

(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 septembre 2004 (30.09.2004)

PCT

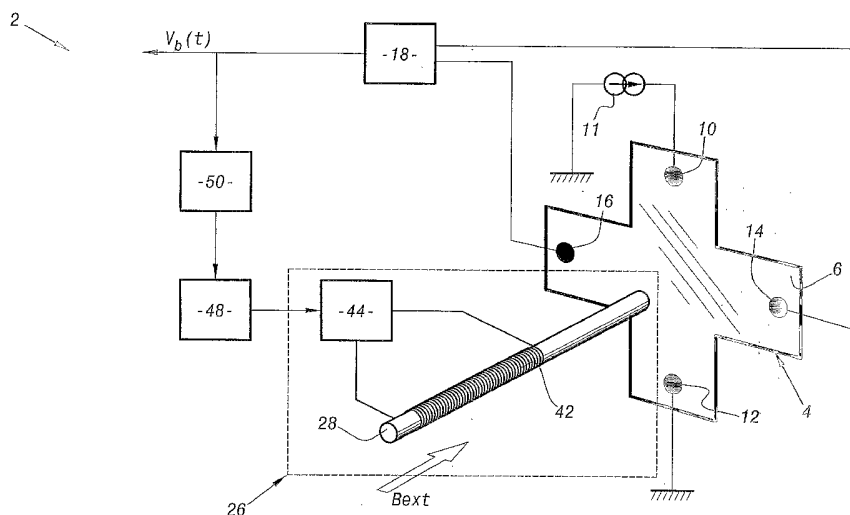
(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/083872 A2

- (51) Classification internationale des brevets⁷ : **G01R**
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2004/000620
- (22) Date de dépôt international : 12 mars 2004 (12.03.2004)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
03/03133 13 mars 2003 (13.03.2003) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (C.N.R.S.) [FR/FR]; 3, rue Michel Ange,
F-75016 Paris (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **BLOYET, Daniel** [FR/FR]; 6, boulevard du Maréchal Juin, F-14050 Caen Cedex (FR). **DOLABDJIAN, Christophe** [FR/FR]; 52, avenue du Maréchal Delattre de Tassigny, F-14000 Caen (FR). **QUASIMI, Ahmed** [FR/FR]; 10, boulevard du Maréchal Juin, F-14000 Caen (FR).
- (74) Mandataires : **FRECHEDE, Michel** etc.; Cabinet Lavoix, 2, place d'Estienne d'Orves, F-75441 Paris Cedex 09 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: SYSTEM FOR MEASURING A LOW-FREQUENCY MAGNETIC FIELD AND SYSTEM FOR MODULATING A MAGNETIC FIELD USED IN SAID MEASURING SYSTEM

(54) Titre : SYSTEME DE MESURE D'UN CHAMP MAGNETIQUE BASSE FREQUENCE ET SYSTEME DE MODULATION D'UN CHAMP MAGNETIQUE MIS EN ŒUVRE DANS LE SYSTEME DE MESURE



(57) Abstract: The invention relates to a system for measuring a low-frequency or continuous magnetic field. The inventive system comprises: a source (42, 44) which can create a high-frequency magnetic field that is intended to be amplitude modulated, said high-frequency magnetic field being combined with the magnetic field to be measured in order to create a resultant magnetic field having an amplitude which is a function of the value of the magnetic field to be measured and of the amplitude of the high-frequency magnetic field; an element which is made from magnetic material (28) and which is placed in the resultant magnetic field; and a magnetic field sensor (4) which is associated with the magnetic element (28), such as to measure the magnetic field created around said element by the resultant magnetic field.

[Suite sur la page suivante]

WO 2004/083872 A2



PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasiatique (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) **Abrégé :** Ce système de mesure d'un champ magnétique continu ou basse fréquence comporte : une source (42, 44) apte à créer un champ magnétique haute fréquence destiné à être modulé en amplitude, ce champ magnétique haute fréquence se combinant avec le champ magnétique à mesurer pour créer un champ magnétique résultant dont l'amplitude est fonction à la fois de la valeur du champ magnétique à mesurer et de l'amplitude du champ magnétique haute fréquence, un élément en matériau magnétique (28) placé dans le champ magnétique résultant, et un capteur de champs magnétiques (4) associé à l'élément en matériau magnétique (28) de manière à mesurer le champ magnétique créé à l'abord de cet élément par le champ magnétique résultant.

Système de mesure d'un champ magnétique basse fréquence
et système de modulation d'un champ magnétique mis en œuvre dans le
système de mesure.

5 L'invention concerne un système de mesure de champs magnétiques continus ou basses fréquences comportant :

- un capteur de champs magnétiques,
- un dispositif pour décaler le spectre du champ magnétique à mesurer vers des fréquences plus élevées, ce dispositif comportant :

10 - un élément en matériau magnétique dont la perméabilité est susceptible de varier entre au moins deux valeurs différentes en fonction de l'amplitude du champ magnétique dans lequel il est placé, et

- une source de champs magnétiques indépendante du champ magnétique à mesurer.

15 L'invention a également pour objet un système de modulation d'un champ magnétique haute fréquence en fonction d'un champ magnétique basse fréquence mis en œuvre dans ce système de mesure.

De tels systèmes de mesure permettent d'améliorer la sensibilité des capteurs de champs magnétiques conventionnels pour mesurer des champs magnétiques continus ou basses fréquences, c'est-à-dire de quelques Hertz et, généralement, moins de 100 kHz. Dans la suite de la description, le terme "basse fréquence" désigne aussi bien un champ alternatif basse fréquence qu'un champ magnétique de fréquence nulle, c'est-à-dire un champ magnétique continu.

25 Il est connu que la sensibilité des capteurs de champs magnétiques est limitée par un bruit de fond blanc lié à des phénomènes thermiques. La puissance de ce bruit de fond blanc est sensiblement constante, quelle que soit la fréquence considérée. A ce bruit de fond blanc se superpose un bruit excédentaire pour les basses fréquences. Dès lors, pour qu'un champ magnétique haute fréquence puisse être mesuré, il suffit que sa puissance soit supérieure à celle du bruit de fond blanc. Par contre, pour qu'un champ magnétique basse fréquence puisse être mesuré, il faut que sa puissance soit supérieure à celle du bruit de fond blanc cumulée à celle du bruit excédentaire.

