

⑤④ ACTIONNEUR VIBROTACTILE.

②② Date de dépôt : 07.07.17.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : ACTRONIKA SAS — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 11.01.19 Bulletin 19/02.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 31.03.23 Bulletin 23/13.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : HAYWARD VINCENT, COMOT
PIERRE et PIJEWSKI RAFAL.

⑦③ Titulaire(s) : ACTRONIKA SAS.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET CAMUS LEBKIRI Société
à responsabilité limitée.



ACTIONNEUR VIBROTACTILE

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne un actionneur vibrotactile permettant de générer
5 des vibrations à partir de mouvements engendrés par un réseau de Halbach en interaction avec un courant électrique.

L'invention trouve des applications dans le domaine des interfaces haptiques destinées à reproduire les sensations tactiles à l'aide de stimuli vibrotactiles et, d'une façon générale, dans tous les domaines où les vibrations provoquent des sensations
10 comme, par exemple, dans le domaine des simulateurs ou dans le domaine de la réalité augmentée.

ETAT DE LA TECHNIQUE

De nos jours, il est connu d'utiliser des actionneurs vibrotactiles pour communiquer des informations par voie tactile à un être humain. Ces actionneurs
15 vibrotactiles transforment un signal électrique, généré par une machine (par exemple un téléphone mobile ou un ordinateur), en un signal vibratoire perceptible par le toucher.

Le téléphone mobile est un exemple bien connu de dispositif équipé d'un actionneur vibrotactile. Dans cet exemple, l'actionneur vibrotactile comporte
20 généralement une masse excentrique entraînée en rotation par un moteur électrique, cette masse générant, par ses déplacements, des vibrations dues au principe de conservation du moment cinétique qui informent l'utilisateur d'une information, par exemple de la réception d'une communication téléphonique ou d'un message.

Un autre exemple d'actionneur vibrotactile connu est celui utilisé dans certains
25 pavés tactiles permettant de diriger, par glissement d'un doigt, un pointeur sur un écran. Généralement, dans les pavés tactiles, le déplacement du pointeur est obtenu par variation d'un faible courant électrique lié à la proximité des doigts, qui par nature possèdent des propriétés diélectriques facilement détectables. Cette variation électrique permet également, par de brèves oscillations, de simuler le « clic » d'un
30 bouton mécanique, tel que le bouton d'une souris. De tels pavés tactiles ont été décrits,

notamment par MacKenzie, I. Scott, et Aleks Oniszcak dans l'article : "The tactile touchpad", In CHI'97 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp. 309-310, ACM, 1997.

Cependant, ces actionneurs vibrotactiles sont, non seulement, relativement épais
 5 mais en outre ils sont généralement mono fréquentiels. Ils permettent donc de générer des vibrations d'une amplitude vibratoire irrémédiablement liée à la vitesse de rotation et donc à la fréquence d'oscillation, ce qui offre un ressenti unique à l'utilisateur. Une autre famille d'actionneurs vibrotactiles reposent sur le phénomène de résonnance d'un système masse-ressort et possèdent donc le même inconvénient. Autrement dit,
 10 l'utilisateur ressent des vibrations, mais toutes les vibrations sont perçues d'une manière identique. Ces actionneurs vibrotactiles connus ne sont donc pas exploitables dans des applications haptiques où l'on cherche à reproduire les riches sensations du toucher.

Par ailleurs, il est connu, en mécanique, d'utiliser des moteurs linéaires
 15 électrodynamiques pour générer des mouvements de translation. Parmi ces moteurs linéaires, celui décrit dans le document US2014/0346901 offre une configuration d'une épaisseur relativement faible. Un tel moteur linéaire 10 comporte, comme représenté sur les figures 1A et 1B, un réseau d'aimants 11 comportant une pluralité d'aimants 11a, 11b alignés dont les polarités sont alternées. Cette configuration du réseau
 20 d'aimants 11 permet une concentration de lignes de champs, générées par ledit réseau, sensiblement orthogonales au plan du réseau d'aimants 11. Ce moteur linéaire 10 comporte, en outre, un premier et un second ensembles 12, 13 de bobines électromagnétiques, plates et rectangulaires. Les ensembles de bobines 12, 13 sont positionnés chacun dans un plan parallèle au plan du réseau d'aimants 11, de part et
 25 d'autre dudit réseau d'aimants 11. De cette façon, les ensembles de bobines 12, 13 créent, sous l'effet d'un courant électrique les traversant, une force de Laplace horizontale, entre chaque plan des ensembles de bobines et le plan du réseau d'aimants. Cette force de Laplace a pour effet de déplacer les ensembles de bobines 12, 13 relativement au réseau d'aimants 11 et, inversement, de déplacer le réseau
 30 d'aimants relativement aux ensembles de bobines de sorte à générer un mouvement de translation. Une des applications les plus connues d'un tel moteur linéaire est le train à sustentation magnétique dans lequel les déplacements relatifs successifs entre

les ensembles de bobines et le réseau d'aimants assurent le déplacement du train le long d'un rail.

Dans les moteurs linéaires, certaines configurations d'aimants ont la particularité de guider les lignes de champs d'un côté seulement du plan du réseau d'aimants.

5 Cette configuration d'aimants, appelée réseau de Halbach, consiste à disposer les aimants de sorte à briser la symétrie de la géométrie du parcours des lignes de champs, comme représenté sur les figures 2A et 2B. Pour cela, les aimants sont agencés de façon à ce que la polarisation des aimants contigus diffère. Par exemple, la polarisation de deux aimants contigus peut être orientée suivant des directions
10 orthogonales ou suivant des angles inférieurs à 90° , comme dans l'exemple des figures 2A-2B où les angles de décalage des directions de polarisation sont de l'ordre de 45° . Plus l'angle entre les directions de polarisation est petit, plus la dispersion des lignes de champs est réduite, ce qui permet, à courant égal, un plus grand déplacement relatif en translation.

15 **RESUME DE L'INVENTION**

Pour répondre au problème évoqué ci-dessus de l'épaisseur et du niveau de vibration unique des actionneurs vibrotactiles connus, le demandeur propose un actionneur vibrotactile comportant un moteur linéaire à réseau de Halbach dans lequel les mouvements translatifs engendrés par le moteur linéaire sont transformés en
20 vibrations haptiques par des moyens de guidage glissants ou élastiques.

Selon un aspect, l'invention concerne un actionneur vibrotactile, comportant :

- un réseau de bobines électromagnétiques plates positionnées de façon contigüe dans un plan, ledit réseau de bobines étant apte à générer une force de Laplace, sous l'effet d'un courant électrique traversant le réseau de bobines,
- 25 - un réseau d'aimants permanents assemblés linéairement dans un plan parallèle au plan du réseau de bobines et formant un réseau de Halbach générant des lignes de champs magnétiques orientées vers le réseau de bobines, une interaction électromagnétique entre des lignes de courant traversant le réseau de bobines et les lignes de champs magnétiques entraînant, par la force de Laplace, des mouvements
30 translatifs relatifs entre le réseau de bobines et le réseau d'aimants, et
- des moyens de guidage élastiques pour générer des vibrations haptiques à

partir des mouvements translatifs relatifs entre le réseau de bobines et le réseau d'aimants.

Cet actionneur vibrotactile a l'avantage de posséder une large bande passante permettant la génération d'une grande gamme d'amplitudes et de fréquences des vibrations pouvant reproduire les sensations du toucher chez l'humain. Cet actionneur a en outre l'avantage de présenter une faible épaisseur lui permettant d'être introduit dans toutes sortes de dispositifs.

