ;
- l'aimant permanent est un aimant multipolaire ou un assemblage d'aimants ou un aimant usiné équivalent.
- l'aimant permanent est constitué par un ensemble de boucles de courant ;
- l'aimant permanent est constitué par tout ou partie du rotor d'un moteur électrique, d'un générateur, d'un actionneur, d'un réducteur, d'un coupleur, d'une boîte de vitesse, ou d'un oscillateur ;
- chaque sonde comprend une pluralité d'éléments magnéto-sensibles choisis dans la liste formée d'une sonde de Hall, d'un élément magnéto-résistif, d'un élément à courant de Foucault, d'une bobine de détection ;
- l'aimant permanent présente une forme de disque, de bague ou de cylindre, les sondes du au moins un couple de sondes étant disposées en périphérie de l'aimant ;
- les sondes du au moins un couple de sondes sont séparées d'une première valeur angulaire correspondant à une demi-période du signal porté ;
- les sondes du premier couple de sondes et les sondes du second couple de sondes sont respectivement séparées entre elles d'une seconde valeur angulaire sensiblement égale à un quart de période du signal porteur ;
- la première valeur angulaire et/ou la seconde valeur angulaire est ajustable ;
- le circuit de traitement est configuré pour exploiter un facteur de compensation angulaire pour corriger les valeurs angulaires calculées ;
- la correction des valeurs angulaires calculées se fonde sur des fonctions trigonométriques ;
- le circuit de traitement est configuré pour combiner une détection analogique et une détection digitale des composantes de champ.

[0022] Selon un autre aspect, l'invention propose d'utiliser un capteur de position magnétique sans contact tel que défini ci-dessus pour la mesure de valeurs additionnelles sur un système complexe, comprenant une force, un couple, une accélération, un freinage, un déphasage, une vitesse d'ensemble, une direction de déplacement, une distance, un nombre de tour, une inertie, un balourd, une vibration, un bruit, un contenu harmonique, une température, une pression, un courant électrique, une tension électrique, un courant électrique, une fréquence, un codage d'information.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0023] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée de l'invention qui va suivre en référence aux figures annexées sur lesquels :

[0024] [Fig.1]

- [0025] La [Fig.1] représente une structure de capteur rotatif dans une configuration conforme à l'invention ;
- [0026] [Fig.2]
- [0027] La [Fig.2] représente la courbe d'évolution des composantes de champs mesurées par une sonde quasi ponctuelle d'un capteur conforme à l'invention ;
- [0028] [Fig.3] La [Fig.3] représente la courbe d'évolution des composantes de champs radiaux mesurées par un premier couple de sondes déphasées d'une première valeur angulaire choisie et la combinaison, par addition, de ces mesures ;
- [0029] [Fig.4] La [Fig.4] représente la courbe d'évolution des composantes de champs radiaux mesurées par les deux couples de sondes disposés relativement entre eux dans une configuration conforme à l'invention, en vue du calcul de la position angulaire globale ;
- [0030] [Fig.5]
- [0031] La [Fig.5] représente la courbe d'évolution de la valeur angulaire globale obtenue en combinant la composante radiale mesurée par quatre sondes disposées relativement entre elles dans une configuration conforme à l'invention ;
- [0032] [Fig.6]
- [0033] [Fig.7]
- [0034] Les figures 6 et 7 représentent respectivement les combinaisons des composantes tangentielles et axiales du champ, obtenues en combinant les mesures fournies par quatre sondes disposées relativement entre elles dans une configuration conforme à l'invention ;
- [0035] [Fig.8]
- [0036] La [Fig.8] représente la courbe d'évolution des composantes de champs radiaux mesurées par les deux couples de sondes disposés relativement entre eux dans une configuration conforme à l'invention, en vue du calcul de la position angulaire locale ;
- [0037] [Fig.9]
- [0038] La [Fig.9] représente la courbe d'évolution de la valeur angulaire locale obtenue en combinant la composante radiale mesurée par 4 sondes disposées relativement entre elles dans une configuration conforme à l'invention ;
- [0039] [Fig.10]
- [0040] La [Fig.10] représente les courbes d'évolution des composantes de champs mesurées par les deux couples de sondes disposés relativement entre eux dans une configuration conforme à l'invention, les mesures étant combinées entre elles pour être moins sensibles à un champ extérieur dans le calcul de la position angulaire globale ;
- [0041] [Fig.11]
- [0042] La [Fig.11] illustre le résultat du calcul de la position angulaire fourni par un capteur conforme à l'invention mettant en œuvre les combinaisons de la [Fig.10] ;

[0043] [Fig.12]

[0044] La [Fig.12] représente les courbes d'évolution des composantes de champs mesurées par les deux couples de sondes disposés relativement entre eux dans une configuration conforme à l'invention, les mesures étant combinées entre elles pour être moins sensibles à un champ extérieur dans le calcul de la position angulaire locale ;

[0045] [Fig.13]

[0046] La [Fig.13] illustre le résultat du calcul de la position angulaire fourni par un capteur conforme à l'invention mettant en œuvre les combinaisons de la [Fig.12] ;

[0047] [Fig.14]

[0048] La [Fig.14] représente les courbes d'évolution des composantes de champs mesurées par les deux couples de sondes disposés relativement entre eux dans une configuration conforme à l'invention, les mesures étant combinées entre elles selon une combinaison alternative à celle représentée sur la [Fig.12] ;

[0049] [Fig.15]

[0050] La [Fig.15] illustre le résultat du calcul de la position angulaire fourni par un capteur conforme à l'invention mettant en œuvre les combinaisons de la [Fig.14] ;

[0051] [Fig.16a]

[0052] [Fig.16b]

[0053] [Fig.17a]

[0054] [Fig.17b]

[0055] [Fig.18a]

[0056] [Fig.18b]

[0057] Les figures 16a,16b,17a,17b,18a,18b illustrent l'impact d'un champ magnétique extérieur sur les erreurs angulaires ;

[0058] [Fig.19]

[0059] La [Fig.19] représente un capteur C conforme à l'invention dans une configuration linéaire ;

[0060] [Fig.20]

[0061] [Fig.21]

[0062] Les figures 20 et 21 illustrent le résultat du calcul de la position angulaire fourni par un capteur conforme à l'invention fonctionnant dans un mode dégradé avec uniquement un couple de sondes ;

[0063] [Fig.22]

[0064] La [Fig.22] représente une structure de capteur rotatif dans une autre configuration conforme à l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

[0065] La [Fig.1] représente une structure de capteur de position magnétique C conforme à

un mode de mise en œuvre. Le flux magnétique généré par un aimant permanent A permanent en forme de disque est collecté en périphérie de celui-ci par au moins quatre jeux d'éléments de détection 1-4 (ou magnéto-sensibles) situés radialement ou axialement, sans contact avec l'aimant. L'aimant permanent peut prendre une autre forme que celle de disque de l'aimant A représenté sur la [Fig.1], il peut notamment s'agir d'une forme de bague ou de cylindre.

[0066] Chaque jeu d'éléments de détection mesure, en un même point, au moins deux composantes de l'induction magnétique, au besoin par l'intermédiaire de collecteurs de flux définissant un entrefer dans lequel sont placés les éléments de détection 1-4. Les éléments magnéto-sensibles peuvent comporter, par exemple, des sondes de Hall, des éléments magnéto-résistifs, des éléments à courant de Foucault, des bobines de détection. Comme cela est bien connu en soi, chaque jeu d'éléments magnéto-sensibles peut être intégré dans un boîtier pour former une sonde magnétique, apte à détecter deux ou trois composantes de champ. Par simplicité d'expression, on désignera par « sonde », dans la suite de cette description, un jeu d'éléments magnéto-sensibles apte à détecter, quasi ponctuellement, deux ou trois composantes de champ. Cette désignation ne limite toutefois aucunement la mise en œuvre des principes de l'invention, cette mise en œuvre pouvant prévoir de placer, dans un même boîtier, plusieurs jeux d'éléments magnéto-sensibles pour détecter, en une pluralité de points, les composantes du champ.

[0067] Le capteur de position magnétique C de la [Fig.1] présente donc quatre sondes 1-4, comprenant d'une part une première sonde principale 1 et une seconde sonde principale 2, et d'autre part une première sonde secondaire 3 et une seconde sonde secondaire 4. La première sonde principale 1 et la première sonde secondaire 2 forment un premier couple de sondes 1,2 déphasées angulairement l'une de l'autre d'un premier angle de séparation θ . La seconde sonde principale 3 et la seconde sonde secondaire 4 forment un second couple de sondes 3,4, également déphasées angulairement l'une de l'autre du premier angle de séparation θ . Le premier couple de sondes 1,2 et le second couple de sondes 3,4 sont déphasés angulairement entre eux d'un second angle de séparation β .

[0068] On détaillera dans une section suivante de cette description tout l'intérêt d'une telle configuration.

[0069] L'aimant permanent A peut être un aimant multipolaire ou un assemblage d'aimants ou un aimant usiné équivalent. Cet aimant peut être constitué par tout ou partie du rotor d'un moteur électrique, d'un générateur, d'un actionneur, d'un réducteur, d'un coupleur, d'une boîte de vitesse, d'un oscillateur. Alternativement, l'aimant permanent peut être constitué par un ensemble de boucles de courant.

[0070] Le capteur comprend également un circuit de traitement relié aux sondes 1-4 et

configuré pour délivrer un signal de position fonction de la position absolue (de l'excursion) de l'aimant permanent A.

- [0071] Un capteur de position magnétique C conforme à l'invention présente un profil d'aimantation reprenant l'enseignement du document FR3118804 cité dans l'introduction de la présente demande. Ce profil est complexe et se traduit par des variations multi-périodiques du profil d'aimantation (ou de son orientation par rapport à un axe ou point de référence) en fonction de la trajectoire relative de l'entrefer de mesure et de l'aimant. L'aimant permanent A génère un champ magnétique variant de façon non linéaire suivant la direction de déplacement, ladite variation présentant selon les différentes composantes de champ une forme correspondant à une combinaison d'au moins deux contributions quasi périodiques différentes.
- [0072] Ce profil d'aimantation peut ainsi présenter selon un premier motif, dit « porté », de période p et comportant P incréments de mesure. Il peut également comprendre un second motif, dit « porteur », de période $p \cdot n$ (n réel >0 ; constant ou variable) comportant N incréments. Ce double motif permet de combiner une détection grossière (sortie globale du capteur) et une détection plus fine de la position absolue (sortie locale du capteur). Un incrément de mesure est par exemple constitué par la mesure d'un pôle magnétique. Deux pôles de polarité inverse pourront ainsi constituer un motif de période donnée. On peut également prévoir, dans le profil d'aimantation, au moins une anomalie magnétique conduisant à des flux atypiques servant d'index « top tour » permettant de comptabiliser le nombre de tours ou d'évènements effectués au-delà d'une première excursion. Ce signal de sortie comporte un nombre prédéterminé de T incréments de mesure sur l'intervalle de la mesure.
- [0073] A titre d'illustration, on a représenté sur la [Fig.2] les trois composantes de champ (composante radiale B_r , composante tangentielle B_t , et composante axiale B_z) issues d'une des sondes 1-4 pour un profil d'aimantation comportant $N=2$ incréments sur le signal porteur, et $P=48$ incréments sur le signal porté, pour une course angulaire de 360° (un tour complet). Le nombre d'anomalies magnétique T servant d'index "top tour" pouvant aider à comptabiliser le nombre de tours est ici considéré comme nul pour ne pas compliquer inutilement la description de l'invention.
- [0074] En combinant judicieusement les mesures effectuées par deux sondes d'un même couple de sondes, on note qu'il existe toujours (au moins) une première valeur angulaire séparant ces deux sondes (notée θ) permettant de générer, en combinant une mesure d'une composante de champ respectivement produite par ces deux sondes, une sinusoïde de période représentative du signal porteur. Cette première valeur angulaire θ correspond sensiblement à une demi-période du signal porté. La [Fig.3] illustre ainsi le résultat des mesures de champ radiaux B_{r1}, B_{r2} respectivement fournie par la première sonde principale 1 et la première sonde secondaire 2 pour une première

valeur angulaire de séparation θ de l'ordre de 7.5° (dans cette configuration $P=48$) de ces deux sondes 1,2, ainsi que l'addition $Br1+Br2$ de ces deux signaux.

