

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 25.07.03.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 28.01.05 Bulletin 05/04.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71 Demandeur(s) : UNIVERSITE LOUIS PASTEUR —
FR.

72 Inventeur(s) : KAMMERER JEAN BAPTISTE et
HEBRARD LUC.

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : NUSS.

54 PROCÉDE ET DISPOSITIF POUR LA MESURE D'UN CHAMP MAGNETIQUE DANS AU MOINS UNE
DIRECTION.

57 La présente invention concerne un procédé et dispositif pour la mesure d'un champ magnétique dans au moins une direction.

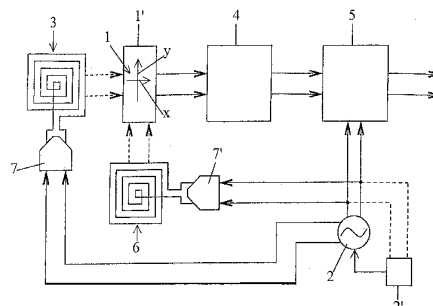
Procédé caractérisé en ce qu'il consiste:

a) à fournir une magnéto-résistance (1) présentant un axe de facile aimantation (X) aligné suivant la direction du champ magnétique ou de la composante à mesurer;

b) à appliquer à ladite jonction (1) un champ magnétique d'excitation orienté suivant l'axe de facile aimantation (X), l'intensité dudit champ d'excitation généré variant de manière opposée durant des phases temporelles consécutives avec une amplitude suffisante pour provoquer des retournements successifs des moments magnétiques des couches ferromagnétiques formant la magnéto-résistance (1) dans chacune des deux phases;

c) à relever les changements d'états de résistivité résultant desdits retournements au niveau de ladite magnéto-résistance (1);

d) à déterminer l'intensité du champ magnétique ou de la composante de champ à mesurer sur la base des décalages temporels des instants de retournements des moments magnétiques durant les deux phases et découplant de la présence dudit champ magnétique à mesurer.



DESCRIPTION

La présente invention concerne le domaine de la mesure de grandeurs physiques, plus particulièrement de la quantification de champs magnétiques, et a pour objet un procédé et un dispositif pour la mesure d'un champ magnétique suivant au moins une direction.

5 Il est bien connu que les magnéto-résistances géantes, et notamment les jonctions magnétiques à effet tunnel, présentent des caractéristiques magnétiques fortement non linéaires.

Par magnéto-résistance géante (ou G M R pour "Giant Magnetic Resistance"), on entend dans la présente des magnéto-résistances
10 comprenant au moins une couche ferromagnétique douce et au moins une couche ferromagnétique dure, ou plusieurs couches dures et douces empilées selon une séquence alternative. Ces magnéto-résistances géantes présentent généralement une structure plane et une variation importante de la résistance en fonction du champ appliqué dans le plan de la magnéto-résistance, ressemblant typiquement à celle représentée sur la figure 5.
15

Les jonctions magnétiques à effet tunnel notamment sont déjà largement utilisées dans les têtes de lecture pour supports magnétiques contenant des informations de type "signaux numériques" (disques durs par exemples).

20 De telles jonctions peuvent également être utilisées pour la mesure de champ magnétique. Pour cela, on cherche généralement à rendre linéaire la réponse des jonctions magnétiques à effet tunnel en appliquant un champ magnétique constant suivant l'axe "dur" de la jonction, soit à l'aide de bobinages alimentés par un courant constant, soit à l'aide d'un
25 aimant permanent. On utilise alors généralement des jonctions dont l'une des couches ferromagnétiques est aimantée de façon permanente par couplage magnétique avec d'autres couches.

Toutefois, dans ce type d'utilisation, il est nécessaire de mettre en œuvre des jonctions magnétiques à effet tunnel à structure complexe et à
30 prix de revient élevés.

De plus, le maintien d'un champ de polarisation continu par un bobinage alimenté par un courant constant consomme une quantité d'énergie non négligeable et les systèmes de mesure intégrant lesdites jonctions sont soumis à un bruit basse fréquence en 1/f.

- 2 -

Enfin, les signaux de sortie délivrés par les systèmes de mesure nécessitent le plus souvent un traitement complexe.

La présente invention a notamment pour but de pallier au moins certains des inconvénients précités et de proposer un procédé et un
5 dispositif pour la mesure précise d'un champ magnétique suivant une direction au moins, préférentiellement suivant deux directions perpendiculaires.

A cet effet, la présente invention a pour premier objet un
procédé de mesure d'un champ magnétique ou de la composante d'un
10 champ magnétique dans au moins une direction, caractérisé en ce qu'il consiste :

a) à fournir une magnéto-résistance géante du type valve de spin ou jonction magnétique à effet tunnel présentant un axe de facile aimantation aligné suivant la direction du champ magnétique ou de la
15 composante à mesurer ;

b) à appliquer à ladite magnéto-résistance géante un champ magnétique d'excitation orienté suivant l'axe de facile aimantation, l'intensité dudit champ d'excitation généré variant de manière opposée durant des phases temporelles consécutives, à savoir de manière croissante
20 puis de manière décroissante, ou vice versa, avec une amplitude suffisante pour provoquer des retournements successifs ou double-retournements des moments magnétiques des couches ferromagnétiques formant la jonction dans chacune des deux phases ;

c) à relever les changements d'états de résistivité résultant
25 desdits retournements au niveau de ladite magnéto-résistance géante ;

d) à déterminer l'intensité du champ magnétique ou de la composante de champ à mesurer sur la base des décalages temporels des instants de retournements des moments magnétiques durant les deux phases et découlant de la présence dudit champ magnétique à mesurer ;

e) à répéter, éventuellement, au moins une fois les opérations b)
30 à d) précédentes.

La mesure précitée pourra être réalisée de manière très précise pour un champ magnétique constant ou à fréquence basse par rapport à la fréquence du champ magnétique d'excitation.

De manière avantageuse, la variation de l'intensité du champ
35 magnétique d'excitation est de nature alternative et suit une fonction cyclique dont chaque période comprend, d'une part, une alternance ou partie

- 3 -

d'alternance durant laquelle l'intensité du champ d'excitation généré est croissante dans le temps avec une amplitude de variation suffisante pour provoquer deux changements d'état de la résistivité de la magnéto-résistance correspondant au retournement du moment magnétique de la ou des couche(s) ferromagnétique(s) douce(s), puis à celui de la ou des couche(s) ferromagnétique(s) dure(s) et, d'autre part, une alternance ou partie d'alternance durant laquelle l'intensité du champ généré est décroissante dans le temps avec une amplitude de variation suffisante pour provoquer à nouveau deux changements d'état de la résistivité de la magnéto-résistance correspondant au retournement du moment magnétique de la ou des couche(s) ferromagnétique(s) douce(s), puis à celui de la ou des couche(s) ferromagnétique(s) dure(s).

