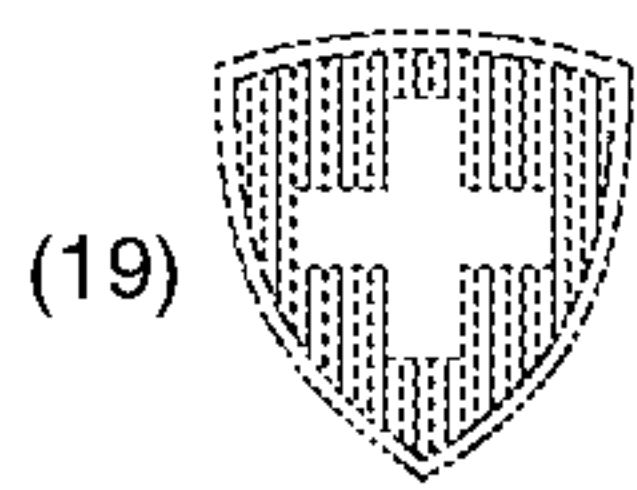


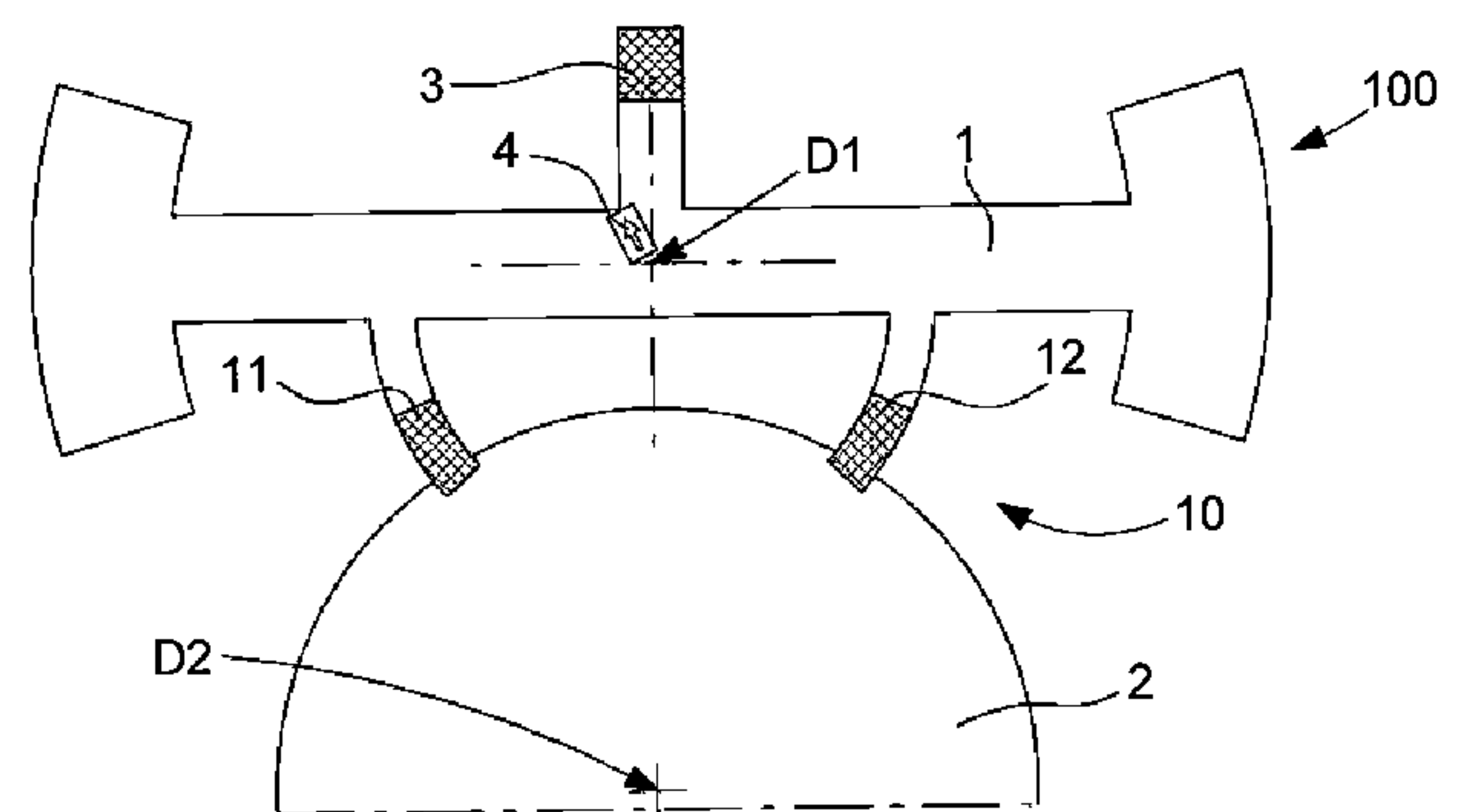


(11) CH 716 347 A2

(51) Int. Cl.: **G04B** 17/04 (2006.01)
G04C 5/00 (2006.01)
G04B 17/20 (2006.01)

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) **DEMANDE DE BREVET**



Description

Domaine de l'invention

[0001] L'invention concerne un mobile inertiel pour un résonateur d'horlogerie, agencé pour osciller autour d'un axe d'oscillation, et comportant au moins une zone magnétique, laquelle zone magnétique comporte au moins un aimant ou au moins une zone ferromagnétique aimantée.

[0002] L'invention concerne encore un résonateur d'horlogerie, comportant au moins un tel mobile inertiel, et comportant des moyens de rappel pour entretenir l'oscillation du au moins un mobile inertiel.

[0003] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie, comportant des moyens d'alimentation et/ou de stockage d'énergie agencés pour alimenter au moins un tel résonateur, que comporte le mouvement, et un mécanisme d'échappement comportant au moins un mobile d'échappement agencé pour coopérer en interaction avec le au moins un mobile inertiel du résonateur.

[0004] L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie, notamment une montre, comportant au moins un tel mouvement.

[0005] L'invention concerne encore un procédé pour réduire la sensibilité à un champ magnétique externe, d'un résonateur d'horlogerie comportant des moyens internes d'interaction magnétique entre au moins un mobile inertiel dudit résonateur, monté pivotant autour d'un axe d'oscillation et comportant des éléments magnétiques, et un mobile d'échappement ou un élément de structure, aimanté et/ou ferromagnétique, que comporte ledit résonateur.

[0006] L'invention concerne le domaine des mécanismes d'horlogerie, et plus précisément des résonateurs d'horlogerie, de type magnétique, ou dont au moins une partie du fonctionnement est basées sur l'attraction et/ou la répulsion magnétique, et notamment comportant des aimants.

Arrière-plan de l'invention

[0007] Certains résonateurs mécaniques utilisés dans l'horlogerie portent des aimants.

[0008] Par exemple les mécanismes de type Clifford, connus par les documents FR1113932, FR2132162, US2946183, ou bien les résonateurs à synchronisation directe du SWATCH GROUP, connus par les documents P13199425, EP13199428, EP16195405. Dans ces oscillateurs, l'utilisation d'aimants sur le résonateur permet une synchronisation directe, et sans contact frottant, du résonateur avec la roue d'échappement. L'absence d'ancre entre la roue d'échappement et le résonateur, ainsi que l'absence de contact frottant, apportent l'avantage d'un rendement élevé.

[0009] Toutefois, les aimants embarqués sur le balancier peuvent être affectés par la présence de champs magnétiques externes. La perturbation qui en résulte, bien qu'elle soit faible, peut provoquer une variation de marche.

Résumé de l'invention

[0010] Le but de la présente invention est de rendre de tels résonateurs insensibles aux champs magnétiques externes.

[0011] A cet effet, l'invention concerne un mobile inertiel de résonateur selon la revendication 1.

[0012] L'invention concerne encore un résonateur comportant un tel mobile inertiel.

[0013] L'invention concerne encore un mouvement comportant un tel résonateur.

[0014] L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie, notamment une montre, comportant un tel mouvement.

[0015] L'invention concerne encore un procédé pour réduire la sensibilité à un champ magnétique externe, d'un résonateur d'horlogerie comportant des moyens internes d'interaction magnétique entre au moins un mobile inertiel dudit résonateur, monté pivotant autour d'un axe d'oscillation et comportant des éléments magnétiques, et un mobile d'échappement ou un élément de structure, aimanté et/ou ferromagnétique, que comporte ledit résonateur.

Description sommaire des dessins

[0016] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, où :

- la figure 1 représente, de façon schématisée, et en vue en plan, une partie d'un mouvement d'horlogerie avec un mobile inertiel d'un résonateur, en partie haute, les moyens de rappel n'étant pas représentés, comportant deux palettes magnétiques agencées pour coopérer avec un mobile d'échappement que comporte un mécanisme d'échappement de ce mouvement; le mobile inertiel est ici un balancier, et le mobile d'échappement une roue d'échappement ;
- la figure 2 est un schéma graphique représentant le moment magnétique résultant total du mobile inertiel de la figure 1, en référence à un trièdre de référence dont l'axe Z est l'axe d'oscillation du mobile inertiel. Idéalement, le moment magnétique devrait être constitué uniquement de la la composante qui est alignée avec l'axe Z. La composante perpendiculaire à l'axe Z représente un défaut que l'on désire corriger ;

- la figure 3 illustre schématiquement l'effet, en comparaison à l'aiguille d'une boussole, de l'interférence entre ce moment magnétique résultant du mobile inertiel, et d'un champ magnétique externe B_{ext} . Le champ magnétique externe produit un couple perturbateur sur le mobile inertiel. Il s'agit d'un premier effet perturbateur qui se manifeste dans un champ magnétique externe, et que l'on désire annuler ;
- la figure 4 représente, de façon similaire à la figure 1, le même mécanisme amélioré avec l'ajout d'un élément magnétique de compensation, dont la composante de moment magnétique dans le plan XOY est opposée à la résultante du moment magnétique des deux palettes dans ce même plan ;
- la figure 5 est un schéma graphique similaire à la figure 2 représentant le moment magnétique résultant total du mobile inertiel de la figure 4, ramené sur l'axe Z grâce à l'ajout de l'élément magnétique de compensation ;
- la figure 6 est similaire à la figure 3, pour le mécanisme de la figure 4 ;
- les figures 7 à 10 illustrent quelques exemples d'éléments magnétiques de compensation qui sont ajustables, avec à chaque fois, de gauche à droite, la vue en plan d'un état préalable, puis la vue en plan de l'état après réglages, puis le diagramme de moment magnétique pour l'obtention d'un moment magnétique de compensation dans la direction désirée :
 - en figure 7, deux aimants cylindriques, aptes à tourner dans des logements, magnétisés diamétralement et d'axes de rotation parallèles à l'axe d'oscillation du mobile inertiel, de moments μ_{c1} et μ_{c2} , que l'on tourne afin d'ajuster leur résultante, aussi bien en direction qu'en intensité ;
 - en figure 8, un aimant cylindrique magnétisé radialement dont la magnétisation résultante est nulle ; l'ajustement se fait alors par ablation d'une partie de cet aimant ;
 - en figure 9, des micro-aimants (pixels magnétiques) dans les directions $\pm X$ et $\pm Y$ que l'on supprime partiellement selon le besoin ;
 - en figure 10, un aimant de forme sphérique magnétisé selon l'axe d'oscillation, qui est dans un logement sphérique, permettant son inclinaison pour créer la composante nécessaire à la compensation ;
- la figure 11 représente, de façon similaire à la figure 4, le même mécanisme amélioré avec l'ajout des aimants cylindriques de compensation de la figure 7, au plus près de l'axe d'oscillation ;
- la figure 12 représente, de façon similaire à la figure 4, un mécanisme similaire dont les palettes ont des moments magnétiques parallèles à l'axe d'oscillation ; ici on suppose que le défaut d'alignement du moment magnétique résultant par rapport à l'axe d'oscillation du mobile inertiel a déjà été corrigé ;
- la figure 13 schématise le déplacement du moment magnétique résultant des deux palettes, lors de l'oscillation du mobile inertiel, dans un champ magnétique externe B_z , qui comporte un gradient d'intensité selon la direction X, symbolisé par des zones grisées de densité croissante ; cette figure met en évidence un second effet perturbateur, qui ne se présente qu'en présence d'un champ magnétique externe inhomogène, et que l'on désire corriger ;
- la figure 14 représente, de façon similaire à la figure 12, le même mécanisme amélioré avec l'ajout d'un aimant d'équilibrage, comportant également un moment magnétique parallèle à l'axe d'oscillation, et monté du côté opposé des palettes par rapport à l'axe d'oscillation ; l'aimant d'équilibrage a pour but d'éliminer le second effet perturbateur ;
- la figure 15 schématise, comme la figure 13, le déplacement du moment magnétique résultant des deux palettes et de celui de l'aimant d'équilibrage de la figure 14, dans le même champ externe. La variation d'énergie d'interaction qui résulte du déplacement de l'aimant d'équilibrage dans le champ externe annule celle qui résulte du déplacement des deux palettes ;
- la figure 16 représente, de façon similaire à la figure 1, un mécanisme similaire, avec une interaction magnétique entre des éléments d'une structure fixe du mouvement d'horlogerie, tels des étoqueaux, butées ou similaires, et des zones magnétiques du mobile inertiel, ici représentées à l'opposé des palettes par rapport à l'axe d'oscillation ;
- la figure 17 représente, de façon similaire aux figures 4 et 14, un mécanisme similaire, qui comporte à la fois un aimant de compensation et un aimant d'équilibrage ;
- la figure 18 est un schéma-blocs représentant une pièce d'horlogerie, notamment une montre, comportant un mouvement qui comporte des moyens d'alimentation et/ou de stockage d'énergie agencés pour alimenter au moins un tel résonateur, et un mécanisme d'échappement comportant au moins un mobile d'échappement agencé pour coopérer en interaction avec un tel mobile inertiel.

Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0017] L'invention se propose de réaliser un mécanisme d'horlogerie insensible au champ magnétique externe, et plus précisément un résonateur d'horlogerie de type magnétique, ou dont au moins une partie du fonctionnement est basée sur l'attraction et/ou la répulsion magnétique, et notamment comportant des aimants, qui soit insensible au champ magnétique externe.

[0018] L'invention concerne un mobile inertiel 1 pour un résonateur 100 d'horlogerie. Ce mobile inertiel 1 est agencé pour osciller autour d'un axe d'oscillation D1, et comporte au moins une zone magnétique 10, laquelle zone magnétique 10 comporte au moins un aimant ou au moins une zone ferromagnétique aimantée.

[0019] Selon l'invention, le moment magnétique résultant total de toutes les zones magnétiques 10, que comporte le mobile inertiel 1, est aligné dans la direction de l'axe d'oscillation D1.

[0020] Plus particulièrement, le mobile inertiel 1 porte au moins un élément magnétique de compensation 4, dont la composante de magnétisation dans une direction perpendiculaire à l'axe d'oscillation D1 est ajustable, afin de compenser un défaut d'alignement du moment magnétique résultant total avec l'axe d'oscillation D1.

[0021] Plus particulièrement, le centre de masse magnétique du mobile inertiel 1 se trouve sur l'axe d'oscillation D1. Ce centre de masse magnétique est défini par les moments d'ordre 1: x_B , y_B , z_B de la composante du moment magnétique selon la direction de l'axe d'oscillation D1.

$$x_B = \frac{\sum \mu_{i_z} x_i}{\sum \mu_{i_z}}$$

$$y_B = \frac{\sum \mu_{i_z} y_i}{\sum \mu_{i_z}}$$

$$z_B = \frac{\sum \mu_{i_z} z_i}{\sum \mu_{i_z}}$$

[0022] Dans ces formules, la somme se fait sur tous les éléments infinitésimaux de moment magnétique μ_i et l'on considère uniquement la composante μ_{i_z} selon l'axe d'oscillation D1.

[0023] Plus particulièrement, toutes les zones magnétiques 10, que comporte ce mobile inertiel 1, ont une aimantation permanente.

[0024] Plus particulièrement encore, toutes les zones magnétiques 10, que comporte le mobile inertiel 1, ne comportent que des aimants permanents, et sont dépourvues de composants ferromagnétiques et de zones ferromagnétiques, comme la totalité du mobile inertiel 1 en est également dépourvue.

[0025] L'invention concerne encore un résonateur 100 d'horlogerie, comportant au moins un tel mobile inertiel 1, et comportant des moyens de rappel pour entretenir l'oscillation du au moins un mobile inertiel 1.

[0026] Selon l'invention, la résultante des moments magnétiques de toutes les zones magnétiques 10 que porte le au moins un mobile inertiel 1 a une composante nulle dans tout plan perpendiculaire à l'axe d'oscillation D1.

[0027] Plus particulièrement, la résultante des moments magnétiques de toutes les zones magnétiques 10 que portent tous les mobiles inertiels 1 de même axe d'oscillation D1, que comporte le résonateur 100, a une composante nulle dans tout plan perpendiculaire à l'axe d'oscillation D1.

[0028] Plus particulièrement, toutes les zones que comporte le résonateur 100 au voisinage immédiat du au moins un mobile inertiel 1 ont un moment magnétique nul, et sont dépourvues de composants ferromagnétiques et de zones ferromagnétiques et d'aimants.

[0029] Plus particulièrement, toutes les zones que comporte le résonateur 100 au voisinage immédiat de chaque mobile inertiel 1 de même axe d'oscillation D1, que comporte le résonateur 100, ont un moment magnétique nul, et sont dépourvues de composants ferromagnétiques et de zones ferromagnétiques et d'aimants.

[0030] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie 1000, comportant des moyens d'alimentation et/ou de stockage d'énergie 300 agencés pour alimenter au moins un tel résonateur 100, que comporte le mouvement 1000, et un mécanisme d'échappement 200 comportant au moins un mobile d'échappement 2 agencé pour coopérer en interaction avec le au moins un mobile inertiel 1 du résonateur 100.

[0031] Selon l'invention, le au moins un mobile inertiel 1 et le au moins un mobile d'échappement 2 avec lequel il coopère, d'une part comportent des aimants qui sont des aimants permanents, et d'autre part sont dépourvus de composants ferromagnétiques et de zones ferromagnétiques, comme la totalité du résonateur 100 et des composants du mécanisme d'échappement 200 autres que le au moins un mobile d'échappement 2, qui en sont également dépourvus.

[0032] Plus particulièrement, le au moins un mobile inertiel 1 est agencé pour coopérer en interaction magnétique, dans un plan perpendiculaire à l'axe d'oscillation D1 ou oblique par rapport à l'axe d'oscillation D1, avec le au moins un mobile d'échappement 2 et/ou un élément de structure 3, aimanté et/ou ferromagnétique, que comporte le mouvement 1000.

[0033] Et la résultante des moments magnétiques de toutes les zones magnétiques 10 que porte le au moins un mobile inertiel 1 a une composante nulle dans tout plan perpendiculaire à l'axe d'oscillation D1.

[0034] Plus particulièrement, la résultante des moments magnétiques de toutes les zones magnétiques 10 que portent tous les mobiles inertiels 1 de même axe d'oscillation D1, que comporte le résonateur 100, a une composante nulle dans tout plan perpendiculaire à l'axe d'oscillation D1.

[0035] Plus particulièrement, parmi les toutes les zones magnétiques 10 que comporte le au moins un mobile inertiel 1, un premier ensemble de zones magnétiques est agencé pour l'interaction magnétique avec au moins un mobile d'échappement 2 ou un élément de structure 3, et un deuxième ensemble de zones magnétiques est agencé pour compenser la résultante des moments magnétiques de toutes les zones magnétiques du premier ensemble de façon à ce que la

résultante aie une composante nulle dans tout plan perpendiculaire à l'axe d'oscillation D1, et le deuxième ensemble de zones magnétiques est encore agencé pour que les efforts d'interaction magnétique de ses constituants avec tout mobile d'échappement 2 ou tout élément de structure 3 du résonateur 100 soient inférieurs au dixième des efforts d'interaction magnétique des constituants du premier ensemble de zones magnétiques avec tout mobile d'échappement 2 ou tout élément de structure 3 du résonateur 100.

[0036] Plus particulièrement, au moins un mobile d'échappement 2 ou au moins un élément de structure 3, aimanté et/ou ferromagnétique, que comporte le mouvement 1000, et qui est agencé pour coopérer en interaction magnétique avec au moins un mobile inertiel 1, a une résultante des moments magnétiques de toutes les zones aimantées et de tous les aimants qu'il comporte ayant une composante nulle dans tout plan perpendiculaire à l'axe d'oscillation D1 ou dans tout plan perpendiculaire à son propre axe d'oscillation s'il est monté pivotant.

[0037] Plus particulièrement, chaque mobile d'échappement 2 ou élément de structure 3, aimanté et/ou ferromagnétique, que comporte le mouvement 1000, et qui est agencé pour coopérer en interaction magnétique avec au moins un mobile inertiel 1, a une résultante des moments magnétiques de toutes les zones aimantées et de tous les aimants qu'il comporte ayant une composante nulle dans tout plan perpendiculaire à l'axe d'oscillation D1 ou dans tout plan perpendiculaire à son propre axe d'oscillation s'il est monté pivotant.

[0038] Plus particulièrement, le deuxième ensemble comporte au moins une zone aimantée d'équilibrage, et/ ou un aimant d'équilibrage 6, dont la position du centre de masse magnétique, tel qu'elle est définie ci-dessus, ne se trouve pas sur l'axe d'oscillation D1, et est ajustée par calcul pour réaliser un équilibrage magnétique du au moins un mobile inertiel 1.

[0039] Plus particulièrement, chaque zone aimantée ou aimant que comporte le deuxième ensemble a un moment magnétique dont la position du centre de masse magnétique ne se trouve pas sur l'axe d'oscillation D1.

[0040] Plus particulièrement, le premier ensemble comporte au moins une zone aimantée d'équilibrage, ou un aimant d'équilibrage 6, dont la position du centre de masse magnétique ne se trouve pas sur l'axe d'oscillation D1 pour réaliser un équilibrage magnétique du au moins un mobile inertiel 1.

[0041] Plus particulièrement, chaque zone aimantée ou aimant que comporte le premier ensemble a un moment magnétique dont la position du centre de masse magnétique ne se trouve pas sur l'axe d'oscillation D1.

[0042] Plus particulièrement, le deuxième ensemble comporte au moins une zone aimantée d'équilibrage, et/ ou un aimant d'équilibrage 6, dont la direction du moment magnétique croise l'axe d'oscillation D1, pour réaliser un équilibrage magnétique du au moins un mobile inertiel 1.

[0043] Plus particulièrement, chaque zone aimantée ou aimant que comporte le deuxième ensemble a un moment magnétique dont la direction croise l'axe d'oscillation D1.

[0044] Plus particulièrement, le premier ensemble comporte au moins une zone aimantée d'équilibrage, ou un aimant d'équilibrage 6, dont la direction du moment magnétique croise l'axe d'oscillation D1 pour réaliser un équilibrage magnétique du au moins un mobile inertiel 1.

[0045] Plus particulièrement, le deuxième ensemble comporte au moins une zone aimantée ou un aimant d'équilibrage 6 dont la position du centre de masse magnétique se trouve, par rapport à l'axe d'oscillation D1, à l'opposé du centre de masse magnétique des autres aimants embarqués sur le mobile inertiel, afin de réaliser un équilibrage magnétique du au moins un mobile inertiel 1.