- [0075] En combinant judicieusement les mesures effectuées par la seconde sonde principale 3 et la seconde sonde secondaire 4 déphasées entre eux de la même première valeur angulaire θ , on note qu'il existe toujours (au moins) une seconde valeur angulaire (notée β), séparant respectivement la première sonde principale 1 et la première sonde secondaire 2 de la seconde sonde principale 3 et de la seconde sonde secondaire 4, permettant de générer, en combinant une mesure d'une composante de champ produite par ces sondes 3,4, une seconde sinusoïde de période représentative du signal porteur, en quadrature de la sinusoïde obtenue à partir du premier couple de sondes 1,2. Cette seconde valeur angulaire β correspond sensiblement à un quart de période du signal porteur.
- [0076] La [Fig.4] illustre, pour une seconde valeur angulaire de séparation β de l'ordre de 90° (pour cette configuration $N=2$), le résultat des mesures des champs radiaux $Br3$, $Br4$ respectivement fournies par les sondes du second couple de sondes 3,4, ainsi que l'addition $Br3+Br4$ de ces deux mesures.
- [0077] La [Fig.5] illustre le résultat du calcul d'une position angulaire fourni par un capteur C présentant la configuration conforme à l'invention ayant conduit aux résultats présentés sur la [Fig.4]. Ce calcul utilise l'arc tangente des deux sinusoïdes en quadrature issues des composantes radiales Br_{ad} mesurées et combinées par addition. L'erreur angulaire de la position globale calculée est de $\pm 5^\circ$ sur un tour complet.
- [0078] La même stratégie peut être avantageusement appliquée pour les composantes tangentielles B_t et axiales B_z du champ, comme cela est respectivement représenté sur les figures 6 et 7. Les composantes tangentielles B_t et axiales B_z sont combinées deux à deux par addition. Il est ainsi possible d'obtenir trois ensembles de courbes, d'intensités similaires deux à deux, permettant un calcul précis de la valeur angulaire globale.
- [0079] Pour le calcul de la position locale, la même approche peut être utilisée en combinant cette fois les composantes de champs de façon à mettre en évidence le signal porté, ici en soustrayant les composantes fournies par les sondes d'un même couple deux à deux, comme cela est représenté sur la [Fig.8].
- [0080] La [Fig.9] illustre ainsi le résultat du calcul de la position angulaire fourni par un capteur C présentant la configuration conforme à l'invention ayant conduit aux résultats présentés sur la [Fig.8]. Ce calcul utilise l'arc tangente des deux sinusoïdes en quadrature issues des composantes radiales Br_{ad} . L'erreur angulaire de la position locale calculée est de $\pm 3.5^\circ$ sur une fraction de tour (une paire d'incrément du signal porté, soit approximativement 15° mécanique, dans la configuration prise en exemple). La précision angulaire sur la mesure de l'angle mécanique est donc de $3.5/24$ paires d'incrément ($P = 48$), soit $\pm 0.15^\circ$.

- [0081] La même stratégie peut être avantageusement appliquée pour les composantes tangentielles B_t et axiales B_z . Il est possible d'obtenir trois ensembles de courbes (non représentées), d'intensités similaires deux à deux, permettant un calcul précis de la valeur angulaire locale.
- [0082] Cette approche très générale permet de bien comprendre les avantages d'un traitement différentiel d'une au moins des composantes de champs mesurées. Par « traitement ou combinaison différentielle » on désigne la combinaison, par différence ou par addition, des composantes de champs issus d'une partie au moins des sondes 1-4 du capteur C. Cela permet de mettre en évidence le signal porteur pour le calcul d'un angle global (position dans le tour) et le signal porté pour le calcul d'un angle local (position dans l'incrément considéré) par le biais de calculs élémentaires.
- [0083] Le calcul simultané des deux valeurs angulaires garantit la connaissance instantanée et absolue d'une position angulaire (ou linéaire) précise, sans besoin d'un minimum d'excursion pour finaliser un premier calcul.
- [0084] L'utilisation d'un ratio de composantes qui est exploité dans les calculs d'arc tangente permet de garantir une insensibilité intrinsèque du calcul angulaire aux variations de température. Les composantes sont affectées d'une même façon, le ratio demeure inchangé.
- [0085] Toutefois, les composantes de champ utilisées précédemment restent sensibles à un champ externe. Pour compenser ce phénomène, il est possible de combiner les signaux fournis par les sondes de sorte à intégrer une compensation de champ externe pour obtenir une détection insensible à un champ externe parasite.
- [0086] En référence à la [Fig.1], on note que :
- La première sonde secondaire 2 disposée le long d'un premier axe x mesure $Br_2 + H_x$ le champ radial Br_2 de l'aimant auquel s'ajoute la projection H_x selon le premier axe x d'un champ extérieur H_{ext} . Similairement, la seconde sonde secondaire 4 disposée le long d'un second axe y , en quadrature avec l'axe x , mesure $Bt_4 - H_x$ le champ tangentiel Bt_4 de l'aimant 4 auquel se retranche la projection H_x selon le premier axe x du champ extérieur H_{ext} . La somme de ces deux mesures $(Br_2 + H_x) + (Bt_4 - H_x)$ est donc immune à la composante H_x selon le premier axe x d'un champ extérieur. La même observation peut être faite en choisissant l'autre paire de sondes en quadrature 1,3.
 - La première sonde secondaire 2 disposée le long du premier axe x mesure $Bt_2 + H_y$ le champ tangentiel Bt_2 de l'aimant auquel s'ajoute la projection H_y selon le second axe y d'un champ extérieur H_{ext} . Similairement, la seconde sonde secondaire 4 disposée le long du second axe y mesure $Br_4 + H_y$ le champ radial Br_4 de l'aimant 4 auquel s'ajoute également la projection H_y

selon le second axe y du champ extérieur Hext. La différence de ces deux mesures $(B_{t2}+H_y)-(B_{r4}+H_y)$ est donc immune à cette composante H_y selon le second axe y du champ extérieur Hext. La même observation peut être faite en choisissant l'autre paire de sondes en quadrature 1,3.

- Enfin, la première sonde secondaire 2 disposée le long du premier axe x mesure $B_{z2}+H_z$ le champ axial de l'aimant auquel s'ajoute la projection H_z selon un troisième axe z (formant un trièdre avec le premier et le second axe x,y) d'un champ extérieur Hext. Similairement, la seconde sonde secondaire 4 disposée le long du second axe y mesure $B_{z4}+H_z$ le champ axial B_{z4} de l'aimant 4 auquel s'ajoute également la projection H_z selon l'axe z du champ extérieur Hext. La différence de ces deux mesures $(B_{z2}+H_z)-(B_{z4}+H_z)$ est donc immune à cette composante H_z selon le troisième axe z du champ extérieur Hext.

[0087] Cette description repose sur l'hypothèse selon laquelle le champ externe impacte de façon homogène les quatre sondes en présence. Dans la réalité, la distance, réduite, mais existant nécessairement, entre les sondes se traduit par de faibles variations sans impact significatif sur la précision angulaire finale.

[0088] En combinant les composantes de champ selon la formule (dont l'expression est simplifiée) :

- $B_{r1}+B_{t3}$ et $B_{r2}+B_{t4}$, et leur addition ;
- $B_{r3}-B_{t1}$ et $B_{r4}-B_{t2}$, et leur addition ;

[0089] il est possible d'obtenir une détection robuste au champ magnétique externe pour le calcul de la position angulaire globale, comme cela est représenté sur la [Fig.10].

[0090] La [Fig.11] illustre le résultat du calcul de la position angulaire fourni par un capteur C mettant en œuvre les combinaisons qui viennent d'être présentées. Ce calcul utilise l'arc tangente (ou la fonction Atan2) du rapport des deux courbes de même intensité :

- $\text{Atan2} ((B_{r1}+B_{t3})+(B_{r2}+B_{t4}) ; \text{Gain}*((B_{r3}-B_{t1})+(B_{r4}-B_{t2})))$
- la valeur du Gain est ajustée de façon à minimiser l'erreur angulaire calculée sur l'excursion du capteur (ici 0.998)

[0091] L'angle mesuré sur un tour mécanique complet permet d'obtenir une valeur de la position angulaire à $\pm 5^\circ$ ([Fig.11]).

[0092] Avantageusement, en combinant les composantes de champ selon la formule (représenté sur la [Fig.12]):

- $B_{r3}-B_{t1}$ et $B_{r4}-B_{t2}$, et leur soustraction;
- $B_{z1}-B_{z2}$;

[0093] il est possible d'obtenir une détection robuste au champ magnétique externe pour le calcul de la position angulaire locale.

[0094] La valeur de la position angulaire locale est calculée en utilisant l'arc tangente (ou la

fonction Atan2) du rapport des deux courbes de même intensité :

- $\text{Atan2} ((\text{Br3}-\text{Bt1})-(\text{Br4}-\text{Bt2}); \text{Gain}*(\text{Bz1}-\text{Bz2}))$
- la valeur du Gain est ajustée de façon à minimiser l'erreur angulaire calculée sur l'excursion du capteur (ici 0.933)

[0095] L'angle calculé sur une période du signal porté (une paire d'incrément) permet d'obtenir une valeur de la position angulaire locale à $\pm 5^\circ$ (électrique), comme cela est représenté sur la [Fig.13]. Rapporté à l'angle mécanique, la précision angulaire mesurée est de $5/24 = \pm 0.21^\circ$ mécanique sur un tour complet, l'erreur angulaire mesurée pour chaque paire incrément sur le tour restant très similaire.

[0096] Selon un mode de réalisation particulier, illustré sur la [Fig.14], la combinaison des composantes de champ selon la formule :

- $\text{Bz1}+\text{Bt3}$ et $\text{Bz2}+\text{Bt4}$, et leur soustraction ;
- $\text{Bz3}-\text{Bt1}$ et $\text{Bz4}-\text{Bt2}$, et leur soustraction ;

[0097] il est possible d'obtenir une seconde détection pour le calcul de la position angulaire locale, avec une précision généralement améliorée.

[0098] La valeur de la position angulaire locale est calculée en utilisant l'arc tangente (ou Atan2) du rapport des deux courbes de même intensité :

- $\text{atan2} ((\text{Bz3}-\text{Bt1})-(\text{Bz4}-\text{Bt2}) ; \text{Gain}*((\text{Bz1}+\text{Bt3})-(\text{Bz2}+\text{Bt4})))$
- la valeur du Gain est ajustée de façon à minimiser l'erreur angulaire calculée sur l'excursion du capteur (ici 0.995).

[0099] L'angle calculé sur une période du signal porté (une paire d'incrément) permet d'obtenir une valeur de la position angulaire locale à $\pm 3^\circ$ (électrique) comme cela est représenté sur la [Fig.15]. Rapporté à l'angle mécanique, la précision angulaire mesurée est de $3/24 = \pm 0.125^\circ$ mécanique sur un tour complet, l'erreur angulaire mesurée pour chaque paire incrément sur le tour restant très similaire.

[0100] Les figures 16a et 16b illustrent l'impact d'un champ magnétique extérieur H_{ext} (mesuré seul au niveau d'une sonde: $B_x=10$ mT, $B_y=-3$ mT et $B_z=7$ mT ; homogène sur l'ensemble des sondes) sur les composantes de champ mesurées ([Fig.16a]) sans champ extérieur H_{ext} , ([Fig.16b]) avec le champ extérieur H_{ext} .

[0101] Les figures 17a,17b and 18a,18b permettent de comparer les erreurs angulaires calculées dans les deux cas.

[0102] - sur la figure 17, en présence du champ extérieur H_{ext} pour (a) pour la position angulaire globale et (b) pour la position locale mesurée pour un incrément.

[0103] - sur la figure 18, sans champ extérieur H_{ext} (a) pour la position angulaire globale et (b) pour la position locale mesurée pour un incrément.

[0104] Comme attendu, les signaux sont inchangés. D'autres valeurs de champs testés confirment ces mesures.

[0105] La personne du métier pourra facilement faire la différence entre la présente

invention et la solution proposée par l'art antérieur WO2009/101270 pour le calcul d'une course angulaire effectuée en détection radiale sur une bague aimantée diamétralement pour un champ variant linéairement avec la position angulaire. Dans le cadre d'un capteur C conforme à la présente invention, le champ mesuré par un élément magnéto-sensible ne varie pas linéairement avec la position angulaire. Cela est notamment apparent sur la [Fig.10]. Les deux approches ne peuvent donc pas être confondues.