Préférentiellement, la fonction cyclique est une fonction périodique ou monotonement croissante sur une partie, par exemple une moitié, de chaque période et strictement ou monotonement décroissante sur une autre partie, par exemple l'autre moitié, de chaque période, par exemple une fonction choisie dans le groupe formé par les fonctions triangulaires et les fonctions sinusoïdales.

Selon une variante de réalisation très avantageuse de l'invention, la fonction cyclique est une fonction périodique strictement croissante sur une demi-période, puis strictement décroissante sur la demi-période suivante, préférentiellement à variation linéaire. Les décalages temporels permettant de déterminer la valeur de l'intensité du champ magnétique local dans la direction de facile aimantation peuvent être relevés par détection synchrone avec le champ magnétique d'excitation alternatif, en relevant et en comparant entre eux les écarts temporels entre les instants des doubles changements d'état de résistivité de deux demi-périodes successives et les débuts respectifs des demi-périodes concernées, ou toute méthode équivalente.

La mise en oeuvre d'une fonction cyclique monotone par parties permettra bien entendu d'aboutir à un traitement et à une évaluation des mesures plus aisés, en particulier en présence d'un signal d'excitation à variation linéaire (fonction triangle).

Pour permettre un traitement numérique des signaux de mesure sans prétraitement particulier, en tirant avantage de la nature duale de l'état de conduction de la jonction à effet tunnel, il peut être prévu de convertir l'état de la magnéto-résistance en termes de résistivité en signal numérique

- 4 -

binaire, par exemple en attribuant à l'état de forte résistivité la valeur 0 ou 1 et en attribuant à l'état de faible résistivité la valeur complémentaire 1 ou 0.

5 Selon une première variante, et en vue d'obtenir des valeurs de mesure fiables, indépendantes d'un aléa occasionnel, le procédé peut prévoir avantageusement de répéter les opérations b) à d) une pluralité de fois et de déterminer la valeur de l'intensité du champ magnétique à mesurer dans la direction de facile aimantation par l'intermédiaire d'une opération de moyennage.

10 Selon une seconde variante, adaptée à la mesure de champs magnétiques variables, le procédé peut prévoir de répéter les opérations b) à d) une pluralité de fois, sur une durée temporelle importante, et à établir l'évolution dans le temps du champ à mesurer dans la direction concernée sur la base des différentes valeurs d'intensité de champ successivement déterminées.

15 Il est également possible de combiner les deux variantes précitées, en réalisant de manière répétée des moyennages sur des groupes de valeurs mesurées.

20 Conformément à un mode de réalisation préféré de l'invention, permettant une exploitation plus complète des propriétés particulières d'une jonction magnétique à effet tunnel, le procédé peut consister également à mesurer l'intensité d'un champ magnétique ou de la composante d'un champ magnétique dans une direction perpendiculaire à l'axe de facile aimantation et située dans le plan de la magnéto-résistance géante à structure planaire ou plane, en déterminant et en quantifiant l'influence d'un tel champ ou d'une
25 telle composante de champ sur les valeurs des seuils de retournement des moments magnétiques des couches ferromagnétiques constituant la magnéto-résistance géante.

30 La quantification de l'influence sur les valeurs seuils de retournement des moments magnétiques peut, de manière simple, être réalisée en évaluant directement les décalages desdites valeurs seuil induits par ledit champ dans la direction perpendiculaire précitée, et en déduisant la valeur de l'intensité de ce dernier.

35 Toutefois, selon une variante de l'invention, il peut également être prévu que la quantification de l'influence du champ à mesurer dans ladite direction perpendiculaire est obtenue par évaluation de la compensation nécessaire pour éliminer l'influence dudit champ à mesurer

- 5 -

sur lesdites valeurs seuils de retournement (par exemple par mise en oeuvre d'une boucle à rétroaction non décrite).

Cette manière de déterminer l'intensité du champ à mesurer par compensation de son influence et évaluation de cette compensation peut également être mise en oeuvre dans le cadre de la détermination du champ local à mesurer dans la direction de facile aimantation.

De manière plus précise, le procédé consiste avantageusement, en vue de mesurer un champ magnétique ou la composante d'un champ magnétique perpendiculaire à l'axe de facile aimantation, à appliquer à ladite magnéto-résistance un champ magnétique généré d'excitation, alternatif et symétrique, à relever ou à prendre en compte les décalages temporels des instants de retournements des moments magnétiques découlant de la présence dudit champ magnétique à mesurer dans ladite direction perpendiculaire et à déterminer la valeur de l'intensité dudit champ à mesurer sur la base desdits décalages ou de la valeur de l'intensité du champ de compensation à appliquer pour rendre lesdits décalages nuls.

Selon une variante de réalisation pratique du mode de réalisation préféré précité, on peut prévoir les étapes de procédé consistant à appliquer, suivant un axe perpendiculaire à l'axe de facile aimantation de la magnéto-résistance géante, un champ magnétique alternatif symétrique dont l'amplitude évolue selon une fonction en créneaux avec une fréquence égale à $1/n$ ème de la fréquence de la fonction cyclique suivie par le champ magnétique d'excitation appliqué à la magnéto-résistance dans la direction de facile aimantation, avec n entier supérieur ou égal à 2, à relever les décalages temporels des instants des doubles retournements consécutifs des moments magnétiques des deux types de couches, éventuellement traduits en signaux numériques à deux niveaux ou binaires fonction de l'état de la résistivité de ladite jonction, et à déterminer l'intensité du champ magnétique à mesurer dans la direction perpendiculaire sur la base des positions temporelles relatives desdits doubles retournements pris n par n ou des positions temporelles des doubles changements d'état de résistivité ayant même rang dans deux demi-périodes consécutives du signal du champ magnétique alternatif symétrique d'excitation appliqué.

La présente invention a également pour objet un dispositif de mesure de l'intensité d'un champ magnétique ou de la composante d'un champ magnétique dans au moins une direction, caractérisé en ce qu'il comprend :

- 6 -

a) un composant pourvu ou formé d'une magnéto-résistance géante du type valve de spin ou jonction magnétique à effet tunnel ;

b) des moyens de génération et d'application à ladite magnéto-résistance d'un champ magnétique d'excitation orienté suivant son axe de facile aimantation, l'intensité dudit champ d'excitation généré variant de
5 manière opposée durant des phases temporelles consécutives, à savoir de manière croissante puis de manière décroissante, ou vice versa, avec une amplitude suffisante pour provoquer des retournements successifs ou doubles retournements des moments magnétiques des couches
10 ferromagnétiques formant la jonction dans chacune des deux phases ;

c) un moyen pour relever les changements d'états de résistivité résultant desdits retournements au niveau de ladite magnéto-résistance ;

d) des moyens pour déterminer l'intensité du champ magnétique ou de la composante de champ à mesurer dans la direction précitée sur la
15 base des décalages temporels des instants de retournements des moments magnétiques durant les deux phases et découlant de la présence dudit champ magnétique à mesurer.