De façon avantageuse, l'actionneur vibrotactile selon l'invention peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- 10 - L'actionneur vibrotactile comporte un bâti dans lequel sont montés le réseau de bobines et le réseau d'aimants.
- Les moyens de guidage élastiques sont montés au moins partiellement entre le bâti et l'un parmi le réseau de bobines et le réseau d'aimants.
- Les moyens de guidage élastiques sont montés longitudinalement dans le plan du réseau de bobines.
- 15 - Les moyens de guidage élastiques sont montés longitudinalement dans le plan du réseau d'aimants.
- Les moyens de guidage élastiques comportent au moins deux éléments de guidage et de rappel montés chacun à une extrémité du réseau de bobines ou du réseau d'aimants.
- 20 - Les éléments de guidage et de rappel sont réalisés dans un matériau élastique dont le matériau et la géométrie conduisent à une bande passante comprise entre environ 10 Hz et 10 kHz.
- Chaque élément de guidage et de rappel comporte une lame mince en forme de S.
- 25 - Chaque élément de guidage et de rappel comporte une lame mince en forme de X.
- Chaque élément de guidage et de rappel comporte des lames minces en forme de boucles oblongues montées latéralement de part et d'autre du réseau de bobines ou du réseau d'aimants.
- 30 - Les éléments de guidage et de rappel comprennent, optionnellement, des moyens d'entrave aptes à contraindre les mouvements translatifs relatifs dans la direction normale au réseau d'aimants et au réseau de bobines.

- La lame mince est électriquement conductrice et alimente électriquement le réseau de bobines.
- Les éléments de guidage et de rappel sont montés coulissant sur des glissières fixées longitudinalement dans le bâti.
- 5 - Les éléments de guidages et de rappel comprennent des chemins de roulement pouvant contenir des billes pour assurer un guidage en translation par roulement.
- Chaque bobine du réseau de bobines comporte une piste gravée dans un circuit imprimé.
- 10 - Chaque bobine du réseau de bobines comporte un ruban conducteur enroulé.
- Chaque bobine du réseau de bobines comporte un empilement de spires plates.

Dans la suite de la description, le positionnement des différents éléments de l'actionneur selon l'invention sera défini dans un repère orthogonal XYZ, dans lequel l'axe X définit la direction longitudinale de l'actionneur, l'axe Y définit sa direction transversale et l'axe Z définit sa direction verticale. Les plans PA du réseau d'aimants et PB du réseau de bobines sont des plans parallèles, définis suivant le plan XY du repère XYZ.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

- 20 D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à la lecture de la description, illustrée par les figures dans lesquelles :
- Les figures 1A et 1B, déjà décrites, représentent une vue en perspective et une vue éclatée d'un moteur linéaire selon l'art antérieur ;
 - Les figures 2A et 2B, déjà décrites, représentent une vue en perspective d'un réseau de Halbach ainsi que les lignes de champs générées par ce réseau ;
 - 25 - La figure 3 représente un mode de réalisation d'un actionneur vibrotactile selon l'invention ;
 - Les figures 4 à 9 représentent divers modes de réalisation de l'actionneur vibrotactile selon l'invention ;
 - 30 - Les figures 10A, 10B et 10C représentent divers modes de réalisation des

bobines du réseau de bobines de l'actionneur vibrotactile selon l'invention.

- Les figures 11A, 11B, 11C et 11D représentent divers modes de réalisation permettant d'améliorer la performance du dispositif dans la direction normale.

DESCRIPTION DETAILLEE D'AU MOINS UN MODE DE REALISATION

5 Un exemple de réalisation d'un actionneur vibrotactile comportant un moteur linéaire à réseau de Halbach dans lequel les mouvements translatifs engendrés par le moteur linéaire sont transformés en vibrations haptiques, est décrit en détail ci-après, en référence aux dessins annexés. Cet exemple illustre les caractéristiques et avantages de l'invention. Il est toutefois rappelé que l'invention ne se limite pas à cet
10 exemple.

Sur les figures, les éléments identiques sont repérés par des références identiques. Pour des questions de lisibilité des figures, les échelles de taille entre éléments représentés ne sont pas respectées.

La figure 3 représente un actionneur vibrotactile selon certains modes de
15 réalisation de l'invention. Cet actionneur vibrotactile 100 comporte un réseau de bobines 120 et un réseau d'aimants 110 formant ensemble un moteur linéaire.

Le réseau de bobine 120 comporte une pluralité de bobines électromagnétiques juxtaposées longitudinalement les unes à côté des autres. Dans l'exemple de la figure 3, le réseau de bobines comporte quatre bobines, référencées 121, 122, 123,
20 124. L'homme du métier comprendra que le nombre de bobines peut varier en fonction, par exemple, des dimensions du moteur linéaire ou des dimensions des bobines, sans toutefois modifier la configuration de l'actionneur telle que décrite par la suite. Les bobines 121-124, alimentées électriquement par une source d'alimentation non visible sur les figures, sont connectées entre elles de sorte à former un réseau de bobines
25 linéaire. Elles sont agencées de sorte que le courant circule, dans les segments adjacents de deux bobines juxtaposées, dans des directions communes qui alternent de paire en paire. Ainsi, dans l'exemple de la figure 3, le courant dans le segment 121a de la bobine 121 et le courant dans le segment 122a de la bobine 122 circulent dans une même première direction tandis que le courant dans le segment 122b de la bobine
30 122 et le courant dans le segment 123b de la bobine 123 circulent dans une même seconde direction, cette seconde direction étant opposée à la première direction. De façon similaire, le courant dans le segment 122a de la bobine 122 et le courant dans

le segment 124a de la bobine 124 circulent dans la même direction, par exemple la première direction.

Les bobines 121-124 sont des bobines plates, par exemple de forme rectangulaire, positionnées de façon contigüe suivant un premier plan PB. Les bobines 121-124 peuvent être montées et fixées sur un support 125 plan de sorte à assurer la planéité du réseau de bobine 120. Ce support 125 peut être une plaquette réalisée dans un matériau isolant assurant une fonction structurelle comme de l'ABS (Acrylonitrile Butadiène Styrène) ou tout autre plastique injectable.

Le réseau d'aimants 110 est un réseau de Halbach, comme représenté sur la figure 4, comportant une pluralité d'aimants permanents plats dont les polarités sont orientées dans des directions différentes. Dans l'exemple de la figure 4, le réseau de Halbach 110 comporte neuf aimants permanents 111-119, appelés par la suite simplement aimants, qui présentent quatre directions de polarités différentes. L'homme du métier comprendra que le nombre d'aimants et le nombre de directions des polarités peuvent varier sans toutefois modifier la configuration de l'actionneur telle que décrite par la suite. Les aimants 111-119 sont agencés longitudinalement les uns à la suite des autres et assemblés les uns avec les autres, par exemple par collage, encastrement ou frettage. Ces aimants 111-119 sont positionnés de sorte que deux aimants consécutifs présentent des polarités d'orientations différentes. Dans l'exemple de la figure 4, la polarité de l'aimant 111 est orientée dans une direction à -45° par rapport à l'axe X, la polarité de l'aimant 112 est orientée dans la direction opposée à l'axe X, la polarité de l'aimant 113 est orientée dans une direction à 45° de l'axe X et la polarité de l'aimant 114 est orientée suivant la direction de l'axe X, le même schéma d'orientation des polarités étant reproduit pour les aimants 115 à 119.

Les aimants du réseau d'aimants 110 sont agencés linéairement suivant un plan PA, parallèle au plan PB du réseau de bobines 120, comme représenté sur la figure 3. Les plans PA du réseau d'aimants et PB du réseau de bobines sont des plans parallèles, définis suivant les axes X et Y du repère XYZ. Le plan PA du réseau d'aimants 110 est distant, suivant l'axe Z, du plan PB du réseau de bobines 120 de sorte à engendrer un entrefer e (suivant l'axe Z) entre le réseau de bobines et le réseau d'aimants. Cet entrefer e est d'une dimension réduite par rapport aux dimensions longitudinales et transversales des réseaux d'aimants et de bobines. Avec cette

configuration, le réseau de bobines 120 est positionné à l'aplomb du réseau d'aimants 110, les bobines 121-124 étant en regard des aimants 111-119.

