

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 07.12.21.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 09.06.23 Bulletin 23/23.

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 :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : HPROBE Société anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : ZAHND Gilles, CHAVENT Antoine et
SALIMY Siamak.

73 Titulaire(s) : HPROBE Société anonyme.

74 Mandataire(s) : CABINET BEAUMONT.

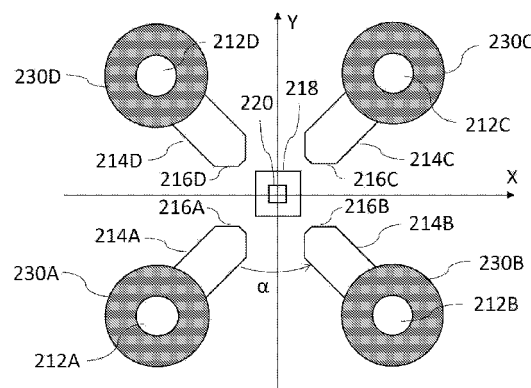
54 Système de génération de champ magnétique.

57 Système de génération de champ magnétique
La présente description concerne un système (200) de
génération de champ magnétique comprenant un circuit
magnétique comportant :

- un pôle central (220) disposé au-dessus d'un plan
(XY), l'axe dudit pôle central s'étendant selon une direction
orthogonale au plan;
- au moins deux pôles planaires (216A, 216B, 216C,
216D) disposés symétriquement sur le plan par rapport à
l'axe du pôle central, chaque pôle planaire étant porté par
une portion du circuit magnétique; et
- au moins deux bobines (230A, 230B, 230C, 230D),
dont au moins une bobine associée à chaque pôle planaire,
chaque bobine associée à un pôle planaire entourant la por-
tion de circuit magnétique portant ledit pôle planaire;

deux bobines associées à deux pôles planaires diffé-
rents étant adaptées à être connectées à deux circuits d'alimen-
tation distincts; chaque circuit d'alimentation étant
adapté à faire circuler dans au moins une bobine à laquelle
elle est connectée un courant d'intensité et de sens détermi-
nés en fonction d'un champ magnétique souhaité et de
l'orientation dans le plan du pôle planaire associé à ladite
bobine.

Figure pour l'abrégé: Fig. 2B



Description

Titre de l'invention : Système de génération de champ magnétique

Domaine technique

[0001] La présente demande concerne le domaine des générateurs de champ magnétique, et en particulier un système adapté à générer un champ magnétique d'amplitude élevée.

Technique antérieure

[0002] Dans certains domaines techniques, par exemple pour le test électrique d'un composant de plaquette de circuits intégrés sous un champ magnétique, notamment d'un point mémoire d'une plaquette, il est recherché l'application d'un champ magnétique au niveau du composant.

[0003] Dans certains cas, pour le test électrique d'un composant particulier de plaquette, par exemple un composant de spintronique ou une cellule d'une mémoire magnétique à accès aléatoire (MRAM, Magnetic Random-Access Memory), il peut être recherché l'application d'un champ magnétique d'amplitude élevée, typiquement supérieure ou égale à 0,5 T, et ce, dans plusieurs directions. Il est donc recherché un générateur de champ magnétique capable de générer un champ magnétique d'amplitude élevée dans plusieurs directions.

Résumé de l'invention

[0004] Il existe un besoin d'amélioration des techniques de génération de champ magnétique.

[0005] En particulier, il existe un besoin d'amélioration des techniques de génération de champ magnétique pour le test électrique d'un composant de plaquette de circuits intégrés.

[0006] Un mode de réalisation pallie tout ou partie des inconvénients des générateurs de champ magnétique connus.

[0007] Un mode de réalisation prévoit un système de génération de champ magnétique comprenant un circuit magnétique comportant :

- un pôle central disposé au-dessus d'un plan, l'axe dudit pôle central s'étendant selon une direction orthogonale correspondant sensiblement à la direction orthogonale au plan ;
- au moins deux pôles planaires disposés symétriquement sur le plan par rapport à l'axe du pôle central, chaque pôle planaire étant porté par une portion du circuit magnétique ; et
- au moins deux bobines, dont au moins une bobine associée à chaque pôle planaire, chaque bobine associée à un pôle planaire entourant la portion de circuit magnétique portant ledit pôle planaire ;

deux bobines associées à deux pôles planaires différents étant adaptées à être connectées à deux circuits d'alimentation distincts ; chaque circuit d'alimentation étant adapté à faire circuler dans au moins une bobine à laquelle elle est connectée un courant d'intensité et de sens déterminés en fonction d'un champ magnétique souhaité et de l'orientation dans le plan du pôle planaire associé à ladite bobine.

[0008] Selon un mode de réalisation, le système comprend en outre une unité de traitement adaptée à déterminer le courant à faire circuler dans chaque bobine.

[0009] Selon un mode de réalisation, l'unité de traitement est adaptée à déterminer un courant d'excitation pour le champ magnétique souhaité, et à déterminer le courant à faire circuler dans chaque bobine en fonction du courant d'excitation déterminé et de l'orientation dans le plan du pôle planaire associé à ladite bobine.

[0010] Selon un mode de réalisation, le système comprend trois bobines et trois pôles planaires disposés symétriquement sur le plan par rapport à l'axe du pôle central et étant orientés d'un premier angle d'environ 120° l'un par rapport à l'autre.

[0011] Selon un mode de réalisation particulier, les courants à faire circuler dans les trois bobines sont respectivement :

$$I_1 = I_X + I_Z$$

pour une première bobine associée à un premier pôle planaire orienté vers l'axe du pôle central dans le sens positif d'une première direction du plan ;

$$I_2 = -\frac{1}{2}I_X + \frac{\sqrt{3}}{2}I_Y + I_Z$$

pour une deuxième bobine associée à un deuxième pôle planaire orienté du premier angle dans le plan par rapport au premier pôle planaire ; et

$$I_3 = -\frac{1}{2}I_X - \frac{\sqrt{3}}{2}I_Y + I_Z$$

pour une troisième bobine associée à un troisième pôle planaire orienté du premier angle dans le plan par rapport au deuxième pôle planaire ;

où I_X , I_Y , I_Z sont les coordonnées du vecteur représentant l'intensité d'excitation I respectivement selon la première direction, la deuxième direction perpendiculaire à la première direction dans le plan, et la direction orthogonale.

[0012] Selon un mode de réalisation, le système comprend quatre bobines et quatre pôles planaires symétriques par rapport à deux plans orthogonaux contenant l'axe du pôle central, deux pôles planaires adjacents étant orientés d'un deuxième angle d'environ 90° l'un par rapport à l'autre.

[0013] Selon un mode de réalisation particulier, les courants à faire circuler dans les quatre bobines sont respectivement :

$$I_1 = I_X + I_Y + I_Z$$

pour une première bobine associée à un premier pôle planaire orienté vers l'axe du pôle central à environ 45° entre des première et deuxième directions orthogonales dans

le plan, dans les sens positifs desdites première et deuxième directions ;

$$I_2 = -I_X + I_Y + I_Z$$

pour une deuxième bobine associée à un deuxième pôle planaire orienté du deuxième angle dans le plan par rapport au premier pôle planaire ;

$$I_3 = -I_X - I_Y + I_Z$$

pour une troisième bobine associée à un troisième pôle planaire orienté du deuxième angle dans le plan par rapport au deuxième pôle planaire ; et

$$I_4 = I_X - I_Y + I_Z$$

pour une quatrième bobine associée à un quatrième pôle planaire orienté du deuxième angle dans le plan par rapport au troisième pôle planaire ;

où I_X , I_Y , I_Z sont les coordonnées du vecteur représentant l'intensité d'excitation I respectivement selon la première direction, la deuxième direction et la direction orthogonale.

- [0014] Selon un mode de réalisation, chaque pôle correspond à une première extrémité d'un bras, les bras étant reliés à un cadre.
- [0015] Selon un mode de réalisation, chaque bras associé à un pôle planaire s'étend sensiblement dans une direction parallèle au plan, une deuxième extrémité dudit bras étant assemblée à un barreau passant à l'intérieur de la au moins une bobine associée audit pôle planaire, chaque barreau s'étendant sensiblement dans la direction orthogonale.
- [0016] Selon un mode de réalisation, le bras associé au pôle central est assemblé à une tige horizontale reliée à deux côtés opposés du cadre.
- [0017] Selon un mode de réalisation, les bobines ont des diamètres extérieurs supérieurs à 70 mm, voire supérieurs à 80 mm, par exemple supérieurs ou égaux à 90 mm.
- [0018] Un mode de réalisation prévoit un procédé de génération de champ magnétique mettant en œuvre un système comprenant un circuit magnétique comportant :
 - un pôle central disposé au-dessus d'un plan, l'axe dudit pôle central s'étendant selon une direction orthogonale correspondant sensiblement à la direction orthogonale au plan ;
 - au moins deux pôles planaires disposés symétriquement sur le plan par rapport à l'axe du pôle central, chaque pôle planaire étant porté par une portion du circuit magnétique ; et
 - au moins deux bobines, dont au moins une bobine associée à chaque pôle planaire, chaque bobine associée à un pôle planaire entourant la portion de circuit magnétique portant ledit pôle planaire ; deux bobines associées à deux pôles planaires différents étant connectées à deux circuits d'alimentation distincts ;
 le procédé comprenant :
 - faire circuler dans au moins une bobine connectée à chaque circuit d'alimentation, un courant d'intensité et de sens déterminés en fonction d'un champ magnétique

souhaité et de l'orientation dans le plan du pôle planaire associé à ladite bobine.