L'invention sera mieux comprise, grâce à la description ci-après, qui se rapporte à un mode de réalisation préféré, donné à titre
20 d'exemple non limitatif, et expliqué avec référence aux dessins schématiques annexés, dans lesquels :

La figure 1 est une représentation schématique fonctionnelle d'un dispositif de mesure selon le mode de réalisation préféré de l'invention ;

25 La figure 2 est constituée de chronogrammes représentant, selon la même base temporelle, un signal proportionnel au champ d'excitation appliqué perpendiculairement à l'axe de facile aimantation, un signal proportionnel au champ d'excitation appliqué suivant la direction de facile aimantation et le signal résultant de mesure de l'état de résistivité de
30 la jonction, ces chronogrammes étant établis en l'absence de champ à mesurer (figure 2A), en présence d'un champ dans la direction de l'axe de facile aimantation (figure 2B) et en présence d'un champ perpendiculaire à l'axe de facile aimantation (figure 2C) ;

la figure 3 est un schéma électrique d'une possible réalisation
35 pratique d'un circuit correspondant sensiblement au moyen 4 de la figure 1, et,

- 7 -

la figure 4 est un schéma électrique d'une possible réalisation pratique d'un circuit correspondant sensiblement au moyen 5 de la figure 1.

Dans ce qui suit, l'invention sera décrite plus en détail et à titre d'exemple en relation avec une magnéto-résistance géante 1 sous la forme d'une jonction magnétique à effet tunnel à deux couches, constituant ainsi la solution la plus simple et la plus économique.

Comme le montre la figure 1 des dessins annexés, le dispositif de mesure selon l'invention comprend avantageusement :

a) un composant 1' pourvu d'une jonction magnétique 1 à effet tunnel ;

b) des moyens 2, 3 de génération et d'application à ladite jonction 1 d'un champ magnétique d'excitation orienté suivant son axe de facile aimantation X, l'intensité dudit champ d'excitation généré variant de manière opposée durant des phases temporelles consécutives, à savoir de manière (strictement) croissante puis de manière (strictement) décroissante, ou vice versa, ce de manière continue et avec une amplitude suffisante pour provoquer des retournements successifs des moments magnétiques des deux couches ferromagnétiques formant la jonction 1 dans chacune des deux phases ;

c) un moyen 4 pour relever les changements d'états de résistivité résultant desdits retournements au niveau de ladite jonction 1 ;

d) des moyens 5 pour déterminer l'intensité du champ magnétique ou de la composante de champ à mesurer dans la direction X sur la base des décalages temporels des instants de retournements des moments magnétiques durant les deux phases et découlant de la présence dudit champ magnétique à mesurer.

Préférentiellement, les moyens de génération et d'application d'un champ magnétique d'excitation orienté suivant l'axe de facile aimantation X consistent en un circuit oscillant 2, commandé par une unité d'horloge 2', dont les signaux de sortie sont transmis à un ou plusieurs bobinages 3 ou analogues disposé(s) de manière adéquate autour de ladite jonction 1. De plus, le moyen pour relever l'état en termes de résistivité de la jonction 1 consiste en un capteur ou un détecteur faisant partie d'un circuit de mesure 4 correspondant et les moyens pour déterminer l'intensité du champ magnétique ou de la composante de champ selon l'axe de facile aimantation consistent en une unité de traitement 5 (analogique ou numérique) recevant, d'une part, les signaux de sortie délivrés par le circuit

- 8 -

de mesure 4 et, éventuellement d'autre part, des signaux de synchronisation délivrés par le circuit oscillant 2 ou l'unité d'horloge 2'.

Le dispositif présentant les dispositions évoquées ci-dessus mettra avantageusement en œuvre les étapes de procédé précitées en vue de la mesure d'un champ magnétique ou d'une composante de champ magnétique dans la direction de facile aimantation X de la jonction 1.

Conformément à un mode de réalisation préféré de l'invention, ledit dispositif de mesure peut également comprendre des moyens 2, 6 pour générer et appliquer à la jonction 1 un champ magnétique d'excitation alternatif et symétrique orienté (direction Y) perpendiculairement à l'axe de facile aimantation X de ladite jonction 1 et dans le plan de cette dernière, consistant en un ou plusieurs bobinages 6 ou analogues disposé(s) de manière adéquate autour de ladite jonction et alimenté(s) par un circuit oscillant 2 ou l'unité d'horloge 2'.

Avantageusement, et comme le montre la figure 1, les deux bobinages ou groupes de bobinages 3 et 6 générant les deux champs d'excitation sont alimentés par le même circuit oscillant 2, faisant par exemple partie d'un générateur de signaux.

Le dispositif présentant les dispositions additionnelles évoquées ci-dessus dans le cadre du mode de réalisation préféré, mettra préférentiellement en œuvre les étapes de procédé décrites précédemment en vue de la mesure simultanée d'un champ magnétique ou d'une composante de champ magnétique dans la direction de l'axe de facile aimantation X de la jonction 1 et avantageusement d'un champ magnétique ou d'une composante de champ magnétique dans une direction Y perpendiculaire à la direction de l'axe de facile aimantation X et dans le plan de la jonction 1 à structure plane.

Pour faciliter son utilisation, le dispositif de mesure se présentera par exemple sous la forme d'un appareil portable, avantageusement autonome, notamment du point de vue énergétique.

Selon une caractéristique de réalisation matérielle avantageuse du dispositif, il peut être prévu qu'au moins le composant 1' et le bobinage 3 ou les bobinages 3 et 6 sont intégrés dans un même circuit, ainsi qu'avantageusement également les circuits 2, 4 et 5.

On décrira à présent, de manière plus détaillée, le fonctionnement du dispositif de mesure selon l'invention, en relation avec les dessins annexés.

- 9 -

L'oscillateur 2 génère deux courants alternatifs destinés à être injectés dans les bobinages 3 et 6 de manière à générer les champs magnétiques d'excitations respectivement selon la direction X et perpendiculairement à cette direction. Pour obtenir le bon fonctionnement du dispositif de mesure, le champ généré suivant l'axe de facile aimantation X de la jonction magnétique à effet tunnel 1 doit être d'une part d'amplitude suffisante pour permettre la saturation magnétique totale des deux couches ferromagnétiques de la jonction dans les deux sens et, d'autre part, strictement monotone entre ses valeurs extrêmes. On obtient ainsi un fonctionnement en deux étapes : dans la première étape, l'intensité du champ magnétique augmente jusqu'à ce qu'elle soit suffisante pour provoquer le retournement du moment magnétique de la couche ferromagnétique la plus douce ; la jonction passe de son état de faible résistivité à son état de forte résistivité. Puis l'intensité du champ continue de croître jusqu'à provoquer le retournement du moment magnétique de la couche ferromagnétique la plus dure ; la jonction repasse dans son état de faible résistivité. Dans la deuxième étape, il se passe exactement le même phénomène, mais avec un champ décroissant. En convertissant l'état de la jonction en un signal numérique (par exemple 1 pour l'état de forte résistivité, 0 pour l'état de faible résistivité ou bien l'inverse) grâce au circuit 4 dédié à cette tâche, on obtient une séquence composée d'impulsions générées sur un champ croissant séparées par des impulsions générées sur un champ décroissant (voir figure 2).