Selon certains modes de réalisation, le réseau de bobines 120 est positionné au-dessus du réseau d'aimants 110, comme représenté sur la figure 3. Autrement dit, suivant la direction Z, l'actionneur vibrotactile 100 comporte de façon ordonnée le bâti 130, le réseau d'aimants 110 et le réseau de bobines 120. Le réseau de bobines 120 est alors à l'aplomb du réseau d'aimants 110.

Dans d'autres modes de réalisation, comme celui représenté sur la figure 4, le réseau d'aimants 110 est positionné au-dessus du réseau de bobines 120. En d'autres termes, dans ces modes de réalisation, suivant la direction Z, l'actionneur vibrotactile 100 comporte de façon ordonnée, le bâti 130, le réseau de bobines 120 et le réseau d'aimants 110. Le réseau d'aimants 110, permanents, est alors à l'aplomb du réseau de bobines 120.

Quelle que soit la disposition relative du réseau de bobines 120 et du réseau d'aimants 110, ledit réseau d'aimants engendre des lignes de champs magnétiques dirigées vers le réseau de bobine 120. Lorsqu'un courant oscillant circule dans le réseau de bobines 120, une force de Laplace oscillante est générée suivant l'axe X. L'interaction électromagnétique entre les lignes de courant traversant le réseau de bobines 120 et le flux magnétique généré par le réseau d'aimants 110 transforme l'énergie électrique en une énergie mécanique linéaire engendrant des mouvements translatifs relatifs entre ledit réseau d'aimants et ledit réseau de bobines.

L'actionneur vibrotactile selon l'invention comporte des moyens de guidage élastiques, référencés 140 sur les figures 3 et 4, adaptés pour assurer le déplacement longitudinal des pièces 110 et 120 relativement l'une à l'autre si bien que si l'une d'entre elles est liée à un objet extérieur tout déplacement de la pièce libre se traduira par un déplacement de l'objet extérieur par le principe de la conservation du moment cinétique, transformant l'énergie électrique en vibrations haptiques. Ces moyens de guidage élastiques 140 forment une suspension élastique qui guide un des réseaux par rapport à l'autre selon une trajectoire sensiblement rectiligne. Ces moyens de guidage élastiques 140 peuvent se présenter sous la forme, par exemple, d'un ou plusieurs éléments de guidage et de rappel, appelés plus simplement éléments de rappel, ou bien d'un système à glissière – comme décrit par la suite – qui ont pour

objectif de transformer l'énergie électrique par interaction des réseaux de bobines 120 et d'aimants 110 en vibrations haptiques utilisant la force de Laplace à cet effet. En effet, les moyens de guidage élastiques 140, de par leur caractéristique élastique, offrent une large amplitude de vibration.

5 Selon certains modes de réalisation, l'actionneur vibrotactile comporte un bâti 130 dans lequel sont logés au moins en partie le réseau de bobines 120 et le réseau d'aimants 110. Ce bâti 130 peut comporter un plateau longitudinal 131 équipé, à au moins une de ses extrémités, d'un bras d'appui 132. Dans l'exemple des figures 3 et 4, le plateau 131 du bâti 130 comporte un bras d'appui 132 à chacune de ses
10 extrémités longitudinales. Dans ces modes de réalisation, les moyens de guidage élastiques 140 peuvent être montés dans le bâti 130 et solidarisés avec les bras d'appui 132 et l'un ou l'autre des réseaux de bobines 120 ou d'aimants 110.

Dans les modes de réalisation de la figure 3, le réseau d'aimants 110 est solidarisé avec le plateau 131 du bâti 130 et le réseau de bobines 120 est suspendu
15 au-dessus du réseau d'aimants 110, via les moyens de guidage 140. Un entrefer e , d'épaisseur fine par rapport aux autres dimensions de l'actionneur vibrotactile, est alors créé entre le réseau d'aimants 110 et le réseau de bobines 120. Cet entrefer e peut être, par exemple, de quelques dizaines de micromètres. Sous l'effet de l'interaction électromagnétique entre le réseau de bobines 120 et le réseau d'aimants
20 110, le réseau de bobines 120 est libre de se déplacer en translation dans la direction X (dans le sens $+X$ et le sens $-X$) par rapport au réseau d'aimants 110.

Dans certains modes de réalisation, les moyens de guidage élastiques 140 peuvent comporter des éléments de rappel 140 ménagés entre le réseau de bobines 120 et les bras d'appui 132, comme représenté sur la figure 3, ou entre le réseau
25 d'aimants 110 et les bras d'appui 132, comme représenté sur la figure 4. Dans ces exemples, l'un des réseaux (bobines ou aimants) est fixé sur le plateau 131 du bâti 130 tandis que l'autre réseau est suspendu entre les éléments de rappel 140. Ces modes de réalisation optimisent la génération des vibrations haptiques en permettant le déplacement relatif d'un des réseaux tout en évitant les frottements des éléments
30 de rappel 140 sur le plateau du bâti.

Les éléments de rappel 140 peuvent être, par exemple, des lames minces 141, 142 positionnées chacune entre le réseau de bobines 120 ou le réseau d'aimants 110

et un bras d'appui 132 du bâti 130. Chaque lame mince 141 peut présenter, dans le plan PA ou le plan PB, une forme en S avec un premier sommet 141a fixé sur le bras d'appui 132 et un second sommet 141b fixé à l'extrémité longitudinale du réseau de bobines ou d'aimants. Des exemples de lames minces en S 141 sont représentés sur les figures 3 et 4. De telles lames minces en S offrent une grande rigidité en torsion.

Selon d'autres exemples, représentés sur les figures 5 et 6, les éléments de rappel 140 peuvent être des lames minces 142 présentant, dans le plan PA ou le plan PB, une forme en X avec deux jambes du X 142a fixées sur le bras d'appui 132 et deux autres jambes du X 142b fixées à une extrémité longitudinale du réseau de bobines ou d'aimants. Ces modes de réalisation ont l'avantage de produire un guidage sensiblement plus précis que celui assuré par les lames minces 141 en forme de S.

Qu'elles aient une forme en X ou une forme en S, les lames minces 141, 142 sont réalisées dans un matériau suffisamment rigide pour rester longitudinalement entre les bras d'appui 132 et les réseaux de bobines ou d'aimants et suffisamment élastique pour transformer l'énergie mécanique linéaire en vibrations d'amplitudes variables. Les lames minces 141, 142 peuvent être réalisées dans des élastomères tels que les polysiloxanes, dans des caoutchoucs ou des feuillards métalliques à haute limite élastique tels que certains alliages cuivreux ou aciers permettant de générer des vibrations haptiques à partir de l'énergie mécanique linéaire issue des réseaux de bobines et d'aimants. Les lames minces peuvent, en particulier, être réalisées dans un alliage cuivreux au béryllium, cette matière ayant l'avantage d'être suffisamment souple et élastique pour offrir une large bande passante de l'ordre de 10 Hz à plusieurs kHz. Selon certains modes de réalisation, les sommets des lames minces en S 141 ou les jambes des lames minces en X 142 sont fixées sur les bras d'appui 132 et/ou les extrémités longitudinales du réseau de bobines ou du réseau d'aimants, par exemple par collage. Selon d'autres modes de réalisation, les sommets des lames minces en S 141 ou les jambes des lames minces en X 142 sont moulées, par exemple par injection, avec les bras d'appui 132 et/ou les extrémités du support 125 du réseau de bobines.

Dans certains modes de réalisation, par exemple ceux des figures 3 et 5, les lames minces 141 ou 142 sont fabriquées dans un matériau électriquement conducteur. Ainsi, les lames minces forment non seulement les éléments de rappel de

l'actionneur 100 mais elles forment en outre les connexions électriques qui relient électriquement les bobines à une source d'alimentation électrique.