30

Ainsi, la sensibilité des capteurs de champs magnétiques se dégrade de façon importante vers les basses fréquences.

Pour remédier à ce problème, des systèmes de mesure associent aux capteurs de champs magnétiques des dispositifs pour décaler le spectre du champ magnétique basse fréquence vers des fréquences plus élevées où le bruit excédentaire n'existe pas.

Un tel système est divulgué dans la demande de brevet US-A-4 963 827. Dans ce système, le dispositif pour décaler le spectre appelé "Chopper" est formé d'une source de champs magnétiques hautes fréquences et d'un tube en matériau ferromagnétique dur placé dans le champ magnétique haute fréquence. L'amplitude du champ magnétique haute fréquence est choisie de manière à saturer le matériau ferromagnétique avec une fréquence double de celle du champ magnétique haute fréquence. Cette saturation alternative du matériau ferromagnétique correspond à une variation de la perméabilité de ce matériau entre une valeur μ_1 pour laquelle le matériau est saturé et donc transparent aux champs magnétiques extérieurs, et une valeur μ_2 pour laquelle le matériau est opaque aux champs magnétiques et forme donc un écran.

Dans ce système, le capteur est placé à l'intérieur du tube et le tube est exposé au champ magnétique basse fréquence à mesurer.

Dès lors, lorsque la source de champs magnétiques hautes fréquences est activée, le champ magnétique basse fréquence ne peut atteindre le capteur que lorsque le tube est transparent aux champs magnétiques extérieurs. Ainsi, le dispositif "Chopper" hache le champ magnétique basse fréquence à une fréquence double du champ magnétique haute fréquence et seul ce champ magnétique haché est mesuré par le capteur. Le champ magnétique haché peut être vu comme une modulation en amplitude du champ magnétique haute fréquence en fonction du champ magnétique basse fréquence. Dès lors, ce système permet de décaler le spectre du champ magnétique basse fréquence vers des fréquences plus élevées, ici, deux fois celle du champ magnétique haute fréquence et donc de bénéficier de la meilleure sensibilité du capteur pour ces fréquences plus élevées.

Ce système nécessite la réalisation d'un écran magnétique commandable entourant le capteur. Ceci peut s'avérer difficile à réaliser et d'un encombrement important.

L'invention vise à remédier à cet inconvénient en proposant un système de mesure présentant les mêmes avantages, mais sans utiliser un écran magnétique commandé.

L'invention a donc pour objet un système de mesure de champ magnétique à basse fréquence, caractérisé :

- en ce que ladite source est apte à créer un champ magnétique haute fréquence destiné à être modulé en amplitude, ce champ magnétique haute fréquence se combinant avec le champ magnétique à mesurer pour créer un champ magnétique résultant fonction à la fois du champ magnétique à mesurer et du champ magnétique haute fréquence,

- en ce que l'élément en matériau magnétique est placé dans le champ magnétique résultant, et

- en ce que le capteur de champs magnétiques est associé à l'élément en matériau magnétique de manière à mesurer un champ magnétique fonction du champ magnétique créé à l'intérieur de cet élément par le champ magnétique résultant.

L'amplitude du champ magnétique résultant B_{app} correspond à la somme vectorielle du champ magnétique basse fréquence B_{ext} et du champ magnétique haute fréquence B_a . L'amplitude du champ B_{app} présente donc une composante haute fréquence et une composante basse fréquence.

Sur un bref intervalle d'observation, par exemple, égal à une période du champ magnétique haute fréquence B_a , il est possible de considérer que la composante basse fréquence est constante et que seule la composante haute fréquence varie autour de cette valeur constante.

Le matériau magnétique est placé dans ce champ B_{app} . La perméabilité apparente de ce matériau magnétique est susceptible de varier entre deux valeurs différentes μ_1 et μ_2 en fonction de l'amplitude du champ magnétique dans lequel il est placé, c'est-à-dire, ici, le champ B_{app} . Il existe donc un seuil B_t en-dessous duquel la perméabilité apparente du matériau

magnétique est égale à μ_1 et au-dessus duquel la perméabilité apparente du matériau magnétique est égale à μ_2 .

Lorsque l'amplitude du champ B_{app} est inférieure au seuil B_t , le capteur mesure un champ proportionnel à $\mu_1 \times B_{app}$, tandis que lorsque
5 l'amplitude du champ B_{app} est supérieure au seuil B_t , le capteur mesure un champ proportionnel à $\mu_2 \times B_{app}$. Sur le court intervalle d'observation choisi, les variations de l'amplitude du champ B_{app} sont essentiellement causées par les variations du champ B_a . Ainsi, le fait que la perméabilité du matériau magnétique varie en fonction du champ magnétique dans lequel il est placé
10 permet de modifier l'amplitude de la composante haute fréquence du champ mesuré par le capteur. Par exemple, si $\mu_2 < \mu_1$, dès que le seuil B_t est franchi, l'amplitude de la composante haute fréquence du champ mesuré est inférieure à celle qui aurait été mesurée si la perméabilité du matériau magnétique ne variait pas. Dans ce cas, la composante haute fréquence mesurée est écrêtée
15 dès que le seuil B_t est franchi.

Le temps pendant lequel le champ mesuré est proportionnel à $\mu_2 \times B_{app}$ est fonction de la valeur de l'amplitude du champ B_{ext} . En effet, plus la valeur de l'amplitude du champ B_{ext} est proche, voire supérieure au seuil B_t , plus l'amplitude du champ résultant B_{app} reste longtemps au-dessus du seuil B_t .
20 Ainsi, le système décrit ci-dessus permet de modifier l'amplitude de la composante haute fréquence mesurée en fonction de l'amplitude du champ B_{ext} . Le système décrit ci-dessus réalise donc une modulation en amplitude de la composante haute fréquence mesurée par le capteur en fonction du champ B_{ext} sans pour autant utiliser d'écran magnétique
25 commandé.