Le champ magnétique à mesurer s'ajoute au champ magnétique d'excitation et perturbe la séquence : si l'on est, par exemple, en présence d'un champ magnétique positif aligné avec l'axe de facile aimantation de la jonction, celui-ci provoquera une avance dans l'apparition des impulsions issues de la phase de champ croissant et un retard dans l'apparition des impulsions issues de la phase de champ décroissant (figure 2B). Par une mesure du décalage temporel des impulsions, il est alors possible de trouver la valeur du champ magnétique perturbateur.

La position des impulsions dans la séquence est également modifiée par la valeur absolue de la composante du champ magnétique perpendiculaire à l'axe de facile aimantation : le seuil de retournement des moments magnétiques dans l'axe de facile aimantation X est d'autant plus faible que le champ perpendiculairement à cet axe est fort. En appliquant suivant cette direction perpendiculaire un champ magnétique alternatif

- 10 -

symétrique en forme de créneaux et de fréquence égale à la moitié de la fréquence du champ d'excitation suivant l'axe de facile aimantation X, il est possible de mesurer la composante du champ magnétique perpendiculaire à l'axe de facile aimantation X de la jonction 1. Puisque le champ d'excitation
5 perpendiculaire est symétrique et que les seuils de retournement des moments magnétiques ne dépendent que de la valeur absolue de la composante du champ magnétique perpendiculaire à l'axe de facile aimantation X, en l'absence de champ externe, la séquence d'impulsions n'est pas modifiée. Par contre, lorsqu'un champ magnétique extérieur vient
10 s'ajouter à ce champ magnétique d'excitation et le rend asymétrique, deux impulsions sur quatre sont avancées dans le temps et les deux autres sont retardées. Toujours grâce à une mesure des positions relatives des impulsions dans la séquence, on obtient une mesure de la composante du champ magnétique perpendiculaire à l'axe de facile aimantation.

15 Comme cela ressort de ce qui précède, l'invention, dans sa réalisation préférée, permet d'utiliser une jonction magnétique à effet tunnel 1 comme capteur de champ magnétique 2D. Pour cela, grâce à deux jeux de bobinages 3 et 6, on génère deux champs magnétiques d'excitation alternatifs de fréquences différentes appliqués suivant les deux axes
20 principaux de la jonction à effet tunnel, c'est-à-dire suivant l'axe de facile aimantation X et perpendiculairement à cet axe. L'amplitude du champ dans l'axe de facile aimantation doit être suffisante pour permettre la saturation totale de la jonction. On fait ainsi passer périodiquement la jonction 1 dans son état de forte résistivité deux fois par cycle, c'est-à-dire une fois pendant
25 la phase de champ croissant et une fois pendant la phase de champ décroissant. Par une mesure de la résistance de la jonction magnétique à effet tunnel, on convertit l'état de la jonction en un signal électrique. On obtient ainsi une série d'impulsions électriques. Le champ magnétique externe à mesurer s'ajoute au champ magnétique d'excitation et provoque
30 une dissymétrie dans la séquence d'impulsions obtenue. L'information, c'est-à-dire la valeur du champ magnétique à mesurer, est contenue dans les positions relatives des impulsions dans la séquence.

Le dispositif de mesure proposé permet d'utiliser les jonctions magnétiques à effet tunnel les plus simples, et donc les plus faciles à
35 fabriquer et les moins chers, comme capteur de champ magnétique. De plus, l'utilisation d'un champ magnétique alternatif pour la polarisation de la jonction permet d'une part de s'affranchir du bruit $1/f$ (bruit basse

- 11 -

fréquence) présent dans tous systèmes physiques et, d'autre part, d'économiser de l'énergie puisqu'il n'est pas nécessaire de maintenir un champ de polarisation continu. Les signaux obtenus par la technique d'excitation dynamique sont particulièrement intéressants en terme de traitement du signal car ils peuvent aussi bien être traités par des techniques numériques (modulation en position d'impulsion, modulation en longueur d'impulsion), qu'analogiques (filtrage passe-bas ou intégration d'un signal modulé en longueur d'impulsion).

Il convient également de noter que la technique de dépôt des couches ferromagnétiques constituant la jonction magnétique à effet tunnel est compatible avec les technologies d'intégration standards. Le dispositif proposé dans la présente est donc intégrable sur une puce électronique standard. Il suffit de déposer l'élément sensible (jonction magnétique à effet tunnel + éventuellement bobines d'excitation) sur la couche de passivation d'une puce standard grâce à une étape de fabrication supplémentaires (post-traitement). Avec l'émergence de la spin-électronique dont la jonction magnétique à effet tunnel est la brique de base, un tel dispositif de mesure sera potentiellement intégrable de façon standard dans les technologies de spin-électronique.

Le dispositif de mesure permet la mesure précise de deux composantes perpendiculaires d'un champ magnétique avec une grande résolution spatiale (capteur de très petite dimension). Le dispositif offre par ailleurs une grande souplesse au niveau du traitement du signal : en effet, la nature des signaux obtenus (série d'impulsions facilement convertible en signal modulé en longueur d'impulsion) permet aussi bien un traitement numérique du signal qu'un traitement analogique. De plus, le dispositif est susceptible d'être totalement intégré : pour cela il faut faire appel aux techniques de dépôt de couches minces pour fabriquer l'élément sensible (jonction magnétique à effet tunnel + éventuellement bobines) sur la couche de passivation d'une puce standard dans laquelle est implantée toute l'électronique.

De plus, ledit dispositif ne nécessite pas à proprement parler d'une phase de calibration, du fait que les mesures reposent sur des différences, mais uniquement un étalonnage préalable.

Les applications potentielles du dispositif de mesure selon l'invention sont la navigation (boussole électronique), la mesure du courant sans contact (mesure du champ magnétique induit par le courant),

- 12 -

l'automatique et de manière plus générale toute application nécessitant des mesures de champ magnétique précises avec un dispositif de faibles dimensions, à faible consommation et/ou de faible poids.

En ce qui concerne la réalisation pratique des différents moyens
5 constituant le dispositif de mesure selon l'invention, on notera tout d'abord que l'unité d'horloge 2' devra fournir deux signaux d'horloge mutuellement synchronisés et avec des fréquences multiples, le signal d'horloge pour le bobinage 6 pouvant éventuellement être directement appliqué à ce dernier.

Les deux bobinages ou bobines 3 et 6 sont alimentés par des
10 circuits d'attaque respectifs 7 et 7', transformant les signaux de tension délivrés par 2 ou 2' en signaux de courant alimentant ces bobinages 3 et 6 (le circuit 7 effectuant en outre une transformation d'un signal carré ou rectangulaire en signal triangulaire).