Dans certains modes de réalisation, par exemple ceux des figures 4 et 6, le réseau d'aimants 110 a l'avantage de former un pont thermique qui favorise la dissipation de la chaleur produite par effet Joule, dans les bobines 121-124 lors de la circulation du courant électrique.

Selon d'autres modes de réalisation, les éléments de rappel 140 sont des coulisseaux 143a, 143b montés coulissant sur des glissières 143c et formant, avec lesdites glissières, un système à glissière 143. Des exemples de tels modes de réalisation sont représentés sur les figures 7 et 8. Ce système à glissière 143 comporte, par exemple, deux glissières 143c parallèles, positionnées longitudinalement de part et d'autre du réseau de bobines 120 (exemple de la figure 7) ou du réseau d'aimants 110 (exemple de la figure 8). Ces glissières 143c sont fixées, à chaque extrémité longitudinale, dans les bras d'appui 132 du bâti 130. Les coulisseaux 143a, 143b du système à glissière 143 sont prévus pour coulisser sur les glissières 143c. Les coulisseaux 143a, 143b sont des éléments transversaux mobiles, solidaires du réseau de bobines 120 (exemple de la figure 7) ou du réseau d'aimants 110 (exemple de la figure 8). Ces coulisseaux 143a, 143b peuvent être fixés chacun à une extrémité longitudinale du réseau de bobines ou d'aimants, par exemple par collage, ou peuvent être formés d'une seule pièce, par exemple par moulage, avec le support 125 du réseau de bobines 120. Selon une autre mode de réalisation apparenté au système à glissière, le guidage peut être assuré par un système de roulement où des billes métalliques, en plastique ou en élastomère, sont contraintes par des chemins de roulement d'un type bien connu de l'homme du métier.

Dans les modes de réalisation des figures 7 et 8, les coulisseaux 143a, 143b peuvent être associés à des ressorts de compression, par exemple deux, prévus pour recentrer les coulisseaux vers une position de repos.

Dans les modes de réalisation des figures 7 et 8, les coulisseaux 143a, 143b réalisés dans une paire de matériaux à faible coefficient de friction comme acier contre bronze fritté, ou acier contre plastiques autolubrifiants, permettent de guider avec précision le mouvement des parties mobiles issu de l'interaction des réseaux de bobines et d'aimants en vibrations haptiques.

Dans certains modes de réalisation, le réseau de bobines 120 et le réseau d'aimants 110 sont au moins partiellement enfermés dans un coffrage 150, comme dans l'exemple de la figure 9. Ce coffrage 150 est fixé sur le réseau de bobines 120 (mode de réalisation non représenté) ou sur le réseau d'aimants 110 (mode de réalisation de la figure 9) de sorte à être mobile en translation par rapport au plateau 131 du bâti 130. Le coffrage 150 se déplace alors linéairement, en simultanéité avec le réseau (de bobines ou d'aimants) dont il est solidaire. Dans ce mode de réalisation, les éléments de rappel 140 sont ménagés entre le coffrage 150 et les bras d'appui 132 du bâti 130, ce qui permet un montage simplifié des moyens de rappel 140 dans l'actionneur 100.

Quel que soit le mode de réalisation, la masse en mouvement est optimisée dans l'actionneur vibrotactile de l'invention, ce qui permet audit actionneur de présenter une dimension suivant l'axe Z petite devant les dimensions suivant les axes X et Y. L'actionneur vibrotactile de l'invention peut ainsi présenter une épaisseur inférieure à 4mm, ce qui lui confère un format dont le rapport des dimensions s'approche de celui d'une plaquette.

Selon certains modes de réalisation, les bobines 121-124 du réseau de bobines 120 peuvent être réalisées au moyen de pistes conductrices gravées dans un circuit imprimé multicouche. Un exemple d'un actionneur comportant un tel réseau de bobines est représenté sur la figure 10A. Dans ces modes de réalisation, le réseau de bobines est gravé dans le substrat 160 à la surface duquel sont connectés des composants électroniques 161 utilisés par le dispositif pour des applications autres que les vibrations haptiques. Le substrat 160 constitue non seulement le réseau de bobines mais également le plateau 131 du bâti. Des bras d'appui 132 sont alors fixés directement sur le substrat 160 pour maintenir le réseau d'aimants 110 au-dessus des bobines gravées. Ces modes de réalisation présentent l'avantage de réduire encore l'encombrement de l'actionneur vibrotactile puisque le réseau de bobines est gravé dans le substrat 160. L'actionneur présente alors une épaisseur sensiblement égale à celle d'un composant électronique. Ces modes de réalisation présentent en outre l'avantage de simplifier la fabrication de l'actionneur en utilisant des méthodes connues pour fabriquer le réseau de bobines et d'éliminer les connexions nécessaires à l'alimentation électrique du réseau de bobine, ce qui réduit les coûts de fabrication tout en augmentant la fiabilité de l'actionneur.

Dans certains modes de réalisation, chaque bobine 121-124 du réseau de bobines comporte un fil électrique de section ronde enroulé, par exemple autour d'un mandrin de section rectangulaire, de sorte à former une bobine plate rectangulaire.

Dans d'autres modes de réalisation, chaque bobine 121-124 du réseau de bobines comporte un ruban conducteur 170 bobiné. Ce ruban conducteur 170, par exemple en cuivre ou en aluminium suffisamment pur, est enroulé sur sa longueur, suivant une forme rectangulaire, de sorte à former une bobine rectangulaire telle que celle représentée sur la figure 10B. Cette bobine est une bobine plate dont l'épaisseur correspond à la largeur du ruban conducteur.

Dans d'autres modes de réalisation, chaque bobine 121-124 du réseau de bobines comporte un empilement de spires 180 telles que représenté sur la figure 10C. Les spires 180, dont le nombre dépend de l'épaisseur et/ou de la puissance voulue pour la bobine, sont réalisées dans des feuilles de matériau conducteur, découpées sous forme de couronnes rectangulaires et empilées les unes sur les autres. Chaque spire 180 est connectée à la suivante, ou la précédente, par exemple par des points de soudure 181 de façon à former une bobine à tours multiples, plate. De telles bobines à empilement de spires présentent l'avantage de pouvoir être fabriquées directement dans un support, ce qui permet la réalisation d'actionneurs particulièrement fins.

Dans certains modes de réalisation, il peut être intéressant d'optimiser la performance de l'actionneur vibrotactile en réduisant la distance entre le réseau d'aimants 110 et le réseau de bobines 120 à une valeur très faible. En effet, comme montré sur la figure 2B, les lignes de champ d'un réseau de Halbach, quoique généralement orthogonales au plan principal du réseau dans les régions de symétrie, ont tendance à diverger dans les régions adjacentes. Aussi, lorsque l'actionneur est utilisé dans des fréquences basses et donc que les déplacements sont importants, la force de Laplace n'est pas parfaitement tangentielle au plan principal de l'actionneur (plan du réseau d'aimants et/ou de bobines) ce qui peut provoquer un déplacement intempestif des pièces en mouvement relatif dans la direction normale Y. Pour éviter un tel déplacement intempestif, les éléments de guidage et de rappel peuvent être des lames minces 151 en forme de boucles positionnées latéralement entre le bâti 132 et le réseau d'aimants 110 ou le réseau de bobines 120, comme représenté sur la figure 11A. Ces lames minces 151 peuvent être formées de rubans minces métalliques ou réalisées dans des élastomères, tels que ceux cités précédemment, qui possèdent

l'avantage d'une grande rigidité dans la direction Y, normale aux plans PA, PB des réseaux d'aimants et de bobines, et d'une grande souplesse dans la direction tangentielle Z. Ces boucles 151 sont reliées à la pièce mobile, par exemple au réseau d'aimants 110, d'une part et au bâti 132 d'autre part. Ces modes de réalisation
 5 présentent le double avantage de rendre l'actionneur non seulement plus mince mais aussi plus efficace puisqu'il profite d'un champ magnétique plus intense.