Suivant d'autres caractéristiques du système conforme à l'invention :

- la courbe représentant la valeur de la perméabilité de l'élément en matériau magnétique en fonction de l'amplitude du champ magnétique dans lequel il est placé, présente au moins deux plateaux de valeur de perméabilité
30 sensiblement constante reliés entre eux par une pente correspondant à une amplitude de cassure du champ magnétique, et la source est également apte à créer un champ magnétique supplémentaire qui se combine au champ magnétique à mesurer de manière à rapprocher l'amplitude de la composante

continue ou basse fréquence du champ magnétique résultant de l'amplitude de cassure ;

- il comporte un dispositif d'asservissement de l'amplitude du champ magnétique supplémentaire pour maintenir la composante continue ou basse
5 fréquence du champ magnétique résultant égale à l'amplitude de cassure à une erreur près, cette erreur étant proportionnelle aux variations du champ
- magnétique à mesurer ;

- l'amplitude du champ magnétique haute fréquence est sensiblement égale à l'amplitude de cassure ;

10 - ledit élément en matériau magnétique a une forme d'antenne pour accroître la densité du flux magnétique du champ magnétique à mesurer reçu par le capteur de champs magnétiques ;

- ledit élément en matériau magnétique se présente sous la forme d'au moins une barre cylindrique formant ladite antenne ;

15 - la source de champs magnétiques comporte un bobinage s'étendant autour de ladite au moins une barre cylindrique ;

- le capteur de champs magnétiques présente une fréquence de recouvrement en dessous de laquelle la sensibilité du capteur décroît, et ladite
fréquence du champ magnétique haute fréquence est au moins égale à deux
20 fois cette fréquence de recouvrement ;

- l'élément en matériau magnétique est en matériau ferromagnétique doux.

L'invention a également pour objet un système de modulation en amplitude d'un champ magnétique haute fréquence par un champ magnétique
25 continu ou basse fréquence, caractérisé en ce qu'il comporte :

- une source apte à créer le champ magnétique haute fréquence destiné à être modulé en amplitude, ce champ magnétique haute fréquence se combinant avec le champ magnétique continu ou basse fréquence pour créer un champ magnétique résultant fonction à la fois du
30 champ magnétique continu ou basse fréquence et du champ magnétique haute fréquence,

- un élément en matériau magnétique placé dans le champ magnétique résultant, la perméabilité de ce matériau magnétique étant

susceptible de varier entre au moins deux valeurs différentes en fonction de l'amplitude du champ magnétique dans lequel il est placé, et

- un capteur de champs magnétiques associé à l'élément en matériau magnétique de manière à mesurer le champ magnétique créé à l'intérieur de cet élément par le champ magnétique résultant, le champ magnétique mesuré correspondant au champ magnétique haute fréquence modulé en fonction du champ magnétique continu ou basse fréquence.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et faite en se référant aux dessins, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique d'un système conforme à l'invention ;

- la figure 2 est un graphique représentant la valeur asymptotique de la perméabilité apparente d'un matériau magnétique mis en œuvre dans le système de la figure 1 pour différents champs magnétiques ;

- la figure 3 est un graphique représentant l'évolution de la valeur du champ magnétique mesuré dans le système de la figure 1, et

- la figure 4 est une vue schématique d'une variante du système de la figure 1.

La figure 1 représente un système de mesure des variations d'amplitude d'un champ magnétique basse fréquence B_{ext} désigné par la référence générale 2.

Le système 2 comporte un capteur conventionnel 4 de champ magnétique à effet Hall de taille micrométrique, également connu sous le terme de "µ-sonde de Hall". Ce capteur 4 est par exemple formé sur une couche conductrice modérément dopée.

Plus précisément, ce capteur 4 présente une face active plane 6 en forme de croix grecque à quatre branches rectangulaires. La face active 6 est représentée comme étant verticale dans la vue en perspective de la figure 1.

Chaque branche mesure typiquement entre 160 et 320 µm de long et présente une largeur comprise entre 40 et 80 µm.

La face active 6 d'un tel capteur de champ magnétique est uniquement sensible à la composante du champ magnétique perpendiculaire à celle-ci.

Les branches destinées à être traversées par un courant I sont ici alignées sur la verticale, tandis que les branches entre lesquelles est mesurée une tension sont alignées sur l'horizontale.

La branche verticale supérieure est raccordée, par l'intermédiaire d'une borne de raccordement 10, à une source de courant 11. La branche verticale inférieure est raccordée par une borne de raccordement 12 à la masse.

Les deux branches horizontales sont raccordées, par l'intermédiaire de bornes de raccordement respectives 14 et 16, aux entrées d'un détecteur synchrone 18 de tension.

Ce détecteur 18 est apte à mesurer l'amplitude de la fréquence fondamentale du signal de tension reçu à ses entrées. Cette amplitude est notée, ici, $V_b(t)$.

Ce capteur 4 présente, comme tous les capteurs magnétiques conventionnels, un bruit de fond dont l'amplitude est uniformément répartie et un bruit excédentaire venant s'ajouter au bruit de fond pour les basses fréquences. Ce bruit excédentaire est également connu sous le terme anglais de "1/f noise". La fréquence à partir de laquelle le bruit excédentaire commence à apparaître est appelée ici fréquence de recouvrement.

De manière à améliorer la sensibilité de ce capteur 4 pour les basses fréquences, le système 2 comporte un dispositif 26 pour décaler le spectre de fréquences du champ magnétique basse fréquence B_{ext} à mesurer vers des fréquences plus élevées.

A cet effet, le dispositif 26 comporte un élément tel qu'une antenne 28 en matériau ferromagnétique doux associée à une source de champs magnétiques hautes fréquences. Les matériaux ferromagnétiques doux ont l'avantage, par rapport à d'autres matériaux magnétiques possibles, de ne pas présenter d'hystérésis lors des variations de champs magnétiques.

L'antenne 28 est, par exemple, une barre cylindrique de section ronde ou carrée. Cette barre cylindrique est disposée perpendiculaire à la face active 6 et sensiblement au centre de celle-ci.

De manière à ce que le capteur 4 mesure essentiellement le champ magnétique capté par l'antenne 28, l'extrémité de cette barre tournée vers la face active est soit en contact avec celle-ci, soit aux abords de celle-ci, c'est-à-dire espacée de quelques micromètres de celle-ci. Par exemple, l'antenne 28 est, ici, espacée de $7,5 \mu\text{m} \pm 2,5 \mu\text{m}$ de la face active 6.

La quantité de flux magnétique captée par cette antenne 28 et transmise au capteur 4 est fonction de la forme et du matériau de cette antenne. En particulier, la quantité de flux magnétique captée est fonction principalement de la perméabilité du matériau magnétique et du rapport de la longueur sur le diamètre de l'antenne. Dans la suite de cette description, le terme perméabilité seul est employé pour désigner la perméabilité apparente.