Le circuit de la figure 3 permet de polariser la jonction tunnel
15 1. Il permet également de lire et de convertir l'état de la jonction en un signal numérique.

Les diodes "1N4148" servent à la fois à générer une tension constante d'environ 650mV et à protéger la jonction contre d'éventuelles décharges électriques (protection contre l'électricité statique et lors de
20 l'allumage et de l'extinction du système). La tension de 650mV est appliquée à un réseau constitué d'une résistance de 330k Ω et de la jonction tunnel (notée "MTJ"). La chute de potentiel obtenue aux bornes de la jonction est fortement amplifiée (gain de 220) puis injectée dans un comparateur à hystérèse. Le niveau de référence ainsi que l'hystérèse du
25 comparateur sont réglables grâce aux potentiomètres notés "niveau" et "hyst.". La sortie du comparateur est connectée à un inverseur assurant la conversion analogique-numérique sur 1 bit. Le signal numérique en sortie ("MTJ_Pulses") est alors égal à "1" lorsque les couches ferromagnétiques sont en configuration antiparallèle (résistivité élevée) et à "0" sinon. Ce
30 circuit ne fonctionne correctement qu'en régime dynamique (réjection de la composante continue par la capacité de 2,2nF).

Le circuit de la figure 4 sert à convertir la séquence d'impulsion (MTJ_Pulses) issue du circuit de la figure 3 en deux signaux MLI (Modulation en Longueur d'Impulsion).

35 Le premier, noté "MLI_X", est un signal carré de fréquence égale à celle du signal d'horloge "rapide". Son rapport cyclique est égal à 0,5 en l'absence de champ extérieur et varie linéairement (dans le cas d'un

- 13 -

champ d'excitation de forme triangulaire) avec la composante du champ parallèle à l'axe de facile aimantation de la jonction. On peut montrer que le rapport cyclique vaut $\frac{1}{2} \left(1 + \frac{H_{\text{ext}}}{H_m} \right)$, où H_{ext} est la composante parallèle à

- 5 l'axe de facile aimantation du champ extérieur (composante à mesurer) et H_m est l'amplitude (valeur crête) du champ d'excitation alternatif.

- Le deuxième, noté "MLI_Y", est un signal carré de fréquence égale à celle du signal d'horloge "lent". Son rapport cyclique est égal à 0,5 en l'absence de champ extérieur et varie de façon non linéaire avec la
10 composante du champ perpendiculaire à l'axe X de facile aimantation de la jonction. La manière dont varie ce rapport cyclique dépend des caractéristiques magnétiques de la jonction et de l'intensité du champ d'excitation.

- Seules les quatre portes "Non-Et" ainsi que les deux circuits
15 tampons permettant de générer le signal "MLI_X" sont nécessaires dans le cas d'un dispositif de mesure dans la seule direction X.

- Bien entendu, l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation décrit et représenté aux dessins annexés. Des modifications restent possibles, notamment du point de vue de la constitution des divers
20 éléments ou par substitution d'équivalents techniques, sans sortir pour autant du domaine de protection de l'invention.

REVEN DICATIONS

1) Procédé de mesure d'un champ magnétique ou de la composante d'un champ magnétique dans au moins une direction, caractérisé en ce qu'il consiste :

5 a) à fournir une magnéto-résistance géante (1) du type valve de spin ou jonction magnétique à effet tunnel, présentant un axe de facile aimantation (X) aligné suivant la direction du champ magnétique ou de la composante à mesurer ;

10 b) à appliquer à ladite magnéto-résistance géante (1) un champ magnétique d'excitation orienté suivant l'axe de facile aimantation (X), l'intensité dudit champ d'excitation généré variant de manière opposée durant des phases temporelles consécutives, à savoir de manière croissante puis de manière décroissante, ou vice versa, avec une amplitude suffisante pour provoquer des retournements successifs ou doubles retournements des moments magnétiques des couches ferromagnétiques formant la jonction
15 (1) dans chacune des deux phases ;

c) à relever les changements d'états de résistivité résultant desdits retournements au niveau de ladite magnéto-résistance géante (1) ;

20 d) à déterminer l'intensité du champ magnétique ou de la composante de champ à mesurer sur la base des décalages temporels des instants de retournements des moments magnétiques durant les deux phases et découlant de la présence dudit champ magnétique à mesurer ;

e) à répéter, éventuellement, au moins une fois les opérations b) à d) précédentes.

25 2) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la variation de l'intensité du champ magnétique d'excitation est de nature alternative et suit une fonction cyclique dont chaque période comprend, d'une part, une alternance ou partie d'alternance durant laquelle l'intensité du champ d'excitation généré est croissante dans le temps avec une amplitude de variation suffisante pour provoquer deux changements d'état
30 de la résistivité de la magnéto-résistance géante (1) correspondant au retournement du moment magnétique de la ou des couche(s) ferromagnétique(s) douce(s), puis à celui de la ou des couche(s) ferromagnétique(s) dure(s) et, d'autre part, une alternance ou partie d'alternance durant laquelle l'intensité du champ généré est décroissante

- 15 -

dans le temps avec une amplitude de variation suffisante pour provoquer à nouveau deux changements d'état de la résistivité de la magnéto-résistance géante (1) correspondant au retournement du moment magnétique de la ou des couche(s) ferromagnétique(s) douce(s), puis à celui de la ou des
5 couche(s) ferromagnétique(s) dure(s), l'ordre de succession temporelle des deux alternances ou parties d'alternance pouvant être inverse.

3) Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la fonction cyclique est une fonction périodique strictement ou monotonement croissante sur une partie, par exemple une moitié, de chaque période et
10 strictement ou monotonement décroissante sur une autre partie, par exemple l'autre moitié, de chaque période, par exemple une fonction choisie dans le groupe formé par les fonctions triangulaires et les fonctions sinusoïdales.

4) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il consiste à convertir l'état de la magnéto-résistance (1)
15 en termes de résistivité, en signal numérique binaire.

5) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il consiste à répéter les opérations b) à d) une pluralité de fois et à déterminer la valeur de l'intensité du champ magnétique à mesurer dans la direction de facile aimantation (X) par l'intermédiaire d'une
20 opération de moyennage.

6) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il consiste à répéter les opérations b) à d) une pluralité de fois, sur une durée temporelle importante, et à établir l'évolution dans le temps du champ à mesurer dans la direction (X) sur la base des différentes
25 valeurs d'intensité de champ successivement déterminées.

7) Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, caractérisé en ce que la fonction cyclique est une fonction périodique strictement croissante sur une demi-période, puis strictement décroissante sur la demi-période suivante, préférentiellement à variation linéaire, les
30 décalages temporels permettant de déterminer la valeur de l'intensité du champ magnétique local dans la direction de facile aimantation (X) étant relevés par détection synchrone avec le champ magnétique d'excitation, en relevant et en comparant entre eux les écarts temporels entre les instants des doubles changements d'état de résistivité de deux demi-périodes successives
35 et les débuts respectifs des demi-périodes concernées.

8) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il consiste également à mesurer l'intensité d'un champ

- 16 -

magnétique ou de la composante d'un champ magnétique dans une direction (Y) perpendiculaire à l'axe de facile aimantation (X) et située dans le plan de la magnéto-résistance géante (1) à structure plane, en déterminant et en quantifiant l'influence d'un tel champ ou d'une telle composante de champ
5 sur les valeurs des seuils de retournement des moments magnétiques des couches ferromagnétiques douce(s) et dure(s) constituant ladite magnéto-résistance (1).

9) Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que la quantification de l'influence du champ à mesurer dans la direction (Y) est
10 obtenue par évaluation de la compensation nécessaire pour éliminer l'influence dudit champ à mesurer sur lesdites valeurs seuils de retournement.

10) Procédé selon la revendication 8 ou 9, caractérisé en ce qu'il consiste, en vue de mesurer un champ magnétique ou la composante
15 d'un champ magnétique perpendiculaire à l'axe de facile aimantation (X), à appliquer à ladite magnéto-résistance (1) un champ magnétique généré d'excitation alternatif et symétrique, à relever ou à prendre en compte les décalages temporels des instants de retournements des moments magnétiques découlant de la présence dudit champ magnétique à mesurer
20 dans ladite direction perpendiculaire (Y) et à déterminer la valeur de l'intensité dudit champ à mesurer sur la base desdits décalages ou de la valeur de l'intensité du champ de compensation à appliquer pour rendre lesdits décalages nuls.

11) Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il
25 consiste à appliquer, suivant l'axe perpendiculaire (Y) à l'axe de facile aimantation (X) de la magnéto-résistance (1), un champ magnétique alternatif symétrique dont l'amplitude évolue selon une fonction en créneaux avec une fréquence égale à $1/n$ ème de la fréquence de la fonction cyclique suivie par le champ magnétique d'excitation appliqué à la
30 magnéto-résistance (1) dans la direction de facile aimantation (X), avec n entier supérieur ou égal à 2, à relever les décalages temporels des instants des doubles retournements consécutifs des moments magnétiques des deux types de couches, éventuellement traduits en signaux numériques à deux niveaux ou binaires fonction de l'état de la résistivité de ladite jonction, et à
35 déterminer l'intensité du champ magnétique à mesurer dans la direction perpendiculaire (Y) sur la base des positions temporelles relatives desdits doubles retournements pris n par n ou des positions temporelles des doubles

- 17 -

changements d'état de résistivité ayant même rang dans deux demi-périodes consécutives du signal du champ magnétique alternatif symétrique.

12) Dispositif de mesure de l'intensité d'un champ magnétique ou de la composante d'un champ magnétique dans au moins une direction, caractérisé en ce qu'il comprend :

a) un composant (1') pourvu ou formé d'une magnéto-résistance géante (1) du type valve de spin ou jonction magnétique à effet tunnel;

b) des moyens (2, 3) de génération et d'application à ladite magnéto-résistance (1) d'un champ magnétique d'excitation orienté suivant son axe de facile aimantation (X), l'intensité dudit champ d'excitation généré variant de manière opposée durant des phases temporelles consécutives, à savoir de manière croissante puis de manière décroissante, ou vice versa, avec une amplitude suffisante pour provoquer des retournements successifs ou doubles retournements des moments magnétiques des couches ferromagnétiques formant la jonction (1) dans chacune des deux phases ;

c) un moyen (4) pour relever les changements d'états de résistivité résultant desdits retournements au niveau de ladite magnéto-résistance (1) ;

d) des moyens (5) pour déterminer l'intensité du champ magnétique ou de la composante de champ à mesurer dans la direction (X) sur la base des décalages temporels des instants de retournements des moments magnétiques durant les deux phases et découlant de la présence dudit champ magnétique à mesurer.

13) Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que les moyens de génération et d'application d'un champ magnétique d'excitation orienté suivant l'axe de facile aimantation (X) consistent en un circuit oscillant (2) commandé par une unité d'horloge (2'), dont les signaux de sortie sont transmis à un ou plusieurs bobinages (3) ou analogues disposé(s) de manière adéquate autour de ladite jonction (1), en ce que le moyen pour relever l'état en termes de résistivité de la magnéto-résistance (1) consiste en un capteur ou un détecteur faisant partie d'un circuit de mesure (4) correspondant et en ce que les moyens pour déterminer l'intensité du champ magnétique ou de la composante de champ selon l'axe de facile aimantation consistent en une unité de traitement (5) recevant, d'une part, les signaux de sortie délivrés par le circuit de mesure (4) et,

- 18 -

éventuellement, d'autre part, des signaux de synchronisation délivrés par le circuit oscillant (2).

14) Dispositif selon l'une quelconque des revendications 12 et 13, caractérisé en ce qu'il met en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 en vue de la mesure d'un champ magnétique ou d'une composante de champ magnétique dans la direction de facile aimantation (X) de la magnéto-résistance géante (1), avantageusement sous la forme d'une valve de spin ou d'une jonction magnétique à effet tunnel.

15) Dispositif selon l'une quelconque des revendications 11 à 14, caractérisé en ce qu'il comprend également des moyens (2, 6) pour générer et appliquer à la jonction (1) un champ magnétique d'excitation alternatif et symétrique orienté perpendiculairement à l'axe de facile aimantation (X) de ladite magnéto-résistance (1) et dans le plan de cette dernière, consistant en un ou plusieurs bobinages (6) ou analogues disposé(s) de manière adéquate autour de ladite résistance (1) et alimenté(s) par un circuit oscillant (2) ou une unité d'horloge (2').

16) Dispositif selon la revendication 15, caractérisé en ce que les deux bobinages ou groupes de bobinages (3 et 6) générant les deux champs d'excitation sont alimentés par le même circuit oscillant (2), par exemple faisant partie d'un générateur de signaux.

17) Dispositif selon l'une quelconque des revendications 15 et 16, caractérisé en ce qu'il met en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 11 en vue de la mesure simultanée d'un champ magnétique ou d'une composante de champ magnétique dans la direction de l'axe de facile aimantation (X) de la magnéto-résistance (1) et d'un champ magnétique ou d'une composante de champ magnétique dans une direction (Y) perpendiculaire à la direction de l'axe de facile aimantation (X) et dans le plan de ladite magnéto-résistance (1) à structure plane.

18) Dispositif selon l'une quelconque des revendications 11 à 17, caractérisé en ce qu'il se présente sous la forme d'un appareil portable, avantageusement autonome.

19) Dispositif selon l'une quelconque des revendications 15 à 17, caractérisé en ce que au moins le composant (1') et le bobinage (3) ou les bobinages (3 et 6) sont intégrés dans un même circuit, ainsi qu'avantageusement également les circuits (2, 4 et 5).