- [0106] Un capteur C conforme à la présente description peut comprendre un circuit de traitement de signal pour combiner les composantes et déterminer une valeur angulaire globale et locale instantanée. Ce circuit peut également effectuer les différentes compensations permettant de corriger ces valeurs angulaires.
- [0107] Afin de réduire le temps de calcul, ce dispositif pourra combiner une détection analogique et une détection digitale des composantes de champ.
- [0108] Selon un mode de réalisation particulier, le capteur C comporte en outre des moyens de stockage des valeurs angulaires et de coefficients de linéarité utilisés pour compenser la linéarité du capteur. Ces moyens de stockages sont accessibles au circuit de traitement de signal, qui peut les exploiter pour appliquer les traitements visant à compenser la linéarité du capteur.
- [0109] Selon un mode de réalisation particulier, le capteur comporte en outre des moyens permettant de déterminer, en fonction de la position angulaire globale, l'incrément ou la paire d'incrément en regard. Cet incrément ou paire d'incrément est dit "actif".
- [0110] Chaque incrément actif est (par exemple) associé à un numéro d'ordre ou encore à une position angulaire globale (identifié par exemple au "zero-crossing" d'une des composantes de champ ou d'une composition de composantes. Cette méthode permet d'assurer facilement et avec précision que l'incrément lu correspond bien à la valeur globale calculée, sans risque d'erreur avec un incrément voisin.
- [0111] Chaque valeur angulaire locale calculée au niveau de l'incrément actif peut être utilisée comme valeur angulaire locale ou pourcentage de pleine échelle, ou directement comme valeur angulaire globale (en divisant la valeur lue par le nombre de paires d'incrément (ici 24), et ensuite en l'ajoutant à la position angulaire globale associée à la paire d'incrément actifs : A titre d'exemple 183.4° calculé dans l'incrément correspondant à une position globale (zero crossing) de 157.3° donne instantanément une position angulaire de $157.30 + 183.4/24 = 164.94^\circ$.
- [0112] Chaque incrément pouvant comporter des anomalies d'aimantation, la valeur angulaire exacte de chaque incrément pourra être utilisée pour respecter les vraies valeurs angulaires lues sur la piste magnétique. Ainsi, pour une paire d'incrément de 15.7° (et non 15° comme attendu théoriquement) : $157.30 + 183.4/(360/15.7) = 165.29^\circ$.
- [0113] Selon un mode de réalisation particulier, un coefficient de compensation angulaire

est calculé pour chaque incrément (i) selon : Coefficient incrément (i) = valeur angulaire de l'incrément théorique / valeur de l'incrément mesuré. Ce coefficient est utilisé pour corriger les valeurs angulaires locale et/ou globale.

- [0114] Selon un mode de réalisation particulier, le mode de détection des composantes de champs peut être de type axial ou de type radial, ou une combinaison.
- [0115] Selon un mode de réalisation particulier, le mode de détection des composantes de champs peut être réalisé sur différentes faces de la cible magnétique simultanément.
- [0116] Selon un mode de réalisation particulier, le capteur comporte en outre des moyens d'autocalibration, permettant d'ajuster certaines valeurs de calcul durant la vie du capteur pour maintenir un niveau de performance optimum.
- [0117] Selon un mode de réalisation particulier, le capteur comporte en outre des moyens de diagnostic, permettant d'alerter sur une possible défaillance (sonde, élément magnéto-sensible, piste magnétique, communication, calcul, température, champ externe, la course du capteur, la vitesse, etc.), et d'engager un mode possiblement dégradé permettant le fonctionnement du capteur avec des performances réduites. Ce mode dégradé permet notamment une détection en utilisant un nombre minimum d'éléments magnéto-sensibles.
- [0118] La [Fig.20] donne une bonne indication d'un calcul de la position globale en utilisant uniquement les signaux issus de 2 sondes déphasées de θ (par exemple le premier couple de sondes 1,2 ou le second couple de sondes 3,4 – graphe de gauche). La position globale (graphe de droite) est obtenue avec un calcul $\text{Atan}(B_z/B_{\theta})$ ou encore avec un $\text{Asin}(\text{Brad})$, dans lequel Brad, B_{θ} et Brz correspondent respectivement à la somme des composantes de champ radial, tangentiel et axial fourni par chacune des deux sondes. La linéarité calculée est $\pm 6^\circ$ sur un tour mécanique complet.
- [0119] La [Fig.21] donne une bonne indication d'un calcul de la position locale en utilisant uniquement les signaux issus de 2 sondes déphasées de la première valeur angulaire θ . La position locale est obtenue avec un calcul $\text{Atan}(B_z/B_{\theta})$ ou encore avec un $\text{Asin}(\text{Brad})$, dans lequel Brad, B_{θ} et Brz correspondent respectivement à la différence des composantes de champ radial, tangentiel et axial fourni par chacune des deux sondes ([Fig.21].b). La linéarité calculée est $\pm 3^\circ$ sur une paire d'incrément, soit $\pm 0.125^\circ$ soit un tour mécanique complet.
- [0120] D'autres combinaisons de composantes de champ permettant d'isoler une position angulaire globale et/ou une position angulaire locale pourront être retenues pour implémenter un mode de détection valide selon les conditions opératoires envisagées.
- [0121] On pourra notamment exploiter, comme cela est représenté sur la [Fig.22] :
 - un premier couple de sondes 1,2 déphasées de la première valeur angulaire θ correspondant à une demi-période du signal porté. Ce premier couple de sondes 1,2 peut être exploité pour déterminer une position locale.

- un second couple de sondes 3,4 déphasées d'une valeur angulaire correspondant à une période du signal. Ce second couple de sondes 3,4 peut être exploité pour déterminer une position globale.
- [0122] le premier couple et le second couple de sonde peuvent dans ce cas être séparé d'une seconde valeur angulaire (bêta) quelconque, par exemple choisie pour être nulle.
- [0123] Une méthode pour déterminer la position angulaire précise selon les mesures angulaires calculées comprendra dans un premier temps le calcul de la position globale et de la position locale. Dans un second temps, une valeur compensée de ces positions angulaires pourra être définie. Finalement un diagnostic de détection peut être effectué afin de valider la mesure et d'engager au besoin un mode dégradé de détection. Les valeurs de vitesse et de direction de rotation seront définies à partir des valeurs angulaires calculées.
- [0124] Selon un mode de réalisation particulier, une fonction mathématique (un polynôme par exemple) pourra être utilisée pour compenser les calculs de valeur angulaire (ou d'excursion linéaire). Chaque incrément sera associé à l'ensemble des coefficients requis pour définir cette fonction (6 coefficients pour un polynôme d'ordre 5) et une combinaison de fonctions.
- [0125] Selon un mode de réalisation particulier, une fonction trigonométrique (ou son équivalent) pourra être utilisée pour compenser les calculs de valeur angulaire (ou d'excursion linéaire). Chaque incrément sera associé à l'ensemble de coefficients requis pour définir cette fonction (par exemple : intensité, période, décalage angulaire, offset), et une combinaison de fonctions.
- [0126] Selon un mode de réalisation particulier, le capteur pourra n'utiliser qu'un nombre très réduit d'éléments magnéto-sensibles aptes à mesurer un ou plusieurs composantes de champ, ou toute combinaison, pour respecter des impératifs d'encombrement ou encore de prix. Cette solution pourra aussi être envisagée pour des détections sur des courses très limitées ($<360^\circ$ pour un capteur rotatif).
- [0127] Conformément à une autre variante, le dispositif de mesure pourra inclure une pluralité de sondes chacune disposée à un point déterminé permettant de doubler ou de tripler le mode de fonctionnement. En calculant une moyenne de l'ensemble des valeurs obtenue par l'ensemble de ces sondes, on pourra obtenir une valeur angulaire moyennée permettant de réduire l'incertitude liée à un ensemble unique de sondes (par exemple un ensemble de 4 sondes aptes à mesure une ou plusieurs composantes de champ). L'utilisation de 5, 6, 7 ou 8 sondes peut ainsi être envisagée, pour réaliser par exemple un capteur totalement redondant pour des applications nécessitant un niveau d'intégrité et de sûreté de fonctionnement maximum (de type ASIL D pour l'automobile). Cela pourra permettre aussi d'enrichir la combinaison des différentes composantes de champ.

- [0128] Bien entendu l'invention n'est pas limitée au mode de mise en œuvre décrit et on peut y apporter des variantes de réalisation sans sortir du cadre de l'invention tel que défini par les revendications.
- [0129] Ainsi, le capteur C peut prendre une configuration linéaire comme montré [Fig.19]. Cette configuration linéaire peut être obtenue en dépliant mentalement une solution obtenue pour une détection angulaire axiale ou radiale. Le profil de champ des différentes composantes de champ étant similaires, le traitement reste identique en prenant soin de bien positionner (espacer linéairement) les jeux d'éléments magnéto-sensibles pour obtenir les première et seconde valeurs angulaires bêta, thêta valides pour l'analyse différentielle.
- [0130] Que le capteur C prenne une forme linéaire ou de disque, les jeux d'éléments magnéto-sensibles peuvent être repositionnés relativement à l'aimant permanent, de sorte que la première valeur angulaire thêta et/ou la seconde valeur angulaire bêta puisse être ajustée(s).
- [0131] Le capteur peut trouver une application pour la mesure de grandeurs additionnelles à celle d'un déplacement angulaire ou linéaire dans un système complexe. Cette grandeur peut correspondre à une force, un couple, une accélération, un freinage, un déphasage, une vitesse d'ensemble, une direction de déplacement, une distance, un nombre de tour, une inertie, un balourd, une vibration, un bruit, un contenu harmonique, une température, une pression, un courant électrique, une tension électrique, un courant électrique, une fréquence, un codage d'information.

Revendications

[Revendication 1]

Capteur de position magnétique (C) sans contact, angulaire ou linéaire, comportant :

- un aimant permanent (A) générant un champ magnétique variant de façon non linéaire suivant la direction de déplacement, ladite variation comportant dans les différentes composantes de champ une combinaison d'au moins un premier signal quasi périodique, dit « signal porté » et d'au moins un deuxième signal quasi périodique, dit « signal porteur », le premier et le deuxième signal étant différents l'un de l'autre,
- au moins un premier couple de sondes (1,2 ;3,4) comprenant une première sonde principale (1 ;3) et une première sonde secondaire (2 ;4), le premier couple étant associé à l'aimant permanent (A) et chaque sonde étant aptes à mesurer au moins deux composantes de champs en un même point ; et
- un circuit de traitement relié aux sondes et configuré pour exploiter certaines au moins des mesures fournies par les sondes et pour délivrer un signal de position représentatif de la position absolue de l'aimant permanent (A),

le capteur étant caractérisé en ce que les deux sondes du premier couple de sondes (1,2) sont séparées d'une première valeur angulaire (θ) correspondant à une demi-période du signal porté pour permettre, par combinaisons différentielles des mesures des composantes de champ, d'isoler un premier signal quasi périodique représentatif d'une position globale et un deuxième signal quasi périodique représentatif d'une position locale.

[Revendication 2]

Capteur de position magnétique (C) selon la revendication précédente comprenant un deuxième couple de sondes (3,4) comprenant une seconde sonde principale (3) et une seconde sonde secondaire (4) séparées d'une valeur angulaire correspondant à une période du signal porté.

[Revendication 3]

Capteur de position magnétique (C) selon la revendication 1 comprenant un deuxième couple de sondes (3,4) comprenant une seconde sonde principale (3) et une seconde sonde secondaire (4), le deuxième couple

de sondes (3,4) étant associé à l'aimant permanent (A) et chaque sonde du deuxième couple de sondes (3,4) étant aptes à mesurer au moins deux composantes de champs en un même point, les deux couples de sondes (1,2 ; 3,4) étant positionnés relativement entre eux de manière à obtenir une mise en quadrature obtenus des signaux par combinaison différentielle.

[Revendication 4] Capteur de position magnétique (C) sans contact selon la revendication précédente dans lequel les sondes du premier couple de sondes (1,2) et les sondes du second couple de sondes (3,4) sont respectivement séparées entre elles d'une seconde valeur angulaire (β) sensiblement égale à un quart de période du signal porteur.

[Revendication 5] Capteur de position magnétique (C) sans contact selon la revendication précédente dans lequel la première valeur angulaire (θ) et/ou la seconde valeur angulaire (β) est ajustable.

[Revendication 6] Capteur de position magnétique (C) sans contact selon l'une des revendications 3 à 5, dans lequel le circuit de traitement établit :

- la mesure de la position globale du capteur en combinant les composantes de champ selon la formule : $\text{Atan2}((\text{Br1}+\text{Bt3})+(\text{Br2}+\text{Bt4}) ; \text{Gain}*((\text{Br3}-\text{Bt1})+(\text{Br4}-\text{Bt2})))$ ou
- la mesure de la position locale du capteur en combinant les composantes de champ selon la formule : $\text{Atan2}((\text{Br3}-\text{Bt1})-(\text{Br4}-\text{Bt2}); \text{Gain}*(\text{Bz1}-\text{Bz2})),$

dans lequel Bri , Bti et Bzi représentent respectivement le champ radial, tangentiel et axial mesuré par une sonde d'indice i et dans lequel Gain est une grandeur choisie de façon à minimiser l'erreur angulaire calculée sur l'excursion du capteur.