[0019] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend :

- déterminer un courant d'excitation pour le champ magnétique souhaité ; et
- déterminer le courant à faire circuler dans chaque bobine en fonction du courant d'excitation déterminé et de l'orientation dans le plan du pôle planaire associé à ladite bobine.

[0020] Selon un mode de réalisation particulier, dans lequel le système comprend trois bobines et trois pôles planaires disposés symétriquement sur le plan par rapport à l'axe du pôle central et étant orientés d'un premier angle d'environ 120° l'un par rapport à l'autre ; le procédé comprenant :

- faire circuler dans une première bobine associée à un premier pôle planaire orienté vers l'axe du pôle central dans le sens positif d'une première direction du plan un courant d'intensité :

$$I_1 = I_X + I_Z ;$$

- faire circuler dans une deuxième bobine associée à un deuxième pôle planaire orienté du premier angle dans le plan par rapport au premier pôle planaire un courant d'intensité :

$$I_2 = -\frac{1}{2}I_X + \frac{\sqrt{3}}{2}I_Y + I_Z ; \text{ et}$$

- faire circuler dans une troisième bobine associée à un troisième pôle planaire orienté du premier angle dans le plan par rapport au deuxième pôle planaire un courant d'intensité :

$$I_3 = -\frac{1}{2}I_X - \frac{\sqrt{3}}{2}I_Y + I_Z ;$$

où I_X , I_Y , I_Z sont les coordonnées du vecteur représentant l'intensité d'excitation I respectivement selon la première direction, la deuxième direction perpendiculaire à la première direction dans le plan et la direction orthogonale.

[0021] Selon un mode de réalisation particulier, dans lequel le système comprend quatre bobines et quatre pôles planaires symétriques par rapport à deux plans orthogonaux contenant l'axe du pôle central, deux pôles planaires adjacents étant orientés sensiblement d'un deuxième angle d'environ 90° l'un par rapport à l'autre ; le procédé comprenant :

- faire circuler dans une première bobine associée à un premier pôle planaire orienté vers l'axe du pôle central à environ 45° entre des première et deuxième directions orthogonales dans le plan, dans les sens positifs desdites première et deuxième directions, un courant d'intensité :

$$I_1 = I_X + I_Y + I_Z ;$$

- faire circuler dans une deuxième bobine associée à un deuxième pôle planaire orienté du deuxième angle dans le plan par rapport au premier pôle planaire un courant

d'intensité :

$$I_2 = -I_X + I_Y + I_Z ;$$

- faire circuler dans une troisième bobine associée à un troisième pôle planaire orienté du deuxième angle dans le plan par rapport au deuxième pôle planaire un courant d'intensité :

$$I_3 = -I_X - I_Y + I_Z ;$$

- faire circuler dans une quatrième bobine associée à un quatrième pôle planaire orienté du deuxième angle dans le plan par rapport au troisième pôle planaire un courant d'intensité :

$$I_4 = I_X - I_Y + I_Z ;$$

où I_X , I_Y , I_Z sont les coordonnées du vecteur représentant l'intensité d'excitation I respectivement selon la première direction, la deuxième direction et la direction orthogonale.

Brève description des dessins

[0022] Ces caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres, seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

[0023] la [Fig.1A] est une première vue en perspective d'un exemple de générateur de champ magnétique ;

[0024] la [Fig.1B] est une deuxième vue en perspective du générateur de champ magnétique de la [Fig.1A] ;

[0025] la [Fig.2A] est une vue en perspective d'un système de génération de champ magnétique selon un mode de réalisation ;

[0026] la [Fig.2B] est une coupe transversale simplifiée du système de la [Fig.2A] ;

[0027] la [Fig.3A] est une vue en perspective simplifiée d'un système de génération de champ magnétique selon un autre mode de réalisation ; et

[0028] la [Fig.3B] est une coupe transversale simplifiée du système de la [Fig.3A].

Description des modes de réalisation

[0029] De mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références dans les différentes figures. En particulier, les éléments structurels et/ou fonctionnels communs aux différents modes de réalisation peuvent présenter les mêmes références et peuvent disposer de propriétés structurelles, dimensionnelles et matérielles identiques.

[0030] Par souci de clarté, seuls les étapes et éléments utiles à la compréhension des modes de réalisation décrits ont été représentés et sont détaillés. En particulier, les circuits d'alimentation des bobines ne sont pas représentés, pouvant être des conducteurs reliés d'une part à la bobine à alimenter, et d'autre part à un générateur de courant muni de ou relié à un régulateur du courant.

- [0031] Sauf précision contraire, lorsque l'on fait référence à deux éléments connectés entre eux, cela signifie directement connectés sans éléments intermédiaires autres que des conducteurs, et lorsque l'on fait référence à deux éléments reliés (en anglais "coupled") entre eux, cela signifie que ces deux éléments peuvent être connectés ou être reliés par l'intermédiaire d'un ou plusieurs autres éléments.
- [0032] Dans la description qui suit, lorsque l'on fait référence à des qualificatifs de position absolue, tels que les termes "avant", "arrière", "haut", "bas", "gauche", "droite", etc., ou relative, tels que les termes "dessus", "dessous", "supérieur", "inférieur", etc., ou à des qualificatifs d'orientation, tels que les termes "horizontal", "vertical", etc., il est fait référence sauf précision contraire à l'orientation des figures.
- [0033] Sauf précision contraire, les expressions "environ", "approximativement", "sensiblement", et "de l'ordre de" signifient à 10 % près, de préférence à 5 % près.
- [0034] Sauf précision contraire, les valeurs d'angle sont données dans le sens trigonométrique. Par exemple une valeur d'angle de 45° , de 90° ou de 120° doit se comprendre comme étant respectivement $+45^\circ$, $+90^\circ$ ou $+120^\circ$ dans le sens trigonométrique.
- [0035] Un exemple de générateur 100 de champ magnétique est représenté en [Fig.1A]. Il comprend un circuit magnétique comportant un cadre 102 sensiblement carré dont l'axe (axe central) s'étend selon une direction verticale Z, et des barreaux verticaux 104 s'étendant vers le bas à partir de chaque coin du cadre. Chaque barreau vertical se prolonge vers l'axe central par un bras radial 106 se terminant par une extrémité polaire 108 (pôle planaire). Chaque barreau vertical est entouré par deux bobines 110, 112 (représentées en transparence dans la [Fig.1A] pour pouvoir visualiser les barreaux verticaux). Deux autres bobines 118A, 118B sont disposées autour d'une tige horizontale 114 de part et d'autre d'un bloc de liaison 116 situé au milieu de la tige 114. La tige horizontale 114 est attachée à deux côtés opposés du cadre 102. Le bloc de liaison 116 se prolonge par un bras vertical 120 ayant une extrémité polaire 122 (pôle central) en forme de cône. Le pôle central peut être entouré par une bobine 124.
- [0036] Les bobines sont connectées à des circuits d'alimentation, non représentés.
- [0037] On a représenté en [Fig.1B] plus précisément toutes les bobines autour des barreaux verticaux : une première bobine supérieure 110A et une première bobine inférieure 112A autour d'un premier barreau vertical 104A, une deuxième bobine supérieure 110B et une deuxième bobine inférieure 112B autour d'un deuxième barreau vertical 104B, une troisième bobine supérieure 110C et une troisième bobine inférieure 112C autour d'un troisième barreau vertical 104C, une quatrième bobine supérieure 110D et une quatrième bobine inférieure 112D autour d'un quatrième barreau vertical 104D.
- [0038] Les bobines 118A, 118B disposées autour de la tige horizontale 114 peuvent être alimentées au sein d'un même réseau d'alimentation (alimentation champ en Z) de

manière à produire des flux d'induction magnétique respectifs qui, soit s'éloignent de l'axe Z, d'où il résulte un flux magnétique dirigé vers le haut dans le bras vertical 120, soit sont dirigés vers l'axe Z, d'où il résulte un flux dirigé vers le bas dans le bras vertical 120. Dans les deux cas, cela vise à obtenir le plus de flux magnétique dans la direction Z.