[0046] Plus particulièrement, chaque zone aimantée ou aimant que comporte le premier ensemble a un moment magnétique dont la direction du moment magnétique croise l'axe d'oscillation D1.

[0047] Plus particulièrement, toutes les zones aimantées et tous les aimants que porte chaque mobile inertiel 1 ont une aimantation permanente.

[0048] Plus particulièrement, toutes les zones aimantées et tous les aimants que porte un au moins un mobile d'échappement 2 ou un élément de structure 3, que comporte le mouvement 1000, ont une aimantation permanente.

[0049] Plus particulièrement, toutes les zones aimantées et tous les aimants que porte chaque mobile d'échappement 2 ou élément de structure 3, que comporte le mouvement 1000, ont une aimantation permanente.

[0050] Plus particulièrement, au moins un mobile inertiel 1 est un balancier, et en au moins un mobile d'échappement 2 est une roue d'échappement.

[0051] Plus particulièrement, le mouvement 1000 comporte au moins un élément de structure 3, qui est agencé pour coopérer en interaction magnétique avec le au moins un mobile inertiel 1 au niveau d'une zone magnétique 13, 14, de ce dernier, et cet élément de structure 3 est notamment un étoqueau 33 ou une butée de limitation de course du au moins un mobile inertiel 1, ou similaire.

[0052] L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie 2000, notamment une montre, comportant au moins un tel mouvement 1000.

[0053] Plus particulièrement, cette montre 2000 comporte une boîte avec un blindage magnétique pour enfermer chaque résonateur 100 que comporte la montre 2000.

[0054] L'invention concerne encore un procédé pour réduire la sensibilité à un champ magnétique externe, d'un résonateur d'horlogerie 100 comportant des moyens internes d'interaction magnétique entre d'une part au moins un mobile inertiel 1 du résonateur 100, monté pivotant autour d'un axe d'oscillation D1 et comportant des éléments magnétiques 10, et d'autre part un mobile d'échappement 2 ou un élément de structure 3, aimanté et/ou ferromagnétique, que comporte le résonateur 100, pour lequel résonateur 100 on définit deux axes de référence OX et OY orthogonaux entre eux et à l'axe d'oscillation D1.

[0055] Selon l'invention :

- on fait fonctionner le résonateur 100 dans des conditions stabilisées d'alimentation en énergie,
- on mesure son état de marche de référence,
- on applique au résonateur un premier champ magnétique uniforme selon l'axe OX,
- et on mesure, par comparaison avec cet état de marche de référence, une première différence de marche Δm_x en X,
- on applique au résonateur un deuxième champ magnétique uniforme selon l'axe OY, de même densité de flux magnétique que le premier champ selon OX,
- et on mesure, par comparaison avec cet état de marche de référence, une deuxième différence de marche Δm_y en Y,
- on calcule, en fonction de la première différence de marche Δm_x et de la deuxième différence de marche Δm_y , les composantes respectivement μ_{cx} en X et μ_{cy} en Y d'un moment magnétique de compensation μ_c ,
- et on réalise au moins un élément magnétique de compensation 4 comportant le moment magnétique de compensation μ_c , ou bien un ensemble 5 d'éléments magnétiques de compensation et d'équilibrage dont le moment magnétique résultant est égal au moment magnétique de compensation μ_c ,
- et on équipe le mobile inertiel 1 d'au moins un tel élément magnétique de compensation 4, ou respectivement d'un tel ensemble 5 d'éléments magnétiques de compensation et d'équilibrage, dans la position d'orientation géométrique appropriée par rapport à OX, OY, et à l'axe d'oscillation D1, le au moins un élément magnétique de compensation 4 étant sur l'axe d'oscillation D1 ou en son voisinage immédiat, ou respectivement l'ensemble 5 d'éléments magnétiques de compensation et d'équilibrage comportant :
- d'une part au moins un élément magnétique de compensation 4 sur l'axe d'oscillation D1 ou en son voisinage immédiat,
- et d'autre part un élément magnétique d'équilibrage 6 positionné à l'opposé, par rapport à l'axe d'oscillation D1, de la résultante des éléments magnétiques 10 du mobile inertiel 1, et dont le moment magnétique d'équilibrage μ_e est orienté vers l'axe d'oscillation D1.

[0056] Les figures illustrent plus particulièrement, et de façon non limitative, l'application de l'invention à un résonateur 100 avec un mobile inertiel 1 qui est un balancier.

[0057] Considérons un balancier 1, monté pivotant autour d'un axe d'oscillation D1, et qui porte des aimants 11 et 12 destinés à interagir avec une roue d'échappement 2, pivotante sur un axe d'échappement D2, tel que visible sur la figure 1, où les aimants 11, 12, sont des palettes magnétiques destinées à interagir en direct avec la roue d'échappement 2. Chaque aimant 11, 12 est porteur d'un moment magnétique.

[0058] Chaque aimant 11, 12, est porteur d'un moment magnétique, c'est une grandeur vectorielle extensive qui se calcule comme l'intégrale de la magnétisation sur tout le volume de l'aimant. On peut se représenter le moment magnétique comme l'aiguille d'une boussole, qui subit un couple lorsqu'elle est plongée dans un champ magnétique externe.

[0059] Afin de minimiser l'effet perturbateur d'un champ magnétique externe sur le résonateur 100, il faut aligner le moment magnétique total des aimants 11, 12, portés par le balancier 1 dans la direction de l'axe d'oscillation D1 du balancier 1, ici dénommée axe Z.

[0060] Idéalement, le moment magnétique devrait être constitué uniquement de la la composante μ_z qui est alignée avec l'axe Z. La composante de ce moment qui est perpendiculaire à l'axe Z, soit μ_{xy} , représente un défaut que l'on désire corriger.

[0061] En effet, supposons que le moment magnétique résultant total ne soit pas aligné avec l'axe Z, donc qu'il existe une composante du moment magnétique qui est perpendiculaire à l'axe d'oscillation selon la figure 2. Le moment magnétique total μ_{tot} est la somme des moments magnétiques de tous les aimants portés par le résonateur ; ce moment magnétique total devrait être aligné avec l'axe d'oscillation D1, axe Z sur la figure, pour garantir l'insensibilité du résonateur aux champs externes. Le vecteur μ_{tot} est la somme d'un vecteur μ_{xy} représentant la composante du moment résultant total dans le

plan XOY perpendiculaire à l'axe Z, et de la composante μ_z sur ce même axe Z: en résumé on cherche à minimiser, et si possible à annuler la composante μ_{xy} . Car cette composante μ_{xy} du moment magnétique total μ_{tot} va changer de direction lorsque le balancier 1 oscille.

[0062] En présence d'un champ magnétique externe B_{ext} , elle subit un couple qui tend à l'aligner avec ce champ externe, et dont l'intensité dépend de la position angulaire du balancier 3, tel que visible sur la figure 3. Le champ magnétique externe produit un couple perturbateur sur le mobile inertiel. Il s'agit d'un premier effet perturbateur qui se manifeste dans un champ magnétique externe, et que l'on désire annuler.

[0063] En théorie, on peut toujours postuler que la magnétisation des aimants 11, 12, portés par le balancier 1 soit alignée dans la direction de l'axe d'oscillation. Toutefois, on sait qu'en pratique il y aura toujours des imperfections, dues à l'assemblage, la magnétisation, ou autre, et par conséquent un petit défaut d'alignement est inévitable, et donc la présence de cette petite composante μ_{xy} perturbatrice.

[0064] En effet, un défaut d'alignement produit une telle petite composante μ_{xy} dans le plan perpendiculaire à l'axe d'oscillation, qui se comporte comme l'aiguille d'une boussole. Ainsi un champ magnétique externe B_{ext} produit un couple perturbateur qui dépend de la position du balancier, et donc une variation de marche. En effet, il est connu qu'un tel couple perturbateur, qui varie de façon non-linéaire avec l'angle du balancier 1, affecte la marche du résonateur 100.

[0065] Il est possible d'améliorer l'insensibilité du résonateur aux champs externes en effectuant plusieurs démarches.

[0066] La première amélioration proposée consiste donc à ajouter au moins un aimant de compensation 4 sur le balancier 1, tel que visible sur la figure 4. Il s'agit d'un aimant supplémentaire, qui n'interagit pas avec la roue d'échappement 2, et dont la composante μ_c perpendiculaire à l'axe d'oscillation D1 est ajustée pour être d'intensité égale mais de direction opposée à la composante μ_{xy} (perpendiculaire à l'axe d'oscillation D1) des autres aimants portés par le balancier 1, tel que visible sur la figure 5, pour compenser l'effet du moment magnétique μ_{xy} . La figure 5 montre que le moment magnétique total est alors réduit à μ_z et est alors aligné selon OZ qui correspond à l'axe d'oscillation D1 du balancier 1. De cette façon, tel que visible sur la figure 6, lorsqu'on plonge le balancier 1 dans un champ magnétique externe B_{ext} , le couple subi par l'aimant de compensation 4 est opposé au couple subi par les autres aimants 11, 12, embarqués sur le balancier 1, si bien que le couple total est nul. On annule ainsi le couple perturbateur.

[0067] Il y a plusieurs façons de réaliser un tel aimant de compensation 4, dont la composante perpendiculaire à l'axe d'oscillation est ajustable, tel que visible sur les figures 7 à 10.

[0068] On peut imaginer utiliser au moins deux aimants cylindriques magnétisés diamétralement et dont l'axe est parallèle à l'axe d'oscillation D1 du résonateur, de moments μ_{c1} et μ_{c2} , que l'on tourne afin d'ajuster leur résultante, tel que visible sur la figure 7, aussi bien en direction qu'en intensité.

[0069] On peut aussi ajouter un aimant cylindrique magnétisé radialement dont la magnétisation résultante est nulle. L'ajustement se fait alors par ablation d'une partie de cet aimant, tel que visible sur la figure 8.

[0070] On peut encore imaginer des micro-aimants (pixels magnétiques) dans les directions $\pm X$ et $\pm Y$ que l'on viendra supprimer au besoin, tel que visible sur la figure 9.

[0071] On peut aussi imaginer un aimant de forme sphérique magnétisé selon l'axe d'oscillation, qui est dans un logement sphérique, tel que visible sur la figure 10, afin qu'on puisse l'incliner pour créer la composante μ_c qui est nécessaire à la compensation. Bien entendu, tout autre moyen mécanique d'ajuster la direction de l'aimant est utilisable.

[0072] Cette liste n'est pas exhaustive. Par exemple une autre solution serait d'ajouter un seul aimant cylindrique, magnétisé diamétralement avec la bonne intensité, égale à celle de μ_{xy} , et qui serait orientable afin d'ajuster la direction de μ_c . Afin d'ajuster l'intensité de cet aimant, on peut varier le champ utilisé pour le magnétiser.

[0073] Bien entendu, chacune de ces solutions pour créer un aimant de compensation ajustable est, avantageusement, embarquée sur le balancier 1, proche de son axe d'oscillation D1, comme représenté sur la figure 11 qui reprend la configuration de la figure 7.

[0074] Quelle que soit la méthode utilisée pour l'ajustement, il faut préalablement mesurer la sensibilité résiduelle du résonateur, et calculer la compensation désirée. Pour cela, il suffit d'appliquer un champ magnétique externe uniforme B_{x0} selon $+X$ et $-X$, et de mesurer la différence de marche Δm_x qui en résulte. On fait de même pour un champ magnétique selon Y . Les composantes du moment magnétique de compensation sont calculées comme suit : $\mu_x = k \cdot \Delta m_x / (86400 B_{x0})$, et pour l'autre composante il suffit de remplacer x par y dans cette expression, avec :

μ_x = moment magnétique en $A.m^{-2}$

k = rigidité en rotation du ressort de rappel du balancier, en $N.m/rad = N.m$. Par exemple $k = 10^{-6} N.m/rad$ pour un balancier spiral.