[Revendication 7] Capteur de position magnétique (C) sans contact selon l'une des revendications 3 à 6 dans lequel le circuit de traitement établit la mesure de la position locale du capteur en combinant les composantes de champ selon la formule : $\text{Atan2}((\text{Bz3}-\text{Bt1})-(\text{Bz4}-\text{Bt2}) ; \text{Gain}*((\text{Bz1}+\text{Bt3})-(\text{Bz2}+\text{Bt4})))$, dans lequel Bri , Bti et Bzi représentent respectivement le champ radial, tangentiel et axial mesuré par une sonde d'indice i et dans lequel Gain est une grandeur choisie de façon à minimiser l'erreur angulaire calculée sur l'excursion du capteur.

[Revendication 8] Capteur de position magnétique (C) sans contact selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'aimant permanent (A) est un aimant

- multipolaire ou un assemblage d'aimants ou un aimant usiné équivalent.
- [Revendication 9] Capteur de position magnétique (C) sans contact selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel l'aimant permanent (A) est constitué par un ensemble de boucles de courant.
- [Revendication 10] Capteur de position magnétique (C) sans contact selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'aimant permanent (A) est constitué par tout ou partie du rotor d'un moteur électrique, d'un générateur, d'un actionneur, d'un réducteur, d'un coupleur, d'une boîte de vitesse, ou d'un oscillateur.
- [Revendication 11] Capteur de position magnétique (C) sans contact selon l'une des revendications précédentes, dans lequel chaque sonde (1,2;3,4) comprend une pluralité d'éléments magnéto-sensibles choisis dans la liste formée d'une sonde de Hall, d'un élément magnéto-résistif, d'un élément à courant de Foucault, d'une bobine de détection.
- [Revendication 12] Capteur de position magnétique (C) sans contact selon l'une des revendications précédentes dans lequel l'aimant permanent (A) présente une forme de disque, de bague ou de cylindre, les sondes du au moins un couple de sondes (1,2 ;3,4) étant disposées en périphérie de l'aimant.
- [Revendication 13] Capteur de position magnétique (C) sans contact selon l'une des revendications précédentes dans lequel le circuit de traitement est configuré pour exploiter un facteur de compensation angulaire pour corriger les valeurs angulaires calculées.
- [Revendication 14] Capteur de position magnétique (C) sans contact selon la revendication précédente dans lequel la correction des valeurs angulaires calculées se fonde sur des fonctions trigonométriques.
- [Revendication 15] Capteur de position magnétique (C) sans contact selon l'une des deux revendications précédentes dans lequel le circuit de traitement est configuré pour combiner une détection analogique et une détection digitale des composantes de champ.
- [Revendication 16] Utilisation d'un capteur de position magnétique (C) sans contact selon l'une quelconque des revendications précédentes pour la mesure de valeurs additionnelles sur un système complexe, comprenant une force, un couple, une accélération, un freinage, un déphasage, une vitesse d'ensemble, une direction de déplacement, une distance, un nombre de tours, une inertie, un balourd, une vibration, un bruit, un contenu harmonique, une température, une pression, un courant électrique, une tension électrique, un courant électrique, une fréquence, un codage d'information.