De préférence, la longueur de l'antenne 28 est grande par rapport à son diamètre. Typiquement, la longueur de l'antenne 28 est comprise entre 3 mm et 20 mm, tandis que son diamètre est compris entre $15 \mu\text{m}$ et $45 \mu\text{m}$ pour des capteurs "μ-sonde deHall". Ce diamètre est de l'ordre de la taille de la surface active du capteur 4.

Dans l'exemple de mode de réalisation décrit ici, la longueur de l'antenne 4 est de 5 mm, tandis que son diamètre est de $30 \mu\text{m}$, dans le cas où les branches présentent chacune une dimension de 160 sur $40 \mu\text{m}$.

La perméabilité du matériau magnétique de l'antenne 28 varie en fonction de l'amplitude du champ magnétique B_{app} dans lequel il est placé. Ici, la courbe (Figure 2) représentant la perméabilité en fonction de l'amplitude du champ B_{app} présente successivement trois plateaux 36, 38 et 40 de valeur sensiblement constante. Les plateaux 36 et 40 correspondent à une valeur de la perméabilité μ_2 , tandis que le plateau 38 correspond à une valeur de la perméabilité μ_1 . μ_1 est très nettement supérieur à μ_2 .

Le plateau 36 couvre toutes les valeurs négatives jusqu'à un seuil $-B_t$. Au niveau de ce seuil $-B_t$, la perméabilité augmente brusquement pour atteindre le plateau 38. Le plateau 38 s'étend du seuil $-B_t$ jusqu'à un seuil B_t .

Au niveau de ce seuil B_t , la valeur de la perméabilité décroît brusquement pour atteindre le plateau 40. Le plateau 40 s'étend à l'infini à partir du seuil B_t .

Ici, pour simplifier l'illustration, la pente reliant les différents plateaux a été représentée comme verticale et correspond donc à un seuil unique B_t .
5 Toutefois, en réalité, cette pente n'est pas parfaitement verticale..

De manière à accroître la quantité de flux magnétique captée par l'antenne 28 et transmise au capteur 4, le matériau ferromagnétique choisi présente une perméabilité μ_1 élevée, c'est-à-dire supérieure à 1000. Ici, le
10 matériau ferromagnétique choisi est un matériau amorphe riche en cobalt présentant une perméabilité μ_1 égale à 10^3 et des seuils $\pm B_t$ égaux respectivement à $\pm 130 \mu\text{T}$. Ce matériau est vendu par la société MXT Inc., 1744 William Street, Suite 104, Montréal, Québec, Canada H3J 1R4.

La source de champs magnétiques hautes fréquences est ici réalisée
15 à l'aide d'un bobinage 42 enroulé uniformément le long de la longueur de l'antenne 28 et raccordé à un générateur de courant 44.

Le générateur 44 est apte à générer un courant alternatif de fréquences comprises entre 10 kHz et 1 MHz de manière à créer, à l'intérieur du bobinage 42, un champ magnétique alternatif haute fréquence B_a . La
20 fréquence est choisie supérieure ou égale à deux fois la fréquence de recouvrement du capteur 4. Ici, le générateur 44 génère des signaux de courant sinusoïdaux ou triangulaires.

Le générateur 44 est également apte à superposer sur le courant alternatif un courant asservi sur l'amplitude du champ B_{ext} . Ce courant asservi crée, à l'intérieur du bobinage 42 un champ magnétique B_c . L'amplitude du
25 courant asservi est commandée de manière à essayer de maintenir à chaque instant le cumul des amplitudes des champs B_c et B_{ext} égal à la valeur d'une consigne constante d'amplitude. La valeur de cette consigne constante d'amplitude est ici choisie égale à la valeur du seuil B_t . Ce choix permet de
30 maximiser la linéarité et la sensibilité du système 2.

De manière à régler dynamiquement l'intensité du courant asservi en fonction de l'amplitude du champ B_{ext} , le système 2 comporte également un dispositif d'asservissement 48. L'entrée du dispositif 48 est raccordée par

l'intermédiaire d'un filtre passe-bas 50 à la sortie du détecteur synchrone 18. La sortie du dispositif 48 est, quant à elle, raccordée à une entrée du générateur 44 de commande de l'intensité du courant asservi.

Le dispositif d'asservissement 48 est classique et ne sera donc pas décrit ici plus en détail. On rappelle simplement qu'à cause des imperfections de tels dispositifs d'asservissement, les amplitudes des champs B_{ext} et B_c sont en réalité reliées par la formule suivante :

$$|B_{\text{ext}}| + |B_c| + \varepsilon = |B_t| \quad (1)$$

où ε est une erreur due à l'asservissement.

De façon classique, cette erreur ε est proportionnelle aux variations de l'amplitude et de la fréquence du champ B_{ext} . Ici, tant que l'amplitude et la fréquence du champ magnétique B_{ext} ne varie pas, la valeur de l'erreur ε est égale à 0.

De manière également à maximiser la sensibilité du système 2, l'amplitude de l'intensité du courant alternatif est choisie de manière à ce que l'amplitude du champ alternatif B_a soit égale à la valeur du seuil B_t .

Le fonctionnement du système 2 va maintenant être décrit à l'aide de la figure 3 dans le cas particulier où seul l'amplitude du champ B_{ext} varie.

La figure 3 représente la valeur du champ magnétique B_{sens} mesurée par le capteur 4 en fonction du champ B_{app} appliqué à l'antenne 28. L'amplitude du champ B_{sens} est proportionnelle à la perméabilité apparente (μ_1 ou μ_2) du matériau magnétique de l'antenne 28 multipliée par l'amplitude du champ B_{app} . Par conséquent, ce graphique présente trois sections linéaires successives 52, 54, 58 correspondant respectivement aux plateaux 36, 38 et 40 de valeurs de perméabilité.

Le champ B_{app} est ici défini par la relation suivante :

$$\vec{B}_{\text{app}} = \vec{B}_{\text{ext}} + \vec{B}_c + \vec{B}_a.$$

En effet, l'antenne 28 est placée à l'intérieur du bobinage 42, de sorte qu'elle est placée dans les champs B_a et B_c créés par ce bobinage. De plus, l'antenne 28 est exposée au champ magnétique basse fréquence à

mesurer B_{ext} . Dès lors, le champ B_{app} , dans lequel est placée cette antenne 28, résulte de la somme vectorielle des champs B_a , B_c et B_{ext} .