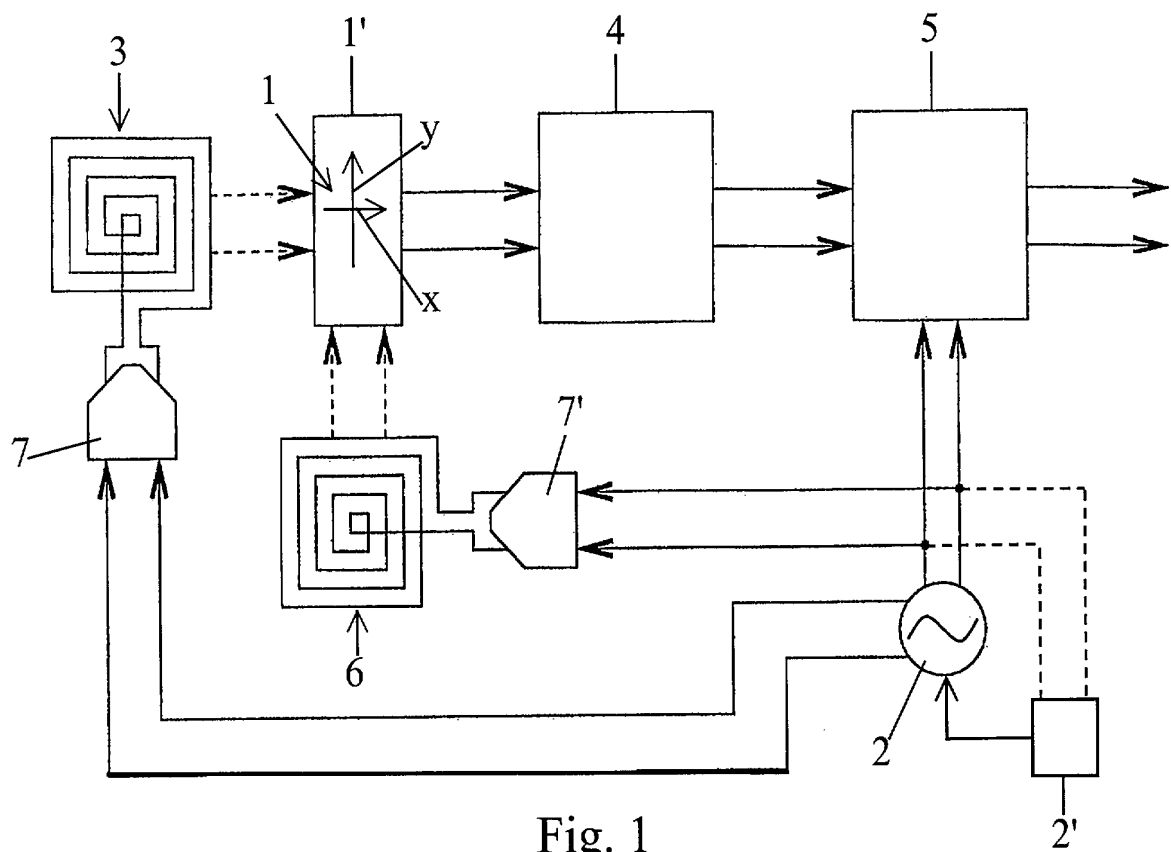


Fig. 1

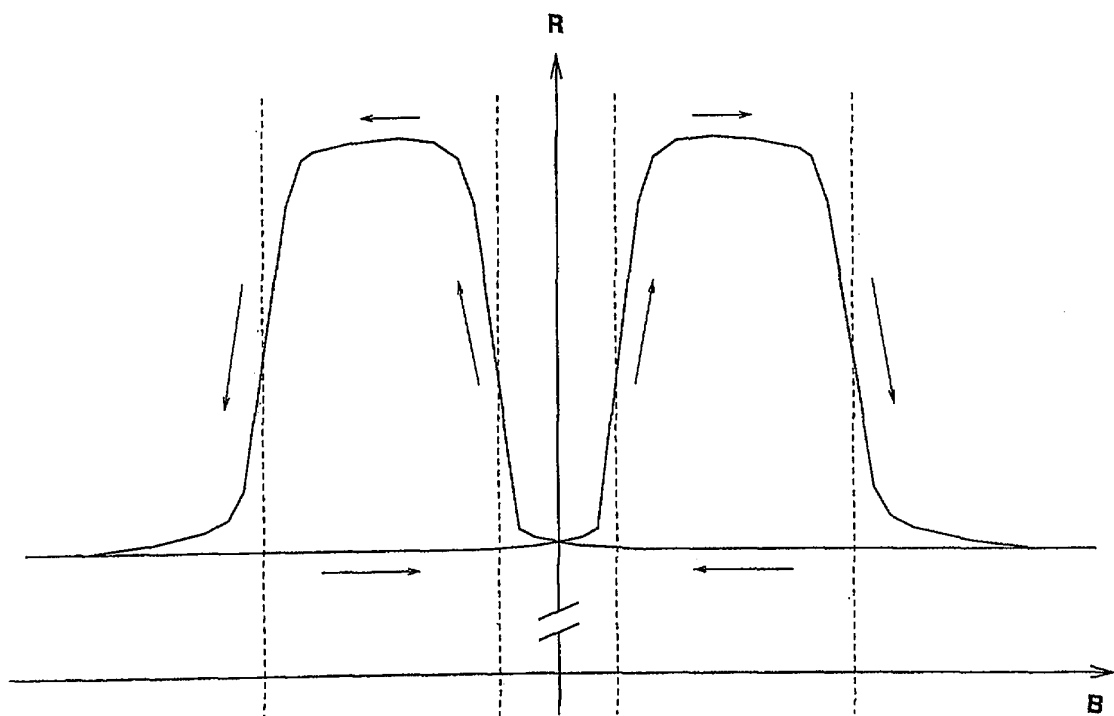


Fig. 5

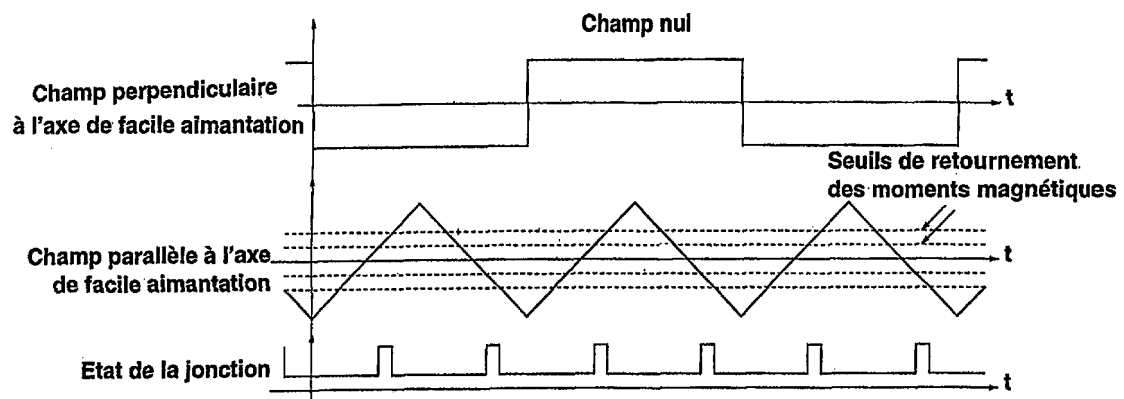


Fig. 2A

Fig. 2

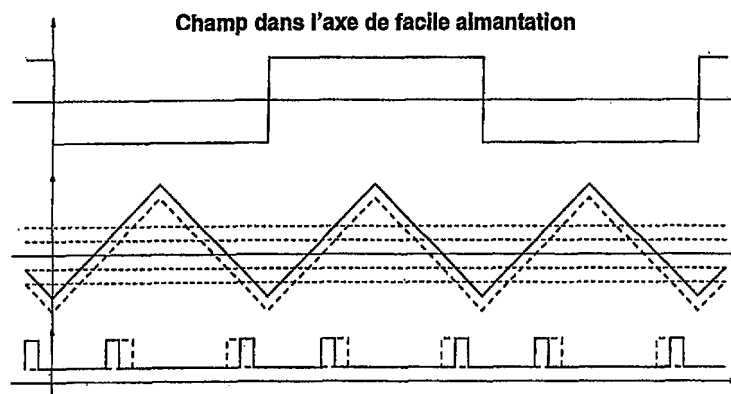


Fig. 2B

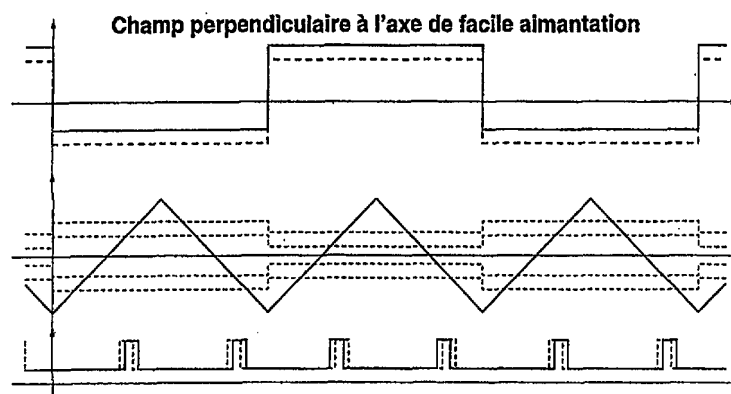


Fig. 2C

Fig. 3

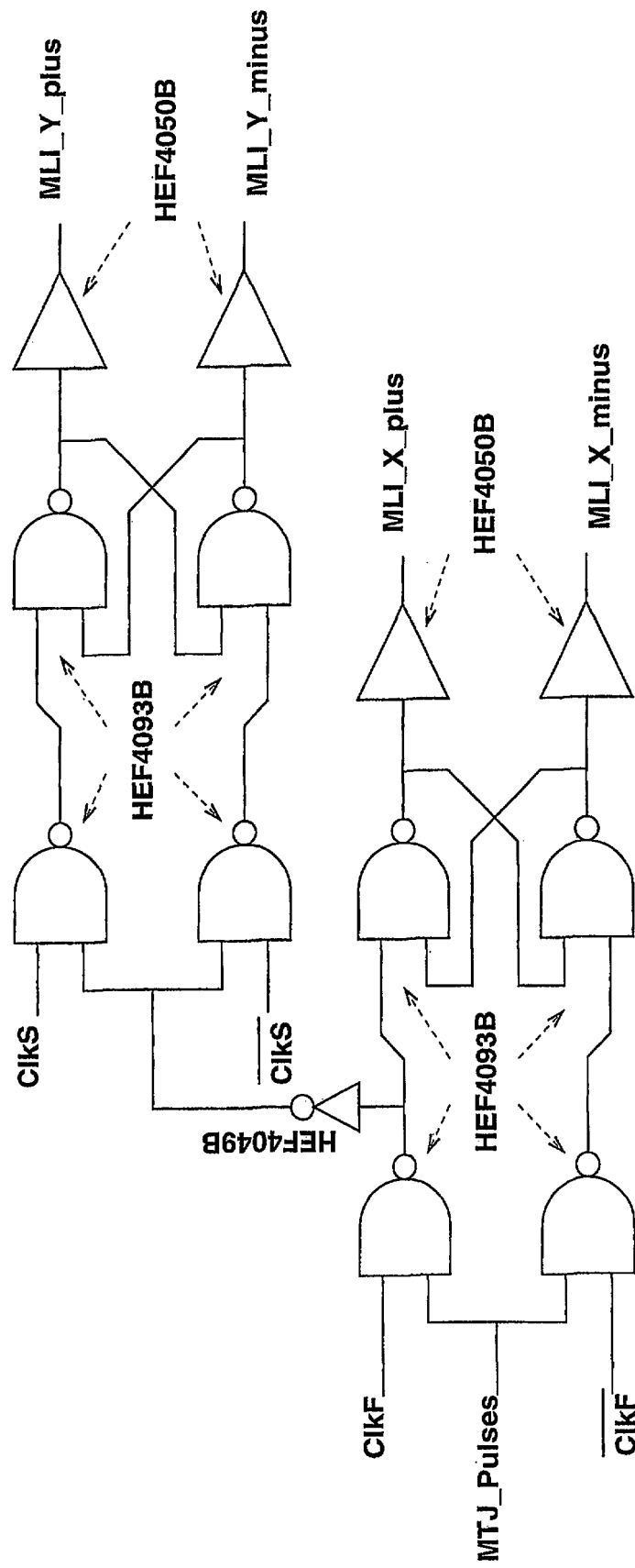


Fig. 4



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 637330
FR 0309180

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 1 306 687 A (YAMAHA CORP) 2 mai 2003 (2003-05-02) * page 9, ligne 20 - ligne 35 * * page 15, ligne 55 - ligne 58 *	1-7, 12-14	G01R33/09
A		8-11, 15-19	
A	----- US 6 166 539 A (DAHLBERG E DAN ET AL) 26 décembre 2000 (2000-12-26) * colonne 23, ligne 27 - ligne 62 *	1-14	
A	----- US 2002/005717 A1 (TOROK E JAMES ET AL) 17 janvier 2002 (2002-01-17) * alinéa [0030] - alinéa [0038] * -----	1-14	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			G01R
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
27 mai 2004		Swartjes, H	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE**RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0309180 FA 637330**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **27-05-2004**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
EP 1306687	A	02-05-2003	JP	2003202365 A	18-07-2003
			CN	1417872 A	14-05-2003
			CN	2600826 U	21-01-2004
			EP	1306687 A2	02-05-2003
			US	2003094944 A1	22-05-2003

US 6166539	A	26-12-2000	WO	9746892 A2	11-12-1997

US 2002005717	A1	17-01-2002	AU	7160301 A	21-01-2002
			EP	1307756 A1	07-05-2003
			WO	0204969 A1	17-01-2002