Dans certaines applications, en particulier celles à haute performance, il peut être intéressant de contraindre fortement les mouvements réciproques des pièces mobiles – en particulier le réseau d'aimants ou le réseau de bobines - dans la direction
 10 normale Y. Une telle contrainte peut être obtenue par des moyens d'entrave, tel qu'un fluide 160 introduit dans l'espace interstitiel disponible entre le réseau d'aimants 110 et le réseau de bobines 120, c'est-à-dire entre les pièces en mouvement réciproque dont la valeur désirée de l'épaisseur est préférentiellement de moins de dix microns, comme représenté sur la figure 11B. Un tel fluide 160 est maintenu en place de façon
 15 permanente grâce à la force capillaire résultante de l'utilisation d'un fluide approprié tel que de la glycérine, du glycol éthylène ou de l'huile minérale raffinée, qui sont peu toxiques et présentent des viscosités appropriées. La présence d'un ménisque de rayon moyen R , à la jonction entre le réseau d'aimants 110 et le réseau de bobines 120, et dont un exemple est illustré par la figure 11C, est associé à une force capillaire
 20 due à la pression résultante à la tension superficielle du fluide 160. Cette pression P peut être estimée par la formule $P = \gamma(2 \cos \theta / G)$ où γ est la tension de surface, θ l'angle de raccordement liquide-solide, et G l'épaisseur de l'espace interstitiel. Un calcul rapide avec la formule précédente montre que, pour les matériaux cités ci-dessus, cette force sera de l'ordre de 1 milli-Newton pour des surfaces en regard d'un
 25 centimètre carré et donc qu'elle peut être à prendre en considération dans le dimensionnement du système de guidage. La présence d'un liquide peu visqueux entre les deux pièces en mouvement réciproque n'empêche pas leur déplacement dans la direction tangentielle Z mais contraint toute oscillation rapide selon la direction normale Y. Cette variante permet de réaliser des actionneurs vibrotactiles ayant un
 30 espace interstitiel G très faible, ce qui permet la réalisation d'un actionneur mince et efficace.

Un autre mode de réalisation du guidage dans la direction normale Y au plan PA et PB de l'actionneur peut aussi consister en au moins une paire de brides 161

rapportées aux extrémités des réseaux d'aimants 110 et de bobines 120 en mouvement réciproque. Ces brides 161 peuvent être formées de pièces comportant deux sections minces comme illustré par la figure 11D. Un rapide calcul montre que si le déplacement d'une amplitude $2D$ des réseaux d'aimants 110 et de bobines 120 provoque une inclinaison de plus ou moins trente degrés de la barre de liaison 162, la variation de distance interstitielle G ne dépassera pas 14%.

L'actionneur vibrotactile selon l'invention peut être inséré dans ou fixé à tout type de dispositif pour communiquer des vibrations haptiques audit dispositif. En effet, si le plateau 131 du bâti 130 est fixé à une structure à laquelle les vibrations doivent être communiquées, par application du principe de conservation du moment cinétique, aux fréquences supérieures à la fréquence de résonnance naturelle de l'ensemble constitué de la masse en mouvement et de la suspension formée par le réseau d'aimants ou le réseau de bobines, le rapport des vitesses des bobines et de la masse de la structure à faire vibrer sont dans le rapport inverse de leurs masses réciproques. Un tel actionneur, de par ses petites dimensions, peut être fixé, par exemple, sur un bracelet de type bracelet-montre pour communiquer, par vibrations, l'heure à son utilisateur. Il peut également être fixé, par exemple, dans une semelle de chaussure, sur un vêtement ou sur tout élément en contact avec l'utilisateur.

Bien que décrit à travers un certain nombre d'exemples, variantes et modes de réalisation, l'actionneur vibrotactile selon l'invention comprend divers variantes, modifications et perfectionnements qui apparaîtront de façon évidente à l'homme du métier, étant entendu que ces variantes, modifications et perfectionnements font partie de la portée de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Actionneur vibrotactile (100), comportant :

- un réseau (120) de bobines électromagnétiques plates positionnées de façon contigüe dans un plan (PB) et agencées de sorte qu'un courant électrique circule, dans des segments adjacents de deux bobines juxtaposées, dans des directions communes qui alternent de paire en paire, ledit réseau de bobines étant apte à générer une force de Laplace sous l'effet du courant électrique traversant ledit réseau de bobines,
- un réseau (110) d'aimants permanents assemblés linéairement dans un plan (PA) parallèle au plan du réseau de bobines et dont les polarités sont orientées dans des directions différentes, ledit réseau d'aimants (110) formant un réseau de Halbach générant des lignes de champs magnétiques orientées vers le réseau de bobines (120), une interaction électromagnétique entre des lignes de courant traversant le réseau de bobines et les lignes de champs magnétiques entraînant, par la force de Laplace, des mouvements translatifs relatifs entre le réseau de bobines (120) et le réseau d'aimants (110), et
- des moyens de guidage élastiques (140) pour générer des vibrations haptiques à partir des mouvements translatifs relatifs entre le réseau de bobines et le réseau d'aimants.

2. Actionneur vibrotactile selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte un bâti (130) dans lequel sont montés le réseau de bobines (120) et le réseau d'aimants (110).

3. Actionneur vibrotactile selon la revendication 2, caractérisé en ce que les moyens de guidage élastiques (140) sont montés au moins partiellement entre le bâti (130) et l'un parmi le réseau de bobines et le réseau d'aimants.

4. Actionneur vibrotactile selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les moyens de guidage élastiques (140) sont montés longitudinalement dans le plan (PB) du réseau de bobines.

5. Actionneur vibrotactile selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les moyens de guidage élastiques (140) sont montés longitudinalement dans le plan (PA) du réseau d'aimants.
- 5 6. Actionneur vibrotactile selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les moyens de guidage élastiques (140) comportent au moins deux éléments de guidage et de rappel montés chacun à une extrémité du réseau de bobines ou du réseau d'aimants.
- 10 7. Actionneur vibrotactile selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que chaque élément de guidage et de rappel comporte une lame mince (141) en forme de S.
8. Actionneur vibrotactile selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que chaque élément de guidage et de rappel comporte une lame mince (142) en forme de X.
- 15 9. Actionneur vibrotactile selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que les éléments de guidage et de rappel sont montés coulissant sur des glissières (143c) ou des chemins de roulement à billes, fixés longitudinalement dans le bâti (130).
- 20 10. Actionneur vibrotactile selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les moyens de guidage élastiques (140) sont montés latéralement le long du réseau d'aimants ou du réseau de bobines.
11. Actionneur vibrotactile selon la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens de guidage élastiques (140) comportent des éléments de guidage et de rappel
- 25 comportant chacun des lames minces (151) en forme de boucles oblongues montées de part et d'autre du réseau de bobines ou du réseau d'aimants.
12. Actionneur vibrotactile selon l'une quelconque des revendications 6 à 10,
- 30 caractérisé en ce que les éléments de guidage et de rappel comprennent des moyens d'entrave (160) aptes à contraindre les mouvements translatifs relatifs dans la direction normale au réseau d'aimants et au réseau de bobines.
13. Actionneur vibrotactile selon l'une quelconque des revendications 1 à 12,
- 35 caractérisé en ce que chaque bobine (121-124) du réseau de bobines comporte un

empilement de spires plates.