Sur une période d'observation très courte, par exemple, égale à une période et demie du champ B_a , l'amplitude du champ B_{ext} cumulée à l'amplitude
5 du champ B_c peut être considérée comme constante, puisque leurs amplitudes varient beaucoup plus lentement que celle du champ B_a . Sur cette période d'observation, le champ B_{app} peut donc être représenté comme étant formé d'une composante continue représentée par la ligne en pointillés verticale 60 sur la figure 3 et d'une composante alternative représentée par la sinusoïde
10 verticale 62 d'amplitude B_t . Ici, on suppose que l'amplitude du champ B_{ext} varie. La ligne 60 est donc espacée d'une ligne verticale passant par le seuil B_t par l'erreur ε .

Le champ B_{sens} , mesuré par le capteur 4 pendant cette même période, est représenté par le signal en forme de sinusoïde horizontale 64.

15 L'amplitude du champ B_{sens} est proportionnelle à $\mu_1 \times B_{app}$ tant que la sinusoïde 62 ne dépasse pas le seuil B_t . Au-delà de ce seuil B_t , l'amplitude de B_{sens} est proportionnelle à $\mu_2 \times B_{app}$. Dès lors, puisque μ_2 est très nettement inférieure à μ_1 , le dépassement du seuil B_t par la sinusoïde 62 se traduit par un
20 écrêtage de la composante alternative 64 mesurée par le capteur 4. Une telle sinusoïde 64 écrêtée correspond à une fréquence fondamentale ou première harmonique dont l'amplitude est plus petite que si cette sinusoïde 64 n'était pas écrêtée (représentée en traits mixtes sur la figure 3).

De plus, on comprend qu'en fonction de l'emplacement de la ligne 60, que l'écrêtage de la sinusoïde 64 sera plus ou moins important.
25 L'emplacement de la ligne 60 est déterminé par l'erreur ε qui est elle-même proportionnelle aux variations de l'amplitude du champ magnétique basse fréquence B_{ext} .

L'écrêtage de la sinusoïde 64 est donc fonction des variations de l'amplitude du champ magnétique basse fréquence. Ainsi, la composante haute
30 fréquence mesurée par le capteur 4 est modulée en amplitude en fonction des variations du champ magnétique basse fréquence.

Le signal mesuré par le capteur 4 comportant, notamment, la composante haute fréquence modulée en amplitude, est transmis, sous la forme d'un signal électrique, au détecteur synchrone 18. Ce détecteur synchrone 18 extrait uniquement l'amplitude $V_b(t)$ du signal reçu. Cette amplitude $V_b(t)$ est proportionnelle aux variations de l'amplitude du champ B_{ext} . Puisque seule la composante haute fréquence du signal mesuré par le capteur 4 est traitée, l'amélioration de la sensibilité, en ce qui concerne la mesure des champs magnétiques basses fréquences, est comme dans la demande de brevet US-A-4 963 827 due au fait que le spectre du champ magnétique basse fréquence à mesurer a été décalé vers des fréquences plus élevées. Toutefois, ici, contrairement au système de la demande de brevet US-A-4 963 827, le système 2 ne comporte aucun écran magnétique commandé.

De plus, contrairement au système de la demande de brevet US-A-4.963 827, l'antenne 28 permet d'accroître la densité de flux du champ magnétique B_{ext} captée et mesurée par le capteur 4.

Ainsi, le système 2 décrit ici permet également d'améliorer le rapport signal/bruit du capteur 4, notamment aux basses fréquences.

Le choix de l'amplitude du champ B_a égale au seuil B_t permet de garantir que la moindre variation de l'amplitude du champ B_{ext} se traduira par une variation de l'amplitude du premier harmonique de la composante haute fréquence mesurée par le capteur 4.

La création du champ magnétique supplémentaire B_c permet de placer la sinusoïde 60, en l'absence du champ magnétique B_{ext} , sur le point de cassure entre les deux sections linéaires 54 et 58. Dès lors, un déplacement à droite ou à gauche de la ligne 60 se traduit par une variation de l'amplitude de la composante haute fréquence proportionnelle à l'amplitude du déplacement. Le fonctionnement du système 2 dans ces conditions est donc linéaire. De plus, le dispositif d'asservissement 44 permet de limiter les déplacements de la ligne 60 dans une zone proche du point de cassure, c'est-à-dire dans une zone où tout déplacement de la ligne 60 se traduit par une modulation correspondante de la composante haute fréquence du champ B_{sens} .

Grâce au dispositif d'asservissement 48, la sortie $V_b(t)$ est uniquement proportionnelle aux variations du champ B_{ext} et non pas à

l'amplitude du champ B_{ext} . Ainsi, le système 2 ne présente aucun décalage ou "Offset" du signal $V_b(t)$ fonction de l'amplitude du champ B_{ext} .

Le système 2 est également apte à mesurer des champs magnétiques dont la fréquence est supérieure à 100 kHz, c'est-à-dire des champs magnétiques qui ne sont généralement pas considérés comme étant basse fréquence. Toutefois, il a été constaté que le système 2 permet également d'améliorer pour ces champs magnétiques supérieurs à 100 kHz la sensibilité de la mesure. Ainsi, le système 2 est utilisable pour mesurer n'importe quel champ magnétique dont la fréquence est inférieure à la fréquence de coupure du dispositif d'asservissement 48.

La figure 4 représente un agencement différent de l'antenne 28.

Dans le système de la figure 4, le plus grand côté d'une barre cylindrique formant une antenne 78 est disposé parallèlement à la surface active du capteur 4 en contact ou espacé de quelques micro-mètres de cette surface active. Le fonctionnement de cette variante est identique à celui du système 2 à l'exception du fait que dans cette variante, le capteur 4 mesure une composante radiale du champ magnétique créé à l'intérieur de l'élément en matériau magnétique par le champ B_a .

Le système a été décrit ici dans le cas particulier où seules les variations d'amplitude du champ B_{ext} sont mesurées. En variante, les variations de fréquence du champ B_{ext} sont également mesurées. A cet effet, il suffit, par exemple, d'analyser le spectre du signal délivré par le détecteur synchrone 18. En effet, comme indiqué au cours de la description du système 2, l'erreur ε du dispositif d'asservissement 48 est fonction à la fois des variations d'amplitude et de fréquence du champ B_{ext} . Le signal délivré par le capteur 4 est donc un signal temporel dont le spectre est fonction de ces variations d'amplitude et de fréquence. Ainsi, l'analyse du spectre de ce signal permet de déterminer des variations d'amplitude et/ou des variations de fréquence du champ B_{ext} .