Δm_x = marche en secondes par jour

B_{x0} = champ magnétique en Tesla.

[0075] Supposons maintenant que ce travail d'alignement du moment magnétique total ait été effectué, si bien que la composante du moment magnétique perpendiculaire à l'axe d'oscillation D1 soit devenue négligeable. Le prochain effet perturbateur qui affecte la marche du balancier 1, lorsqu'on le place dans un champ externe B_{ext} est dû au déplacement, en arc de cercle, du moment magnétique dans un champ B_z inhomogène, tel que visible sur la figure 13. En effet, l'énergie d'interaction magnétique varie de façon non-linéaire avec la position du balancier 1, si bien que cela crée un couple perturbateur qui affecte la marche du résonateur 100.

[0076] La figure 12 montre un balancier 1 avec des palettes magnétiques 11 et 12 qui sont aimantées selon l'axe OZ, avec un moment magnétique résultant $\mu_{z1\&2}$ qui est positionné au centre de masse magnétique des palettes 11 et 12 (par analogie avec la masse totale d'un mobile que l'on positionne en son centre de masse). La figure 13 illustre le déplacement de ce même moment magnétique résultant dans un champ magnétique B_z inhomogène, illustré ici par exemple avec un gradient d'intensité de champ selon X, représenté par des grisés progressifs. L'énergie d'interaction magnétique varie de façon non-linéaire avec la position du balancier 1 dans ce champ.

[0077] Pour annuler cet effet, il peut suffire que le moment magnétique résultant soit situé sur l'axe d'oscillation D1 (point O). Toutefois les palettes magnétiques 11 et 12 qui interagissent avec la roue d'échappement 2 ne peuvent pas être déplacées en ce point.

[0078] Une seconde proposition d'amélioration consiste donc à ajouter un aimant d'équilibrage 6, tel que visible sur la figure 14. Cet aimant d'équilibrage 6 est situé à l'opposé de la roue d'échappement 2, par rapport à l'axe d'oscillation D1, et suffisamment loin de cette roue d'échappement 2 pour ne pas interagir avec elle.

[0079] Cet aimant d'équilibrage 6 est magnétisé dans la direction de l'axe d'oscillation D1. Il est positionné à l'opposé de la position du centre de masse magnétique des autres aimants 11 et 12 embarqués sur le balancier 1, comme le montre la figure 14. De cette façon, la trajectoire que le moment magnétique de l'aimant d'équilibrage 6 décrit dans le champ externe B_z produit, au premier ordre, un couple perturbateur qui est opposé à celui qui s'applique aux autres aimants 11 et 12 embarqués sur le balancier 1. Une autre façon d'expliquer le rôle de cet aimant consiste à parler d'équilibrage magnétique. L'objectif est de ramener ce que l'on peut dénommer un centre de masse magnétique du moment magnétique sur l'axe d'oscillation. Ce centre de masse magnétique est défini par les moments d'ordre 1 (x_B, y_B, z_B) de la composante du moment magnétique résultant total qui est dans la direction de l'axe d'oscillation D1.

[0080] Autrement-dit, on remplace la masse par μ_z dans la définition du centre de masse :

$$\begin{aligned} x_B &= \frac{\sum \mu_{i_z} x_i}{\sum \mu_{i_z}} \\ y_B &= \frac{\sum \mu_{i_z} y_i}{\sum \mu_{i_z}} \\ z_B &= \frac{\sum \mu_{i_z} z_i}{\sum \mu_{i_z}} \end{aligned}$$

[0081] Plus précisément, pour réaliser l'équilibrage magnétique, il s'agit de placer le centre de masse magnétique de la magnétisation totale portée par le résonateur 100 sur l'axe d'oscillation D1.

[0082] Ce raisonnement est applicable dans l'exemple illustré par les figures 13 et 15 (qui montre, de façon similaire à la figure 13, le déplacement des moments magnétiques des palettes 11 et 12 ainsi que de l'aimant d'équilibrage 6 dans le champ externe), où il existe un gradient relativement régulier de champ externe, en l'occurrence selon X dans cet exemple. Toutefois ce raisonnement n'est pas valable si le champ externe varie avec une forte non-linéarité. En principe une telle forte non-linéarité ne se produit pas s'il n'y a pas d'éléments ferromagnétiques à proximité du balancier 1. Donc en pratique, il faut prendre soin d'éloigner suffisamment les composants ferromagnétiques du balancier 1, afin que cette méthode soit efficace.

[0083] Plusieurs méthodes sont possibles pour ajouter cet aimant d'équilibrage magnétique. Il faut préciser que la géométrie et l'emplacement de cet aimant d'équilibrage peuvent être calculés au moment de la conception des aimants palettes 11, 12, et similaires. Donc l'aimant d'équilibrage 6 peut être fabriqué avec la même technologie qui permet de fabriquer les palettes : usinage traditionnel, laser, dépôt de couches minces, ou autre. Une autre solution peut consister à l'ajouter dans un second temps par exemple en projetant de la matière magnétique sur la serge de balancier, par fabrication additive ou jetting, ou par tout autre procédé convenable, pour l'équilibrer. Bien entendu cette liste n'est pas exhaustive.

[0084] En somme, l'invention propose :

- une masse inertielle de résonateur, notamment un balancier oscillant, qui porte des aimants tous alignés dans la direction de l'axe d'oscillation de cette masse inertielle ;
- une telle masse inertielle à laquelle on ajoute un petit aimant de compensation qui possède une composante de magnétisation dans la direction perpendiculaire à l'axe d'oscillation ; cet aimant de compensation doit être ajusté afin de compenser un défaut d'alignement du moment magnétique total avec l'axe d'oscillation ;

- une telle masse inertielle, avec ou sans aimant de compensation, à laquelle on ajoute un petit aimant d'équilibrage qui est magnétisé dans la direction de l'axe d'oscillation ; cet aimant d'équilibrage doit être dimensionné et positionné de sorte à ramener le centre de masse magnétique sur l'axe d'oscillation ;
- une variante avec une masse inertielle selon l'une de ces exécutions, et sur laquelle on a éliminé tous les composants ferromagnétiques, ou qui, de construction, est dépourvue de toute zone ferromagnétique ;
- un mouvement d'horlogerie avec un résonateur comportant au moins une masse inertielle selon l'une des exécutions ci-dessus, et à proximité de laquelle on a éliminé tous les composants magnétiques et/ou ferromagnétiques, excepté les aimants du mobile d'échappement, notamment une roue d'échappement, coopérant avec cette masse inertielle.

[0085] L'invention permet d'obtenir une bonne insensibilité d'un résonateur incorporant des fonctions magnétiques aux champs magnétiques externes, sans augmentation notable du volume de ses composants, et à un coût modéré.

[0086] L'invention est applicable aussi bien à des matériels neufs qu'à des mécanismes déjà fabriqués, qu'il est possible d'améliorer dans des conditions économiques raisonnables, en toute sécurité.

[0087] L'invention est décrite ici dans le cas particulier d'un résonateur, qui est l'organe le plus sensible d'une pièce d'horlogerie, toute perturbation d'ordre magnétique étant susceptible de se répercuter directement sur la marche par une dégradation de celle-ci. Le constructeur horloger saura aussi l'appliquer à d'autres mécanismes moins sensibles d'une montre, comme des mécanismes de sonnerie magnétiques, ou autres.

[0088] L'invention a été décrite dans le cas préféré d'une interaction magnétique, son principe reste applicable à une interaction électrostatique, ou encore mixte magnétique et électrostatique.

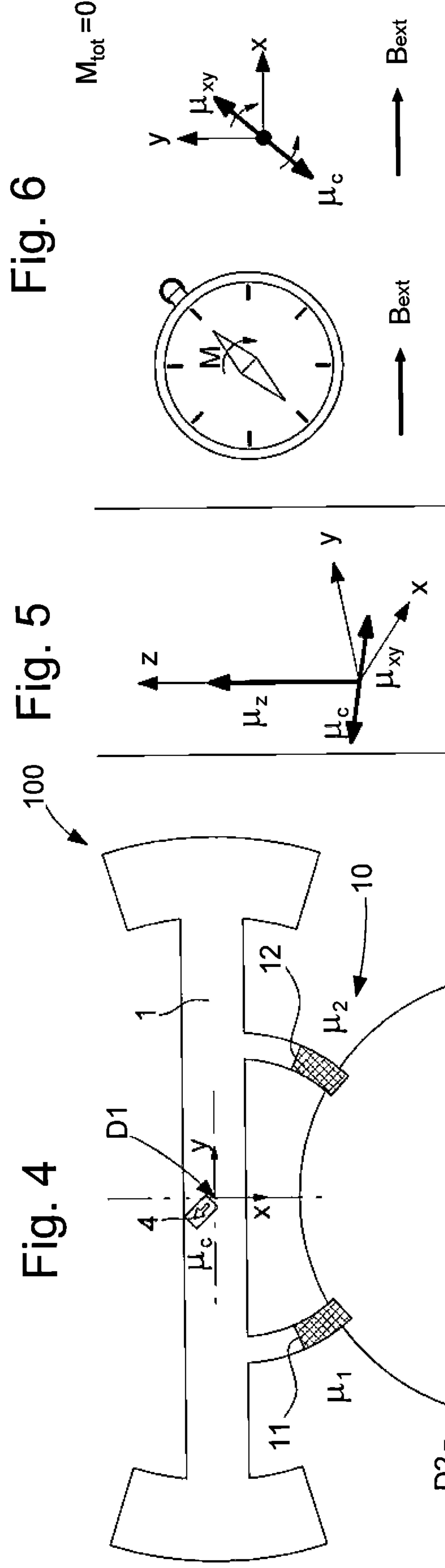
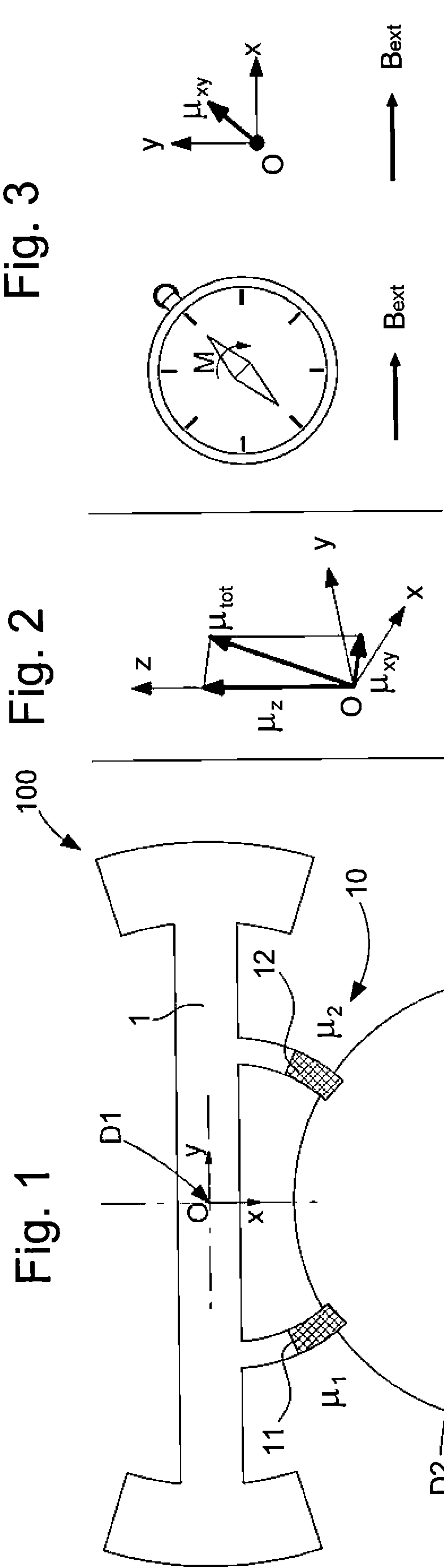
Revendications