- [0039] Lorsqu'on vise à obtenir le plus de flux d'induction magnétique dans la direction X, on peut agir sur les alimentations des bobines supérieures 110A, 110B, 110C, 110D au sein d'un même réseau d'alimentation (alimentation champ en X). Par exemple, on peut alimenter les bobines 110C, 110D en opposition de phase par rapport aux bobines 110A, 110B. Selon un exemple, on peut alimenter les bobines 110A, 110B pour produire un flux magnétique dirigé vers le haut et les bobines 110C, 110D pour produire un flux magnétique dirigé vers le bas, les deux flux pouvant se combiner dans la direction X.
- [0040] Lorsqu'on vise à obtenir le plus de flux d'induction magnétique dans la direction Y, on peut agir sur les alimentations des bobines inférieures 112A, 112B, 112C, 112D au sein d'un même réseau d'alimentation (alimentation champ en Y). Par exemple, on peut alimenter les bobines 112A, 112D en opposition de phase par rapport aux bobines 112B, 112C. Par exemple, on peut alimenter les bobines 112A, 112D pour produire un flux magnétique dirigé vers le bas et les bobines 112B, 112C pour produire un flux magnétique dirigé vers le haut, les deux flux pouvant se combiner dans la direction Y.
- [0041] Un inconvénient de cette technique est qu'on ne peut pas attribuer la puissance de toutes les bobines dans une seule direction, et qu'on ne peut donc pas maximiser le champ magnétique qui pourrait être généré par toutes les bobines. Si on prend le problème à l'inverse, cette technique nécessite de disposer de beaucoup de bobines pour générer un champ magnétique élevé dans plusieurs directions en même temps.
- [0042] Une autre technique, visant à augmenter le flux magnétique dans une direction, consiste à utiliser un système de relais reliés aux bobines pour réattribuer une ou plusieurs bobines d'un réseau d'alimentation sur une autre direction. Par exemple, on peut réattribuer tout ou partie des bobines 110A, 110B, 110C, 110D à une direction autre que la direction X ou tout ou partie des bobines 112A, 112B, 112C, 112D à une direction autre que la direction Y.
- [0043] Un inconvénient de cette autre technique est d'une part que l'obtention d'un flux magnétique élevé selon une direction se fait au détriment d'autres directions, et qu'elle ne permet donc pas de maximiser le flux magnétique dans plusieurs directions. En outre, le changement d'une configuration à une autre, en activant les relais concernés, peut être une opération longue, qui peut durer quelques centaines de millisecondes, par exemple entre environ 500 et environ 1000 millisecondes, et peut induire des usures du système de génération de champ, notamment des relais.

- [0044] Dans certaines applications de la présente description, le champ magnétique généré est par exemple appliqué pour le test de plaquette de circuits intégrés, où des pointes de test sont mises en contact électrique avec un composant de la plaquette, généralement via des plots de contact électrique. Les mesures électriques réalisées sur les pointes de test, par exemple des variations de résistance électrique entre les pointes de test, en fonction de l'intensité et/ou de la direction du champ magnétique appliqué permettent de caractériser le composant de la plaquette.
- [0045] Pour ces applications, en particulier lorsqu'il est recherché l'application au composant d'un champ magnétique d'amplitude élevée dans plusieurs directions, il peut être nécessaire de réaliser plusieurs tests en changeant de configuration à chaque test, par exemple une première configuration de test à champ magnétique élevé dans une première direction, puis une deuxième configuration de test à champ magnétique élevé dans une deuxième direction. La multiplication des tests peut aussi avoir pour conséquence une usure prématurée des pointes de test et/ou des plots de contact électrique de la plaquette par des contacts répétés avec les pointes.
- [0046] Les inventeurs proposent un système permettant de répondre aux besoins d'amélioration des techniques de génération de champ magnétique, permettant de générer un champ magnétique d'amplitude élevée simultanément dans plusieurs directions, sans que cela ne nécessite des opérations trop longues, sans qu'il soit nécessaire de multiplier les bobines et/ou d'utiliser des relais, et sans risquer une usure prématurée du système.
- [0047] Des modes de réalisation de systèmes vont être décrits ci-après. Les modes de réalisation décrits sont non limitatifs et diverses variantes apparaîtront à la personne du métier à partir des indications de la présente description.
- [0048] Les figures 2A et 2B sont des vues respectivement en perspective et en coupe transversale d'un système 200 de génération de champ magnétique selon un mode de réalisation.
- [0049] Le système 200 de génération de champ magnétique représenté comprend un circuit magnétique comportant un cadre 210 de section sensiblement carrée avec des coins arrondis. D'autres formes de cadre sont possibles. L'axe du cadre (axe central) s'étend selon la direction verticale Z (direction orthogonale) et chaque côté du cadre s'étend soit selon une première direction horizontale X, soit selon une deuxième direction horizontale Y perpendiculaire à la direction X. Des barreaux cylindriques verticaux 212A, 212B, 212C, 212D s'étendent vers le bas à partir de chaque coin du cadre, chaque barreau se prolongeant vers l'axe central par un bras radial 214A, 214B, 214C, 214D s'étendant sensiblement dans un plan horizontal, voire légèrement incliné par rapport à un plan horizontal, et se terminant par une extrémité polaire 216A, 216B, 216C, 216D (pôle planaire). Les pôles planaires ont des faces inférieures situées dans

un même plan XY sensiblement horizontal.

- [0050] Les bras radiaux 214A, 214B, 214C, 214D et les pôles planaires 216A, 216B, 216C, 216D sont orientés dans le plan horizontal à environ 45° par rapport à la direction X et à la direction Y, comme on peut le voir dans la [Fig.2B]. Par conséquent, deux pôles planaires adjacents sont orientés d'un angle α égal à environ 90° l'un par rapport à l'autre.
- [0051] En outre, un bras vertical 218 (bras central) ayant une forme de parallélépipède allongé avec une extrémité polaire 220 (pôle central) en forme de pyramide inversée tronquée s'étend verticalement depuis le milieu du cadre 210 vers le bas. Le pôle central se termine par une face sensiblement horizontale (troncature de la pyramide inversée tronquée).
- [0052] Le circuit magnétique (cadre, barreaux, bras, pôles) est réalisé en un matériau ferromagnétique doux, par exemple du fer doux.
- [0053] Chaque barreau vertical est entouré par une bobine 230A, 230B, 230C, 230D. Les bobines peuvent être identiques.
- [0054] Les bobines peuvent être dimensionnées en fonction de valeurs de champ magnétique que l'on souhaite générer.
- [0055] De préférence, les bobines ont des diamètres extérieurs supérieurs à 30 mm, par exemple compris entre 70 et 95 mm. Chaque bobine peut être formée par bobinage d'un fil conducteur, par exemple en cuivre, le nombre de tours de fil conducteur dépendant notamment du diamètre du fil. Chaque bobine peut comprendre plusieurs centaines de tours de fil conducteur, par exemple entre 100 et 5000 tours. A titre d'exemple, les bobines ont des diamètres d'environ 90 mm, et sont réalisées avec des fils en cuivre de diamètre 3,5 et un nombre de tours d'environ 900.
- [0056] Chaque bobine est connectée à un circuit d'alimentation qui lui est propre, non représenté. Chaque circuit d'alimentation permet de faire circuler un courant de sens et d'intensité déterminés en fonction d'un champ magnétique souhaité H et de l'orientation dans le plan du pôle planaire associé à ladite bobine.
- [0057] Selon un mode de réalisation, un courant d'excitation I est défini, par exemple sous la forme d'un vecteur, pour le champ magnétique souhaité, et le courant à faire circuler dans chaque bobine est déterminé en fonction du courant d'excitation défini pour contribuer à orienter le champ magnétique, projeté dans un plan parallèle à celui des pôles planaires, selon la (ou les) direction(s) souhaitée(s). Par exemple, le courant à faire circuler dans chaque bobine est déterminé de sorte à maximiser le champ magnétique dans une ou plusieurs directions. Le courant d'excitation I peut être déterminé par un algorithme d'optimisation ou de recherche, de manière connue de la personne du métier.
- [0058] Il est à noter que le courant d'excitation I est à considérer comme une entité de pa-

ramétrage intermédiaire, et non comme un courant à faire circuler en tant que tel dans un circuit.

[0059] Selon un exemple, on peut déterminer le courant à faire circuler dans chacune des quatre bobines à l'aide des quatre équations décrites dans ce qui suit.

[0060] On fait circuler dans une première bobine 230A associée à un premier pôle planaire 216A un courant d'intensité I_1 , avec :

$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{I}_X + \mathbf{I}_Y + \mathbf{I}_Z ;$$

où I_X , I_Y , I_Z sont les coordonnées du vecteur représentant l'intensité d'excitation I respectivement selon la première direction horizontale X, la deuxième direction horizontale Y et la direction verticale Z.

[0061] Le premier pôle planaire 216A est orienté vers l'axe Z du pôle central dans les sens positifs des directions X et Y, ce qui explique les signes "+" devant les coordonnées en X et en Y de l'intensité I . Par ailleurs, comme chaque pôle planaire est orienté à environ 45° par rapport à ces directions dans le plan, le fait d'additionner positivement toutes les coordonnées du vecteur intensité d'excitation I permet de maximiser le flux magnétique généré par cette première bobine dans chacune des directions X et Y, mais également dans la direction Z comme expliqué plus après.