Les systèmes ont été décrits dans le cas particulier d'un capteur magnétique à effet "Hall". Toutefois, en variante, l'antenne est associée à d'autres types de capteurs de champs magnétiques, tels que des capteurs magnéto-résistifs.

La forme, les dimensions et la position de l'antenne 28 peuvent être modifiées par rapport au mode de réalisation décrit ici de manière à s'adapter, par exemple, à une orientation différente du champ magnétique basse fréquence à mesurer. Des formes et des dimensions différentes pour l'antenne modifient également le gain en champs de l'antenne, c'est-à-dire l'amplification
5 du champs magnétique basse fréquence par l'antenne.

Bien que ce ne soit pas le mode de réalisation préféré, il est possible de remplacer en variante l'élément en matériau ferromagnétique doux formant l'antenne par un élément ferromagnétique dur.

10 Le système 2 a été décrit ici dans le cas particulier où l'évolution de la valeur de la perméabilité du matériau magnétique utilisé en fonction de l'amplitude du champ magnétique dans lequel il est placé, présente essentiellement deux non-linéarités correspondant respectivement au seuil $-B_t$ et $+B_t$. En variante, d'autres matériaux magnétiques présentant des
15 non-linéarités différentes, sont utilisables. En effet, il suffit que l'évolution de la perméabilité en fonction de l'amplitude du champ magnétique dans lequel est placé le matériau magnétique, présente au moins une non linéarité qui permet de faire varier l'amplitude du champ créé à l'intérieur de ce matériau magnétique en fonction de l'amplitude du champ dans lequel il est placé.

20 En variante, le système est adapté pour mesurer également l'amplitude du champ magnétique B_{ext} . A cet effet, une unité de traitement est raccordée à la sortie du détecteur synchrone 18 et à la sortie du dispositif d'asservissement 48. Cette unité de traitement est apte à calculer l'amplitude en valeur absolue du champ B_{ext} à partir de la valeur des variations $V_b(t)$ du champ
25 B_{ext} et de la valeur de l'amplitude du champ B_c déduite à partir du courant asservi appliqué par le dispositif d'asservissement 48. L'unité de traitement peut, par exemple, calculer l'amplitude du champ B_{ext} à partir de la formule (1).

Il est également possible de supprimer du système 2 le dispositif d'asservissement 48 et de commander le générateur 44 pour qu'il crée un
30 champ supplémentaire continu B_c dont l'amplitude est, par exemple, égale au seuil B_t . Dans cette variante, les déplacements de la ligne 60 sont directement proportionnels à l'amplitude du champ B_{ext} et non plus aux variations d'amplitude de champ B_{ext} . A l'exception de cette différence, le fonctionnement

de ce système est identique à celui de la figure 1. On obtient donc en sortie de ce système un signal $V_b(t)$ directement proportionnel à l'amplitude du champ B_{ext} .

5 Finalement, pour certaines applications particulières, il n'est pas nécessaire que le générateur 44 produise un courant supplémentaire pour créer le champ magnétique supplémentaire B_c . Dans ce cas, il n'existe pas de champ magnétique supplémentaire B_c pour décaler le champ B_{ext} vers une zone où la linéarité du système est meilleure.

REVENDICATIONS

1. Système de mesure de champs magnétiques continu ou basses fréquences comportant :

- un capteur (4) de champs magnétiques,
- 5 - un dispositif (26) pour décaler le spectre du champ magnétique à mesurer vers des fréquences plus élevées, ce dispositif comportant :

- un élément en matériau magnétique (28) dont la perméabilité est susceptible de varier entre au moins deux valeurs différentes en fonction de l'amplitude du champ magnétique dans lequel il est placé, et

- 10 - une source (42, 44) de champs magnétiques indépendante du champ magnétique à mesurer,

caractérisé :

- en ce que ladite source (42, 44) est apte à créer un champ magnétique haute fréquence destiné à être modulé en amplitude, ce champ magnétique haute fréquence se combinant avec le champ magnétique à mesurer pour créer un champ magnétique résultant fonction à la fois du champ magnétique à mesurer et du champ magnétique haute fréquence,

- en ce que l'élément en matériau magnétique (28) est placé dans le champ magnétique résultant, et

- 20 - en ce que le capteur de champs magnétiques (4) est associé à l'élément en matériau magnétique (28) de manière à mesurer un champ magnétique fonction du champ magnétique créé à l'intérieur de cet élément par le champ magnétique résultant.

2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que la courbe
25 représentant la valeur de la perméabilité de l'élément en matériau magnétique (28) en fonction de l'amplitude du champ magnétique dans lequel il est placé, présente au moins deux plateaux (36, 38, 40) de valeur de perméabilité sensiblement constante reliés entre eux par une pente correspondant à une amplitude de cassure du champ magnétique, et en ce que
30 la source (42, 44) est également apte à créer un champ magnétique supplémentaire qui se combine au champ magnétique à mesurer de manière à rapprocher l'amplitude de la composante continue ou basse fréquence du champ magnétique résultant, de l'amplitude de cassure.

3. Système selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif (48) d'asservissement de l'amplitude du champ magnétique supplémentaire pour maintenir la composante continue ou basse fréquence du champ magnétique résultant égale à l'amplitude de cassure à mesurer à une
5 erreur (ε) près, l'erreur (ε) étant proportionnelle aux variations du champ magnétique à mesurer.

4. Système selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que l'amplitude du champ magnétique haute fréquence est sensiblement égale à l'amplitude de cassure.

10 5. Système selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que ledit élément en matériau magnétique (28) a une forme d'antenne pour accroître la densité du flux magnétique du champ magnétique à mesurer reçu par le capteur de champs magnétiques (4).

15 6. Système selon la revendication 5, caractérisé en ce que ledit élément en matériau magnétique (28) se présente sous la forme d'au moins une barre cylindrique formant ladite antenne.

7. Système selon la revendication 6, caractérisé en ce que la source de champs magnétiques comporte un bobinage (42) s'étendant autour de ladite au moins une barre cylindrique (28).

20 8. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le capteur de champs magnétiques (4) présente une fréquence de recouvrement en dessous de laquelle la sensibilité du capteur décroît, et en ce que ladite fréquence du champ magnétique haute fréquence est au moins égale à deux fois cette fréquence de recouvrement.