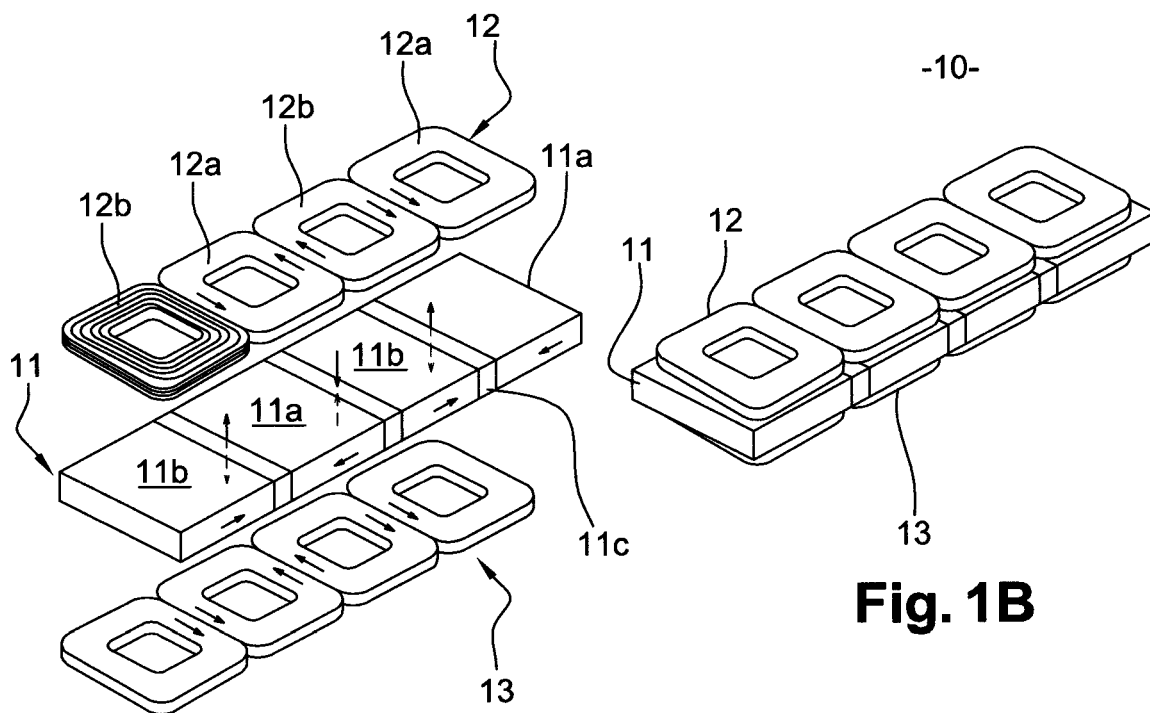


Fig. 1A

Fig. 1B

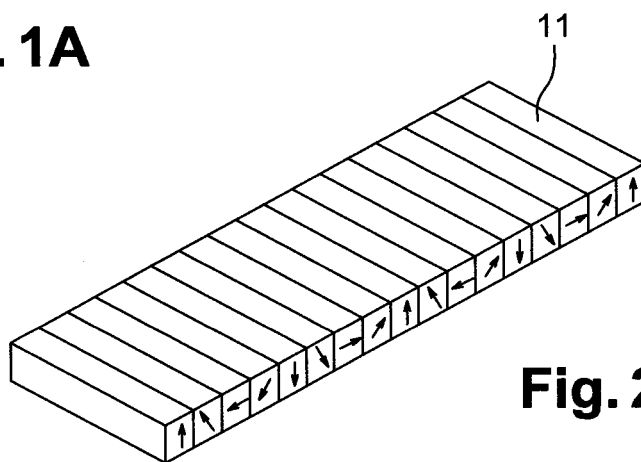


Fig. 2A

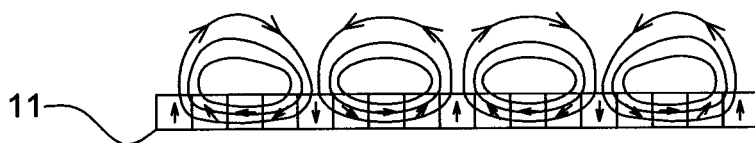


Fig. 2B

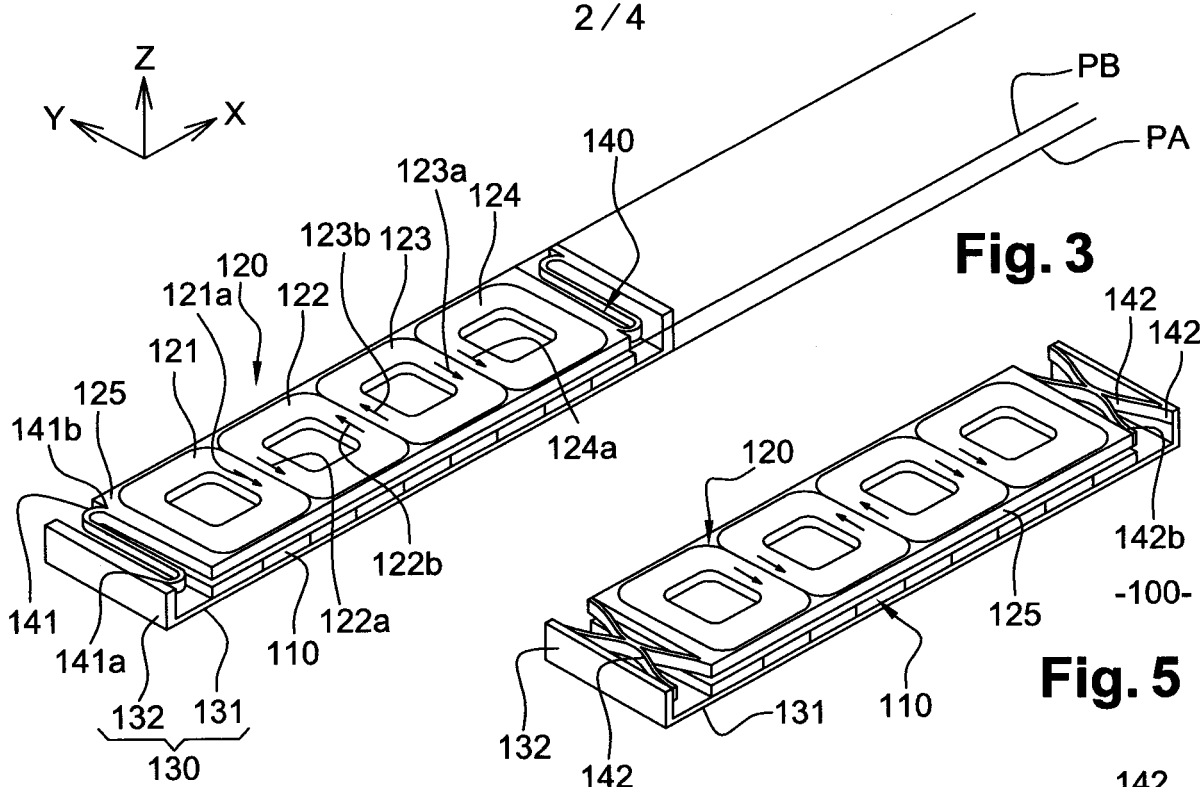
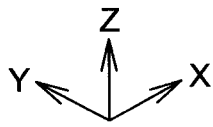