[0062] Selon le même principe, et simultanément, on fait circuler dans une deuxième bobine 230B associée à un deuxième pôle planaire 216B orienté à environ 90° dans le plan par rapport au premier pôle planaire 216A, un courant d'intensité I_2 , avec :

$$\mathbf{I}_2 = -\mathbf{I}_X + \mathbf{I}_Y + \mathbf{I}_Z$$

[0063] Le signe "-" devant la coordonnée en X de l'intensité I s'explique par le fait que le deuxième pôle planaire 216B est orienté vers l'axe Z du pôle central dans le sens négatif de la direction X, alors qu'il est orienté dans le sens positif de la direction Y, d'où le signe "+" devant la coordonnée en Y de l'intensité I .

[0064] Selon le même principe, et simultanément, on fait circuler dans une troisième bobine 230C associée à un troisième pôle planaire 216C orienté à environ 90° dans le plan par rapport au deuxième pôle planaire un courant d'intensité I_3 , avec :

$$\mathbf{I}_3 = -\mathbf{I}_X - \mathbf{I}_Y + \mathbf{I}_Z$$

[0065] Les signes "-" devant les coordonnées en X et en Y de l'intensité I s'expliquent par le fait que le troisième pôle planaire 216C est orienté vers l'axe Z du pôle central dans les sens négatifs des directions X et Y.

[0066] Selon le même principe, et simultanément, on fait circuler dans une quatrième bobine 230D associée à un quatrième pôle planaire 216D orienté à environ 90° dans le plan par rapport au troisième pôle planaire un courant d'intensité I_4 , avec :

$$\mathbf{I}_4 = \mathbf{I}_X - \mathbf{I}_Y + \mathbf{I}_Z$$

[0067] Le signe "-" devant la coordonnée en Y de l'intensité I s'explique par le fait que le quatrième pôle planaire 216D est orienté vers l'axe Z du pôle central dans le sens

négatif de la direction Y, alors qu'il est orienté dans le sens positif de la direction X, d'où le signe "+" devant la coordonnée en X de l'intensité I.

- [0068] Le flux magnétique généré par chaque bobine est dirigé vers le pôle central 220. Il remonte dans la direction Z vers le haut (sens positif de la direction Z) via le bras vertical 218, ce qui permet d'avoir une composante maximisée du champ magnétique également dans cette direction, sans qu'il soit nécessaire de disposer une bobine autour du pôle central. Dit autrement, le flux magnétique suivant la direction Z provient des lignes de champs attirées dans le bras central 218 dont le matériau présente une plus grande perméabilité que l'air. Le fait de garder le même signe (signe "+" dans l'exemple donné) pour le terme I_z dans les équations de chacune des bobines vise à favoriser ce transfert de flux, ce qui permet de maximiser le flux magnétique généré suivant la direction Z. Alternativement, on pourrait mettre le même signe "-" pour le terme I_z dans les équations de chacune des bobines.
- [0069] Cet exemple permet de maximiser le courant généré par chacune des quatre bobines, simultanément dans chacune des directions X, Y, Z. Les équations donnant les intensités des bobines, et notamment les signes devant les coordonnées de l'intensité d'excitation, sont choisis de manière à ce que chaque bobine contribue à la même intensité d'excitation, par exemple pour éviter que certaines composantes de ladite intensité s'annulent entre elles, et qu'au contraire elles se combinent. Ainsi, toute la puissance des quatre bobines peut être attribuée en même temps dans les trois directions, sans avoir à augmenter le nombre de bobines et sans qu'il soit nécessaire de basculer d'une configuration à une autre, par exemple sans qu'il soit nécessaire d'utiliser de relais.
- [0070] Une unité de traitement 240 peut être reliée au circuit d'alimentation de chaque bobine, et dans certains cas à un capteur de champ magnétique (non représenté), et être adaptée à déterminer les coordonnées du vecteur intensité d'excitation I en fonction du champ magnétique H souhaité à l'aide d'un algorithme adéquat, et à déterminer les intensités à faire circuler dans chaque bobine, par exemple selon la méthode présentée ci-dessus.
- [0071] Les figures 3A et 3B sont des vues respectivement en perspective et en coupe transversale d'un système de génération de champ magnétique selon un autre mode de réalisation, qui se distingue du mode de réalisation des figures 2A et 2B principalement en ce qu'il y a trois pôles planaires 316A, 316B, 316C et trois bobines 320A, 320B, 320C, une bobine associée avec un pôle planaire, au lieu de quatre pôles planaires et quatre bobines.
- [0072] De manière similaire au système des figures 2A et 2B, les pôles planaires 316A, 316B, 316C sont des extrémités de bras radiaux 314A, 314B, 314C s'étendant sensiblement dans un plan horizontal, voire légèrement incliné par rapport à un plan ho-

horizontal, les bras radiaux étant assemblés à des barreaux cylindriques verticaux 312A, 312B, 312C. Les pôles planaires ont des faces inférieures situées dans un même plan XY, ledit plan étant sensiblement horizontal.

- [0073] Un premier bras radial 314A et un premier pôle planaire 316A sont orientés dans une première direction X du plan. Un deuxième bras radial 314B et un deuxième pôle planaire 316B sont orientés d'un angle θ dans le plan par rapport au premier pôle planaire. Un troisième bras radial 314C et un troisième pôle planaire 316C sont orientés du même angle θ dans le plan par rapport au deuxième pôle planaire. L'angle θ est égal à environ 120° .
- [0074] En outre, un bras vertical 318 (selon la direction Z), ou bras central, ayant une forme de parallélépipède allongé avec une extrémité polaire 320 (pôle central) en forme de pyramide inversée tronquée s'étend vers le bas. Le pôle central se termine par une face sensiblement horizontale (troncature de la pyramide inversée tronquée).
- [0075] Les barreaux verticaux et le bras vertical peuvent être assemblés à un cadre, non représenté, mais qui peut être similaire au cadre des figures 2A et 2B, ou présenter une autre forme, par exemple triangulaire, hexagonale, circulaire, ou toute autre forme adaptée.
- [0076] Les pôles planaires sont disposés symétriquement sur le plan XY par rapport à l'axe du pôle central.
- [0077] Le circuit magnétique (cadre, barreaux, bras, pôles) est réalisé en un matériau ferromagnétique doux, par exemple du fer doux.
- [0078] Chaque barreau vertical est entouré par une bobine 330A, 330B, 330C. Les bobines peuvent être identiques. Les exemples de dimensionnement de bobines données en relation avec les figures 2A et 2B peuvent s'appliquer.
- [0079] Similairement au système des figures 2A et 2B, chaque bobine est connectée à un circuit d'alimentation qui lui est propre, non représenté. Chaque circuit permet de faire circuler un courant de sens et d'intensité déterminés en fonction d'un champ magnétique souhaité H et de l'orientation dans le plan du pôle planaire associé à ladite bobine.
- [0080] Selon un mode de réalisation similaire à celui décrit en relation avec les figures 2A et 2B, un courant d'excitation I est défini, par exemple sous la forme d'un vecteur, pour le champ magnétique souhaité, et le courant à faire circuler dans chaque bobine est déterminé en fonction du courant d'excitation défini pour contribuer à orienter le champ magnétique, projeté dans un plan parallèle à celui des pôles planaires, la (ou les) direction(s) souhaitée(s). Par exemple, le courant à faire circuler dans chaque bobine est déterminé de sorte à maximiser le champ magnétique dans une ou plusieurs directions.
- [0081] Selon un exemple, on peut déterminer le courant à faire circuler dans chacune des

trois bobines à l'aide des trois équations décrites dans ce qui suit. Le principe est similaire à l'exemple décrit en relation avec les figures 2A et 2B, mais les équations sont adaptées à trois bobines au lieu de quatre.

- [0082] On fait circuler dans une première bobine 330A associée au premier pôle planaire 316A un courant d'intensité I_1 , avec :

$$I_1 = I_X + I_Z$$

où I_X , I_Y , I_Z sont les coordonnées du vecteur représentant l'intensité d'excitation I respectivement selon la première direction X, la deuxième direction Y perpendiculaire à la première direction dans le plan et la direction orthogonale Z.

- [0083] Le premier pôle planaire 316A est orienté vers l'axe Z du pôle central dans le sens positif de la direction X, d'où le signe "+" devant la coordonnée en X de l'intensité I . Par ailleurs, le premier pôle planaire est perpendiculaire à la direction Y, ce qui explique que la coordonnée en Y de l'intensité I n'apparaisse pas dans l'équation.

- [0084] Selon le même principe, et simultanément, on fait circuler dans une deuxième bobine 330B associée au deuxième pôle planaire 316B un courant d'intensité I_2 , avec :

$$I_2 = -\frac{1}{2}I_X + \frac{\sqrt{3}}{2}I_Y + I_Z$$

- [0085] Le signe "-" devant la coordonnée en X de l'intensité I s'explique par le fait que le deuxième pôle planaire 316B est orienté vers l'axe Z du pôle central dans le sens négatif de la direction X, alors qu'il est orienté dans le sens positif de la direction Y, d'où le signe "+" devant la coordonnée en Y de l'intensité I .