1. Mobile inertielle (1) pour un résonateur (100) d'horlogerie, agencé pour osciller autour d'un axe d'oscillation (D1), et comportant au moins une zone magnétique (10), laquelle zone magnétique (10) comporte au moins un aimant ou au moins une zone ferromagnétique aimantée, caractérisé en ce que le moment magnétique résultant total de toutes lesdites zones magnétiques (10), que comporte ledit mobile inertielle (1), est aligné dans la direction dudit axe d'oscillation (D1).
2. Mobile inertielle (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit mobile inertielle (1) porte au moins un élément magnétique de compensation (4), dont la composante de magnétisation dans une direction perpendiculaire audit axe d'oscillation (D1) est ajustable, afin de compenser un défaut d'alignement dudit moment magnétique résultant total avec ledit axe d'oscillation (D1).
3. Mobile inertielle (1) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que son centre de masse magnétique se trouve sur ledit axe d'oscillation (D1), ledit centre de masse magnétique étant défini par les moments d'ordre 1 (x_B , y_B , z_B) de la composante du moment magnétique qui est dans la direction dudit axe d'oscillation (D1).
4. Mobile inertielle (1) selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que toutes lesdites zones magnétiques (10), que comporte ledit mobile inertielle (1) ont une aimantation permanente.
5. Mobile inertielle (1) selon la revendication 4, caractérisé en ce que toutes lesdites zones magnétiques (10), que comporte ledit mobile inertielle (1), ne comportent que des aimants permanents, et sont dépourvues de composants ferromagnétiques et de zones ferromagnétiques, comme la totalité dudit mobile inertielle (1) en est aussi dépourvue.
6. Résonateur (100) d'horlogerie, comportant au moins un mobile inertielle (1) selon l'une des revendications 1 à 5, et comportant des moyens de rappel pour entretenir l'oscillation dudit au moins un mobile inertielle (1), caractérisé en ce que la résultante des moments magnétiques de toutes lesdites zones magnétiques (10) que porte ledit au moins un mobile inertielle (1) a une composante nulle dans tout plan perpendiculaire audit axe d'oscillation (D1).
7. Résonateur (100) selon la revendication 6, caractérisé en ce que toutes les zones que comporte ledit résonateur (100) au voisinage immédiat dudit au moins un mobile inertielle (1) ont un moment magnétique nul, et sont dépourvues de composants ferromagnétiques et de zones ferromagnétiques et d'aimants.
8. Mouvement d'horlogerie (1000) comportant des moyens d'alimentation et/ou de stockage d'énergie (300) agencés pour alimenter au moins un résonateur (100) selon la revendication 6 ou 7, que comporte ledit mouvement (1000), et un mécanisme d'échappement (200) comportant au moins un mobile d'échappement (2) agencé pour coopérer en interaction avec ledit au moins un mobile inertielle (1), caractérisé en ce que ledit au moins un mobile inertielle (1) et ledit au moins un mobile d'échappement (2) avec lequel il coopère, d'une part comportent des aimants qui sont des aimants permanents, et d'autre part sont dépourvus de composants ferromagnétiques et de zones ferromagnétiques, comme la totalité dudit résonateur (100) et des composants dudit mécanisme d'échappement (200) autres que ledit au moins un mobile d'échappement (2).
9. Mouvement (1000) selon la revendication 8, caractérisé en ce que ledit au moins un mobile inertielle (1) est agencé pour coopérer en interaction magnétique, dans un plan perpendiculaire audit axe d'oscillation (D1) ou oblique par rapport audit axe d'oscillation (D1), avec ledit au moins un mobile d'échappement (2) et/ou un élément de structure (3), aimanté et/ou ferromagnétique, que comporte ledit mouvement (1000), et caractérisé en ce que la résultante des

moments magnétiques de toutes lesdites zones magnétiques (10) que porte ledit au moins un mobile inertiel (1) a une composante nulle dans tout plan perpendiculaire audit axe d'oscillation (D1).

10. Mouvement (1000) selon la revendication 9, caractérisé en ce que, parmi lesdites toutes les zones magnétiques (10) que comporte ledit au moins un mobile inertiel (1), un premier ensemble de zones magnétiques est agencé pour ladite interaction magnétique avec au moins un mobile d'échappement (2) ou un élément de structure (3), et un deuxième ensemble de zones magnétiques est agencé pour compenser la résultante des moments magnétiques de toutes les zones magnétiques dudit premier ensemble de façon à ce que ladite résultante aie une composante nulle dans tout plan perpendiculaire audit axe d'oscillation (D1), et ledit deuxième ensemble de zones magnétiques est encore agencé pour que les efforts d'interaction magnétique de ses constituants avec tout mobile d'échappement (2) ou tout élément de structure (3) dudit résonateur (100) soient inférieurs au dixième des efforts d'interaction magnétique des constituants dudit premier ensemble de zones magnétiques avec tout mobile d'échappement (2) ou tout élément de structure (3) dudit résonateur (100).
11. Mouvement (1000) selon l'une des revendications 8 à 10, caractérisé en ce que au moins un mobile d'échappement (2) ou au moins un élément de structure (3), aimanté et/ou ferromagnétique, que comporte ledit mouvement (1000), et qui est agencé pour coopérer en interaction magnétique avec au moins un dit mobile inertiel (1), a une résultante des moments magnétiques de toutes les zones aimantées et de tous les aimants qu'il comporte ayant une composante nulle dans tout plan perpendiculaire audit axe d'oscillation (D1) ou dans tout plan perpendiculaire à son propre axe d'oscillation s'il est monté pivotant.
12. Mouvement (1000) selon la revendication 11, caractérisé en ce que chaque mobile d'échappement (2) ou élément de structure (3), aimanté et/ou ferromagnétique, que comporte ledit mouvement (1000), et qui est agencé pour coopérer en interaction magnétique avec au moins un dit mobile inertiel (1), a une résultante des moments magnétiques de toutes les zones aimantées et de tous les aimants qu'il comporte ayant une composante nulle dans tout plan perpendiculaire audit axe d'oscillation (D1) ou dans tout plan perpendiculaire à son propre axe d'oscillation s'il est monté pivotant.
13. Mouvement (1000) selon la revendication 10 et l'une des revendications 8 à 12, caractérisé en ce que ledit deuxième ensemble comporte au moins une zone aimantée ou un aimant d'équilibrage (6) dont la direction du moment magnétique croise ledit axe d'oscillation (D1) pour réaliser un équilibrage magnétique dudit au moins un mobile inertiel (1).
14. Mouvement (1000) selon la revendication 10 et l'une des revendications 8 à 12, caractérisé en ce que ledit deuxième ensemble comporte au moins une zone aimantée ou un aimant d'équilibrage (6) dont la position du centre de masse magnétique se trouve, par rapport audit axe d'oscillation (D1), à l'opposé du centre de masse magnétique des autres aimants embarqués sur le mobile inertiel, afin de réaliser un équilibrage magnétique dudit au moins un mobile inertiel (1).
15. Mouvement (1000) selon la revendication 13 ou 14, caractérisé en ce que chaque zone aimantée ou aimant que comporte ledit deuxième ensemble a un moment magnétique dont la direction du moment magnétique croise ledit axe d'oscillation (D1).
16. Mouvement (1000) selon la revendication 10 et l'une des revendications 8 à 15, caractérisé en ce que ledit premier ensemble comporte au moins une zone aimantée ou un aimant d'équilibrage (6) dont la direction du moment magnétique croise ledit axe d'oscillation (D1) pour réaliser un équilibrage magnétique dudit au moins un mobile inertiel (1).
17. Mouvement (1000) selon la revendication 16, caractérisé en ce que chaque zone aimantée ou aimant que comporte ledit premier ensemble a un moment magnétique dont la direction du moment magnétique croise ledit axe d'oscillation (D1).
18. Mouvement (1000) selon l'une des revendications 8 à 17, caractérisé en ce que toutes les zones aimantées et tous les aimants que porte chaque dit mobile inertiel (1) ont une aimantation permanente.
19. Mouvement (1000) selon l'une des revendications 8 à 18, caractérisé en ce que toutes les zones aimantées et tous les aimants que porte un dit au moins un mobile d'échappement (2) ou un dit élément de structure (3), que comporte ledit mouvement (1000), ont une aimantation permanente.
20. Mouvement (1000) selon la revendication 19, caractérisé en ce que toutes les zones aimantées et tous les aimants que porte chaque dit mobile d'échappement (2) ou dit élément de structure (3), que comporte ledit mouvement (1000), ont une aimantation permanente.
21. Mouvement (1000) selon l'une des revendications 8 à 20, caractérisé en ce qu'au moins un dit mobile inertiel (1) est un balancier, et en ce qu'au moins un dit mobile d'échappement (2) est une roue d'échappement.
22. Mouvement (1000) selon l'une des revendications 8 à 21, caractérisé en ce que ledit mouvement (1000) comporte au moins un dit élément de structure (3) qui est agencé pour coopérer en interaction magnétique avec ledit au moins un mobile inertiel (1), et qui est un étoqueau ou une butée de limitation de course dudit au moins un mobile inertiel (1).
23. Montre (2000) comportant au moins un mouvement (1000) selon l'une des revendications 8 à 22.

24. Montre (2000) selon la revendication 23, caractérisée en ce que ladite montre (2000) comporte une boîte avec un blindage magnétique pour enfermer chaque dit résonateur (100) que comporte ladite montre (2000).
25. Procédé pour réduire la sensibilité à un champ magnétique externe, d'un résonateur d'horlogerie (100) comportant des moyens internes d'interaction magnétique entre d'une part au moins un mobile inertiel (1) dudit résonateur (100), monté pivotant autour d'un axe d'oscillation (D1) et comportant des éléments magnétiques (10), et d'autre part un mobile d'échappement (2) ou un élément de structure (3), aimanté et/ou ferromagnétique, que comporte ledit résonateur (100), pour lequel résonateur (100) on définit deux axes de référence OX et OY orthogonaux entre eux et audit axe d'oscillation (D1), caractérisé en ce qu'on fait fonctionner ledit résonateur (100) dans des conditions stabilisées d'alimentation en énergie, en ce qu'on mesure son état de marche de référence, en ce qu'on applique audit résonateur un premier champ magnétique uniforme selon l'axe OX et en ce qu'on mesure, par comparaison avec ledit état de marche de référence, une première différence de marche Δm_x en X, en ce qu'on applique audit résonateur un deuxième champ magnétique uniforme selon l'axe OY, de même densité de flux magnétique que le premier champ, et en ce qu'on mesure, par comparaison avec ledit état de marche de référence, une deuxième différence de marche Δm_y en Y, en ce qu'on calcule, en fonction de la première différence de marche Δm_x et de la deuxième différence de marche Δm_y , les composantes respectivement μ_{cx} en X et μ_{cy} en Y d'un moment magnétique de compensation μ_c , et en ce qu'on réalise au moins un élément magnétique de compensation (4) comportant ledit moment magnétique de compensation μ_c , ou bien un ensemble (5) d'éléments magnétiques de compensation et d'équilibrage dont le moment magnétique résultant est égal audit moment magnétique de compensation μ_c , et en ce qu'on équipe ledit mobile inertiel (1) dudit au moins un élément magnétique de compensation (4), ou respectivement dudit ensemble (5) d'éléments magnétiques de compensation et d'équilibrage, dans la position d'orientation géométrique appropriée par rapport à OX, OY, et à l'axe d'oscillation (D1), ledit au moins un élément magnétique de compensation (4) étant sur ledit axe d'oscillation (D1) ou en son voisinage immédiat, ou respectivement ledit ensemble (5) d'éléments magnétiques de compensation et d'équilibrage comportant d'une part au moins un élément magnétique de compensation (4) sur ledit axe d'oscillation (D1) ou en son voisinage immédiat, et d'autre part un élément magnétique d'équilibrage (6) positionné à l'opposé, par rapport audit axe d'oscillation (D1), de la résultante desdits éléments magnétiques (10) dudit mobile inertiel (1), et dont le moment magnétique d'équilibrage μ_e est orienté vers ledit axe d'oscillation (D1).



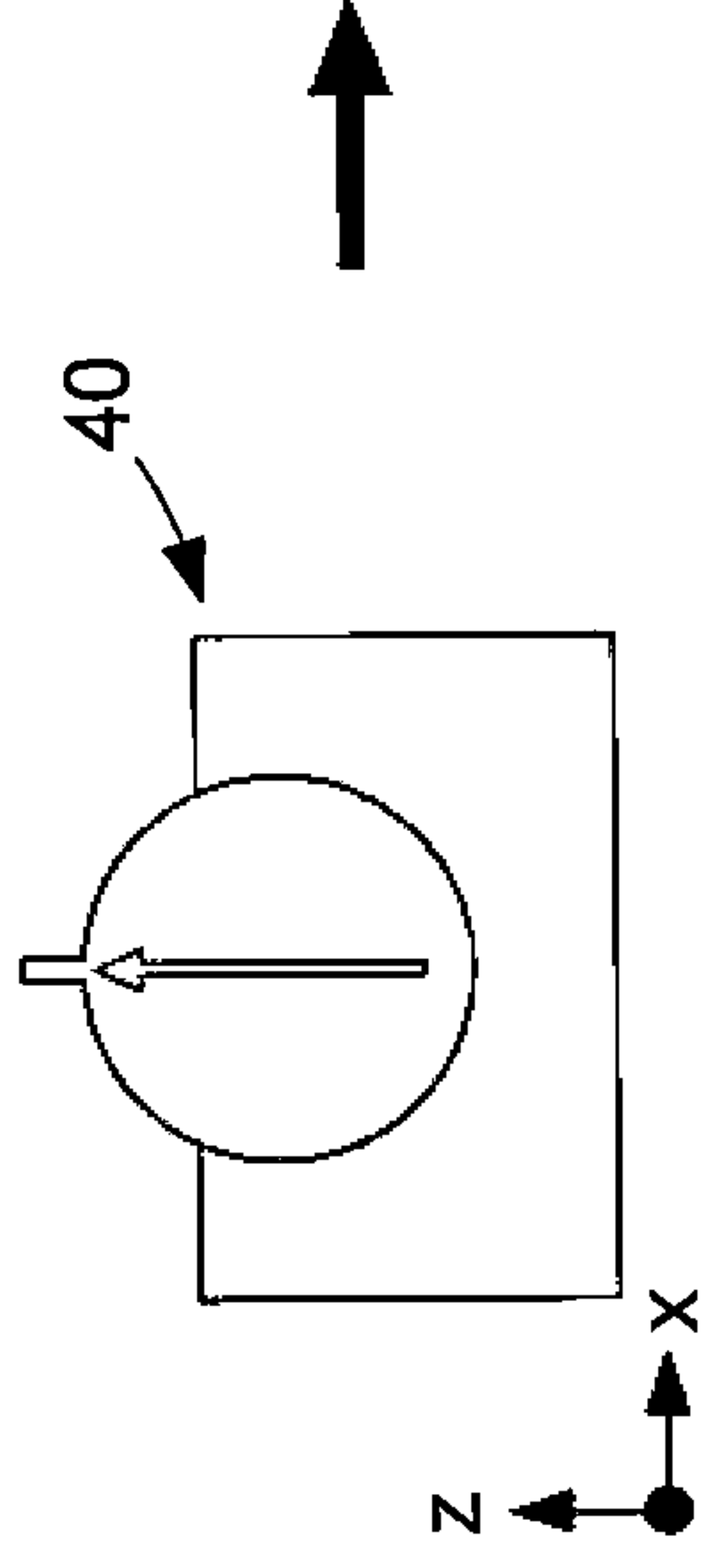
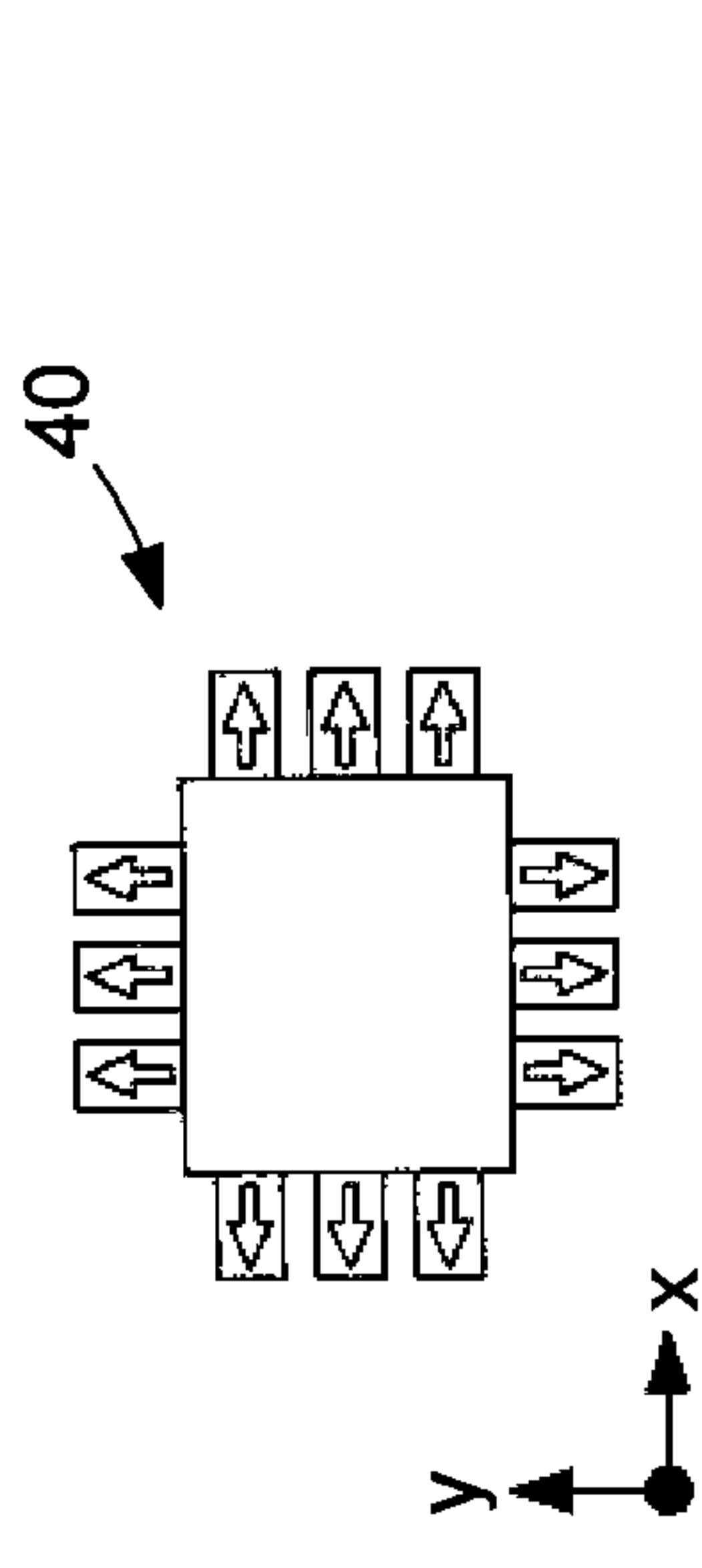
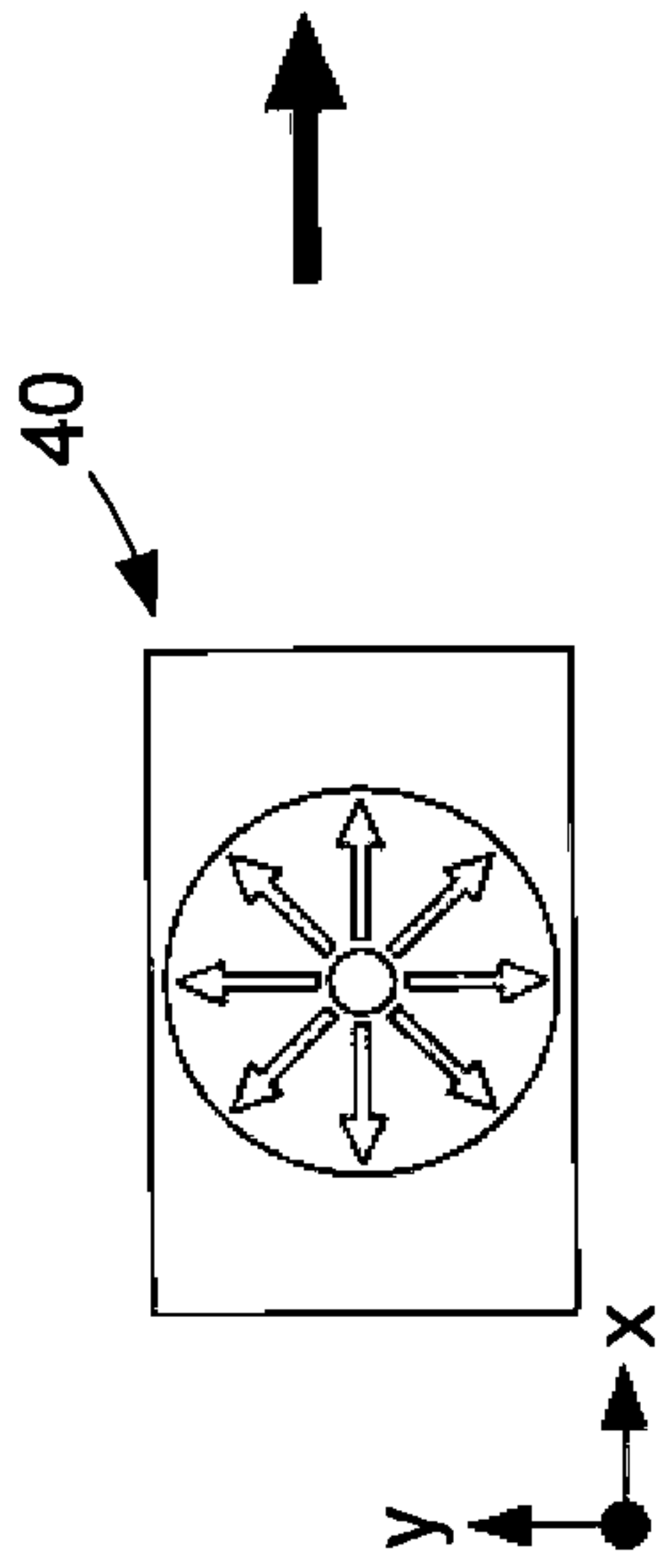
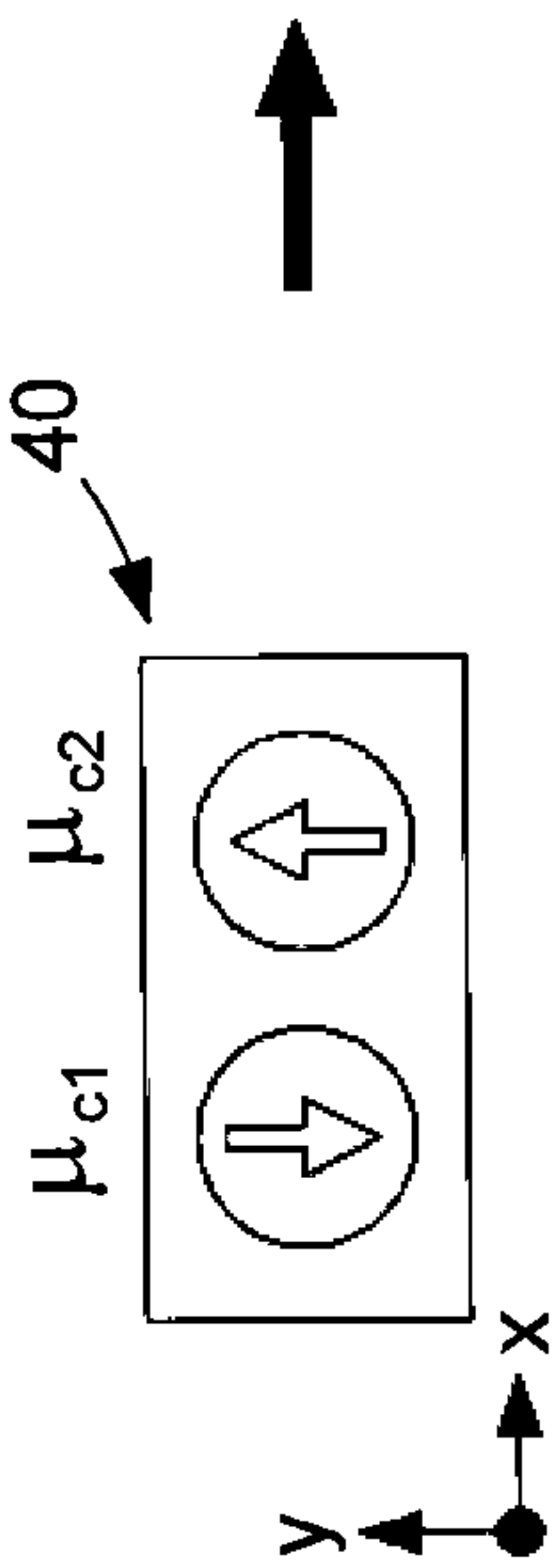
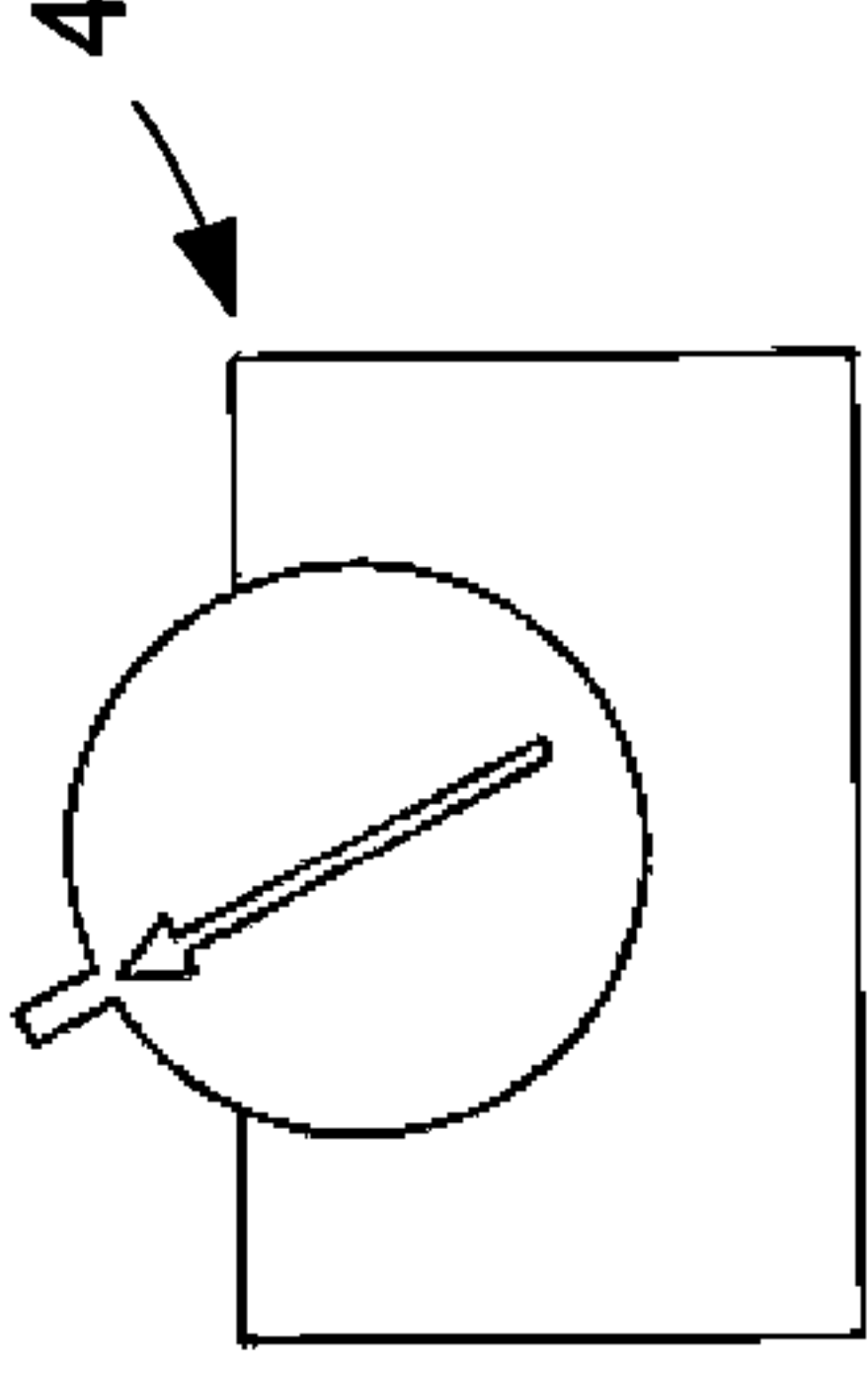
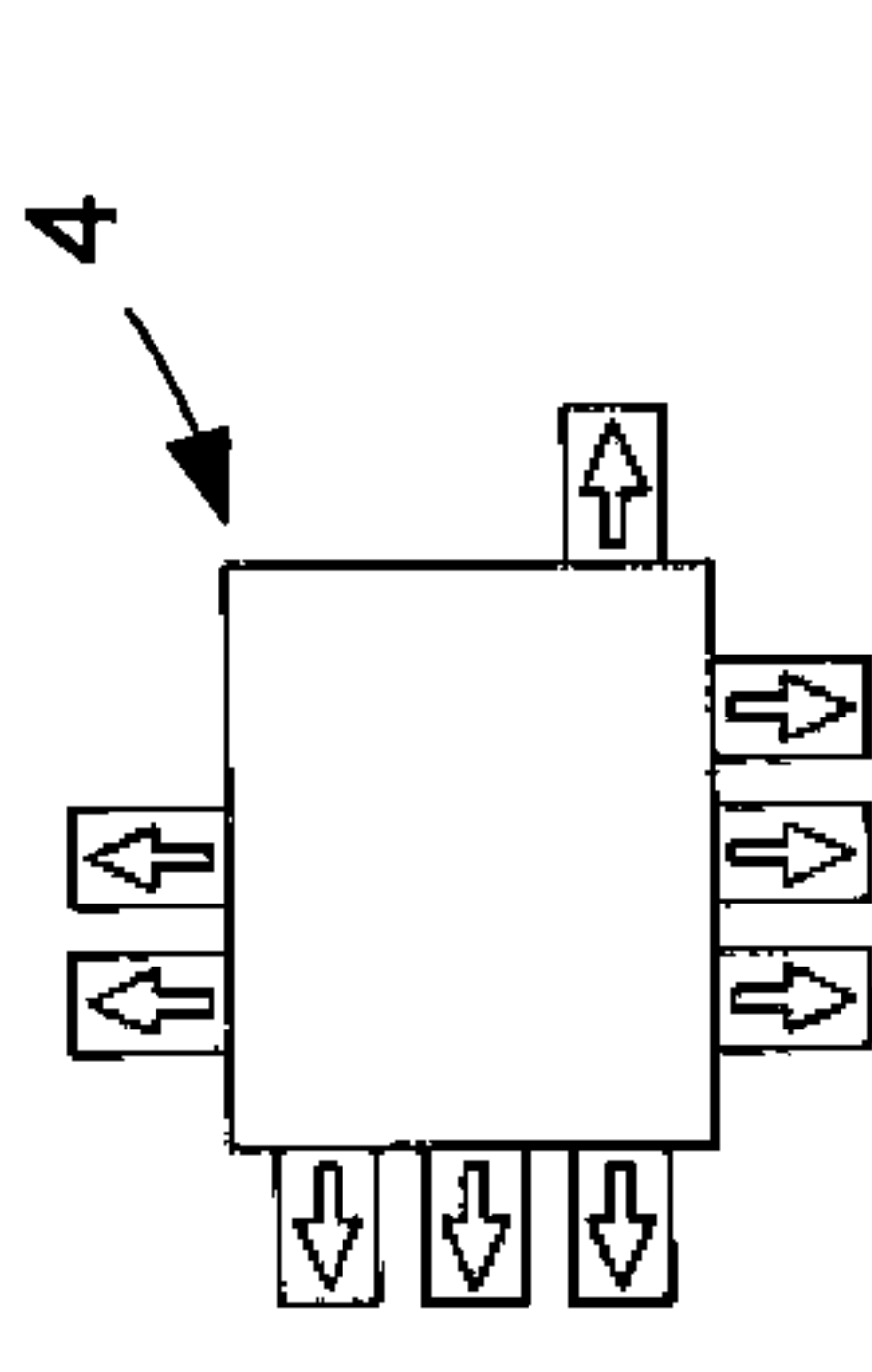
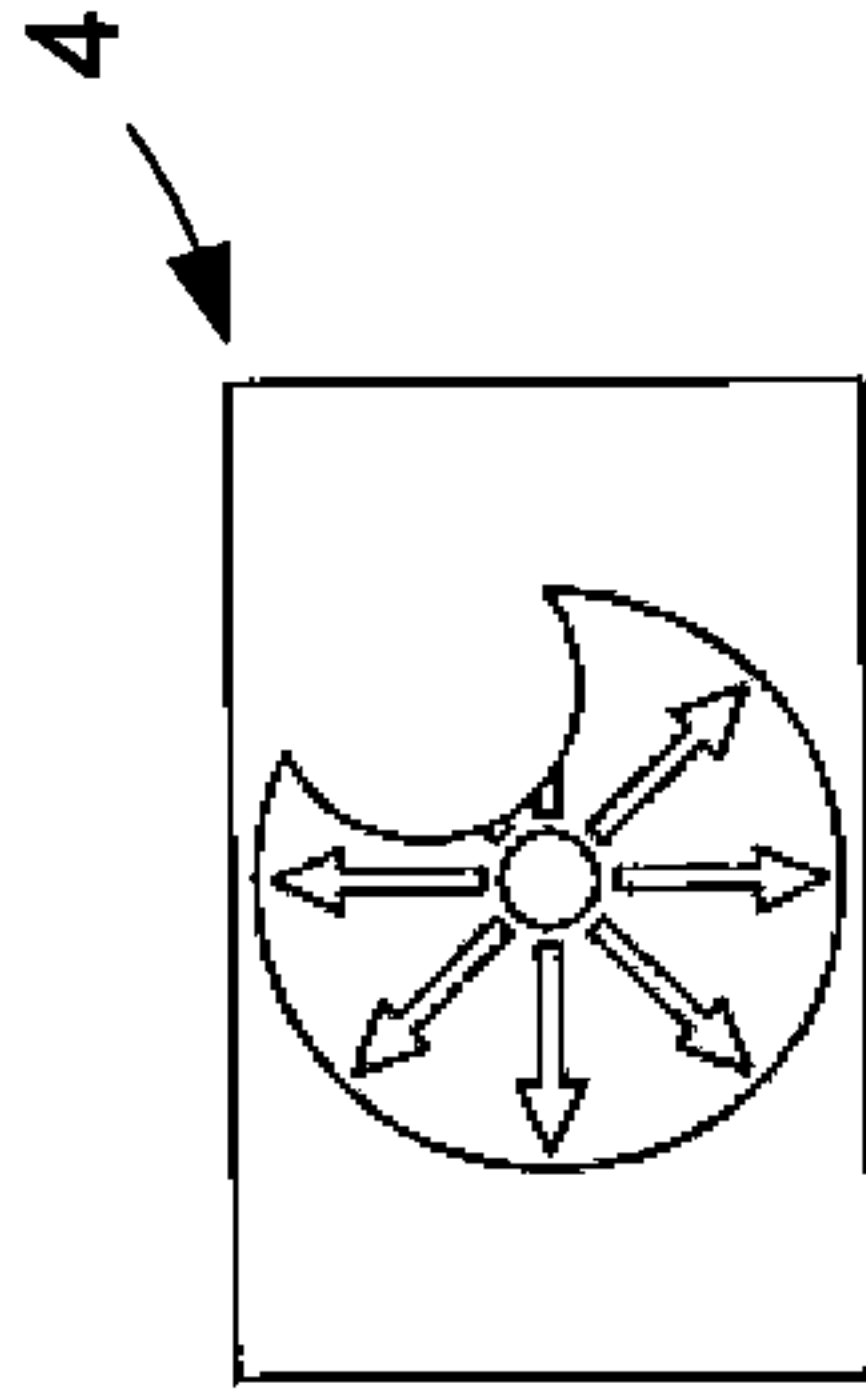
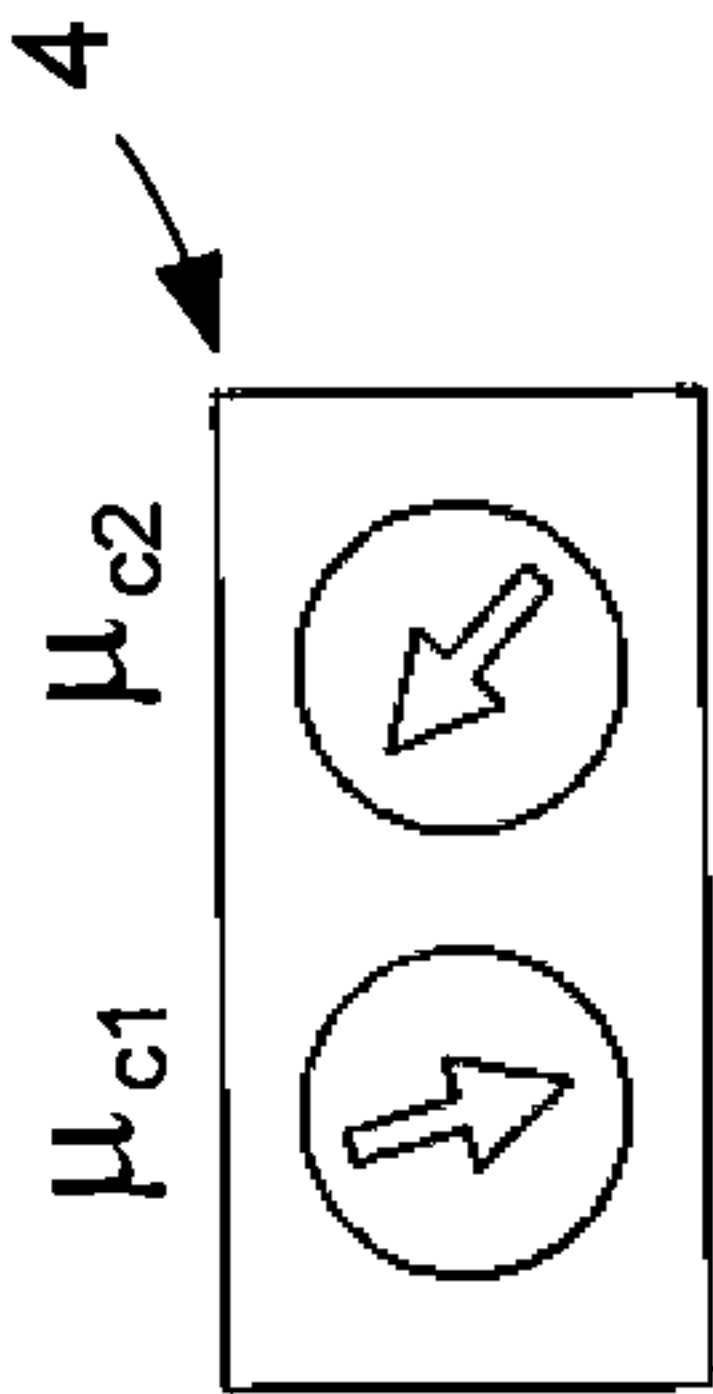
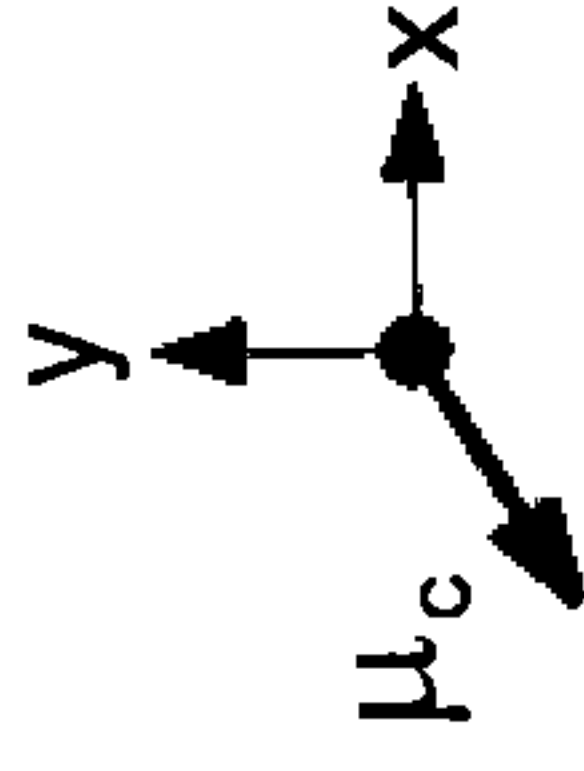
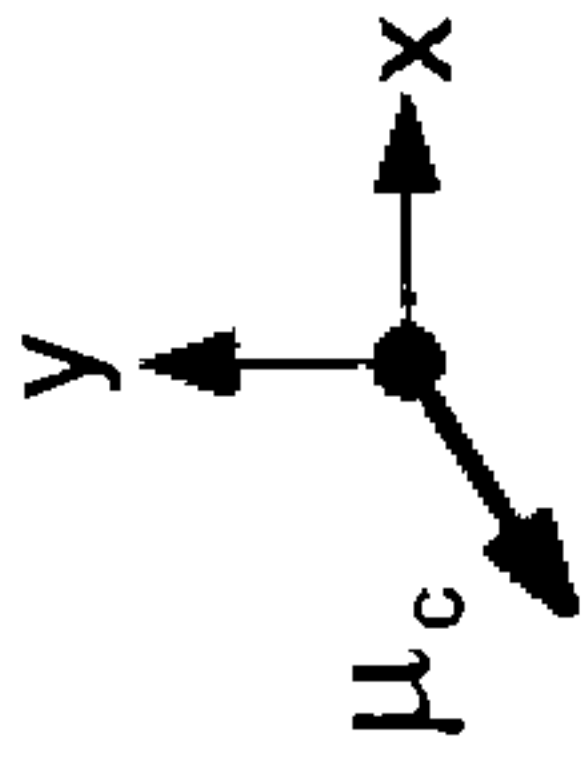
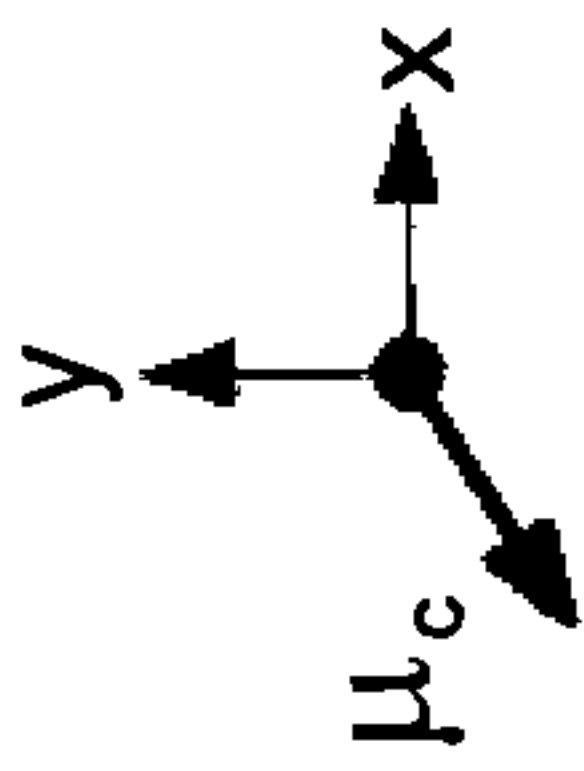
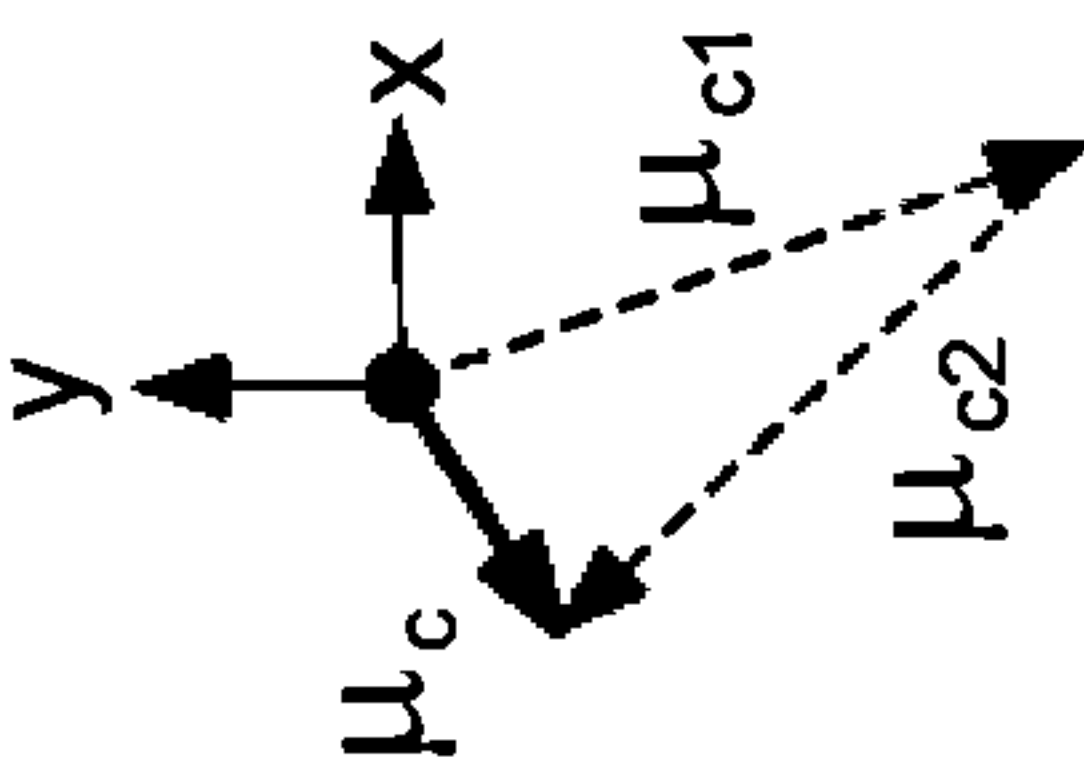


Fig. 7

Fig. 8

Fig. 9

Fig. 10

Fig. 11