25 9. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'élément en matériau magnétique (28) est en matériau ferromagnétique doux.

30 10. Système de modulation en amplitude d'un champ magnétique haute fréquence par un champ magnétique continu ou basse fréquence, caractérisé en ce qu'il comporte :

- une source (42, 44) apte à créer le champ magnétique haute fréquence destiné à être modulé en amplitude, ce champ magnétique haute

fréquence se combinant avec le champ magnétique continu ou basse fréquence pour créer un champ magnétique résultant fonction à la fois du champ magnétique continu ou basse fréquence et du champ magnétique haute fréquence,

5 - un élément en matériau magnétique (28) placé dans le champ magnétique résultant, la perméabilité de ce matériau magnétique étant susceptible de varier entre au moins deux valeurs différentes en fonction de l'amplitude du champ magnétique dans lequel il est placé, et

10 - un capteur de champs magnétiques (4) associé à l'élément en matériau magnétique de manière à mesurer le champ magnétique créé à l'intérieur de cet élément par le champ magnétique résultant, le champ magnétique mesuré correspondant au champ magnétique haute fréquence modulé en amplitude en fonction du champ magnétique continu ou basse fréquence.

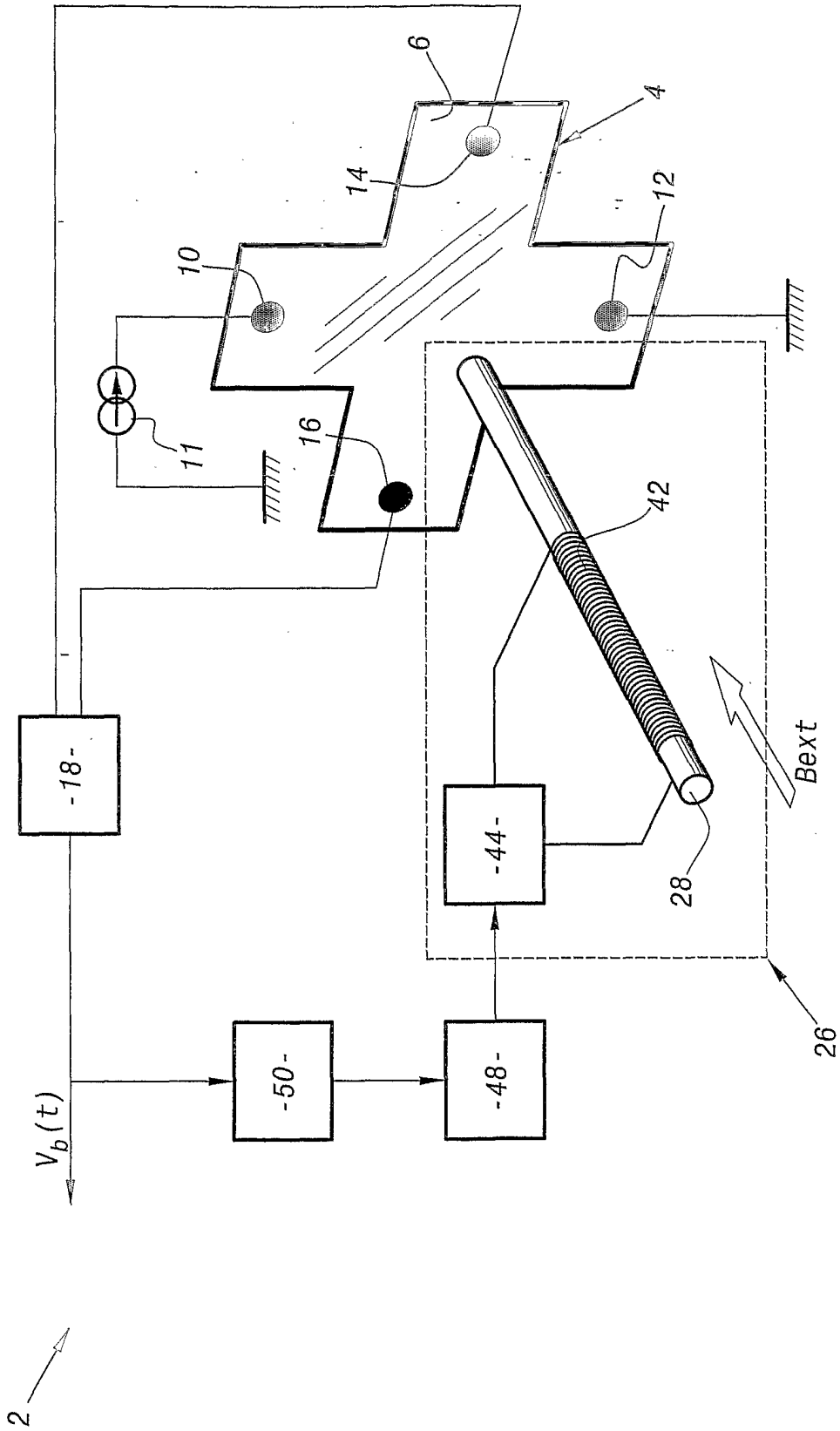


FIG.1

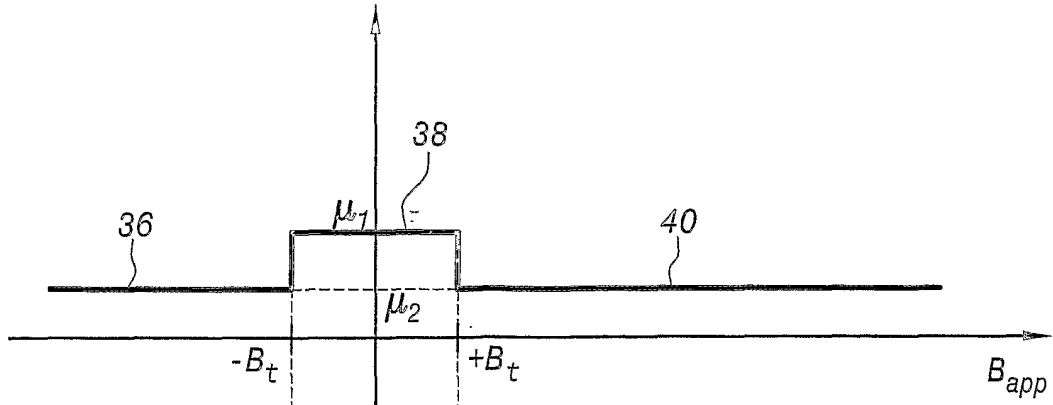


FIG. 2

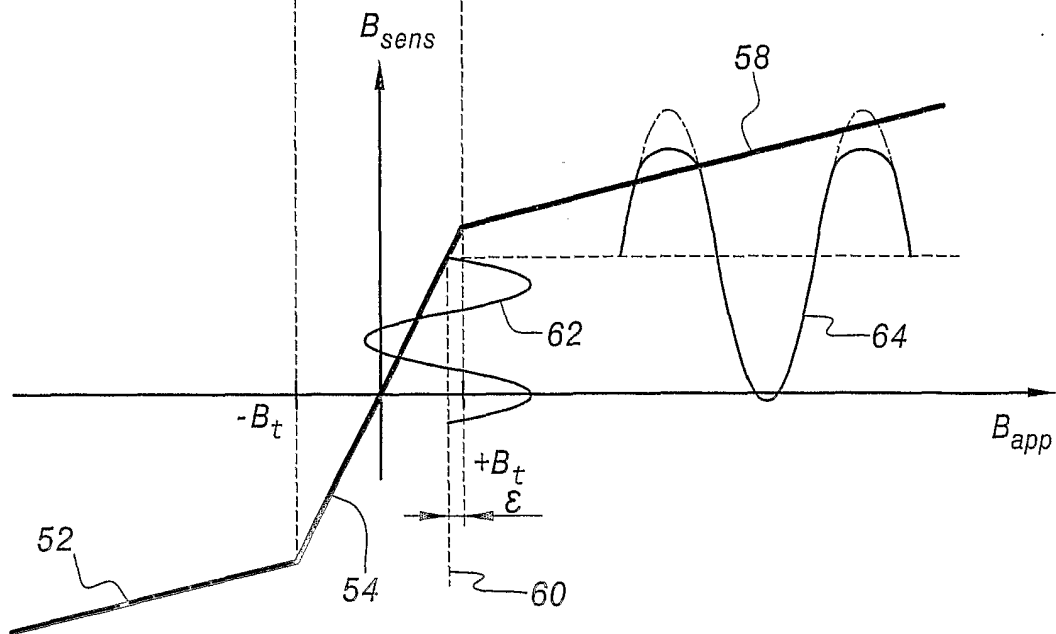


FIG. 3

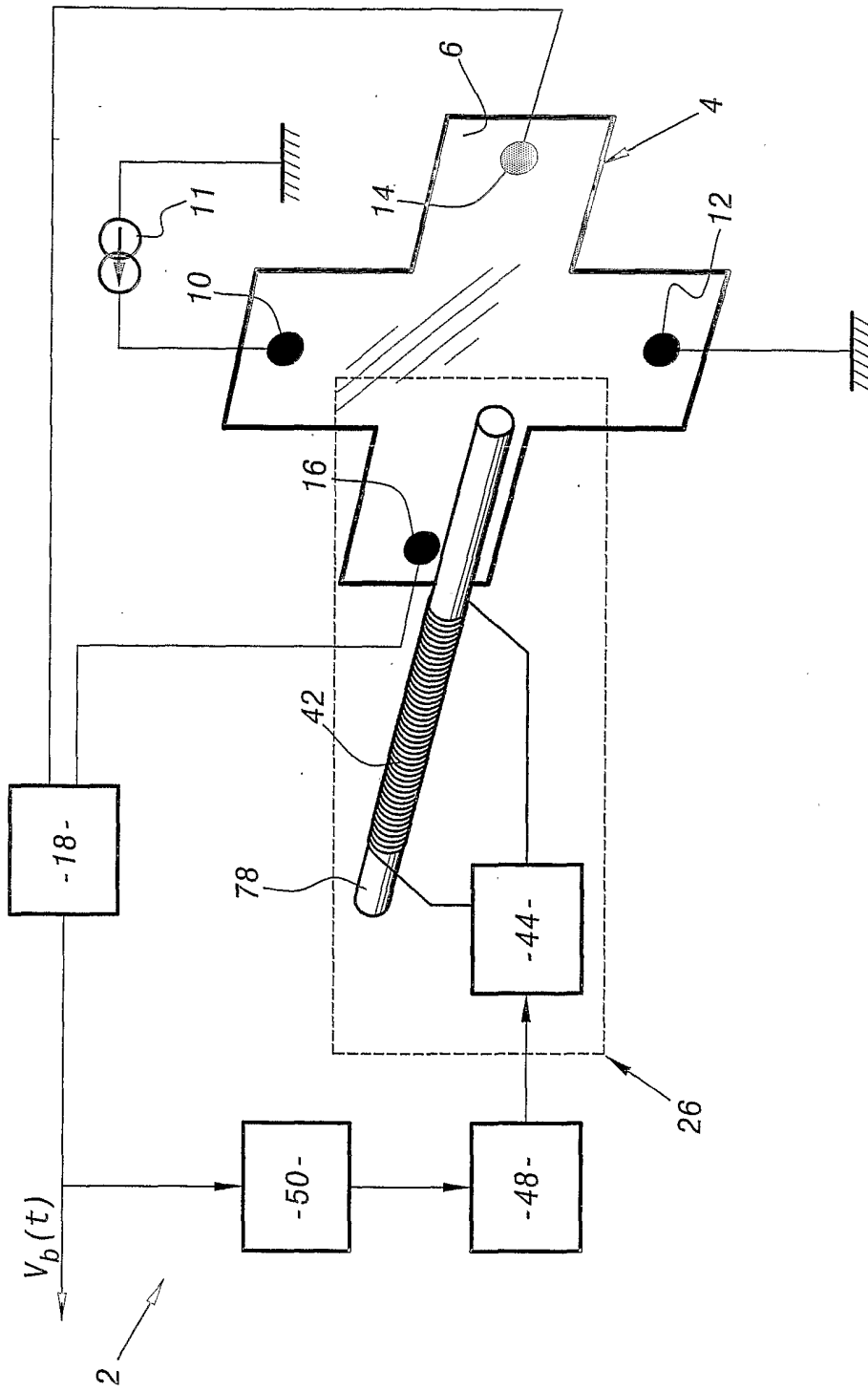


FIG. 4