- [0086] Les coefficients $\frac{1}{2}$ et $\frac{\sqrt{3}}{2}$ sont calculés en fonction de l'orientation du deuxième pôle planaire par rapport aux directions X et Y.

- [0087] Selon le même principe, et simultanément, on fait circuler dans une troisième bobine 330C associée au troisième pôle planaire 316C un courant d'intensité I_3 , avec :

$$I_3 = -\frac{1}{2}I_X - \frac{\sqrt{3}}{2}I_Y + I_Z$$

- [0088] Les signes "-" devant les coordonnées en X et en Y de l'intensité I s'expliquent par le fait que le troisième pôle planaire 316C est orienté vers l'axe Z du pôle central dans les sens négatifs des directions X et Y.

- [0089] Les coefficients $\frac{1}{2}$ et $\frac{\sqrt{3}}{2}$ sont calculés en fonction de l'orientation du troisième pôle planaire par rapport aux directions X et Y.

- [0090] Le flux magnétique généré par chaque bobine est dirigé vers le pôle central. Il remonte dans la direction Z vers le haut (sens positif de la direction Z), ce qui permet d'avoir une composante maximisée du champ magnétique également dans cette direction, sans qu'il soit nécessaire d'avoir une bobine autour du pôle central.

- [0091] Une unité de traitement (non représentée) peut être reliée au circuit d'alimentation de chaque bobine, et dans certains cas à un capteur de champ magnétique (non re-

présenté), et être adaptée à déterminer les coordonnées du vecteur intensité d'excitation I en fonction du champ magnétique H souhaité par un algorithme adéquat, et à déterminer les intensités à faire circuler dans chaque bobine, par exemple selon la méthode présentée ci-dessus.

- [0092] Cet exemple permet de maximiser le courant généré par chacune des trois bobines, simultanément dans chacune des directions X , Y , Z . En effet, les équations donnant les intensités des bobines, et notamment les signes et coefficient devant les coordonnées de l'intensité d'excitation, sont choisies de manière à ce que chaque bobine contribue à la même intensité d'excitation, par exemple pour éviter que certaines composantes de ladite intensité s'annulent entre elles, et au contraire se combinent. Ainsi, toute la puissance des trois bobines peut être attribuée en même temps dans les trois directions, sans avoir à augmenter le nombre de bobines et sans qu'il soit nécessaire de basculer d'une configuration à une autre, par exemple sans qu'il soit nécessaire d'utiliser de relais.
- [0093] Les deux modes de réalisation décrits mettent en œuvre trois ou quatre pôles planaires. On voit qu'avec au moins trois pôles planaires, il est possible de régler les trois composantes X , Y , Z du champ magnétique. En outre, les modes de réalisation permettent de les régler précisément.
- [0094] Deux exemples et équations ont été donnés avec trois et quatre bobines, mais d'autres exemples et équations sont possibles, par exemple en fonction du nombre de bobines, des orientations des pôles planaires associées aux bobines par rapport au référentiel choisi pour définir les coordonnées de d'intensité d'excitation, du champ magnétique souhaité, et/ou des directions dans lesquelles on souhaite maximiser le champ magnétique.
- [0095] D'une manière générale, les modes de réalisation permettent, en déterminant des courants d'intensité et de sens spécifiques à chaque bobine, de maximiser les composantes du champ magnétique dans plusieurs directions en même temps. Les intensités et sens des courants à faire circuler dans chaque bobine peuvent être déterminés de manière à maximiser le champ magnétique dans d'autres directions que les directions X , Y , Z du référentiel choisi.
- [0096] Selon d'autres modes de réalisation, il peut y avoir plus de pôles planaires, voire deux pôles planaires. Dans le cas de deux pôles planaires, il est possible de régler deux composantes du champ magnétique, une composante verticale (Z) et une composante horizontale (X ou Y).
- [0097] Bien que des bobines disposées autour d'éléments du circuit magnétique aient été décrites dans une configuration particulière dans les deux modes de réalisation, d'autres configurations sont possibles. A titre de variante, les bobines peuvent être remplacées par des bobines situées autour des côtés du cadre.

- [0098] En outre, il n'a pas été représenté de bobine autour du bras central dans les deux modes de réalisation ci-dessus. En effet, de manière générale, les modes de réalisation peuvent être mis en œuvre sans qu'il soit nécessaire d'associer une bobine au pôle central pour générer la composante du champ magnétique en Z, celle-ci étant obtenue par les flux magnétiques générés dans les directions X, Y du plan et remontant (ou descendant) ensuite dans la direction Z, en particulier dans le pôle central. Il est cependant possible de rajouter au moins une bobine autour du bras central si l'on souhaite maximiser le flux magnétique dans la direction Z.
- [0099] Divers modes de réalisation et variantes ont été décrits. La personne du métier comprendra que certaines caractéristiques de ces divers modes de réalisation et variantes pourraient être combinées, et d'autres variantes apparaîtront à la personne du métier. En particulier, un barreau vertical peut présenter une forme autre que cylindrique et/ou peut être entouré par plus d'une bobine. En outre, un bras vertical peut présenter une forme autre que parallélépipédique avec une extrémité en forme de pyramide tronquée, par exemple une forme cylindrique avec une extrémité en forme de cône tronqué.
- [0100] Enfin, la mise en œuvre pratique des modes de réalisation et variantes décrits est à la portée de la personne du métier à partir des indications fonctionnelles données ci-dessus.

Revendications

- [Revendication 1] Système (200 ; 300) de génération de champ magnétique comprenant un circuit magnétique comportant :
- un pôle central (220 ; 320) disposé au-dessus d'un plan (XY), l'axe dudit pôle central s'étendant selon une direction orthogonale (Z) correspondant sensiblement à la direction orthogonale au plan ;
 - au moins deux pôles planaires (216A, 216B, 216C, 216D ; 316A, 316B, 316C) disposés symétriquement sur le plan par rapport à l'axe du pôle central, chaque pôle planaire étant porté par une portion du circuit magnétique ; et
 - au moins deux bobines (230A, 230B, 230C, 230D ; 330A, 330B, 330C), dont au moins une bobine associée à chaque pôle planaire, chaque bobine associée à un pôle planaire entourant la portion de circuit magnétique portant ledit pôle planaire ;
- deux bobines associées à deux pôles planaires différents étant adaptées à être connectées à deux circuits d'alimentation distincts ; chaque circuit d'alimentation étant adapté à faire circuler dans au moins une bobine à laquelle elle est connectée un courant d'intensité et de sens déterminés en fonction d'un champ magnétique souhaité et de l'orientation dans le plan du pôle planaire associé à ladite bobine.
- [Revendication 2] Système (200 ; 300) selon la revendication 1, comprenant en outre une unité de traitement (240) adaptée à déterminer le courant à faire circuler dans chaque bobine.
- [Revendication 3] Système (200 ; 300) selon la revendication 2, dans lequel l'unité de traitement est adaptée à déterminer un courant d'excitation pour le champ magnétique souhaité, et à déterminer le courant à faire circuler dans chaque bobine en fonction du courant d'excitation déterminé et de l'orientation dans le plan du pôle planaire associé à ladite bobine.
- [Revendication 4] Système (300) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, comprenant trois bobines (330A, 330B, 330C) et trois pôles planaires (316A, 316B, 316C) disposés symétriquement sur le plan par rapport à l'axe du pôle central (320) et étant orientés d'un premier angle (θ) d'environ 120° l'un par rapport à l'autre.
- [Revendication 5] Système (300) selon la revendication 4 dans sa dépendance avec la revendication 3, dans lequel les courants à faire circuler dans les trois bobines (330A, 330B, 330C) sont respectivement :

$$I_1 = I_X + I_Z$$

pour une première bobine (330A) associée à un premier pôle planaire (316A) orienté vers l'axe du pôle central (320) dans le sens positif d'une première direction (X) du plan ;

$$I_2 = -\frac{1}{2}I_X + \frac{\sqrt{3}}{2}I_Y + I_Z$$

pour une deuxième bobine (330B) associée à un deuxième pôle planaire (316B) orienté du premier angle (θ) dans le plan par rapport au premier pôle planaire ; et

$$I_3 = -\frac{1}{2}I_X - \frac{\sqrt{3}}{2}I_Y + I_Z$$

pour une troisième bobine (330C) associée à un troisième pôle planaire (316C) orienté du premier angle (θ) dans le plan par rapport au deuxième pôle planaire ;

où I_X , I_Y , I_Z sont les coordonnées du vecteur représentant l'intensité d'excitation I respectivement selon la première direction (X), la deuxième direction (Y) perpendiculaire à la première direction dans le plan, et la direction orthogonale (Z).