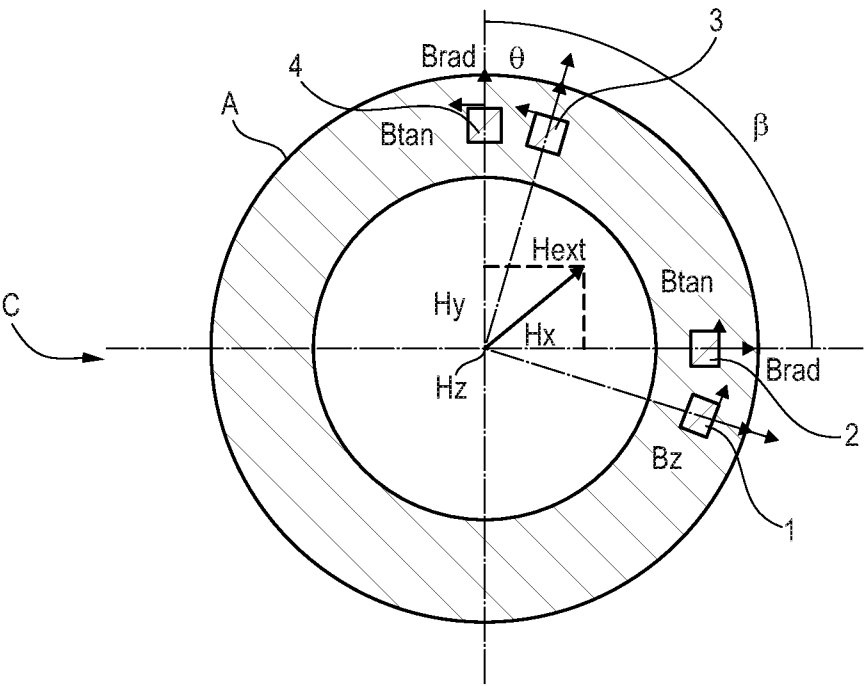


Fig. 1

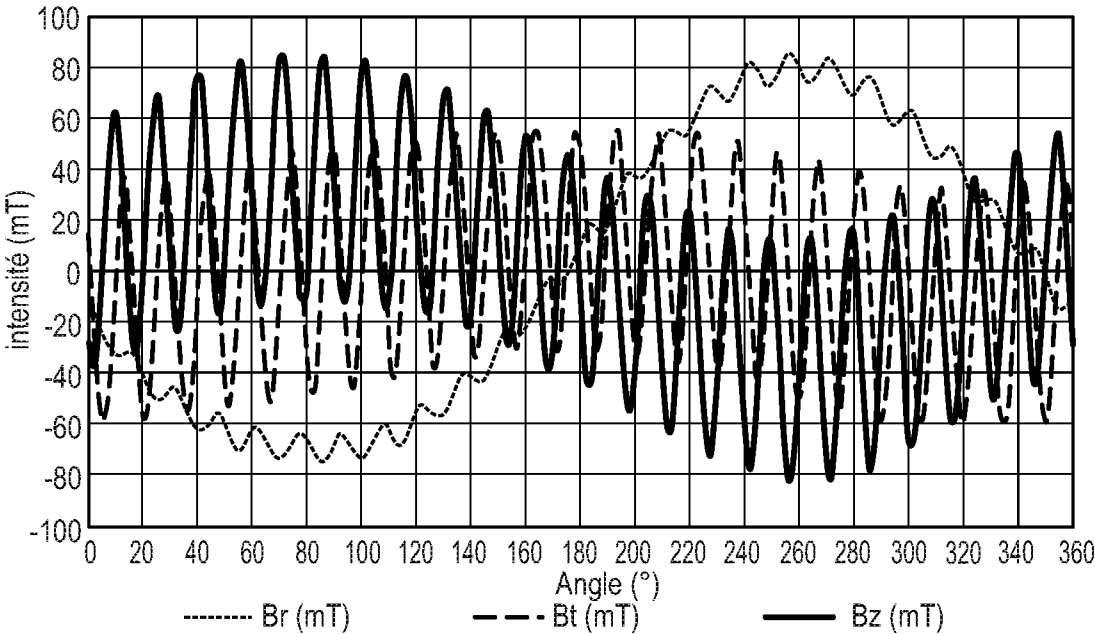


Fig. 2

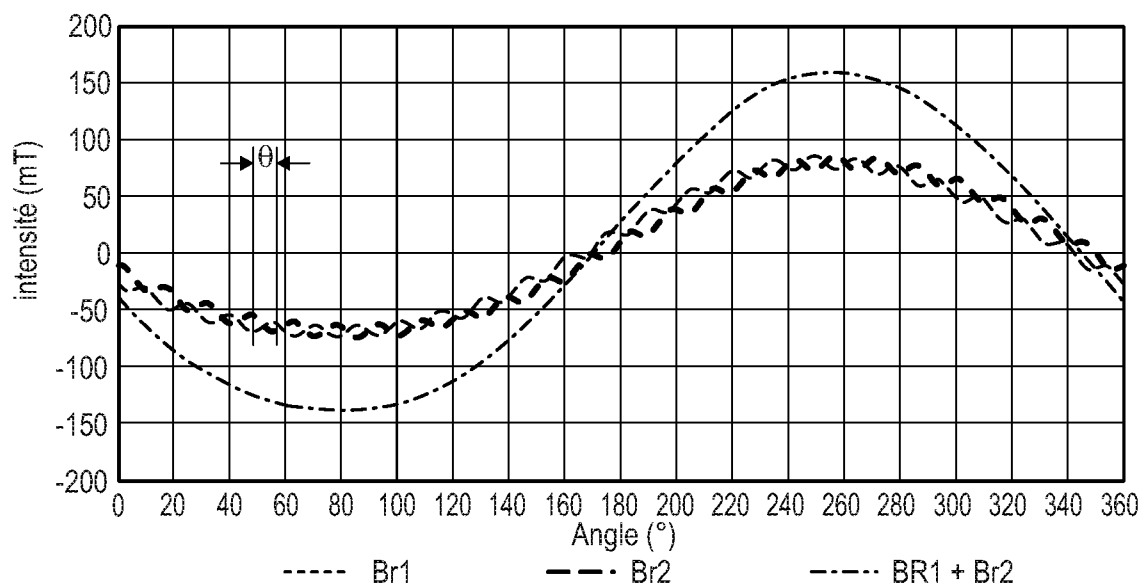


Fig. 3

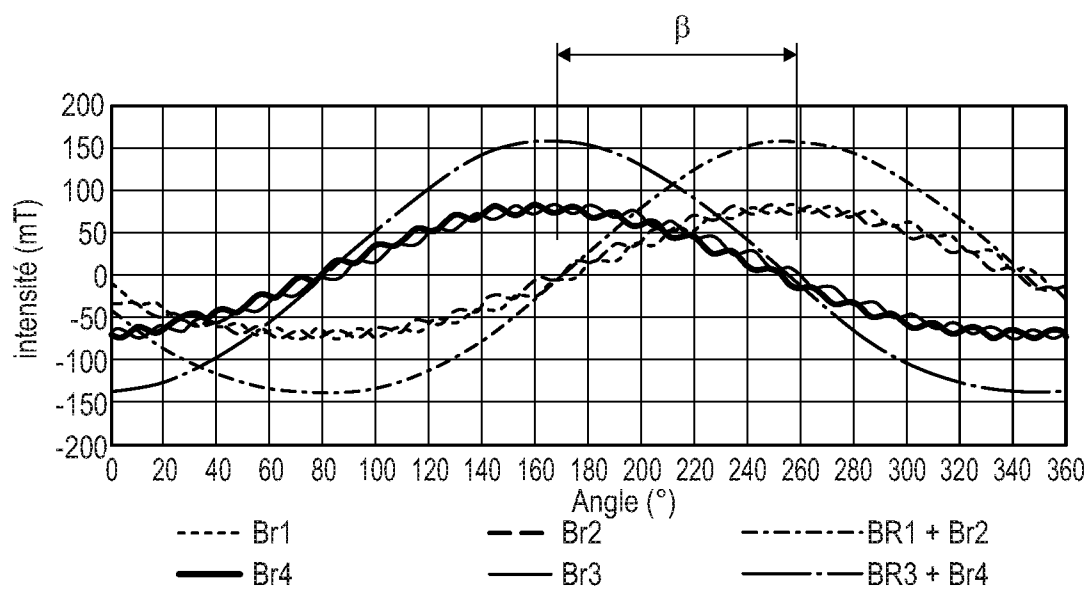


Fig. 4

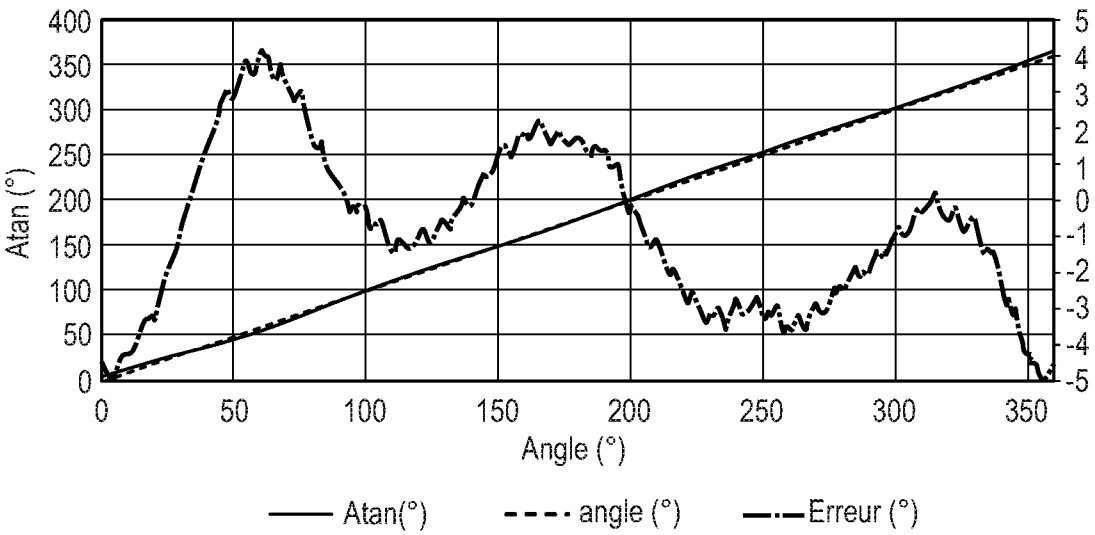


Fig. 5

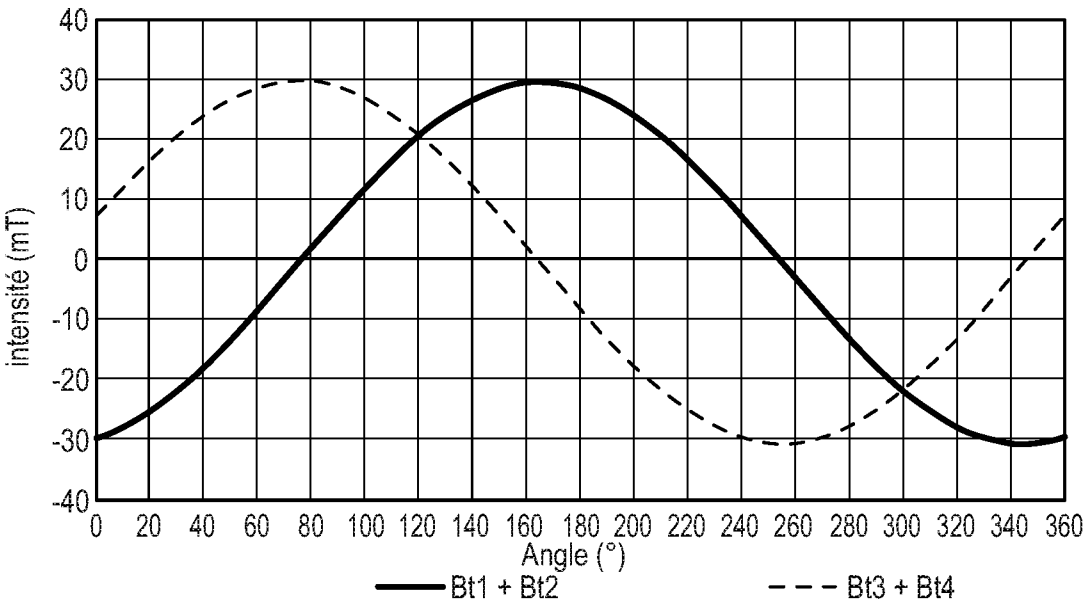


Fig. 6

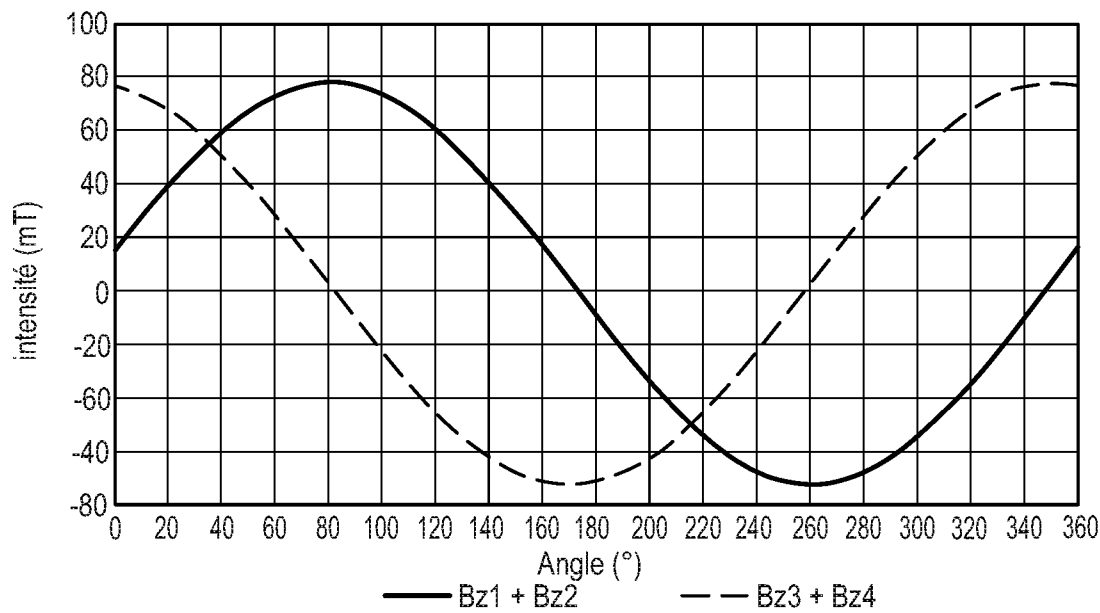


Fig. 7

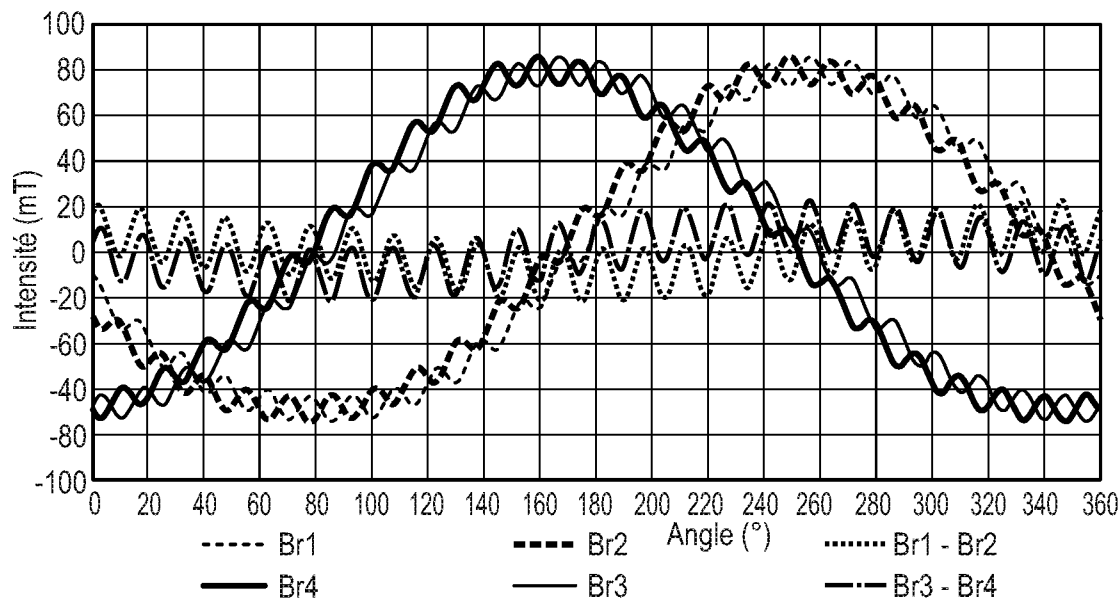


Fig. 8

5/12

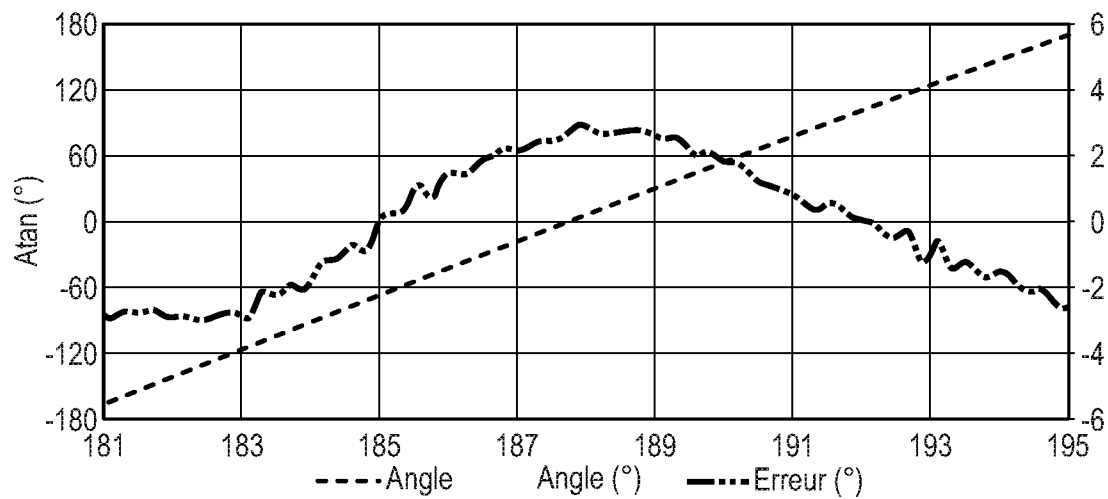


Fig. 9

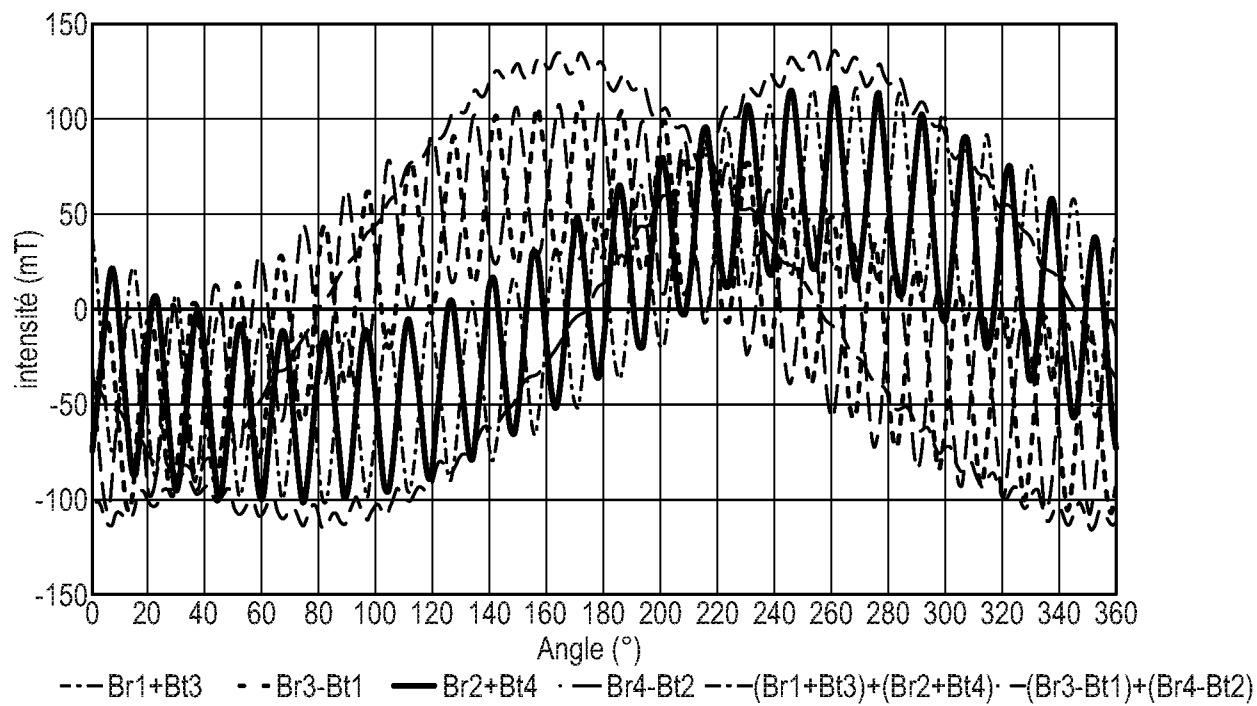


Fig. 10

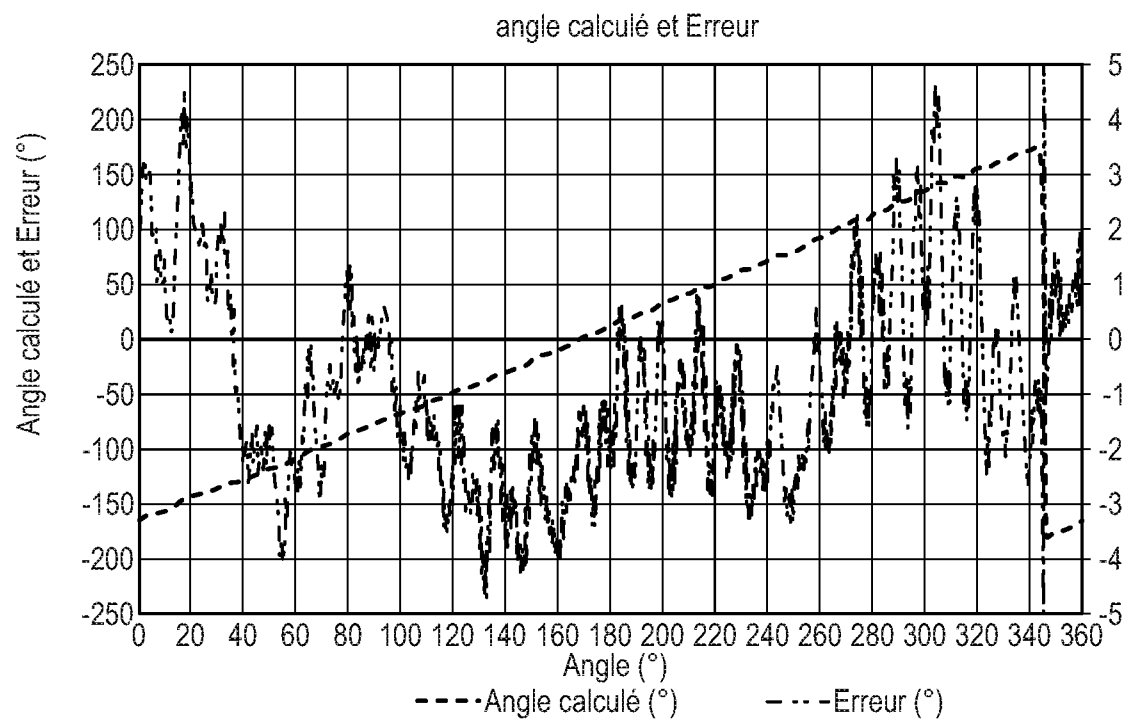


Fig. 11

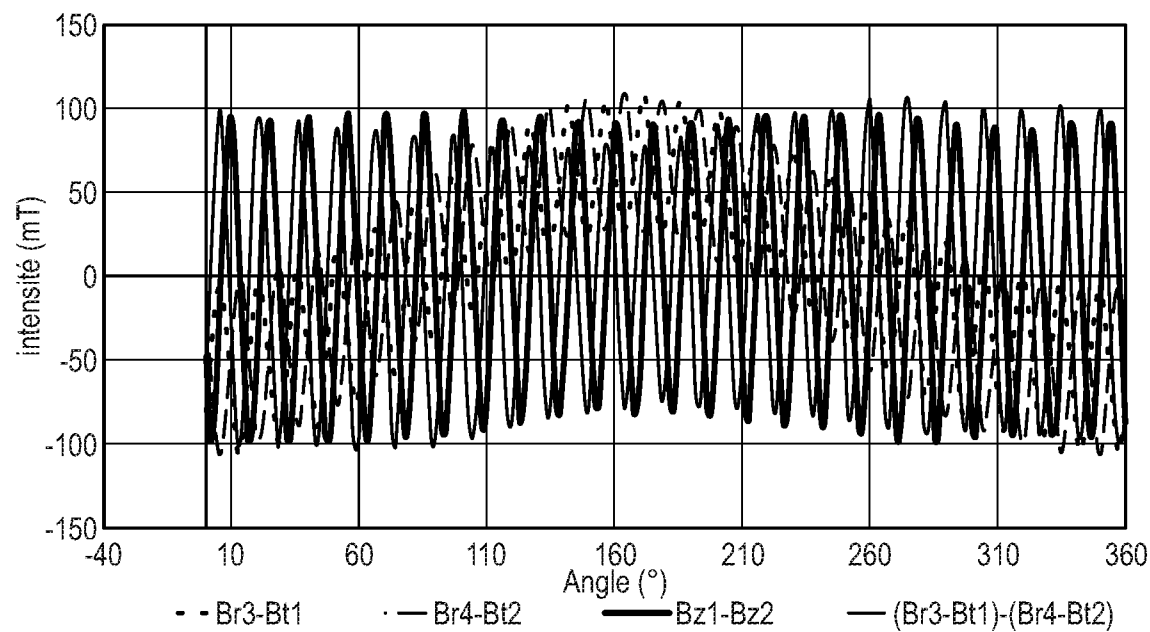


Fig. 12

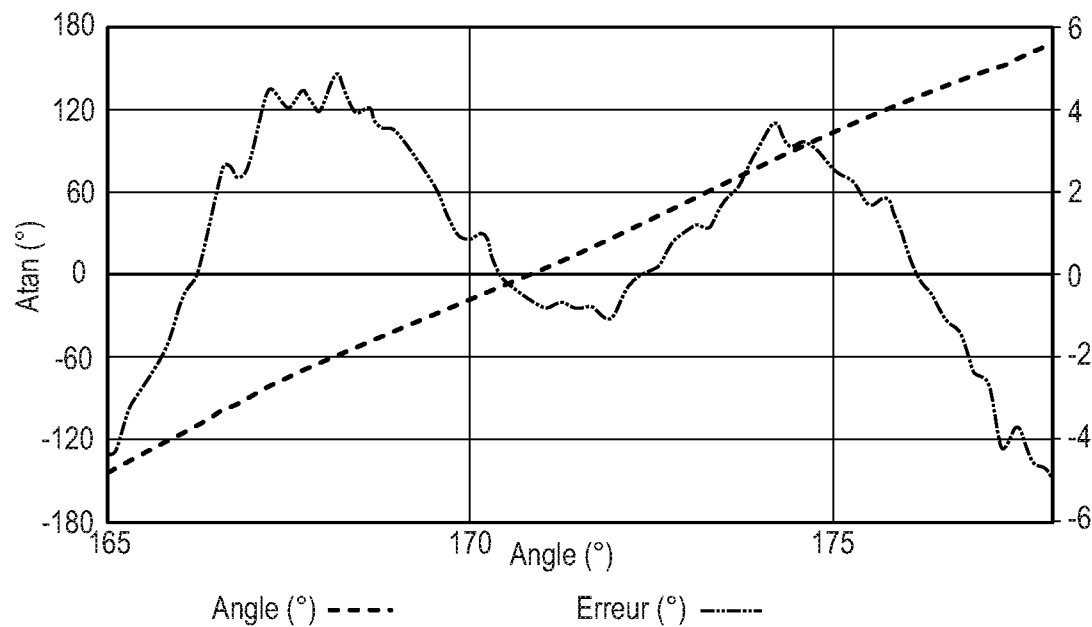


Fig. 13

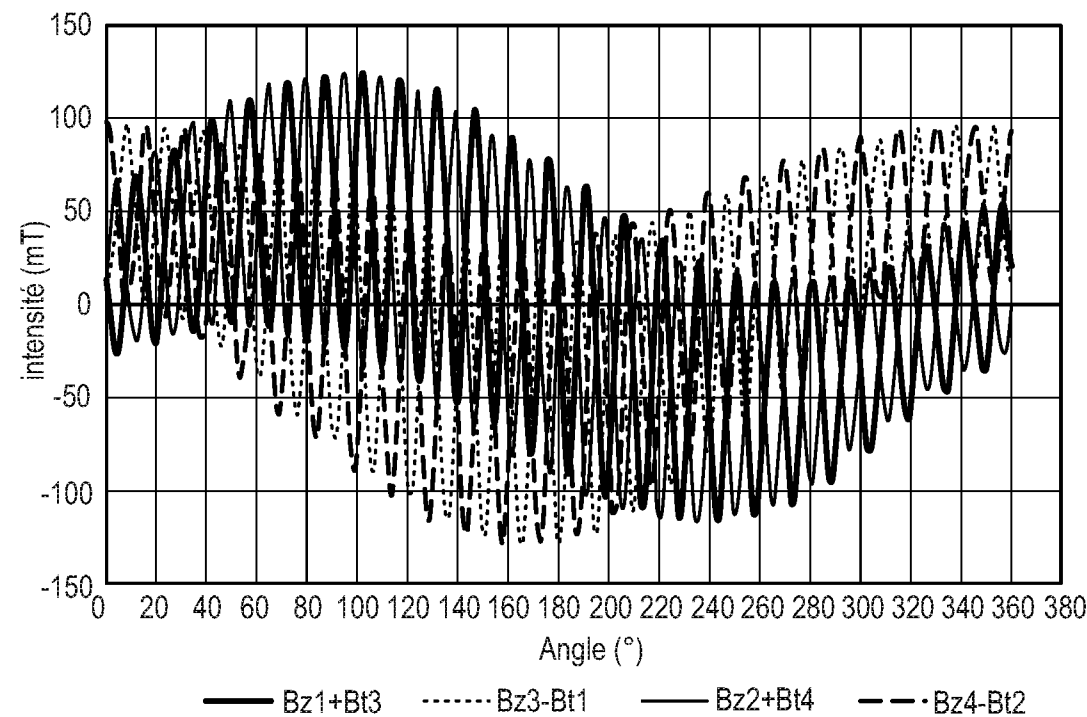


Fig. 14

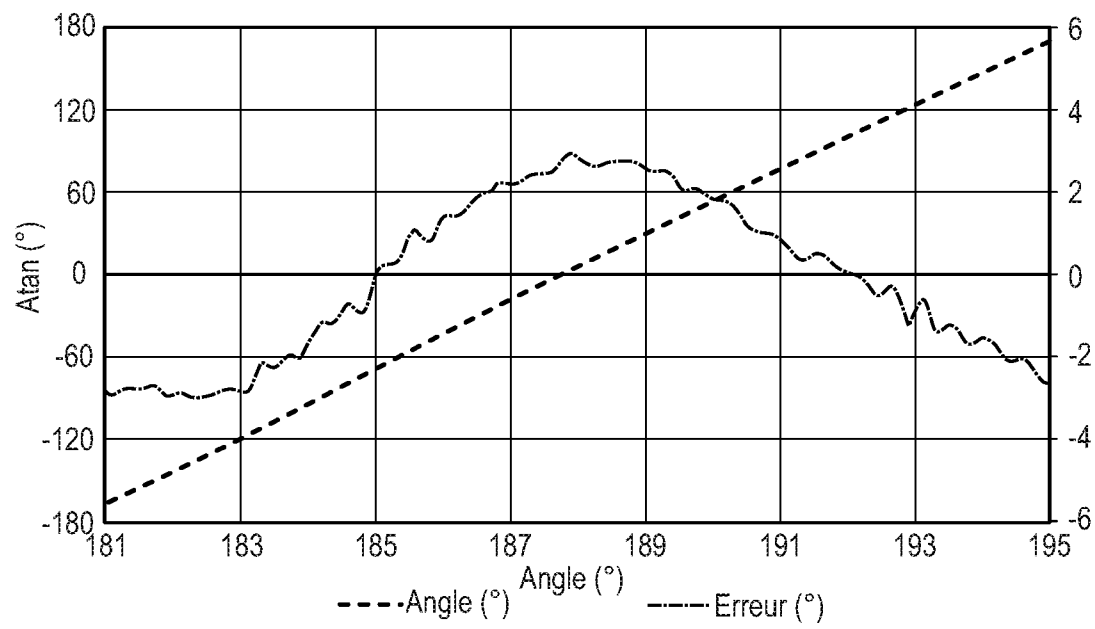


Fig. 15

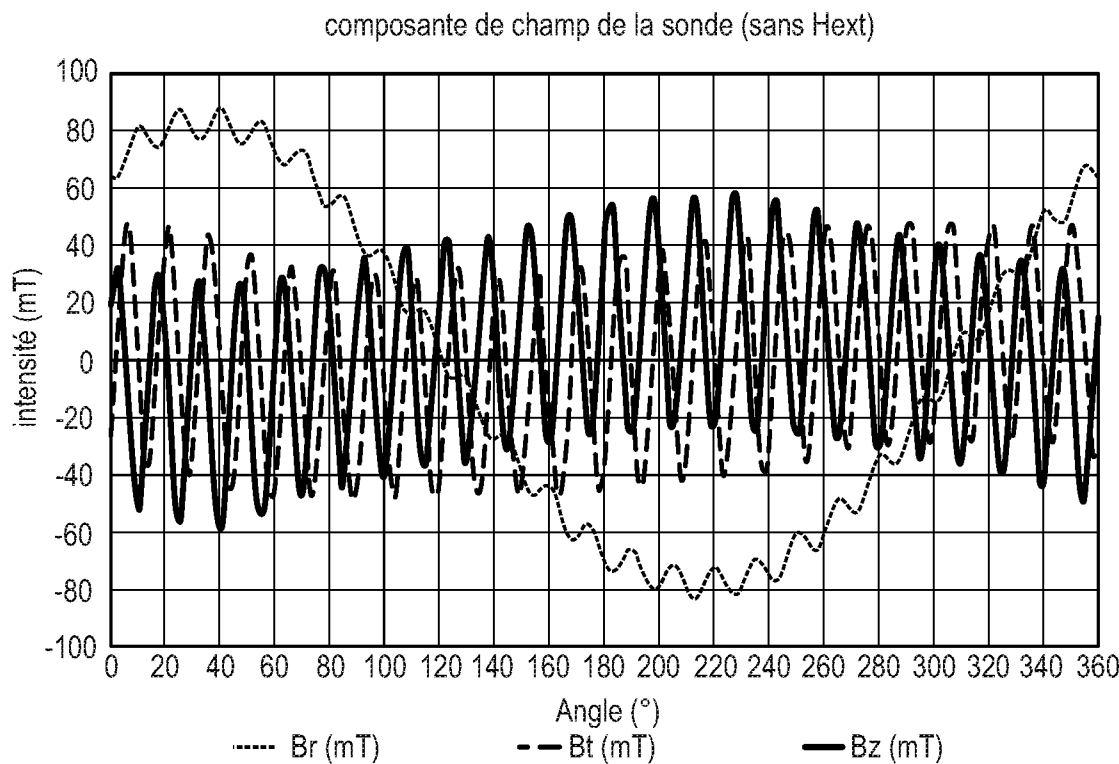


Fig. 16a

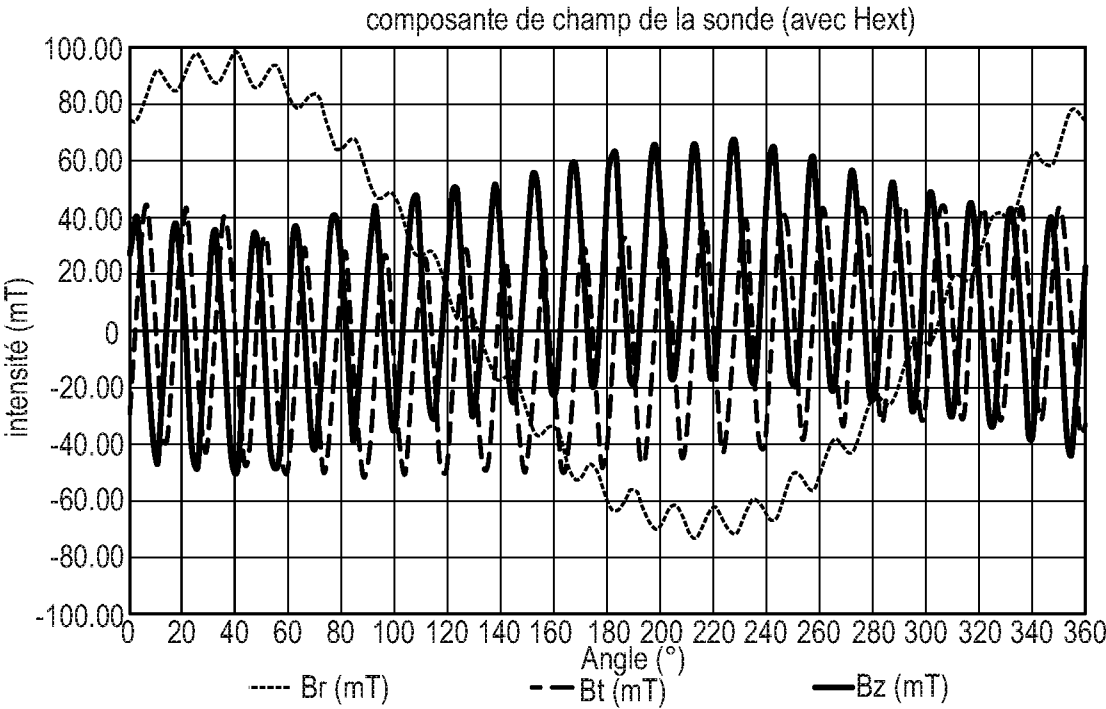


Fig. 16b

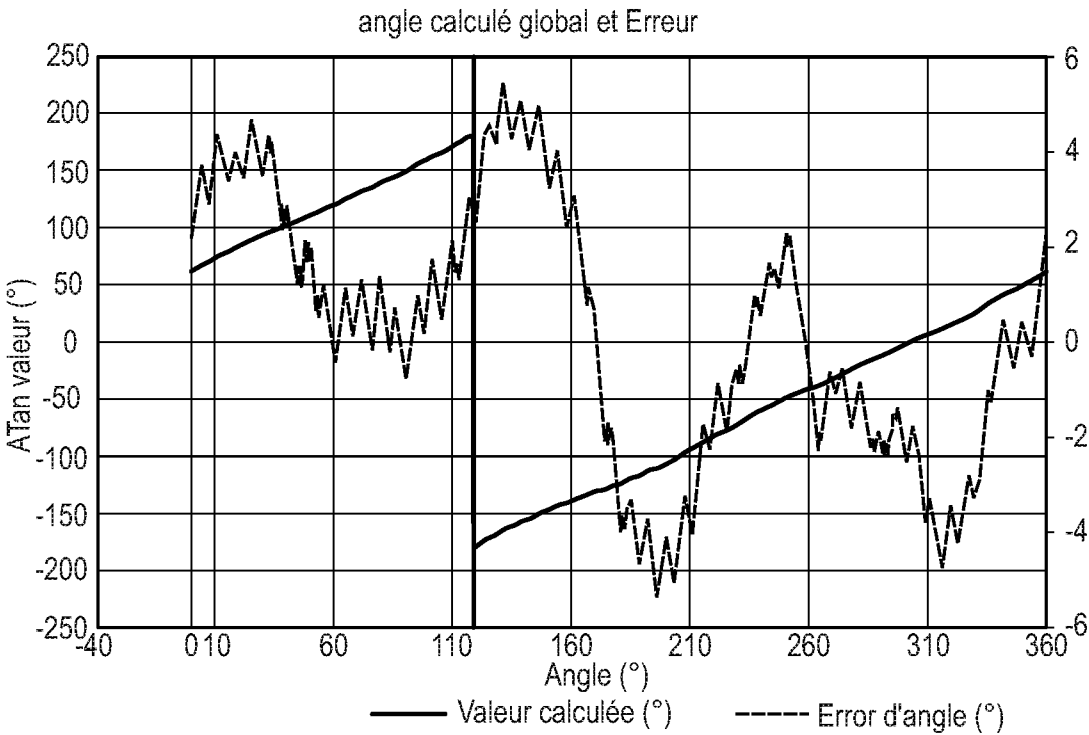


Fig. 17a

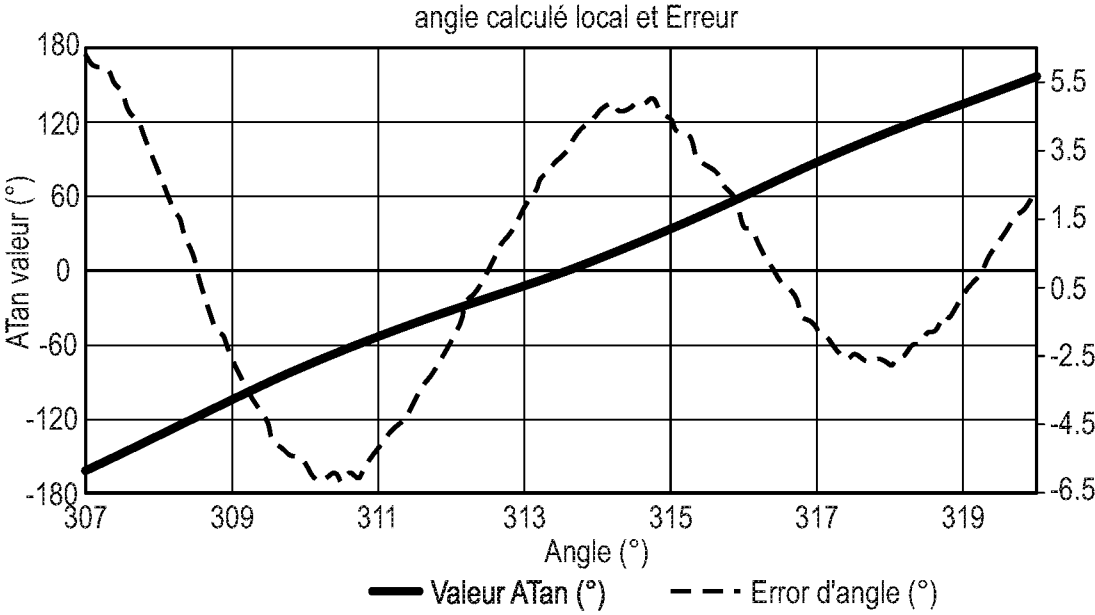


Fig. 17b

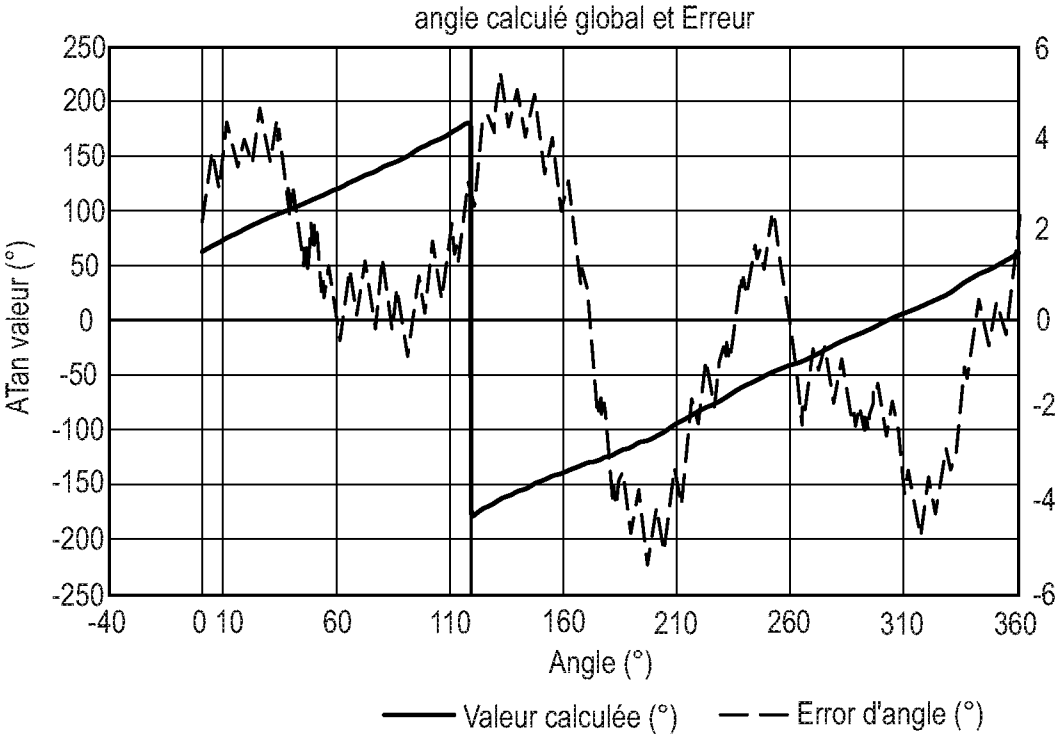


Fig. 18a

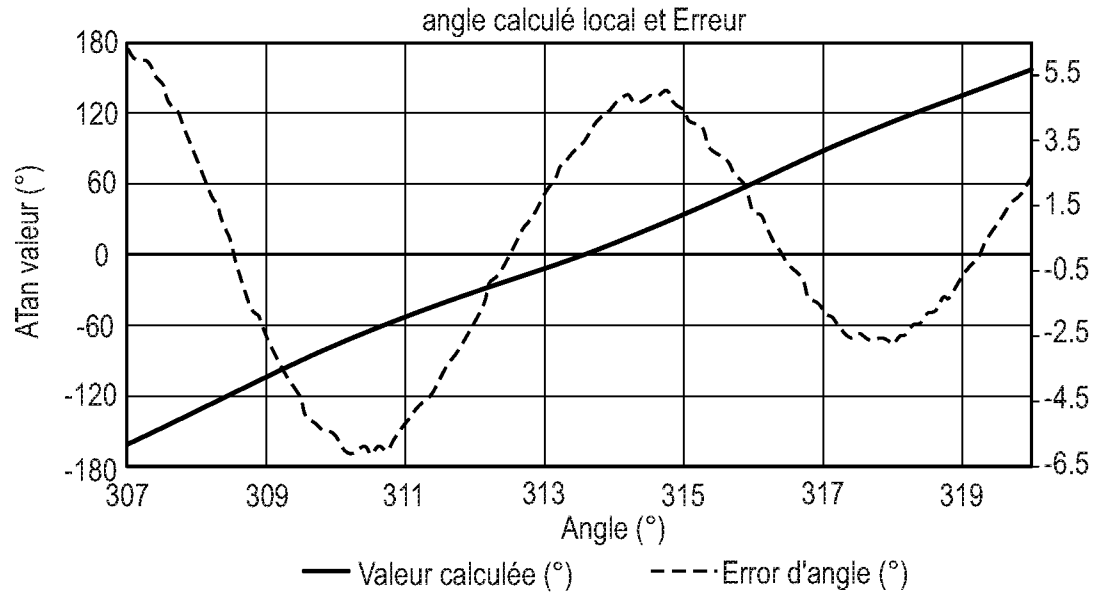


Fig. 18b

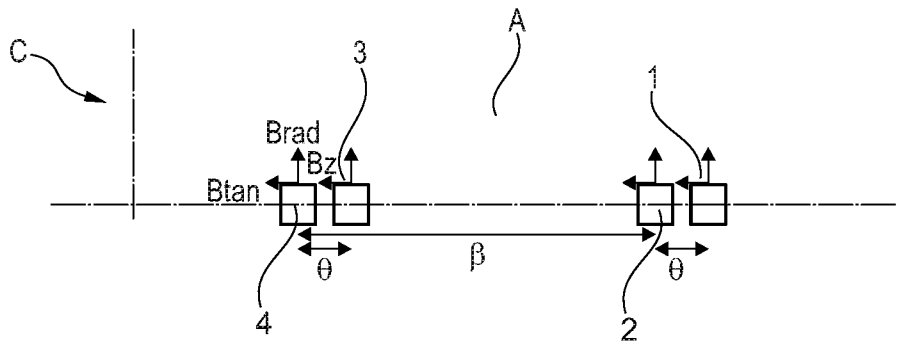


Fig. 19

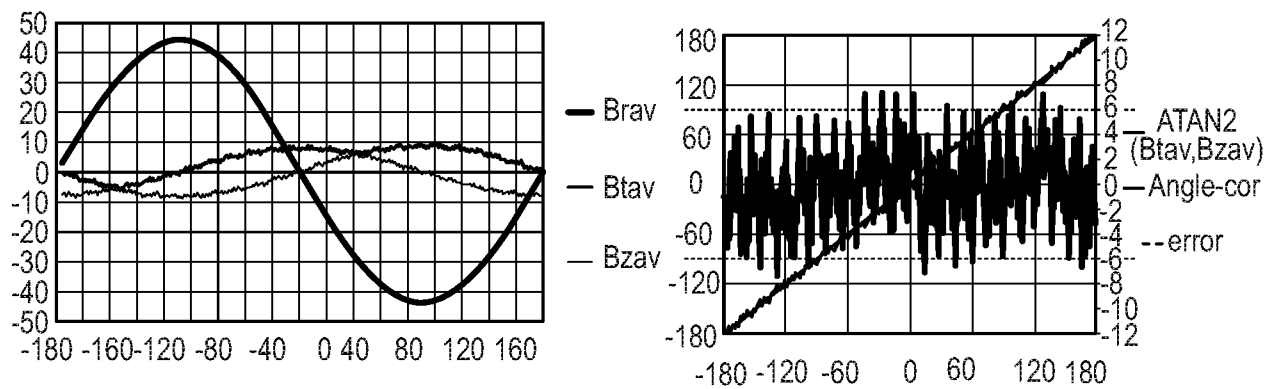


Fig. 20

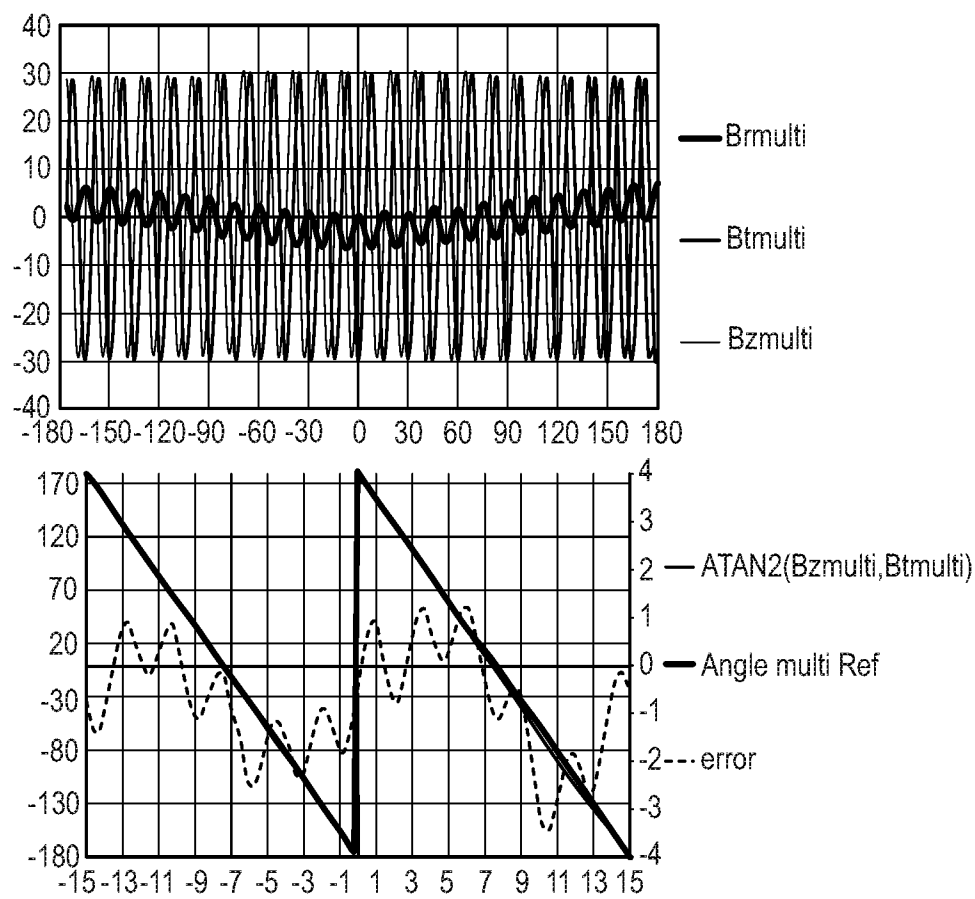


Fig. 21

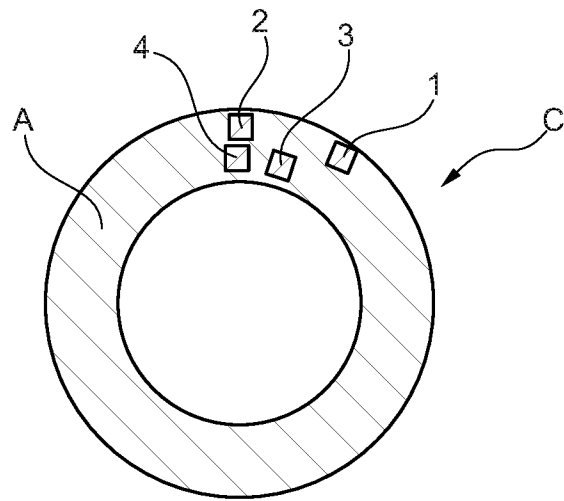


Fig. 22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/076591

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01D 5/14**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR 3118804 A1 (ARLOT RICHARD [FR]) 15 July 2022 (2022-07-15) cited in the application	1,2,8-16