Fig. 3

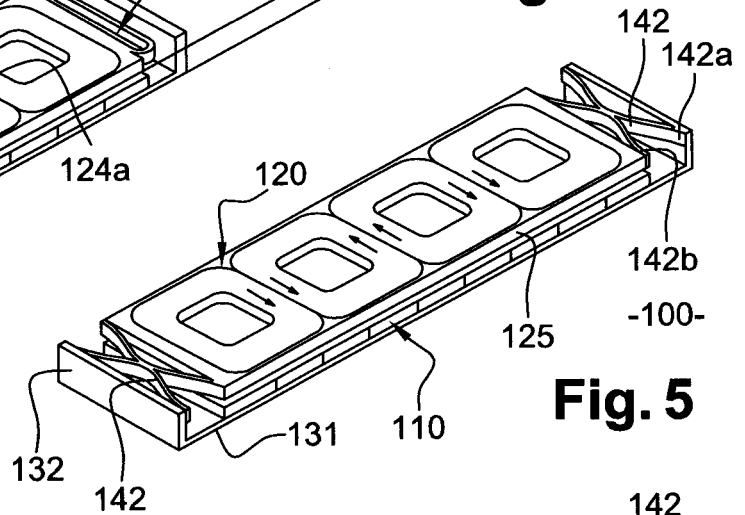


Fig. 5

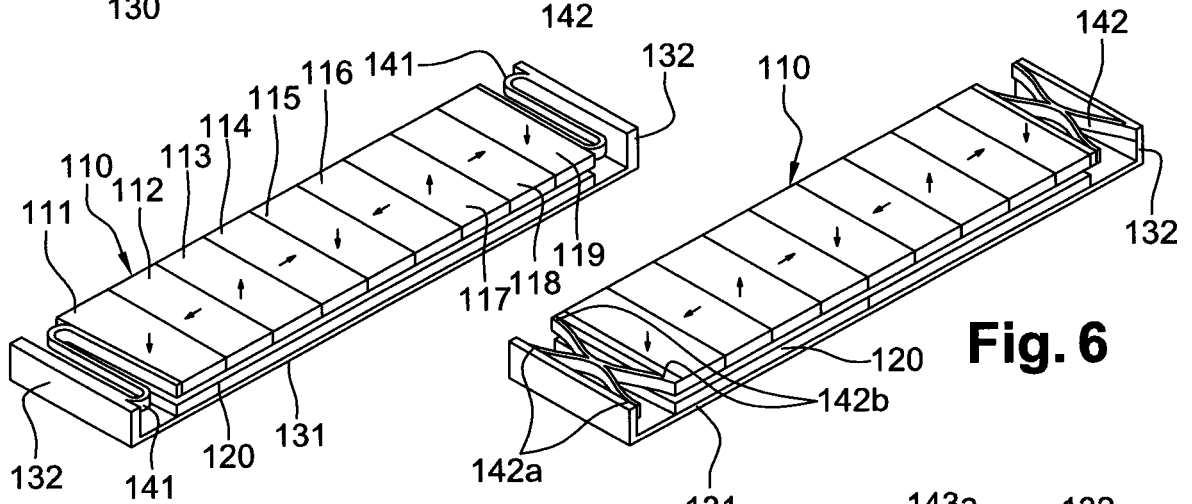


Fig. 4

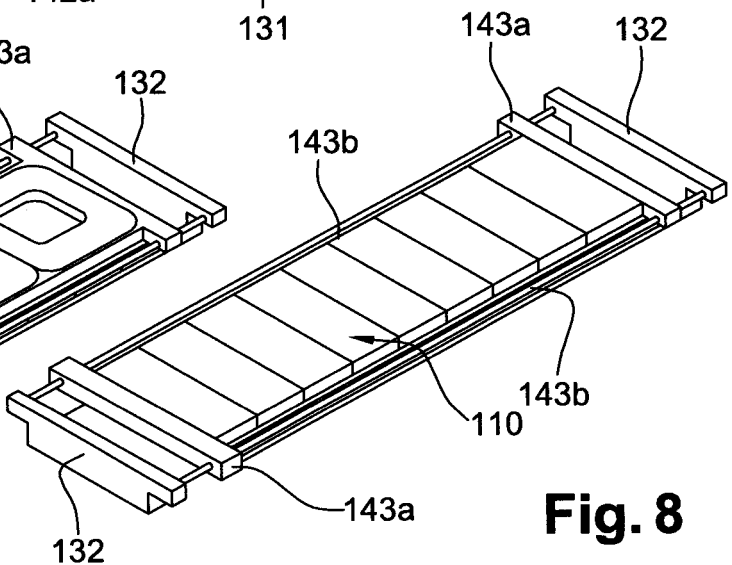


Fig. 6

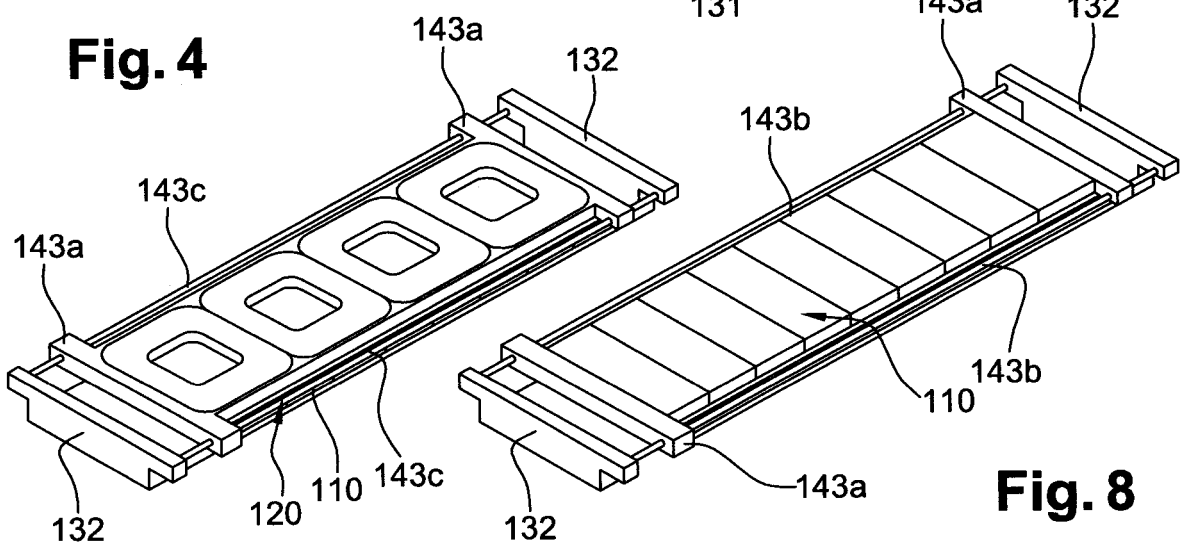


Fig. 7

Fig. 8

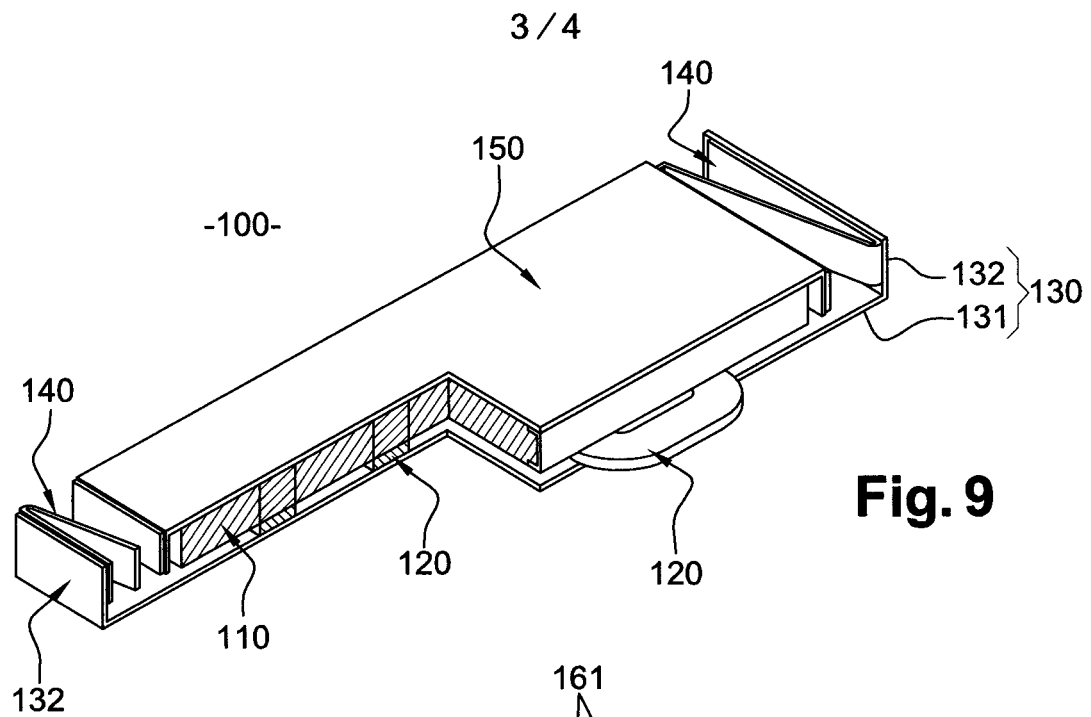


Fig. 9

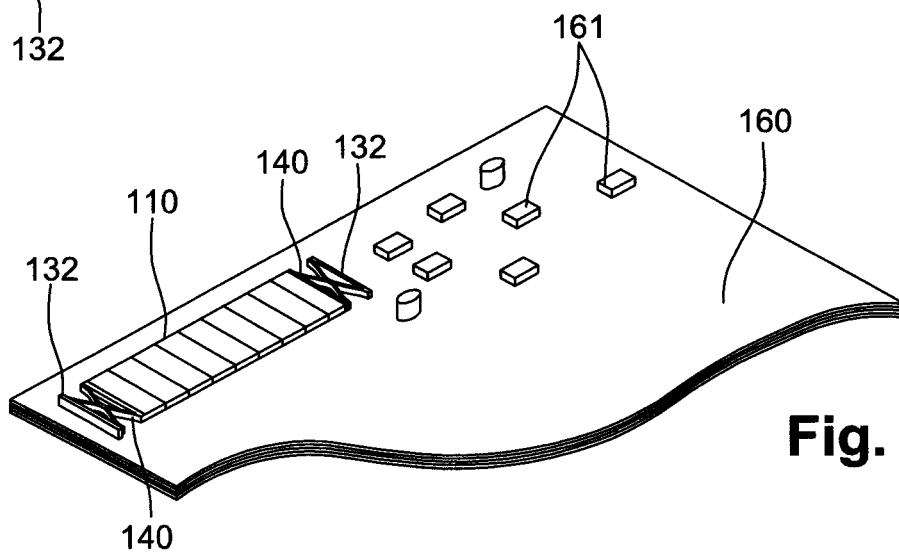


Fig. 10A

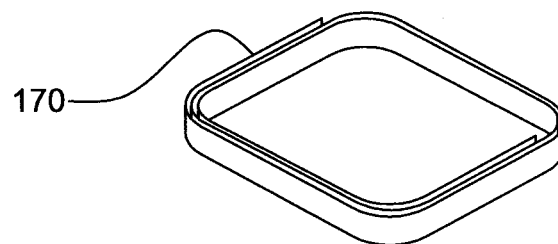


Fig. 10B

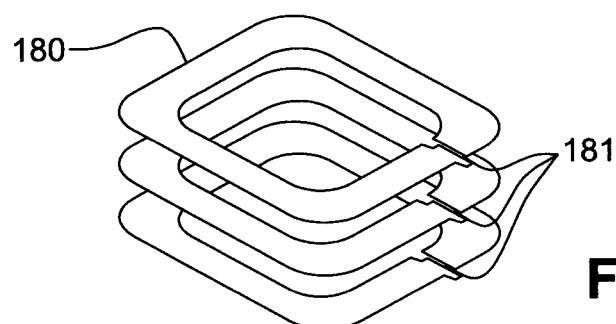


Fig. 10C

4 / 4

Fig. 11A

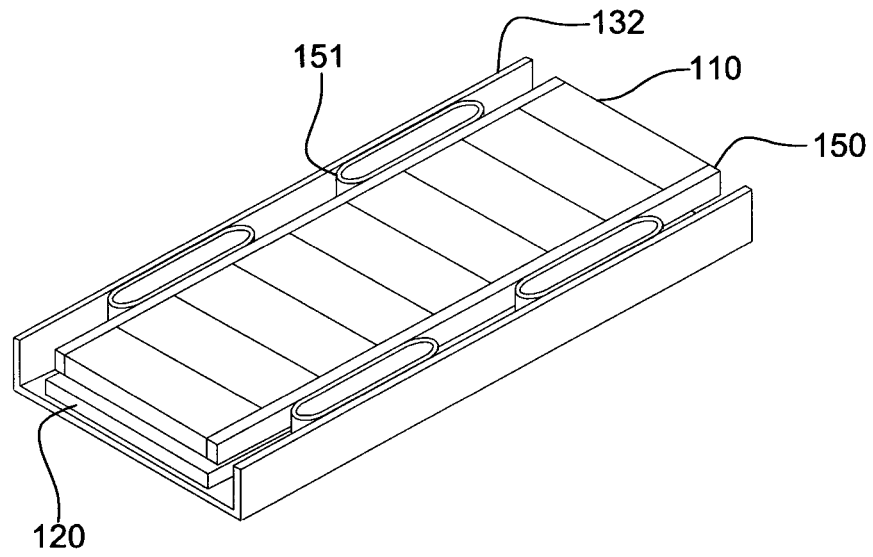


Fig. 11B