[Revendication 6]

Système (200) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, comprenant quatre bobines (230A, 230B, 230C, 230D) et quatre pôles planaires (216A, 216B, 216C, 216D) symétriques par rapport à deux plans orthogonaux contenant l'axe du pôle central (220), deux pôles planaires adjacents étant orientés d'un deuxième angle (α) d'environ 90° l'un par rapport à l'autre.

[Revendication 7]

Système selon la revendication 6 dans sa dépendance avec la revendication 3, dans lequel les courants à faire circuler dans les quatre bobines (230A, 230B, 230C, 230D) sont respectivement :

$$I_1 = I_X + I_Y + I_Z$$

pour une première bobine (230A) associée à un premier pôle planaire (216A) orienté vers l'axe du pôle central (220) à environ 45° entre des première (X) et deuxième (Y) directions orthogonales dans le plan, dans les sens positifs desdites première et deuxième directions ;

$$I_2 = -I_X + I_Y + I_Z$$

pour une deuxième bobine (230B) associée à un deuxième pôle planaire (216B) orienté du deuxième angle (α) dans le plan par rapport au premier pôle planaire ;

$$I_3 = -I_X - I_Y + I_Z$$

pour une troisième bobine (230C) associée à un troisième pôle planaire (216C) orienté du deuxième angle (α) dans le plan par rapport au deuxième pôle planaire ; et

$$I_4 = I_X - I_Y + I_Z$$

pour une quatrième bobine (230D) associée à un quatrième pôle planaire (216D) orienté du deuxième angle (α) dans le plan par rapport au troisième pôle planaire ;

où I_X , I_Y , I_Z sont les coordonnées du vecteur représentant l'intensité d'excitation I respectivement selon la première direction (X), la deuxième direction (Y) et la direction orthogonale (Z).

- [Revendication 8] Système (200 ; 300) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel chaque pôle correspond à une première extrémité d'un bras (214A, 214B, 214C, 214D, 218 ; 314A, 314B, 314C, 318), les bras étant reliés à un cadre (210).
- [Revendication 9] Système (200 ; 300) selon la revendication 8, dans lequel chaque bras (214A, 214B, 214C, 214D ; 314A, 314B, 314C) associé à un pôle planaire (216A, 216B, 216C, 216D ; 316A, 316B, 316C) s'étend sensiblement dans une direction parallèle au plan, une deuxième extrémité dudit bras étant assemblée à un barreau (212A, 212B, 212C, 212D ; 312A, 312B, 312C) passant à l'intérieur de la au moins une bobine associée audit pôle planaire, chaque barreau s'étendant sensiblement dans la direction orthogonale (Z).
- [Revendication 10] Système selon la revendication 8 ou 9, dans lequel le bras associé au pôle central est assemblé à une tige horizontale reliée à deux côtés opposés du cadre.
- [Revendication 11] Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel les bobines ont des diamètres extérieurs supérieurs à 70 mm, voire supérieurs à 80 mm, par exemple supérieurs ou égaux à 90 mm.
- [Revendication 12] Procédé de génération de champ magnétique mettant en œuvre un système (200 ; 300) comprenant un circuit magnétique comportant :
- un pôle central (220 ; 320) disposé au-dessus d'un plan (XY), l'axe dudit pôle central s'étendant selon une direction orthogonale (Z) correspondant sensiblement à la direction orthogonale au plan ;
 - au moins deux pôles planaires (216A, 216B, 216C, 216D ; 316A, 316B, 316C) disposés symétriquement sur le plan par rapport à l'axe du pôle central, chaque pôle planaire étant porté par une portion du circuit magnétique ; et
 - au moins deux bobines (230A, 230B, 230C, 230D ; 330A, 330B, 330C), dont au moins une bobine associée à chaque pôle planaire, chaque bobine associée à un pôle planaire entourant la portion de circuit magnétique portant ledit pôle planaire ; deux bobines associées à deux

pôles planaires différents étant connectées à deux circuits d'alimentation distincts ;

le procédé comprenant :

- faire circuler dans au moins une bobine connectée à chaque circuit d'alimentation, un courant d'intensité et de sens déterminés en fonction d'un champ magnétique souhaité et de l'orientation dans le plan du pôle planaire associé à ladite bobine.

[Revendication 13] Procédé selon la revendication 12 comprenant :

- déterminer un courant d'excitation pour le champ magnétique souhaité ; et

- déterminer le courant à faire circuler dans chaque bobine en fonction du courant d'excitation déterminé et de l'orientation dans le plan du pôle planaire associé à ladite bobine.

[Revendication 14] Procédé selon la revendication 13, dans lequel le système comprend trois bobines (330A, 330B, 330C) et trois pôles planaires (316A, 316B, 316C) disposés symétriquement sur le plan par rapport à l'axe du pôle central (320) et étant orientés d'un premier angle (θ) d'environ 120° l'un par rapport à l'autre ;

le procédé comprenant :

- faire circuler dans une première bobine (330A) associée à un premier pôle planaire (316A) orienté vers l'axe du pôle central (Z) dans le sens positif d'une première direction (X) du plan un courant d'intensité :

$$I_1 = I_X + I_Z ;$$

- faire circuler dans une deuxième bobine (330B) associée à un deuxième pôle planaire (316B) orienté du premier angle (θ) dans le plan par rapport au premier pôle planaire un courant d'intensité :

$$I_2 = -\frac{1}{2}I_X + \frac{\sqrt{3}}{2}I_Y + I_Z ; \text{ et}$$

- faire circuler dans une troisième bobine (330C) associée à un troisième pôle planaire (316C) orienté du premier angle (θ) dans le plan par rapport au deuxième pôle planaire un courant d'intensité :

$$I_3 = -\frac{1}{2}I_X - \frac{\sqrt{3}}{2}I_Y + I_Z ;$$

où I_X , I_Y , I_Z sont les coordonnées du vecteur représentant l'intensité d'excitation I respectivement selon la première direction (X), la deuxième direction (Y) perpendiculaire à la première direction dans le plan (XY) et la direction orthogonale (Z).

[Revendication 15] Procédé selon la revendication 13, comprenant quatre bobines (230A, 230B, 230C, 230D) et quatre pôles planaires (216A, 216B, 216C, 216D)

symétriques par rapport à deux plans orthogonaux contenant l'axe du pôle central (220), deux pôles planaires adjacents étant orientés sensiblement d'un deuxième angle (α) d'environ 90° l'un par rapport à l'autre ;

le procédé comprenant :

- faire circuler dans une première bobine (230A) associée à un premier pôle planaire (216A) orienté vers l'axe du pôle central (220) à environ 45° entre des première (X) et deuxième (Y) directions orthogonales dans le plan, dans les sens positifs desdites première et deuxième directions, un courant d'intensité :

$$I_1 = I_X + I_Y + I_Z ;$$

- faire circuler dans une deuxième bobine (230B) associée à un deuxième pôle planaire (216B) orienté du deuxième angle (α) dans le plan par rapport au premier pôle planaire un courant d'intensité :

$$I_2 = -I_X + I_Y + I_Z ;$$

- faire circuler dans une troisième bobine (230C) associée à un troisième pôle planaire (216C) orienté du deuxième angle (α) dans le plan par rapport au deuxième pôle planaire un courant d'intensité :

$$I_3 = -I_X - I_Y + I_Z ;$$

- faire circuler dans une quatrième bobine (230D) associée à un quatrième pôle planaire (216D) orienté du deuxième angle (α) dans le plan par rapport au troisième pôle planaire un courant d'intensité :

$$I_4 = I_X - I_Y + I_Z ;$$

où I_X , I_Y , I_Z sont les coordonnées du vecteur représentant l'intensité d'excitation I respectivement selon la première direction (X), la deuxième direction (Y) et la direction orthogonale (Z).

[Fig. 1A]

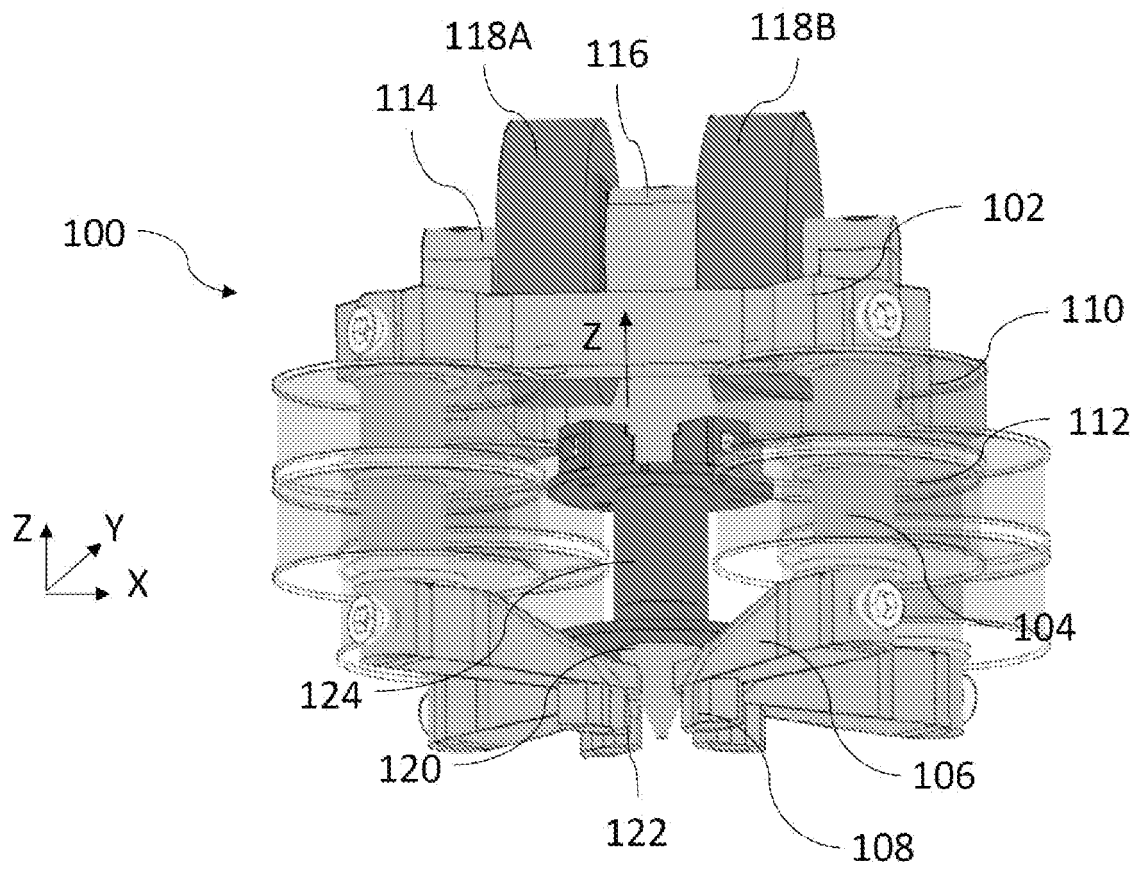


FIG. 1A

[Fig. 1B]

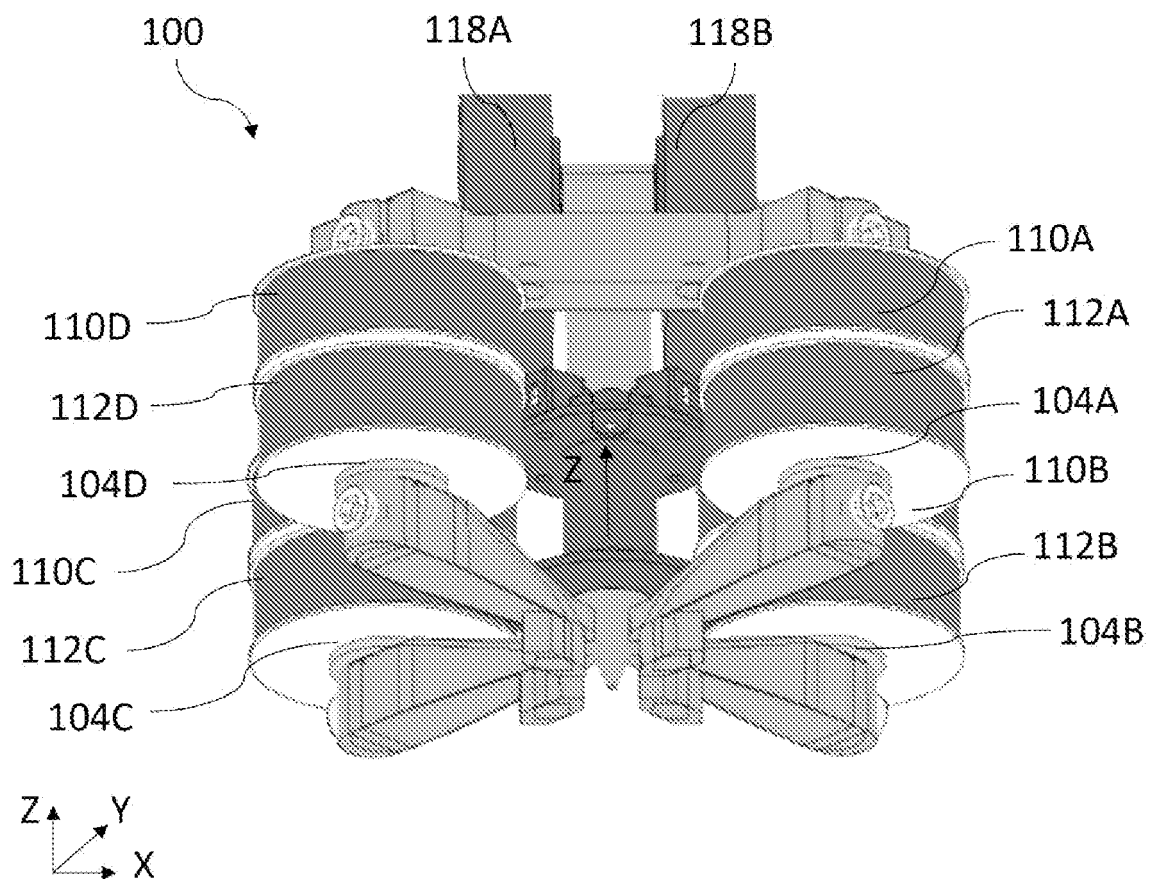
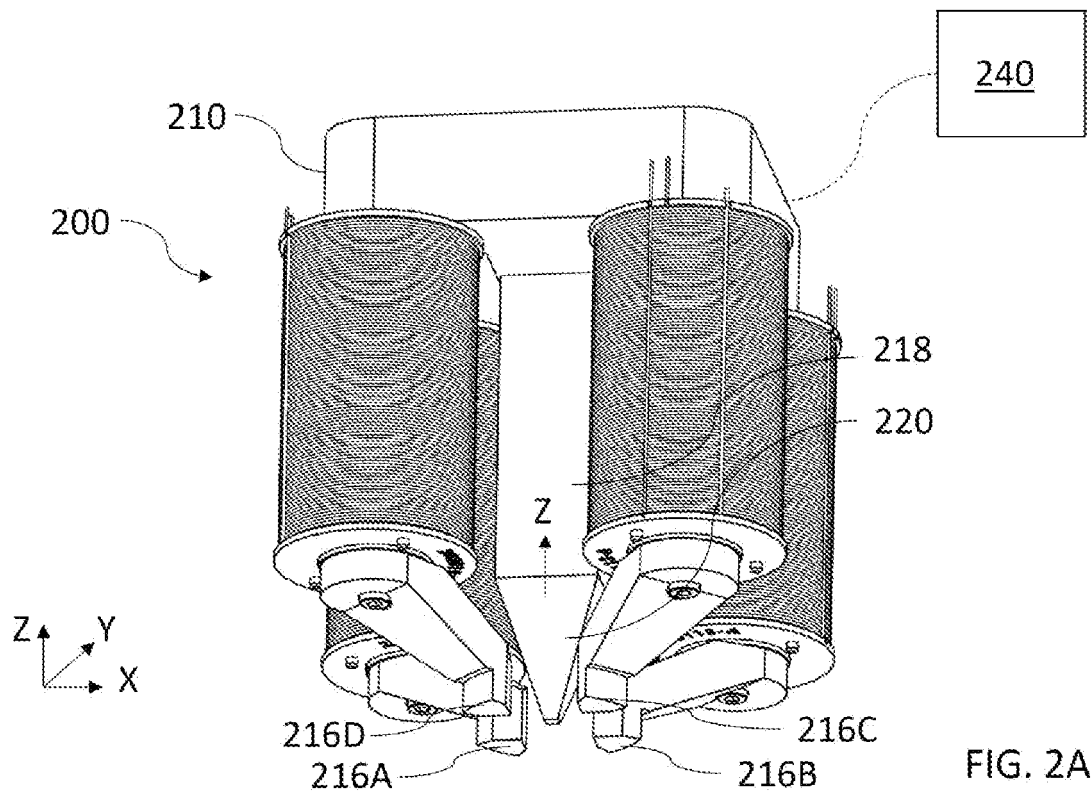
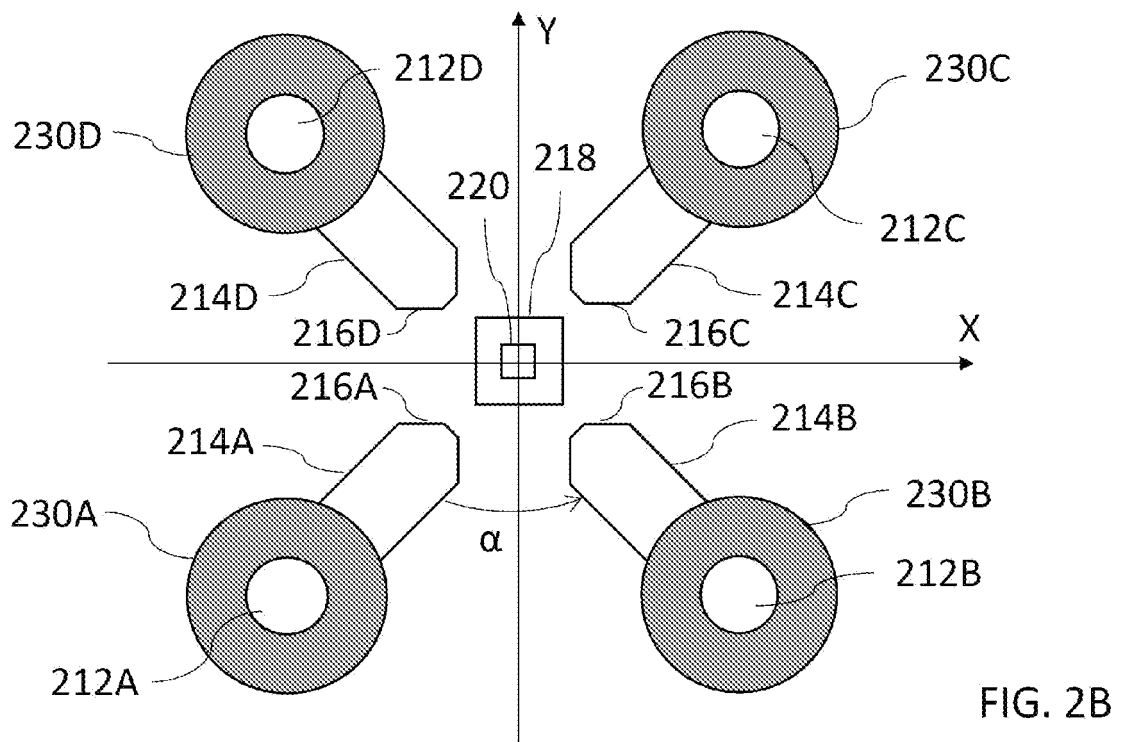


FIG. 1B

[Fig. 2A]



[Fig. 2B]



[Fig. 3A]

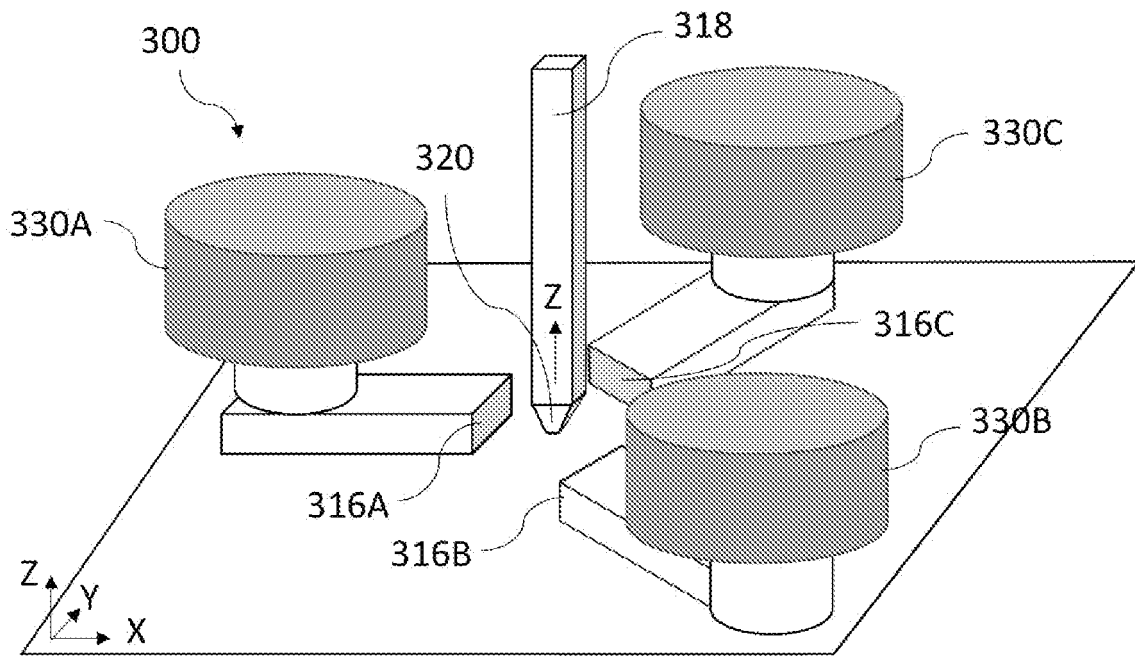


FIG. 3A

[Fig. 3B]

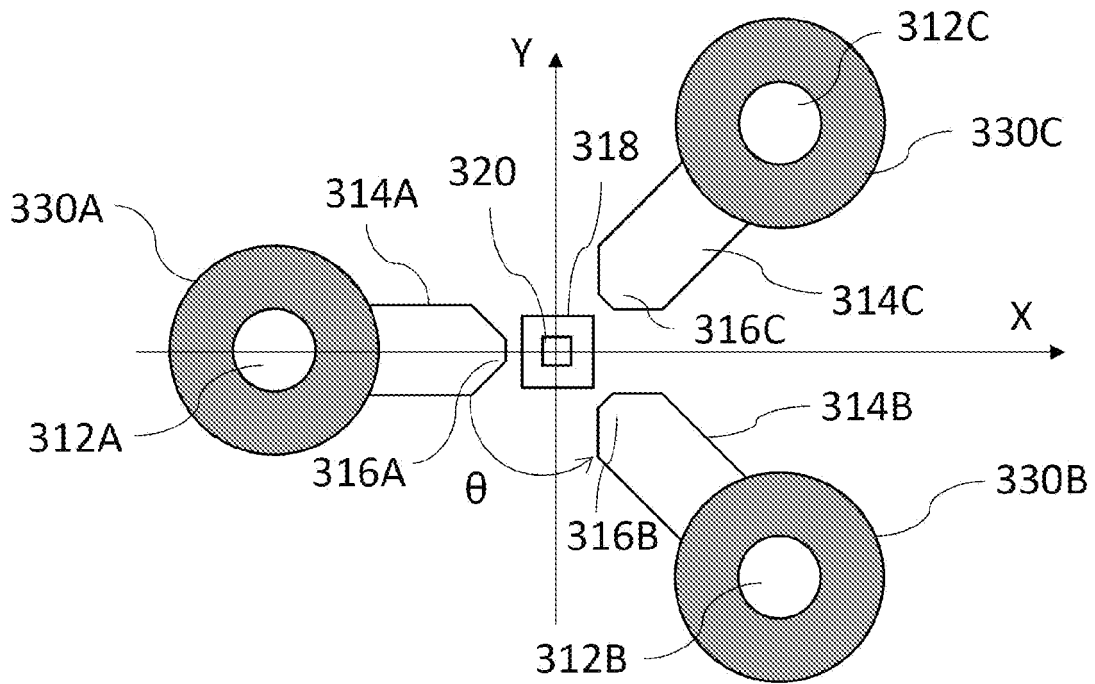


FIG. 3B

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 901946

FR 2113055

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	FR 3 046 695 A1 (CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]; COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 14 juillet 2017 (2017-07-14) * abrégé * * page 8, ligne 33 – page 9, ligne 3; revendication 1; figures 2A,2B, 3 * * page 7, ligne 14 – ligne 17 * * page 11, ligne 9 – ligne 19; figures 4A, çb % * * page 7, ligne 3 – ligne 4 * -----	1–15	H01F17/04 H01F5/00
X	WO 2021/226652 A1 (AUSTRALIAN NATIONAL UNIV [AU]) 18 novembre 2021 (2021-11-18) * abrégé * * page 17, ligne 3 – page 19, ligne 10; figures 4,5 * -----	1–15	
X	JP 2021 136453 A (TOEI SCIENT INDUSTRIAL CO LTD) 13 septembre 2021 (2021-09-13) * abrégé * * alinéa [0019] – alinéa [0025]; figures 1,2 * -----	1–3,12, 13	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H01F G11C G01R
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
19 juillet 2022		Warneck, Nicolas	
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 2113055 FA 901946

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 **19-07-2022**
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
FR 3046695	A1	14-07-2017	CN	108885932 A	23-11-2018
			EP	3403268 A1	21-11-2018
			ES	2839499 T3	05-07-2021
			FR	3046695 A1	14-07-2017
			JP	7028779 B2	02-03-2022
			JP	2019504498 A	14-02-2019
			JP	2022027765 A	14-02-2022
			KR	20180101388 A	12-09-2018
			PT	3403268 T	22-01-2021
			SG	11201805850S A	30-08-2018
			TW	201801103 A	01-01-2018
			US	2019027291 A1	24-01-2019
			WO	2017121947 A1	20-07-2017

WO 2021226652	A1	18-11-2021	AUCUN		

JP 2021136453	A	13-09-2021	JP	6892161 B1	23-06-2021
			JP	2021132191 A	09-09-2021
			JP	2021136453 A	13-09-2021