A	page 4, line 4 - page 10, line 12; claims 1,2,15; figures 1-11	3-7
A	EP 0363512 A1 (SIEMENS AG [DE]) 18 April 1990 (1990-04-18) the whole document	1-16
A	EP 3588011 A1 (MELEXIS TECH SA [CH]) 01 January 2020 (2020-01-01) the whole document	1-16
A	FR 2923903 A1 (MOVING MAGNET TECH [FR]) 22 May 2009 (2009-05-22) cited in the application the whole document	1-16
A	WO 2020005160 A1 (AGENCY SCIENCE TECH & RES [SG]) 02 January 2020 (2020-01-02) the whole document	1-16
A	EP 1777501 A1 (GETRAG FORD TRANSMISSIONS GMBH [DE]) 25 April 2007 (2007-04-25) the whole document	1-16



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 December 2023

Date of mailing of the international search report

20 December 2023

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Lyons, Christopher

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2023/076591

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
FR	3118804	A1	15 July 2022	CA	3203870	A1	21 July 2022
				CN	117015690	A	07 November 2023
				EP	4278154	A1	22 November 2023
				FR	3118804	A1	15 July 2022
				KR	20230131295	A	12 September 2023
				WO	2022152996	A1	21 July 2022
EP	0363512	A1	18 April 1990	AT	E75849	T1	15 May 1992
				EP	0363512	A1	18 April 1990
				US	5084674	A	28 January 1992
EP	3588011	A1	01 January 2020	CN	110645882	A	03 January 2020
				EP	3588011	A1	01 January 2020
				EP	4056956	A1	14 September 2022
				US	2019390983	A1	26 December 2019
				US	2021333129	A1	28 October 2021
FR	2923903	A1	22 May 2009	CN	101918797	A	15 December 2010
				EP	2212652	A2	04 August 2010
				ES	2593853	T3	13 December 2016
				FR	2923903	A1	22 May 2009
				JP	5558361	B2	23 July 2014
				JP	2011503630	A	27 January 2011
				KR	20100090272	A	13 August 2010
				KR	20150039213	A	09 April 2015
				US	2012161755	A1	28 June 2012
				WO	2009101270	A2	20 August 2009
WO	2020005160	A1	02 January 2020	EP	3814722	A1	05 May 2021
				US	2021255003	A1	19 August 2021
				WO	2020005160	A1	02 January 2020
EP	1777501	A1	25 April 2007	NONE			

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2023/076591

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. G01D5/14

ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

G01D

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	FR 3 118 804 A1 (ARLOT RICHARD [FR]) 15 juillet 2022 (2022-07-15) cité dans la demande	1, 2, 8-16
A	page 4, ligne 4 – page 10, ligne 12; revendications 1, 2, 15; figures 1-11 -----	3-7
A	EP 0 363 512 A1 (SIEMENS AG [DE]) 18 avril 1990 (1990-04-18) le document en entier -----	1-16
A	EP 3 588 011 A1 (MELEXIS TECH SA [CH]) 1 janvier 2020 (2020-01-01) le document en entier -----	1-16
A	FR 2 923 903 A1 (MOVING MAGNET TECH [FR]) 22 mai 2009 (2009-05-22) cité dans la demande le document en entier -----	1-16
	----- --/--	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

12 décembre 2023

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

20/12/2023

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Lyons, Christopher

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 2020/005160 A1 (AGENCY SCIENCE TECH & RES [SG]) 2 janvier 2020 (2020-01-02) le document en entier -----	1-16
A	EP 1 777 501 A1 (GETRAG FORD TRANSMISSIONS GMBH [DE]) 25 avril 2007 (2007-04-25) le document en entier -----	1-16

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2023/076591

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 3118804	A1	15-07-2022	CA 3203870 A1	21-07-2022
			CN 117015690 A	07-11-2023
			EP 4278154 A1	22-11-2023
			FR 3118804 A1	15-07-2022
			KR 20230131295 A	12-09-2023
			WO 2022152996 A1	21-07-2022
EP 0363512	A1	18-04-1990	AT E75849 T1	15-05-1992
			EP 0363512 A1	18-04-1990
			US 5084674 A	28-01-1992
EP 3588011	A1	01-01-2020	CN 110645882 A	03-01-2020
			EP 3588011 A1	01-01-2020
			EP 4056956 A1	14-09-2022
			US 2019390983 A1	26-12-2019
			US 2021333129 A1	28-10-2021
FR 2923903	A1	22-05-2009	CN 101918797 A	15-12-2010
			EP 2212652 A2	04-08-2010
			ES 2593853 T3	13-12-2016
			FR 2923903 A1	22-05-2009
			JP 5558361 B2	23-07-2014
			JP 2011503630 A	27-01-2011
			KR 20100090272 A	13-08-2010
			KR 20150039213 A	09-04-2015
			US 2012161755 A1	28-06-2012
			WO 2009101270 A2	20-08-2009
WO 2020005160	A1	02-01-2020	EP 3814722 A1	05-05-2021
			US 2021255003 A1	19-08-2021
			WO 2020005160 A1	02-01-2020
EP 1777501	A1	25-04-2007	AUCUN	