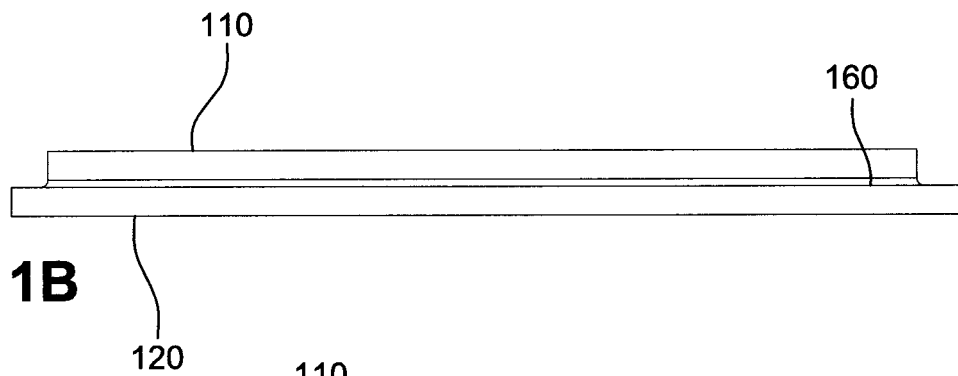


Fig. 11C

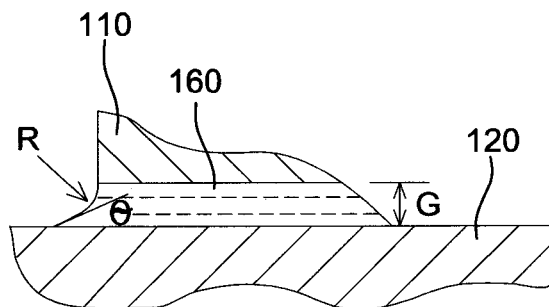
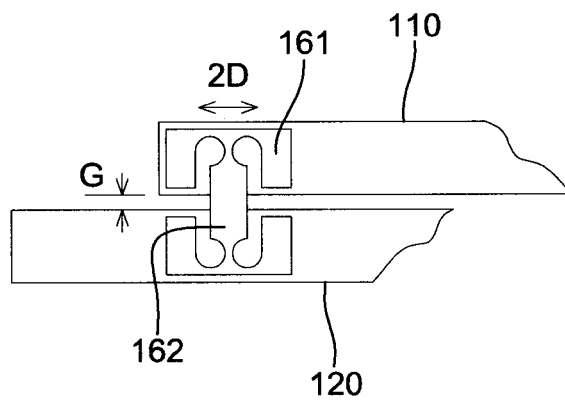


Fig. 11D



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

US 2012/104875 A1 (PARK YOUNGIL [KR]) 3 mai 2012 (2012-05-03)

US 2012/112565 A1 (LEE KAPJIN [KR]) 10 mai 2012 (2012-05-10)

US 2016/226359 A1 (GUO SHUN [CN] ET AL) 4 août 2016 (2016-08-04)

CN 105 680 663 A (JINLONG MACH & ELECTRONICS CO) 15 juin 2016 (2016-06-15)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT