(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
29 décembre 2010 (29.12.2010)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2010/149503 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H02K 35/02 (2006.01) *H01L 41/113* (2006.01)
H02N 1/08 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2010/058185

(22) Date de dépôt international :
10 juin 2010 (10.06.2010)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0903020 23 juin 2009 (23.06.2009) FR

(71) Déposant *(pour tous les États désignés sauf US)* : **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES** [FR/FR]; Bâtiment le Ponant D, 25 rue Leblanc, F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant *(pour US seulement)* : **DESPESSE, Ghislain** [FR/FR]; 6 place Saint Christophe, F-38120 Saint Egreve (FR).

(74) Mandataires : **GUERIN, Jean-Philippe** et al.; 324 rue Garibaldi, F-69007 Lyon (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

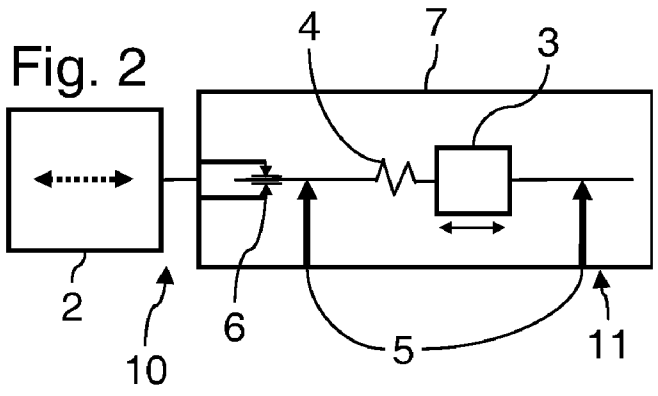
(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

(54) **Title** : MICROMECHANICAL DEVICE FOR AMPLIFYING A VIBRATING MOVEMENT

(54) **Titre** : DISPOSITIF MICROMECANIQUE D'AMPLIFICATION D'UN MOUVEMENT VIBRATOIRE



(57) **Abstract** : The invention relates to a micromechanical device (11) for amplifying a vibrating movement, including: an interface (7) for securing the device to a vibrating member; a body (3) mounted so as to move with at least one degree of freedom in relation to the interface; a spring (4) suitable for exerting a return biasing between the movable body and the interface; a member for detecting the direction of movement of the interface according to said degree of freedom; a member (6) for coupling the movable body to the interface, configured so as to couple the movable body (3) to the interface (7) when the direction of movement of the interface is opposite that of the movable body, and configured so as to uncouple the movable body from the interface prior to a change in direction of the interface and when the direction of movement of the interface is identical to that of the movable body.

(57) **Abrégé** :

[Suite sur la page suivante]

WO 2010/149503 A1

L'invention concerne un dispositif micromécanique (11) d'amplification d'un mouvement vibratoire, comprenant : -une interface de solidarisation (7) du dispositif à un organe vibrant; -une masse (3) montée mobile selon au moins un degré de liberté par rapport à l'interface; -un ressort (4) apte à exercer une sollicitation de rappel entre la masse mobile et l'interface; -un organe de détection de l'orientation de déplacement de l'interface selon ledit degré de liberté; -un organe (6) d'accouplement de la masse mobile à l'interface, configurée pour accoupler la masse mobile (3) à l'interface (7) lorsque l'orientation de déplacement de l'interface est opposée à celle de la masse mobile et configurée pour désaccoupler la masse mobile de l'interface avant un changement d'orientation de l'interface et lorsque l'orientation de déplacement de l'interface est identique à celle de la masse mobile.

DISPOSITIF MICROMECANIQUE D'AMPLIFICATION D'UN MOUVEMENT VIBRATOIRE

L'invention concerne l'amplification d'un mouvement vibratoire, en particulier en vue de convertir une énergie vibratoire en énergie électrique.

Dans certains environnements, il peut être délicat de connecter un circuit électrique à des câbles d'alimentation, par exemple dans des milieux hostiles ou sur des mécanismes en mouvement. Pour pallier à ce problème, des dispositifs micromécaniques de conversion d'énergie vibratoire en énergie électrique sont connus. Ces dispositifs forment des microsystèmes généralement accolés sur des supports vibrants, tels que des machines ou des véhicules. Selon une technique connue, on utilise un système résonant pour amplifier une vibration mécanique d'un support et convertir le mouvement amplifié en électricité.

Un système résonant est généralement constitué d'une masse mobile m rattachée à un support par un ressort de raideur k. Le système résonne alors à la fréquence de résonance f_r donnée par :

$$f_r = \sqrt{k/m}$$

Lorsque le support subit une vibration à cette fréquence, la masse mobile se met aussi à osciller à cette fréquence avec une amplitude qui croit jusqu'à ce que l'amortissement mécanique dissipe exactement l'équivalent de l'énergie mécanique apportée à chaque cycle : l'énergie dissipée croit en effet plus vite que l'énergie apportée lors de l'accroissement de l'amplitude, et finit par l'égaler. Si l'amortissement mécanique est relativement faible (facteur de qualité mécanique élevé), l'amplification mécanique peut être de plusieurs centaines (amplitude du déplacement de la partie mobile par rapport à l'amplitude du déplacement du support). Plus l'amplification mécanique est importante, plus l'énergie transmise par le support vibrant à la partie mobile est importante. En utilisant un amortissement électrique de façon prépondérante, une excitation de la masse à la fréquence de résonance permet de maximiser l'énergie électrique extraite par rapport à la vibration d'entrée.

Pour mieux identifier l'augmentation de l'énergie absorbée à chaque cycle au fur et à mesure des cycles, prenons le cas d'un système résonant 1 tel que présenté sur la Figure 1, en l'absence d'amortissement, et en supposant que le mouvement du support est quasiment insensible à la présence de la masse et du ressort, avec :

ΔV le gain en vitesse de la masse mobile 3, en valeur absolue, de la partie mobile à chaque demi-période ;

m la masse de la masse mobile 3 ;

f la fréquence de vibration imposé au support 2 ;

fr en Hz la fréquence de résonance de la structure masse 3 + ressort 4, égale à f ;

Vm_0 la vitesse initiale de la masse 3 ;

L'énergie cinétique de la masse est donc initialement de : $\frac{1}{2}mV_{m0}^2$

Après une demi-période, l'énergie cinétique de la masse est alors de :

$$\frac{1}{2}m(V_{m0}+\Delta V)^2$$

Après une période complète, l'énergie cinétique de la masse est de :

$$\frac{1}{2}m(V_{m0}+2\Delta V)^2$$

Le gain d'énergie cinétique de la masse est alors de :

$$\Delta E = \frac{1}{2}m(\Delta V^2 + 2V_{m0}\Delta V)$$

Cependant, dès que la fréquence de la vibration s'éloigne de la fréquence de résonance, les déplacements relatifs de la masse et du support sont la majeure partie du temps déphasés. Le facteur de qualité mécanique baisse, ce qui induit une baisse de la quantité d'énergie électrique qui peut être générée.

Pour pallier à ce problème, il est connu d'utiliser une série de systèmes résonants présentant des fréquences de résonance distinctes. On peut ainsi générer une quantité d'énergie électrique suffisante pour une plage de fréquence vibratoire fortement élargie. Cependant, seule une structure résonante peut être excitée en simultané, ce qui rend une telle structure relativement volumineuse pour la quantité d'énergie qu'elle permet de générer.

Il est également connu du document FR20055181 d'utiliser un système résonant muni d'un ressort dont le comportement est non linéaire. Le système présente une fréquence de résonance augmentant avec l'amplitude du déplacement entre la masse et le support. La fréquence de résonance du système se déplace cependant et est toujours décalée par rapport à la fréquence d'excitation de la vibration. Par conséquent, l'amplification liée à la résonance reste toujours relativement limitée.

L'invention vise à résoudre un ou plusieurs de ces inconvénients. L'invention porte ainsi sur un dispositif micromécanique d'amplification d'un mouvement vibratoire, comprenant :

-une interface de solidarisation du dispositif à un organe vibrant;

-une masse montée mobile selon au moins un degré de liberté par rapport à l'interface ;

-un ressort apte à exercer une sollicitation de rappel entre la masse mobile et l'interface;

-un organe de détection de l'orientation de déplacement de l'interface selon ledit degré de liberté ;

-un organe d'accouplement de la masse mobile à l'interface, configurée pour accoupler la masse mobile à l'interface lorsque l'orientation de déplacement de l'interface est opposée à celle de la masse mobile et configurée pour désaccoupler la masse mobile de l'interface avant un changement d'orientation de l'interface et lorsque l'orientation de déplacement de l'interface est identique à celle de la masse mobile.

Selon une variante, le dispositif comprend un organe de détection d'une vitesse maximale de l'interface, et l'organe d'accouplement est configuré pour accoupler la masse mobile à l'interface lorsque l'interface atteint sa vitesse maximale.

Selon encore une variante, l'organe de détection de l'orientation de déplacement et/ou l'organe de détection de la vitesse maximale comprennent un accéléromètre, l'organe d'accouplement comprend un actionneur à commande électrique, le dispositif comprenant en outre un dispositif de traitement commandant l'actionneur en fonction de mesures fournies par l'accéléromètre.

Selon une autre variante, la vitesse maximale est détectée en fonction de la croissance ou de la décroissance de l'accélération lors de son passage par une valeur nulle.

Selon encore une autre variante, la masse est mobile en translation par rapport à l'interface, l'organe d'accouplement comprend une masselotte montée pivotante par rapport à un axe perpendiculaire à l'axe de translation de la masse avec un balourd, la masselotte étant montée pivotante entre deux positions dans lesquelles la masse est accouplée à l'interface pour des orientations respectives du déplacement de la masse par rapport à l'interface.

Selon une variante, l'interface et la masse mobile présentent des surfaces conductrices rainurées en vis-à-vis pour former une capacité, le dispositif comprenant un circuit de commande appliquant sélectivement une tension entre les surfaces rainurées pour accoupler ou désaccoupler l'interface et la masse mobile.

Selon encore une variante, le circuit de commande est configuré pour décharger et stocker sélectivement la charge incluse dans la capacité formée.

Selon une autre variante, la masse est mobile en translation par rapport à l'interface, l'organe d'accouplement comprend un élément piézoélectrique commandé pour s'allonger selon une direction perpendiculaire à la direction de déplacement de la masse de façon à accoupler la masse à l'interface.

Selon encore une autre variante, l'élément piézoélectrique s'étend selon une direction perpendiculaire à la direction de déplacement de la masse et est flexible de façon à former ledit ressort durant l'accouplement.

Selon une variante, l'interface, la masse et le ressort comprennent un élément commun formé monobloc dans un substrat de silicium.

Selon encore une variante, la masse comprend un élément rapporté fixé sur l'élément monobloc.

Selon une autre variante, le ressort est formé par une poutre flexible ménagée dans l'élément monobloc.

Selon encore une autre variante, la masse présente une partie d'accouplement munie d'une alternance d'encoches et de renflements, l'organe d'accouplement comprend un actionneur s'insérant dans une encoche de la partie d'accouplement durant un accouplement.

Selon une variante, le dispositif comprend un organe de conversion de l'énergie mécanique de la masse mobile en énergie électrique.

L'invention porte également sur un système comprenant un dispositif micromécanique d'amplification tel que décrit ci-dessus et un support vibrant solidaire de l'interface du dispositif micromécanique, l'organe vibrant présentant une masse au moins 50 fois supérieure à celle du dispositif micromécanique.

L'invention porte en outre sur un procédé d'amplification du mouvement d'un organe vibrant par un dispositif micromécanique, comprenant les étapes consistant à :

-fournir un dispositif micromécanique muni d'une masse mobile selon au moins un degré de liberté par rapport à l'organe vibrant et muni d'un ressort apte à exercer une sollicitation de rappel entre la masse mobile et l'organe vibrant ;

-détecter l'orientation de déplacement de l'organe vibrant selon ledit degré de liberté ;

-accoupler la masse mobile à l'organe vibrant lorsque l'orientation de déplacement de l'organe vibrant est opposée à celle de la masse mobile et désaccoupler la masse mobile de l'organe vibrant avant un changement d'orientation de l'organe vibrant et lorsque l'orientation de déplacement de l'organe vibrant est identique à celle de la masse mobile.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront clairement de la description qui en est faite ci-après, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

-la figure 1 est une représentation schématique d'un système résonant ;

-la figure 2 est une représentation schématique d'un dispositif d'amplification de vibration selon un exemple de mise en œuvre de l'invention ;

-la figure 3 est une représentation schématique d'un dispositif d'amplification de vibration selon une première variante ;

-la figure 4 est une représentation schématique d'un dispositif d'amplification selon une deuxième variante ;

-les figures 5a à 5d représentent différentes positions d'un dispositif d'accouplement inertiel durant son fonctionnement ;

-la figure 6 est une représentation schématique d'une variante de dispositif d'accouplement inertiel ;

-la figure 7 représente différentes positions d'une languette du mécanisme de la figure 6 ;

-la figure 8 est une vue de côté d'un dispositif d'amplification de vibration selon une troisième variante ;

-les figures 9a à 9e représentent schématiquement un dispositif d'amplification de vibration selon une quatrième variante à différentes étapes de son fonctionnement ;

-les figures 10 et 11 représentent des alternatives de circuits de commande de bilames piézoélectriques ;

-les figures 12a à 12e représentent schématiquement un dispositif d'amplification de vibration selon une cinquième variante à différentes étapes de son fonctionnement ;

-la figure 13 est une vue en coupe d'un dispositif d'amplification de vibration selon une sixième variante ;

-la figure 14 est une vue de dessus d'un dispositif d'amplification de vibration selon une septième variante ;

-la figure 15 est une vue de dessus d'un dispositif d'amplification de vibration selon une huitième variante ;

-les figures 16 à 20 représentent schématiquement différents mécanismes d'accouplement.

L'invention propose de réaliser un dispositif micromécanique pseudo-résonant d'amplification d'un mouvement vibratoire. Le dispositif comprend une masse mobile par rapport à un organe vibrant. Un ressort exerce une sollicitation de rappel entre la masse mobile et l'organe vibrant. On détermine l'orientation de déplacement de l'organe vibrant. On accouple l'organe vibrant et la masse mobile lorsque l'organe vibrant se déplace selon une orientation inverse de celle de la masse mobile. On désaccouple l'organe vibrant et la masse mobile avant un changement d'orientation de l'organe vibrant lorsque cet organe vibrant se déplace dans la même direction que la masse mobile.

Ainsi, l'organe vibrant pourra accroître l'énergie cinétique de la masse mobile même lorsque la fréquence vibratoire est éloignée de la fréquence de résonance de la masse et du ressort. Le dispositif permet ainsi d'apporter une plus grande énergie cinétique à la masse mobile sur une plage de fréquence de vibration très importante, tout en conservant la compacité d'un dispositif micromécanique. L'invention s'avère particulièrement avantageuse lorsque l'organe vibrant présente une fréquence vibratoire fortement variable.

La figure 2 représente schématiquement un système résonant 10 destiné à mettre en oeuvre l'invention. Le système résonant 10 comprend un support vibrant 2 et un dispositif micromécanique d'amplification de mouvement vibratoire 11. Le support vibrant 2 présente soit une masse très supérieure à celle du dispositif d'amplification 11, soit est solidaire d'une source de vibrations sur lesquelles l'absorption d'énergie par le dispositif d'amplification 11 est négligeable. Le support 2 comprend au moins une composante vibratoire selon la direction indiquée par la flèche en pointillés. Un accéléromètre non représenté mesure l'accélération du support 2. À partir des mesures de l'accéléromètre, on détermine l'orientation du déplacement instantané du support 2 selon sa direction de vibration. Le signe de la dérivée de l'accélération permet notamment de déterminer l'orientation du déplacement du support 2. Le changement de signe de l'accélération permet quand à lui de déterminer l'instant du passage par une vitesse maximale ou minimale. Après un changement de signe, le nouveau signe de l'accélération permet de déterminer s'il s'agit d'un minimum ou d'un maximum de vitesse (avec z désignant la position du support 2, z''=0 =>extrema de z', z'' passe de 0^- à 0^+ => minima de z', z'' passe de 0^+ à 0^- => maxima de z').

Le dispositif d'amplification 11 comprend un boîtier 7 formant une interface de solidarisation avec le support vibrant 2. Le boîtier 7 est fixé par tous moyens appropriés au support 2. Le boîtier 7 inclut une masse mobile 3 solidaire d'une première extrémité d'un ressort de rappel 4. Des tiges non référencées sont solidarisées respectivement à la deuxième extrémité du ressort de rappel 4 et à la masse mobile 3. Ces tiges sont guidées en translation par des portées 5 selon une direction illustrée par la flèche en traits pleins, colinéaire à la direction de vibration du support 2. Un organe d'accouplement 6 permet d'accoupler sélectivement l'ensemble formé de la masse 3 et du ressort 4 au boîtier 7.

Par principe, l'organe d'accouplement 6 est commandé pour accoupler l'ensemble masse 3 ressort 4 au boîtier 7 lorsque l'orientation de la vitesse du support 2 est opposée à l'orientation de la vitesse de la masse 3. On force ainsi la masse 3 à changer d'orientation. L'énergie cinétique de la masse 3 est ainsi accrue lors de l'accouplement. Lorsque la masse 3 et le support 2 se déplacent ensuite selon la même orientation, l'organe d'accouplement 6 est commandé pour désaccoupler l'ensemble masse 3 ressort 4 du boîtier 7. Le désaccouplement doit notamment intervenir avant un changement d'orientation du déplacement du support 2 ou de la masse 3. On évite ainsi que le support 2 ne freine le mouvement de la masse 3 en absorbant son énergie cinétique. La durée d'accouplement est donc inférieure à une demie période de vibration du support 2 et très avantageusement égale à une demie période de résonance de

l'ensemble masse 3 ressort 4. En pratique on choisit une fréquence de résonance telle que la demi-période de résonance soit plus petite que la plus grande demi-période de vibration du support 2, ce qui revient à choisir une fréquence de résonance de l'ensemble masse 3 ressort 4 supérieure à la fréquence maximale du support 2. Avantageusement, l'accouplement aura lieu lorsque le support 2 atteint sa vitesse maximale (en valeur absolue) afin de transférer un maximum d'énergie cinétique à la masse mobile 3. Le désaccouplement se faisant une demi-période de résonance de l'ensemble masse 3 ressort 4 plus tard, demi-période avantageusement courte par rapport à la demi-période de vibration du support 2. La vitesse atteint un extremum (vitesse maximale ou minimale) lorsqu'on détectera une accélération nulle du support 2.

On peut déduire l'orientation du déplacement de la masse 3 pour l'accouplement de la façon suivante : la fréquence de résonance étant déterminable à partir de la masse mobile 3 et de la raideur du ressort 4, on peut aisément déterminer à quel instant l'orientation du déplacement de la masse 3 changera. En fait, le sens de déplacement de la masse 3, change après chaque accouplement. Si on connait le sens initial et que l'on compte le nombre d'accouplements (en changeant par exemple l'état d'un registre pair/impair à chaque accouplement), on peut en déduire le sens de déplacement en cours. On peut également munir la masse 3 d'un accéléromètre (non illustré) pour déterminer l'orientation de son déplacement.

L'organe d'accouplement 6 peut procéder à cet accouplement par serrage de la tige solidaire du ressort 4. L'accouplement peut également être réalisé par tout moyen approprié, par l'intermédiaire d'un actionneur électromagnétique, d'un actionneur électrostatique, d'un actionneur thermique ou d'un actionneur piézoélectrique. L'organe d'accouplement 6 peut être commandé par un dispositif de commande électronique non représenté connecté à l'accéléromètre du boîtier 7.

La figure 3 représente schématiquement une variante de système pseudo résonant 10 selon invention. Dans cet exemple, l'ensemble masse 3 ressort 4 est guidé en translation par rapport au support 2 par l'intermédiaire d'un ressort secondaire 8. Une tige raccorde le ressort 4 à une extrémité du ressort secondaire 8. L'autre extrémité du ressort secondaire 8 est fixée sur le support 2. Le ressort 8 assure un guidage en translation de la masse 3 lorsque son axe est vertical. Une autre fonction du ressort secondaire 8 est de replacer en moyenne la masse 3 au milieu de sa course de déplacement et de limiter l'amplitude de cette course. L'organe d'accouplement 6 accouple ou désaccouple sélectivement le support 2 à la tige joignant les ressorts 4 et 8.

Le ressort secondaire 8 présente une raideur k2 très inférieure à la raideur k1 du ressort 4. Le système incluant la masse 3 et le ressort 4 présente

alors une première fréquence de résonance fr1 durant l'accouplement et une deuxième fréquence de résonance fr2 durant le désaccouplement. Les première et deuxième fréquences de résonance satisfont aux relations suivantes :

$$f_r = f_{r1} = \sqrt{k_1/m}$$

$$f_r = f_{r2} = \sqrt{\frac{k1k2}{k1+k2}/m} \cong \sqrt{k_2/m}$$

Par conséquent, la masse 3 ne changera pas d'orientation durant le désaccouplement si la fréquence de vibration du support 2 est supérieure à la fréquence de résonance fr2. De plus, la présence du ressort secondaire 8 ne modifie quasiment pas la première fréquence de résonance et la durée pendant laquelle la masse 3 peut être accouplée au support 2.

La figure 4 représente en vue de dessus une autre variante de système résonant 10, particulièrement adaptée pour être réalisée dans une structure en silicium. Le dispositif d'amplification des mouvements vibratoires 11 comprend un cadre 7 solidaire du support 2. Une masse 3 est montée mobile dans le cadre 7, selon une direction correspondant à une composante des vibrations du support 2. Des ressorts de rappel 4a et 4b sont ménagés sous forme de poutres au niveau d'extrémités opposées de la masse 3. Les ressorts 4a et 4b sont fixés de façon encastrée dans la masse 3 à leurs extrémités. Des tiges 9a et 9b sont solidaires par une extrémité respectivement des ressorts 4a et 4b. Les tiges 9a et 9b sont fixées de façon encastrée dans la partie médiane des ressorts 4a et 4b. Un mouvement relatif entre la masse 3 et une tige 9a ou 9b induit une flexion des poutres formant les ressorts 4a et 4b. Le dispositif d'amplification comprend également des ressorts secondaires 8a et 8b encastrés dans leur partie médiane avec une autre extrémité respectivement des tiges 9a et 9b. Les ressorts secondaires 8a et 8b sont encastrés par leurs extrémités dans le cadre 7. Les ressorts secondaires 8a et 8b présentent une raideur très inférieure à celle des ressorts de rappel 4a et 4b. Les ressorts secondaires 8a et 8b sont dédoublés et disposés de part et d'autre de la masse 3 afin d'assurer son guidage en translation par rapport au cadre 7.

Deux organes d'accouplement 6a et 6b sont disposés de part et d'autre de la masse 3. Les organes d'accouplement 6a et 6b présentent des languettes actionnées pour s'insérer dans des encoches ménagées dans les tiges 9a et 9b. Lorsque les languettes s'insèrent dans les encoches, les tiges 9a et 9b sont immobilisées par rapport au cadre 7. Les languettes sont solidaires du support encastré dans le cadre 7. Le déplacement des languettes est avantageusement réalisé par l'intermédiaire d'actionneurs commandés électriquement.

Selon une variante, les ressorts sous forme de poutres 4a et 4b peuvent être supprimés et les tiges 9a et 9b sont alors encastrées directement dans la

masse 3. Des poutres supportant les languettes des organes d'accouplement 6a et 6b peuvent être amincies afin d'être déformables et de former des ressorts de rappel lorsque les languettes s'accouplent avec les tiges 9a et 9b.

La structure du dispositif d'amplification 11 de la figure 4 peut être réalisée par gravure d'une plaque de silicium. En effet, les différents éléments mécaniques du dispositif 11 peuvent être réalisés monobloc par gravure dans l'épaisseur d'une plaque de silicium. La raideur de chacun des ressorts pourra notamment être définie en réalisant des poutres plus ou moins larges.

Le dispositif d'amplification pourra être réalisé par gravure d'un substrat de silicium dans lequel l'accéléromètre est réalisé. On pourra ainsi réduire l'encombrement du dispositif et améliorer son facteur de qualité. Plus ce facteur de qualité sera élevé, plus la masse mobile nécessaire pour générer une quantité d'énergie donnée sera réduite.

L'organe d'accouplement 6 peut également fonctionner de façon inertielle, sans faire appel à un circuit électronique de commande. Les figures 5a à 5d illustrent un organe d'accouplement 6 dans différentes positions par rapport à une tige 9 solidaire de la masse. L'organe d'accouplement 6 comprend une masselotte 61, une tige de guidage en rotation 62 et une languette de blocage 63. La languette 63 est fixée à la masselotte 61. La tige 62 guide l'organe d'accouplement 6 en rotation autour d'un axe perpendiculaire à la direction de déplacement de la masse 3. La tige 62 est disposée à proximité de la jonction entre la masselotte 61 et la languette 63, de sorte qu'un balourd important est généré autour de l'axe 62.

Le cadre 7 comprend un logement 71 dans lequel l'extrémité distale de la masselotte 61 est disposée avec un certain jeu. Par ailleurs, la tige 9 présente une série d'encoches 91 permettant l'accouplement entre la tige 9 et l'organe d'accouplement 6 lorsqu'une languette 63 s'insère dans une encoche 91, et la libération de la languette 63 par certains mouvements de la tige 9.

À la figure 5a, on suppose que le support et le cadre 7 se déplacent vers le haut, alors que la tige 9 et la masse se déplacent vers le bas. Après que la vitesse de déplacement du cadre 7 ait atteint un maximum, le cadre 7 commence sa décélération. Du fait de son énergie cinétique, l'organe d'accouplement 6 a tendance à conserver une vitesse supérieure à celle du cadre 7 durant la décélération. Du fait du balourd, la masselotte 61 bascule autour de l'axe 62 comme illustré par la flèche. Lors de ce basculement, une extrémité de la languette 63 s'insère dans une encoche 91. L'orientation opposée des mouvements tend à enfoncer la languette 63 dans l'encoche 91. Dès lors, la tige 9 est accouplée au cadre 7 et se déplace selon la même orientation que le cadre, c'est-à-dire vers le haut. Les parois latérales du logement 71 limitent la course en rotation de la masselotte 61.

À la figure 5b, la tige 9 poursuit sa course vers le haut. Le cadre 7 atteint une vitesse nulle puis change d'orientation de déplacement et initie une course vers le bas. Les renflements 92 délimitant les encoches 91 appuient sur la languette 63 durant le déplacement vers le haut de la tige 9. Ainsi, la languette 63 sort de son encoche 91 ce qui désaccouple la tige 9 du cadre 7.

À la figure 5c, le cadre 7 se déplace initialement vers le bas tandis que la tige 9 se déplace initialement vers le haut. La vitesse de déplacement du cadre 7 atteint un maximum et le cadre 7 commence sa décélération. Du fait de son énergie cinétique, l'organe d'accouplement 6 a tendance à conserver une vitesse supérieure à celle du cadre 7 durant la décélération. Du fait du balourd, la masselotte 61 bascule autour de l'axe 62 comme illustré par la flèche. Lors de ce basculement, une extrémité de la languette 63 s'insère dans une encoche 91. Dès lors, la tige 9 est accouplée au cadre 7 et se déplace selon la même orientation que le cadre, c'est-à-dire vers le bas.

À la figure 5d, la tige 9 poursuit sa course vers le bas. Le cadre 7 atteint une vitesse nulle puis change d'orientation de déplacement et initie une course vers le haut. Les renflements 92 délimitant les encoches 91 appuient sur la languette 63 durant le déplacement vers le bas de la tige 9. Ainsi, la languette 63 sort de son encoche 91 ce qui désaccouple la tige 9 du cadre 7.

Ce mécanisme permet avantageusement d'accoupler la tige 9 au cadre 7 lorsque sa vitesse est maximale. De plus, ce mécanisme permet de désaccoupler la tige 9 du cadre 7 lors d'une inversion de sens. Par ailleurs, ce mécanisme permet d'éliminer la complexité d'une commande électronique de l'accouplement.

Pour optimiser le fonctionnement de ce mécanisme d'accouplement 6, il est souhaitable que le pas entre les encoches 91 soit très faible par rapport à l'amplitude moyenne de la vibration du support (par exemple inférieur à 10 % de cette amplitude). De plus, la course en rotation de la masselotte 61 est avantageusement très faible par rapport à l'amplitude de la vibration du support, de façon à ce qu'elle serve essentiellement à détecter l'orientation du déplacement du support et sa décélération. La languette 63 est avantageusement réalisée pour limiter l'amortissement mécanique lors de l'accouplement. De plus, la languette 63 est avantageusement réalisée de façon à limiter le frottement sur la tige 9 afin d'améliorer le facteur de qualité du dispositif d'amplification 11.

La figure 6 illustre une variante du dispositif d'accouplement inertiel. Dans cette variante, le cadre 7 présente des saillies 72 disposées au niveau des extrémités d'une languette flexible 63. Ces saillies 72 sont destinées à interférer avec la languette 63 lors des mouvements en rotation de la masselotte 61. La figure 7 illustre différentes positions de la languette 63 par rapport à une saillie 72 durant une rotation de la masselotte 61. Dans la position illustrée par a, la

masselotte 61 initie une rotation qui rapproche l'extrémité de la languette 63 de la saillie 72. Dans la position illustrée par b, la masselotte 61 amène la languette 63 en contact avec la saillie 72. Alors que la masselotte 61 poursuit son mouvement en rotation, la languette 63 est retenue par la saillie 72 et fléchit en stockant une énergie élastique. Dans la position illustrée par c, lorsque la masselotte 61 a suffisamment tourné, la languette 63 franchit l'obstacle formé par la saillie 72. Le mouvement de la languette 63 en direction d'une tige munie d'encoches est fortement accéléré du fait de l'énergie élastique préalablement stockée. Ainsi, une pénétration rapide de l'extrémité de la languette 63 dans une encoche 91 est garantie. Par ailleurs, les saillies 72 permettent de maintenir la languette 63 écartée des renflements en position de désaccouplement, afin d'éviter des frottements. La position c de blocage n'est atteinte que grâce à l'énergie élastique de flexion préalablement stockée dans la languette 63 avant le franchissement de la saillie 72. Lorsque la tige 9 finit par repartir dans le sens du boitier 7, la languette 63 ressort de l'encoche 91 avec une énergie cinétique/potentielle amoindrie la ramenant dans une position d'équilibre d éloignée de la tige, limitant tous risques de frottement.

Bien que non illustré dans les figures 2 à 7, les dispositifs d'amplification des vibrations peuvent également présenter un organe de conversion de l'énergie mécanique de la masse mobile en énergie électrique. On peut pour cela utiliser une conversion électrostatique, électromagnétiques ou piézo-électriques en exploitant le mouvement relatif entre la masse mobile et le support (comme détaillé dans la demande de brevet FR2896635 A1). Des exemples de convertisseurs seront détaillés par la suite.

La figure 8 illustre un autre mode de réalisation d'un dispositif d'amplification 11. Le support 2 présente une composante de vibration selon une direction horizontale. Des plots 74 sont fixés sur le support 2 de part et d'autre d'une masse mobile 3. La masse mobile 3 est mobile en translation par rapport au support 2. La masse mobile 3 est raccordée aux plots 74 respectivement par l'intermédiaire des ressorts 4. Le support 2, les ressorts 4 et la masse mobile 3 sont conducteurs ou présentent des connexions pour former un circuit électrique. Le circuit électrique formé comprend en série un ressort 4, la partie conductrice de la masse mobile 3, un autre ressort 4 et la partie conductrice du support 2. Un circuit de commande 51 est connecté aux bornes de ce circuit électrique. Le circuit de commande 51, comprend des interrupteurs 52 et 53, un transformateur 54 et une batterie 55.

La masse mobile 3 et le support 2 présentent des surfaces conductrices rainurées disposées en vis-à-vis. Ces surfaces présentent une alternance d'encoches et de renflements selon la direction de déplacement de la masse mobile 3. Ces surfaces rainurées ont un même pas. Un condensateur est formé

entre la masse mobile 3 et le support 2, sa capacité étant variable en fonction de la position relative entre la masse et le support.

Lorsque l'on souhaite accoupler la masse mobile 3 au support 2, on charge les surfaces rainurées avec une charge électrique fournie par la batterie 55 en fermant transitoirement et successivement les interrupteurs 53 puis 52. On réalise la fermeture des interrupteurs 52 et 53 lorsque l'on détecte une vitesse maximale du support 2 et lorsque les encoches des surfaces rainurées sont en vis-à-vis. Les interrupteurs 52 et 53 sont à nouveau transitoirement fermés, mais dans un ordre inverse (52 puis 53) lorsque la tension aux bornes du condensateur formé atteint un minimum ou repasse en dessous d'une première limite ou encore passe au-delà d'une seconde limite, afin de retirer la charge électrique du condensateur. Dans le cas d'une décharge à tension minimum Vmin, la capacité à l'instant de cette décharge a une valeur maximale Cmax. Ce cas correspond à un accouplement effectif, la masse mobile 3 effectivement est repartie dans l'autre sens en repassant par le maximum de capacité (la force électrostatique induite par l'introduction de la charge électrique dans le condensateur a été suffisante pour bloquer et faire changer de sens la masse mobile 3). Il est possible aussi de faire un accouplement incomplet en retirant la charge électrique légèrement avant que la capacité électrique repasse par sa valeur maximale, c'est-à-dire en déclenchant le retrait de la charge dès que la tension repasse en dessous d'un seuil au lieu d'attendre qu'elle passe par un minimum. Ce fonctionnement permet d'extraire une petite quantité d'énergie électrique à chaque accouplement (retrait de la charge électrique à une valeur de capacité inférieure à celle de l'injection or l'énergie $E=\frac{1}{2}Q^2/C$ associée à cette charge augmente avec la décroissance de la capacité).

Avant d'obtenir un accouplement entre la masse mobile 3 et le support 2, la masse mobile 3 poursuit sa course avec une orientation inverse de celle du support 2 sous l'effet de son énergie cinétique. Lorsqu'une encoche de la masse mobile 3 parcourt la moitié d'un pas des surfaces rainurées, cela signifie que la charge stockée dans le condensateur est insuffisante pour réaliser l'accouplement. Dans cette position intermédiaire, la capacité a une valeur minimale Cmin alors que la tension aux bornes du circuit électrique a une valeur maximale Vmax. On ferme alors transitoirement l'interrupteur 52 pour décharger l'énergie stockée dans le condensateur vers le circuit magnétique du transformateur 54 via un bobinage primaire. L'interrupteur 53 est alors transitoirement fermé afin de transférer l'énergie stockée dans le circuit magnétique vers la batterie par l'intermédiaire d'un bobinage secondaire du transformateur 54. Comme l'introduction de la charge électrique dans le condensateur s'est fait à capacité maximale, c'est-à-dire avec une énergie égale à $\frac{1}{2}Q^2/Cmax$ et comme le retrait de cette charge s'est fait à capacité minimale,

c'est à dire restituant une énergie égale à ½Q²/Cmin, un excédant d'énergie de ½Q²(1/Cmin-1/Cmax) a été produit.

La masse mobile 3 perd alors un peu de son énergie cinétique. Par conséquent, lorsque les encoches des surfaces rainurées sont à nouveau en vis-à-vis, on referme transitoirement les interrupteurs 53 puis 52 afin de réaliser l'accouplement de la masse 3 et du support 2.

Lorsque la masse mobile 3 et le support 2 sont accouplés et se déplacent donc selon la même orientation, l'interrupteur 52 est à nouveau transitoirement fermé pour vider la charge contenue dans la capacité, puis l'interrupteur 52 est maintenu ouvert afin de maintenir la masse mobile 3 désaccouplée du support 2. L'interrupteur 53 est ensuite transitoirement fermé pour transférer la charge provenant de la capacité, qui a transitoirement été stockée dans le circuit magnétique du transformateur 54 lors de la fermeture de 52, dans la batterie 55.

Le circuit de commande 51 permet ainsi à la fois de réaliser l'accouplement/désaccouplement et la récupération d'énergie générée par le mouvement de la masse mobile 3.

En utilisant des surfaces rainurées dont le pas est suffisamment réduit, on peut réaliser l'accouplement entre la masse mobile 3 et le support 2 sur l'ensemble de la course de la masse mobile 3.

La figure 9a représente schématiquement un autre mode de réalisation d'un dispositif d'amplification 11. Une masse mobile 3 est montée coulissante par rapport à un cadre 7 selon une direction de déplacement. Des bilames piézo-électriques 75 disposés en vis-à-vis sont encastrés par une extrémité dans le cadre 7 et s'étendent sensiblement selon une direction perpendiculaire au déplacement de la masse 3. Les bilames 75 sont commandés de sorte qu'en leur appliquant une tension électrique appropriée, ils s'allongent en direction de la masse 3 jusqu'à l'enserrer par leur extrémité libre et garantir l'accouplement entre le cadre 7 et la masse 3. Du fait de leur configuration allongée et de leur disposition perpendiculaire au mouvement de la masse 3, les bilames 75 subissent une flexion lors d'un accouplement si un mouvement relatif existe entre le cadre 7 et la masse mobile 3.

Les figures 9b à 9e illustrent le fonctionnement du dispositif 11 durant différentes phases. Sur la figure 9b, la masse mobile se déplace vers le bas alors que le cadre 7 se déplace vers le haut. Durant ces déplacements opposés, un allongement des bilames 75 est commandé. Les bilames 75 viennent alors réaliser l'accouplement entre le cadre 7 et la masse mobile 3. Le mouvement de la masse 3 vers le bas se poursuit transitoirement en induisant un fléchissement des bilames 75. La masse 3 finit par avoir une vitesse relative nulle par rapport au cadre 7 lorsque la flexion des bilames 75 est maximale (figure 9c). Sur la figure 9d, la masse 3 se déplace selon la même orientation que le cadre 7, sous

l'effet de l'entraînement par le cadre 7 et du rappel par l'effet ressort des bilames 75. Sur la figure 9e, les bilames 75 sont commandés pour désaccoupler la masse 3.

L'utilisation de bilames piézo-électriques 75 s'avère avantageuse puisqu'elle permet d'exercer d'importants efforts d'accouplement sur la masse 3. Par ailleurs, les bilames piézo-électriques permettent avec un dimensionnement approprié de former un ressort fournissant un facteur de qualité élevé du fait du faible amortissement structurel des matériaux piézoélectriques. De plus, en utilisant un système de commande approprié, l'énergie stockée dans les bilames 75 par accroissement de leur tension différentielle durant leur flexion (conversion de la déformation mécanique en tension électrique dans le matériau piézoélectrique) peut être récupérée, afin de convertir l'énergie cinétique de la masse 3 en énergie électrique. Les matériaux piézo-électriques étant aptes à générer des charges électriques suite à leur traction ou compression. Leur rendement de conversion mécanique/électrique est d'autant plus élevé que la déformation qui leur est appliquée est rapide.

La figure 10 représente schématiquement un bilame piézoélectrique et un premier mode de réalisation d'un circuit destiné à le commander. Le circuit 77 comprend une source de tension E, des interrupteurs Kc et Kd et des bornes d'application des potentiels V1 et V2 sur les lames 751 et 752 respectivement. L'allongement du bilame 75 est obtenu en fermant l'interrupteur Kc et en ouvrant l'interrupteur Kd. La rétractation du bilame est obtenue en ouvrant l'interrupteur Kc et en fermant l'interrupteur Kd.

La figure 11 représente schématiquement un bilame piézoélectrique 75 selon un deuxième mode de réalisation d'un circuit destiné à le commander. Le circuit 78 permet en outre de transférer de l'énergie électrique stockée dans le bilame 75 vers une source de tension E.

Les fermetures transitoires de Kp, puis de K1 et K2 permettent de transférer une énergie de la source E vers les lames 751 et 752. Les fermetures transitoires de K1 et K2, puis de Kp permettent de transférer une énergie des lames vers la source E.

Pour assurer l'accouplement, une énergie est transférée de la source E vers les lames. La flexion du bilame 75 illustrée à la figure 9c, qui fait suite à l'accouplement, engendre un allongement de la lame 751 et une contraction de la seconde lame 752, ce qui a tendance à faire augmenter le potentiel V1 et diminuer le potentiel V2. Lorsque la flexion est maximale, une partie de la charge électrique stockée dans la lame piézoélectrique 751 (dont la tension a augmenté lors de son allongement) est transférée vers la source E par les fermetures transitoires de K1 puis Kp. Dans le même temps une charge électrique est transférée de la source E vers la deuxième lame 752 dont la tension à chuté lors de sa contraction. Comme la charge électrique collectée sur

la lame 751 est à un potentiel supérieur à la charge électrique transférée à la lame 752, si les charges collectées et transférées sont les mêmes, alors la source E collecte plus d'énergie qu'elle n'en fournit et donc voit son énergie augmentée (Gain=½QΔV). En fait, du fait des déformations opposée des deux lames 751 et 752, on a création d'une tension différentielle entre ces lames et en ramenant cette différence de potentielle à zéro, on récupère ce l'on appellera l'énergie de tension différentielle.

Enfin, quant le bilame 75 revient en position non fléchie (figure 9d à 9e), l'énergie présente sur chacune des deux lames 751 et 752 est transférée vers la source E, via les fermetures transitoires de K1 puis Kp et de K2 puis Kp. On restitue alors à la source E l'énergie initialement consommée pour produire l'allongement du bilame 75, complétée de l'énergie différentielle à nouveau crée lors du retour du bilame 75 en position non fléchie. A noter que les temps de transferts d'énergie à partir ou vers le circuit magnétique et donc les temps de fermeture des interrupteurs K1, K2 et Kp sont très courts (quelques µs) au regard des mouvements mécaniques (quelques ms) ou des durées d'accouplement (quelques centaines de µs).

La figure 12a représente schématiquement un autre mode de réalisation d'un dispositif d'amplification 11. Des lames piézo-électriques 76 disposées en vis-à-vis sont encastrées par une extrémité dans le cadre 7 et s'étendent selon une direction légèrement inclinée par rapport à la perpendiculaire au déplacement de la masse 3. Les lames 76 sont commandées de sorte qu'en leur appliquant une tension électrique appropriée, elles s'allongent en direction de la masse 3 jusqu'à l'enserrer par leur extrémité libre et garantir l'accouplement entre le cadre 7 et la masse 3.

Ces lames 76 sont destinées à réaliser l'accouplement de la masse 3 au moment où celle-ci descend. D'autres lames non illustrées présentent une orientation opposée afin de réaliser l'accouplement de la masse 3 lorsque celle-ci remonte.

Les figures 12b à 12e illustrent le fonctionnement du dispositif 11 durant différentes phases. Sur la figure 12b, la masse mobile 3 se déplace vers le bas alors que le cadre 7 se déplace vers le haut. Durant ces déplacements opposés, un allongement des lames 76 est commandé. Les lames 76 viennent alors réaliser l'accouplement entre le cadre 7 et la masse mobile 3. Sur la figure 12c, le mouvement de la masse 3 vers le bas se poursuit transitoirement en induisant une compression des lames 76 du fait de leur légère inclinaison par rapport à la direction de déplacement de la masse 3. La masse 3 finit par avoir une vitesse nulle par rapport au cadre 7. Du fait de la compression, les lames 76 génèrent un effet ressort de rappel. Sur la figure 12d, la masse 3 se déplace selon la même orientation que le cadre 7, sous l'effet de l'entraînement par le cadre 7 et du rappel par l'effet ressort des lames 76. Sur la figure 12e, les lames 76 sont

commandées pour désaccoupler la masse 3 avant que l'orientation de déplacement du support 7 ne change.

En utilisant une commande appropriée des lames 76, on peut récupérer de l'énergie électrique stockée lors de la compression de celles-ci durant l'accouplement

La figure 13 représente un autre mode de réalisation d'un dispositif d'amplification de vibration 11. Ce dispositif 11 s'avère particulièrement approprié pour une réalisation utilisant des techniques de gravure et d'usinage de substrats de silicium. Une masse mobile 3 est solidarisée par deux de ses faces à des films flexibles 31 et 33. Ces films 31 et 33 forment des ressorts de rappel de la masse 3 et guident également la masse 3 en translation selon une direction perpendiculaire à leur plan. Les films flexibles peuvent par exemple être réalisés en polyimide. Les films flexibles 31 et 33 sont espacés l'un de l'autre par l'intermédiaire de couches de silicium 34 et 35 gravées dans leur partie médiane afin de loger la masse 3. Les couches 34 et 35 sont solidaires respectivement des films 31 et 33. Une embase 36 réalisée en silicium est solidaire d'un support vibrant et fixée sous le film 33. Un lamage est gravé dans la partie médiane de l'embase 36 afin de permettre un débattement de la masse mobile 3. Une masse rapportée 13 est fixée sur la partie supérieure du film 31. Cette masse 13 peut être réalisée en métal (tungstène par exemple) afin d'accroître la masse en mouvement du système résonnant. Le dispositif 11 comprend un empilement de couches 32 interposées entre les couches de silicium 34 et 35. L'empilement de couches 32 est mis en forme de façon appropriée pour former des bilames piézo-électriques de part et d'autre de la masse 3. Par une commande appropriée, ces bilames s'allongent jusqu'à accoupler la masse 3 à l'embase 36. Les bilames pourront également être utilisés pour la conversion de l'énergie cinétique de la masse 3 en énergie électrique.

Dans l'exemple de la figure 14, la masse 3, le cadre 7, des ressorts secondaires 8a et 8b sont formés monobloc. L'élément monobloc pourra par exemple être moulé ou être réalisé par gravure d'une couche de silicium. Dans cet exemple, les ressorts secondaires 8a et 8b sont formés de poutres flexibles encastrées d'une part sur la masse 3 et d'autre part sur le cadre 7. Ces poutres s'étendent perpendiculairement au déplacement de la masse3. La masse 3 comprend un élément rapporté 13 destiné à accroître la masse du système résonnant. Cette masse rapportée 13 pourra être collée sur la partie en silicium de la masse 3. Deux bilames piézo-électriques 12 sont encastrés par une extrémité dans le cadre 7 et s'étendent perpendiculairement à la direction de déplacement de la masse 3. Les bilames 12 sont disposés de part et d'autre de

la masse 3, afin que les efforts qu'il applique sur la masse 3 se compensent. Leur autre extrémité est destinée à venir sélectivement en contact avec la masse 3 pour l'accoupler avec le cadre 7. Comme dans les exemples précédents, l'accouplement entre le cadre 7 et la masse 3 interviendra lorsque leurs orientations de déplacement seront opposées. Le désaccouplement interviendra lorsque les orientations de déplacement du cadre et de la masse 3 sont identiques, de préférence lorsque le cadre 7 atteint sa vitesse maximale. L'accouplement et le désaccouplement seront commandés électroniquement. L'accouplement pourra être réalisé en appliquant une tension aux bilames 12 induisant leur allongement jusqu'à venir en contact avec la masse 3. Durant l'accouplement entre le support 7 et la masse 3, les bilames piézo-électriques 12 pourront faire office de ressorts en fléchissant sous l'effet de l'énergie cinétique de la masse 3. Durant la flexion de tels bilames 12, les composants piézoélectriques stockent de l'énergie électrique. En connectant sélectivement les bilames 12 à un circuit approprié, on pourra ainsi convertir l'énergie cinétique de la masse 3 en énergie électrique.

La figure 15 illustre une autre variante de dispositif d'amplification 11. Dans cet exemple, la masse 3, le cadre 7, un ressort de rappel 4 et des ressorts secondaires 8a et 8b sont formés monobloc. L'élément monobloc sera avantageusement réalisé par gravure d'une couche de silicium. Dans cet exemple, les ressorts secondaires 8a et 8b sont formés de poutres flexibles encastrées d'une part sur la masse 3 et d'autre part sur le cadre 7. Ces poutres s'étendent perpendiculairement au déplacement de la masse 3. Le ressort de rappel 4 est réalisé sous forme d'une poutre encastrée à ses deux extrémités sur le support 3, s'étendant perpendiculairement au déplacement de la masse 3. La raideur du ressort 4 est très supérieure à la raideur des ressorts secondaires 8a et 8b. La masse 3 comprend un élément rapporté 13 destiné à accroître la masse du système résonnant. Une saillie 14 est encastrée dans la partie médiane de la poutre du ressort 4 et s'étend selon la direction de déplacement de la masse 3. Un organe d'accouplement comprend des mâchoires 15 solidaires du cadre 7. Les mâchoires 15 sont destinées à accoupler sélectivement la saillie 14 au cadre 7.

Comme dans les exemples précédents, l'accouplement entre le cadre 7 et la masse 3 interviendra lorsque leurs orientations de déplacement seront opposées. Le désaccouplement interviendra lors d'un changement d'orientation de la masse 3 lorsque les orientations de déplacement de la masse 3 et du cadre 7 et sont identiques. L'accouplement et le désaccouplement seront commandés électroniquement.

Les figures 15 à 20 représentent différents modes de réalisation d'organes d'accouplement entre la masse 3 et un cadre ou un support. Dans ces exemples, les organes d'accouplement enserrent une saillie 14 solidaire de

la masse 3 mais l'accouplement peut bien entendu être réalisé sur un autre élément solidaire de la masse 3.

La figure 16 représente des mâchoires 15 munies d'éléments de serrage 17 présentant un fort coefficient de dilatation thermique. Des résistances chauffantes 16 sont noyées à l'intérieur des éléments de serrage 17. Lorsque l'on souhaite accoupler le cadre 7 à la saillie 24, on applique une tension de commande aux bornes des résistances chauffantes 16. Dès lors, les éléments de serrage 17 se dilatent jusqu'à venir enserrer et immobiliser la saillie 14. On peut également envisager d'utiliser des éléments de serrage réalisés en matériaux à mémoire de forme. De telles mâchoires 15 sont relativement aisées à fabriquer sur un support en silicium. L'actionnement des mâchoires nécessite une énergie relativement faible et une tension d'alimentation relativement faible pour générer une dilatation permettant d'enserrer la saillie 14.

De telles mâchoires 15 ne permettent cependant pas de réaliser une conversion d'énergie cinétique en énergie électrique. La variante de la figure 17 combine ainsi des éléments à fort coefficient de dilatation thermique 28 avec des bilames piézo-électriques 29. Les éléments 28 sont encastrés dans le cadre 7 et leur dilatation est commandée par des résistances électriques. Les bilames 29 sont encastrés par une extrémité dans les éléments 28. Lors de la dilatation des éléments 28, l'extrémité libre des bilames 29 vient en contact avec la saillie 14 pour générer l'accouplement. Selon le principe détaillé précédemment, de l'énergie électrique stockée durant une déformation des bilames 29 par l'énergie cinétique de la masse 3 durant un accouplement pourra être récupérée par un circuit électrique.

La figure 18 représente une autre variante d'organe d'accouplement. Dans cette variante, un élément conducteur 20 est solidaire du cadre. Les mâchoires 15 sont réalisées dans une embase conductrice 19. Les mâchoires sont placées de part et d'autre de la saillie 14. La saillie 14 est elle-même conductrice et est connectée à l'élément 20. L'embase 19 est séparée de l'élément conducteur 20 par l'intermédiaire d'une couche isolante 18. Lorsqu'une différence de tension est appliquée entre l'embase 19 et l'élément 20, les mâchoires 15 fléchissent et viennent se plaquer sur la saillie 14 du fait de forces électrostatiques.

La figure 19 représente une autre variante d'organe d'accouplement. Dans cette variante, l'organe d'accouplement comprend un élément 21 conducteur. Cet élément 21 est solidaire d'un support vibrant. Cet élément 21 est solidaire et connecté à des plaques conductrices 25. Des plaques conductrices 23 sont placées en vis-à-vis des plaques conductrices 25. Ces plaques 23 sont traversées dans leur partie médiane par des tiges de blocage 24. Les tiges 24 sont montées mobiles en translation par rapport à l'élément 21 par l'intermédiaire de parois flexibles et isolantes 22. La flexion des parois 22

permet un déplacement en translation perpendiculaire à la direction de déplacement de la saillie 14. Lors de l'application d'une différence de tension entre les plaques 23 et les plaques 25, une force électrostatique déplace les plaques 23 par rapport aux plaques 25. Les tiges 24 se déplacent alors jusqu'à venir en prise dans des encoches délimitées par des renflements et ménagées dans la saillie 14. Dès lors, les tiges 24 sont accouplées à la saillie 14. Avantageusement, les encoches ménagées de part et d'autre de la saillie 14 sont décalées selon la direction de déplacement de cette saillie 14 : ainsi, la résolution des encoches sera augmentée puisqu'une tige 14 pourra s'insérer dans une encoche si la tige 14 opposée vient en butée contre un renflement. Il est possible aussi de multiplier le nombre d'organes d'accouplement le long de la saillie 14 ou sur d'autres saillies. En décalant alors chaque organe différemment par rapport aux encoches on augmente alors la probabilité qu'au moins une des tiges 14 des organes rencontre une encoche au moment de la commande de l'accouplement. L'extrémité des tiges 14 pourra aussi être amincie pour faciliter leur entrée dans les encoches.

Bien que l'on ait illustré des parois 22 isolantes, celles-ci peuvent également être conductrices en déportant l'isolation électrique. Les parois 22 et les plaques 25 être fixées sur un support isolant. Les paroi 22 et les plaques 25 seront alors isolées électriquement par l'intermédiaire de ce support.

La figure 20 représente encore une variante d'organe d'accouplement. Dans cette variante, les mâchoires 15 sont munies d'éléments de serrage 27 réalisés en matériaux magnétostrictifs. Les éléments de serrage 27 sont entourés par des bobines 26. Lorsqu'une différence de tension est appliquée entre les bornes des bobines 26, les éléments de serrage 27 se dilatent et viennent enserrer la saillie 14 pour l'immobiliser.

Pour chacun des dispositifs d'accouplement, il est avantageux d'avoir un faible espacement (par exemple quelques µm) entre le/les actionneurs et la partie mobile, afin de limiter la course de l'actionneur et donc l'énergie nécessaire pour produire l'accouplement.

Par ailleurs, lorsque le support ou son interface de fixation au dispositif d'amplification est munie d'un accéléromètre, celui-ci mesurera avantageusement l'amplitude de l'accélération subie. En effet, si l'énergie vibratoire du support est insuffisante pour transférer suffisamment d'énergie dans la masse mobile, le fonctionnement de l'organe d'accouplement sera désactivé afin que le dispositif ne consomme pas plus d'énergie électrique qu'il n'en produit.

Bien que les modes de réalisation décrits se basent sur des mouvements de translation de la masse mobile, on peut également appliquer l'invention à des

dispositifs d'amplification mécaniques basés sur des mouvements rotatifs ou composés de la masse mobile.

REVENDICATIONS

1. Dispositif micromécanique (11) d'amplification d'un mouvement vibratoire, comprenant :
   -une interface de solidarisation (7) du dispositif à un organe vibrant;
   -une masse (3) montée mobile selon au moins un degré de liberté par rapport à l'interface ;
   -un ressort (4) apte à exercer une sollicitation de rappel entre la masse mobile et l'interface;
   caractérisé en ce qu'il comprend en outre :
   -un organe de détection de l'orientation de déplacement de l'interface selon ledit degré de liberté ;
   -un organe (6) d'accouplement de la masse mobile à l'interface, configurée pour accoupler la masse mobile (3) à l'interface (7) lorsque l'orientation de déplacement de l'interface est opposée à celle de la masse mobile et configurée pour désaccoupler la masse mobile de l'interface avant un changement d'orientation de l'interface et lorsque l'orientation de déplacement de l'interface est identique à celle de la masse mobile.

2. Dispositif (11) selon la revendication 1, comprenant un organe de détection d'une vitesse maximale de l'interface (7), et dans lequel l'organe d'accouplement (6) est configuré pour accoupler la masse mobile (3) à l'interface (7) lorsque l'interface (7) atteint sa vitesse maximale.

3. Dispositif (11) selon la revendication 2, dans lequel l'organe de détection de l'orientation de déplacement et/ou l'organe de détection de la vitesse maximale comprennent un accéléromètre, dans lequel l'organe d'accouplement comprend un actionneur à commande électrique, le dispositif comprenant en outre un dispositif de traitement commandant l'actionneur en fonction de mesures fournies par l'accéléromètre.

4. Dispositif (11) selon la revendication 3, dans lequel la vitesse maximale est détectée en fonction de la croissance ou de la décroissance de l'accélération lors de son passage par une valeur nulle.

5. Dispositif (11) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la masse (3) est mobile en translation par rapport à l'interface (7), dans lequel l'organe d'accouplement comprend une masselotte (61) montée pivotante par rapport à un axe perpendiculaire à l'axe de translation de la masse (3) avec un balourd, la masselotte (61) étant montée pivotante entre deux positions dans

lesquelles la masse (3) est accouplée à l'interface (7) pour des orientations respectives du déplacement de la masse (3) par rapport à l'interface (7).

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'interface (7) et la masse mobile (3) présentent des surfaces conductrices rainurées en vis-à-vis pour former une capacité, le dispositif comprenant un circuit de commande (51) appliquant sélectivement une tension entre les surfaces rainurées pour accoupler ou désaccoupler l'interface et la masse mobile.

7. Dispositif selon la revendication 6, dans lequel le circuit de commande (51) est configuré pour décharger et stocker sélectivement la charge incluse dans la capacité formée.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la masse (3) est mobile en translation par rapport à l'interface (7), dans lequel l'organe d'accouplement comprend un élément piézoélectrique (75) commandé pour s'allonger selon une direction perpendiculaire à la direction de déplacement de la masse (3) de façon à accoupler la masse (3) à l'interface (7).

9. Dispositif selon la revendication 8, dans lequel l'élément piézoélectrique (75) s'étend selon une direction perpendiculaire à la direction de déplacement de la masse (3) et est flexible de façon à former ledit ressort (4) durant l'accouplement.

10. Dispositif (11) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'interface (7), la masse (3) et le ressort (4) comprennent un élément commun formé monobloc dans un substrat de silicium.

11. Dispositif selon la revendication 10, dans lequel la masse (3) comprend un élément rapporté (13) fixé sur l'élément monobloc.

12. Dispositif selon la revendication 10 ou 11, dans lequel le ressort (4) est formé par une poutre flexible ménagée dans l'élément monobloc.

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la masse (3) présente une partie d'accouplement (14) munie d'une alternance d'encoches et de renflements, dans lequel l'organe d'accouplement comprend un actionneur (24) s'insérant dans une encoche de la partie d'accouplement durant un accouplement.

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant un organe de conversion de l'énergie mécanique de la masse mobile en énergie électrique.

15. Système comprenant un dispositif micromécanique d'amplification selon l'une quelconque des revendications précédentes et un support vibrant (2) solidaire de l'interface du dispositif micromécanique, l'organe vibrant présentant une masse au moins 50 fois supérieure à celle du dispositif micromécanique.

16. Procédé d'amplification du mouvement d'un organe vibrant (2) par un dispositif micromécanique, comprenant les étapes consistant à :
-fournir un dispositif micromécanique (11) muni d'une masse mobile (3) selon au moins un degré de liberté par rapport à l'organe vibrant et muni d'un ressort (4) apte à exercer une sollicitation de rappel entre la masse mobile et l'organe vibrant ;
-détecter l'orientation de déplacement de l'organe vibrant selon ledit degré de liberté ;
-accoupler la masse mobile à l'organe vibrant lorsque l'orientation de déplacement de l'organe vibrant est opposée à celle de la masse mobile et désaccoupler la masse mobile de l'organe vibrant avant un changement d'orientation de l'organe vibrant et lorsque l'orientation de déplacement de l'organe vibrant est identique à celle de la masse mobile.

Fig. 1

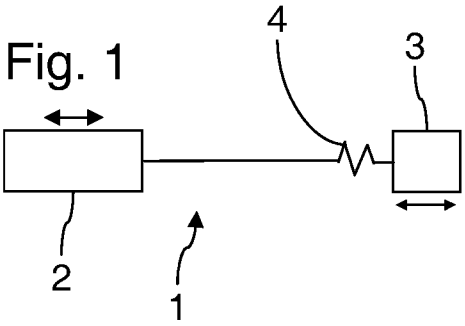
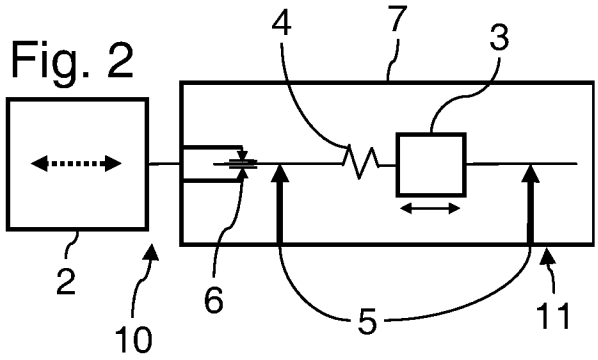


Fig. 2



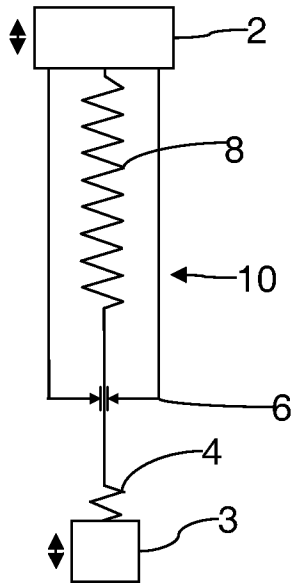


Fig. 3

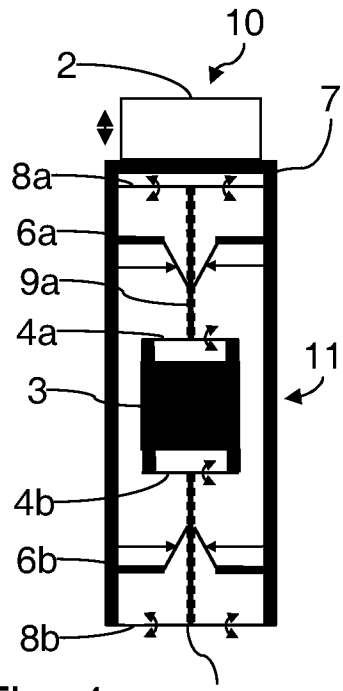


Fig. 4

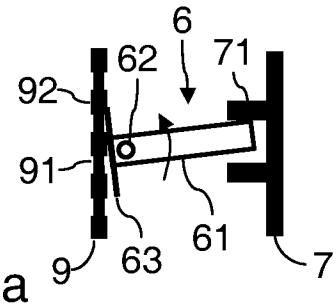


Fig. 5a

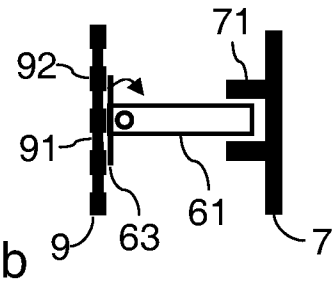


Fig. 5b

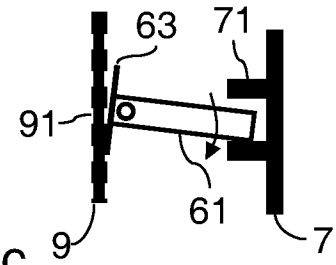


Fig. 5c

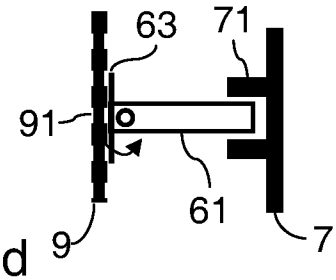


Fig. 5d

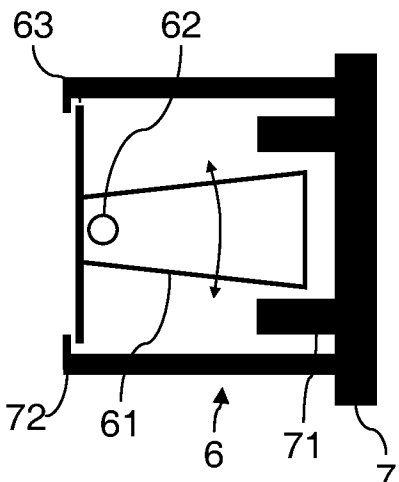


Fig. 6

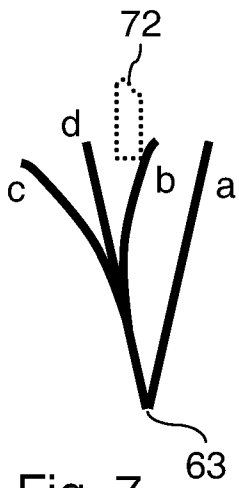


Fig. 7

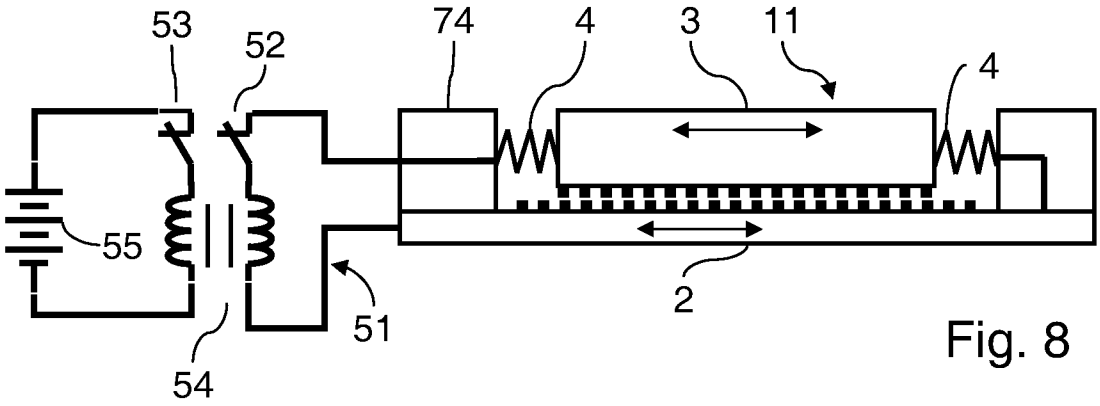


Fig. 8

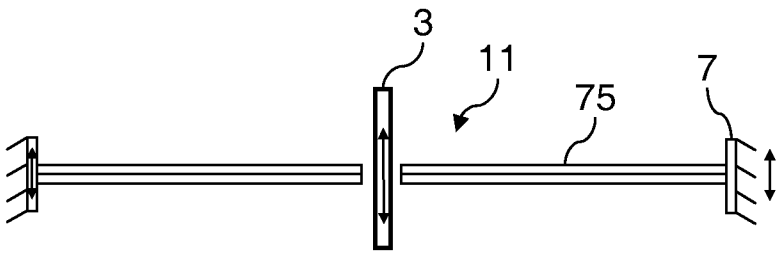


Fig. 9a

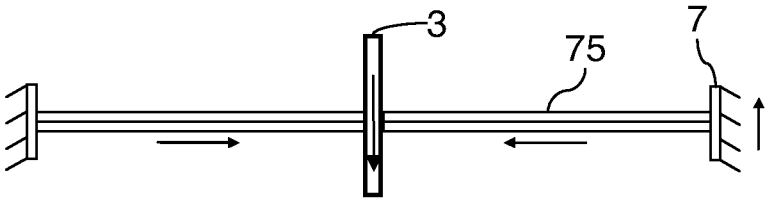


Fig. 9b

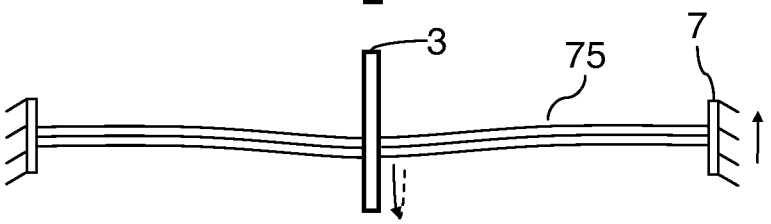


Fig. 9c

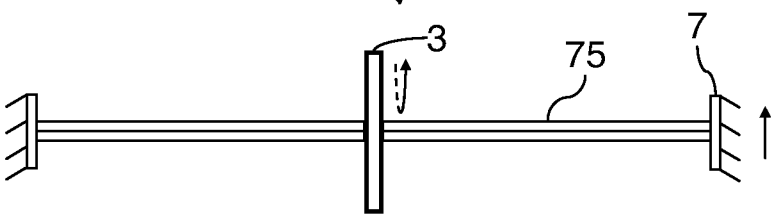


Fig. 9d

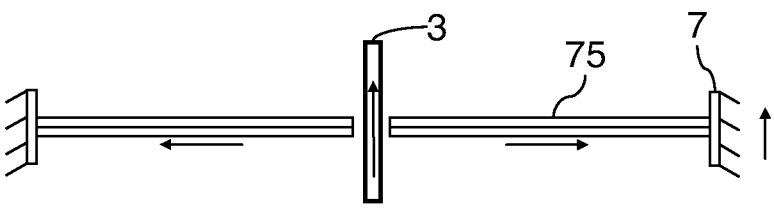


Fig. 9e

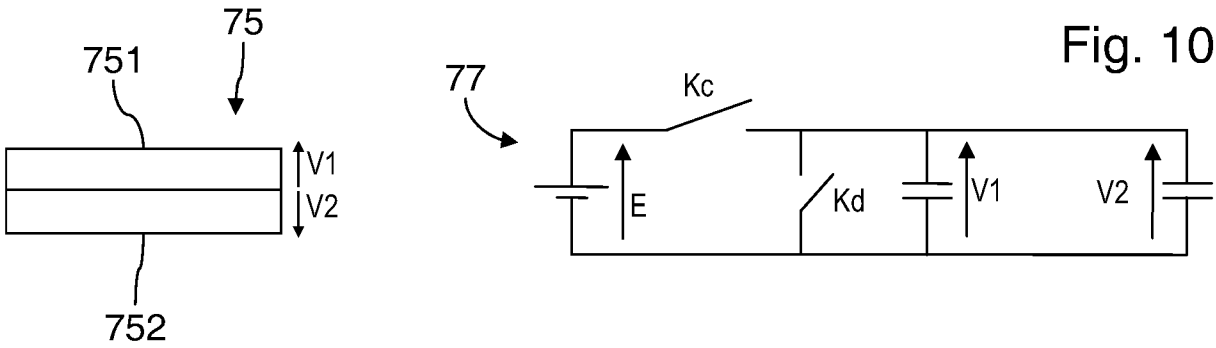

75
751
V1
V2
752
77
Kc
E
Kd
V1
V2

Fig. 10

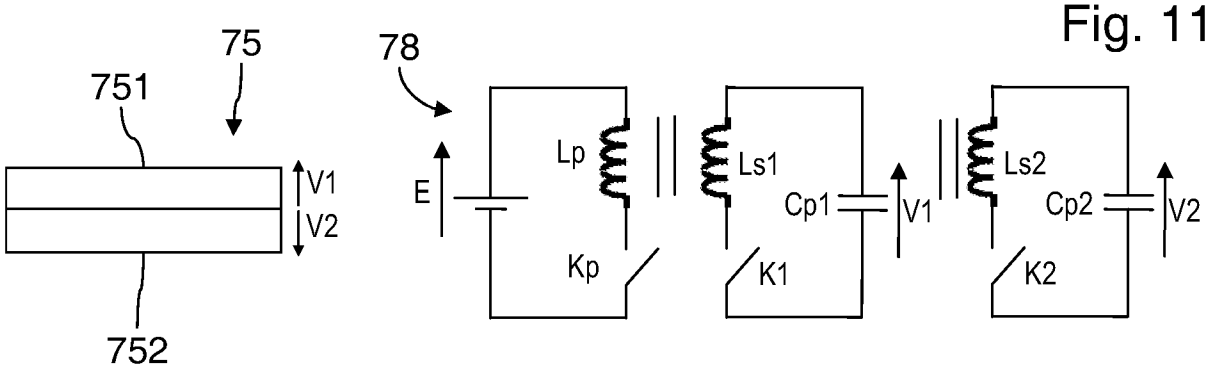

75
751
V1
V2
752
78
E
Lp
Kp
Ls1
K1
Cp1
V1
Ls2
K2
Cp2
V2

Fig. 11

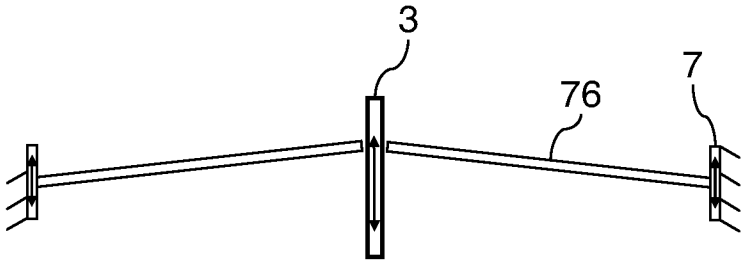


Fig. 12a

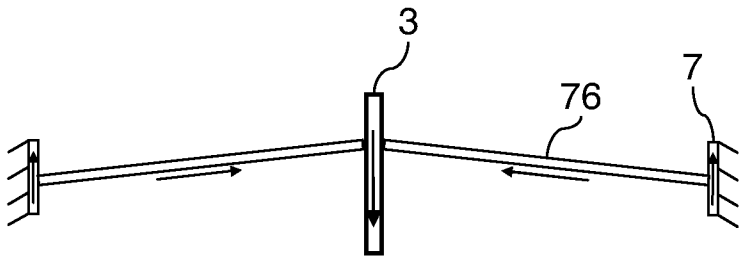


Fig. 12b

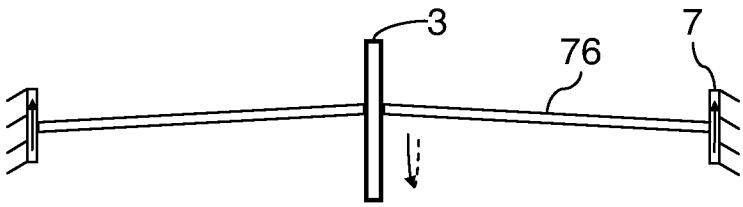


Fig. 12c

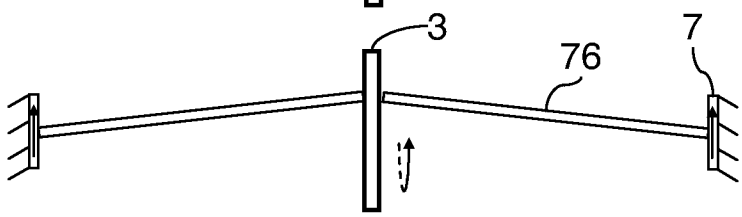


Fig. 12d

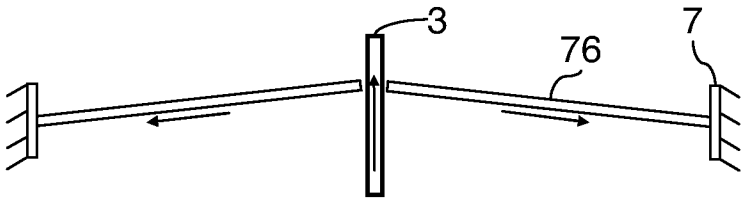


Fig. 12e

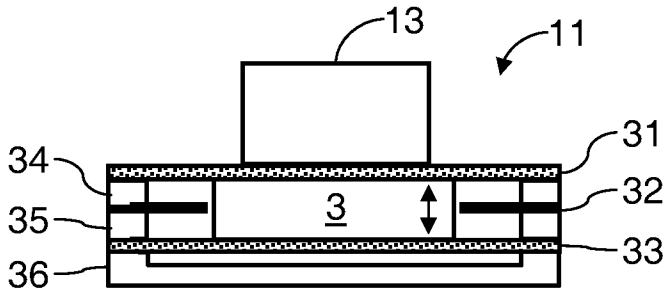


Fig. 13

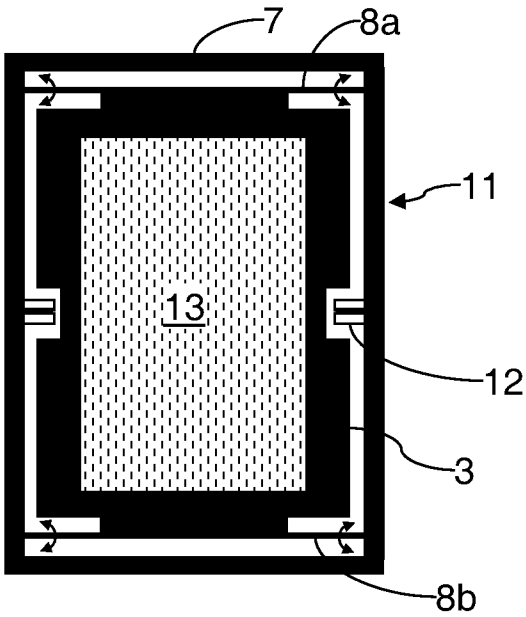


Fig. 14

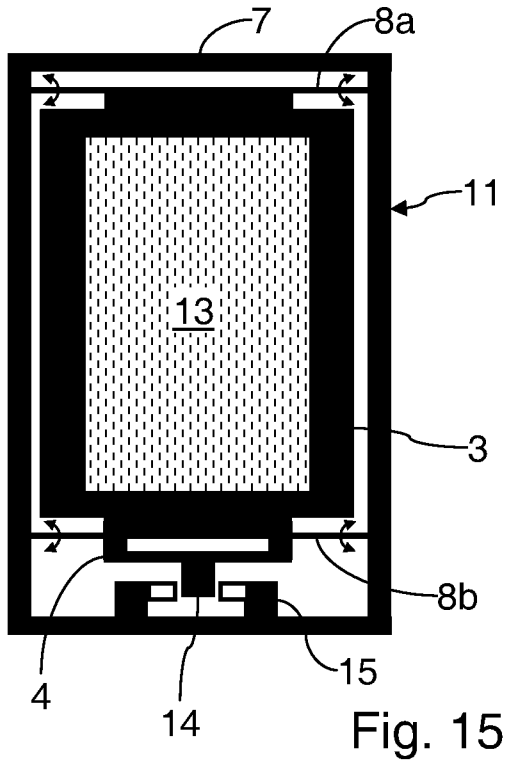
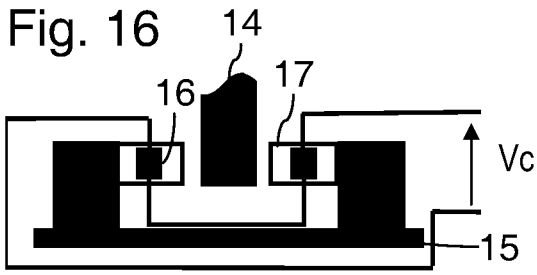


Fig. 15

Fig. 16



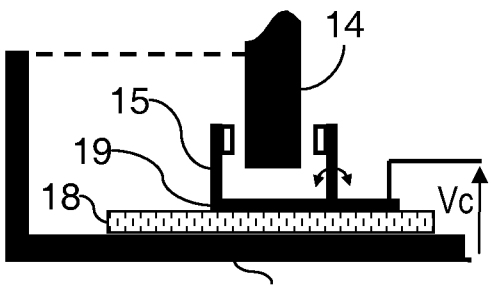


Fig. 18

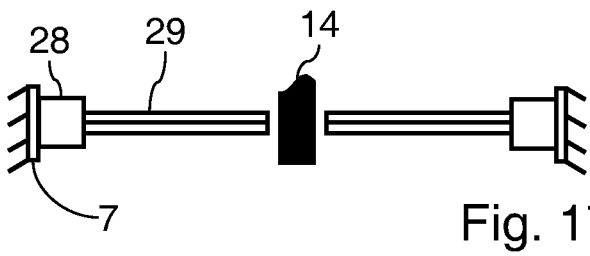


Fig. 17

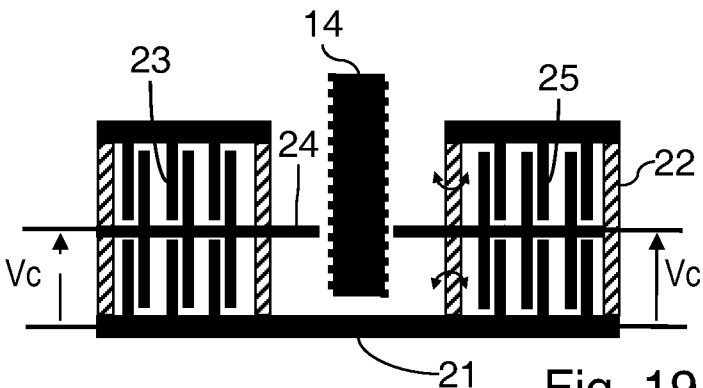


Fig. 19

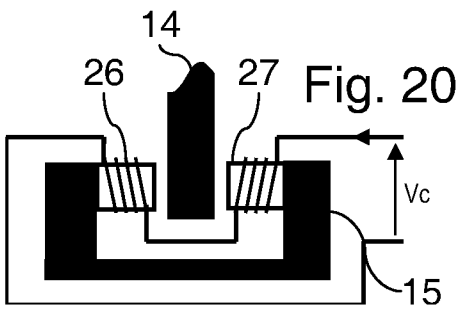


Fig. 20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2010/058185

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02K35/02 H02N1/08 H01L41/113
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H02K H02N H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KULAH H ET AL: "Energy Scavenging From Low-Frequency Vibrations by Using Frequency Up-Conversion for Wireless Sensor Applications" IEEE SENSORS JOURNAL, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 8, no. 3, 1 March 2008 (2008-03-01), pages 261-268, XP011203810 ISSN: 1530-437X figure 2 ----- -/--	1

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
21 July 2010	28/07/2010

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Le Chenadec, Hervé

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2010/058185

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
T	D-G LEE ET AL: "Novel Micro Vibration Energy Harvesting Device using Frequency Up Conversion" SOLID-STATE SENSORS, ACTUATORS AND MICROSYSTEMS CONFERENCE, 2007. TRANSDUCERS 2007. INTERNATIONAL, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 10 June 2007 (2007-06-10), pages 871-874, XP031216169 ISBN: 978-1-4244-0841-2 the whole document	
T	S. G. BURROW, L. R. CLARE, A. CARRELLA, AND D. BARTON: "Vibration energy harvesters with non-linear compliance" SPIE, PO BOX 10 BELLINGHAM WA 98227-0010 USA, vol. 6928, 4 April 2008 (2008-04-04), pages 692807-1-692807-10, XP040436050 the whole document	
T	J. LOVERICH, R. GEIGER, AND J. FRANK: "Stiffness nonlinearity as a means for resonance frequency tuning and enhancing mechanical robustness of vibration power harvesters" SPIE, PO BOX 10 BELLINGHAM WA 98227-0010 USA, vol. 6928, 4 April 2008 (2008-04-04), XP040436048 the whole document	
A	WO 2006/046937 A1 (MICHELIN SOC TECH [FR]; MICHELIN RECH TECH [CH]; THIESEN JACK [US]; O') 4 May 2006 (2006-05-04) figure 1c	1
A	US 2009/085442 A1 (KOZINSKY INNA [US] ET AL) 2 April 2009 (2009-04-02) paragraph [0013]	1
A	WO 2008/005113 A2 (LV SENSORS INC [US]; ROUNDY SHADRACH J [US]; TOLA JEFFRY [US]; TOLA JE) 10 January 2008 (2008-01-10) figures 1,2	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2010/058185

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2006046937 A1	04-05-2006	CN 101002343 A	18-07-2007
		EP 1803170 A1	04-07-2007
		JP 2008518573 T	29-05-2008
		US 2008129147 A1	05-06-2008
US 2009085442 A1	02-04-2009	NONE	
WO 2008005113 A2	10-01-2008	US 2008129153 A1	05-06-2008

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2010/058185

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H02K35/02 H02N1/08 H01L41/113
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
H02K H02N H01L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	KULAH H ET AL: "Energy Scavenging From Low-Frequency Vibrations by Using Frequency Up-Conversion for Wireless Sensor Applications" IEEE SENSORS JOURNAL, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 8, no. 3, 1 mars 2008 (2008-03-01), pages 261-268, XP011203810 ISSN: 1530-437X figure 2	1

-/--

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée
"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
21 juillet 2010	28/07/2010

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Le Chenadec, Hervé

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2010/058185

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
T	D-G LEE ET AL: "Novel Micro Vibration Energy Harvesting Device using Frequency Up Conversion" SOLID-STATE SENSORS, ACTUATORS AND MICROSYSTEMS CONFERENCE, 2007. TRANSDUCERS 2007. INTERNATIONAL, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 10 juin 2007 (2007-06-10), pages 871-874, XP031216169 ISBN: 978-1-4244-0841-2 le document en entier	
T	S. G. BURROW, L. R. CLARE, A. CARRELLA, AND D. BARTON: "Vibration energy harvesters with non-linear compliance" SPIE, PO BOX 10 BELLINGHAM WA 98227-0010 USA, vol. 6928, 4 avril 2008 (2008-04-04), pages 692807-1-692807-10, XP040436050 le document en entier	
T	J. LOVERICH, R. GEIGER, AND J. FRANK: "Stiffness nonlinearity as a means for resonance frequency tuning and enhancing mechanical robustness of vibration power harvesters" SPIE, PO BOX 10 BELLINGHAM WA 98227-0010 USA, vol. 6928, 4 avril 2008 (2008-04-04), XP040436048 le document en entier	
A	WO 2006/046937 A1 (MICHELIN SOC TECH [FR]; MICHELIN RECH TECH [CH]; THIESEN JACK [US]; O') 4 mai 2006 (2006-05-04) figure 1c	1
A	US 2009/085442 A1 (KOZINSKY INNA [US] ET AL) 2 avril 2009 (2009-04-02) alinéa [0013]	1
A	WO 2008/005113 A2 (LV SENSORS INC [US]; ROUNDY SHADRACH J [US]; TOLA JEFFRY [US]; TOLA JE) 10 janvier 2008 (2008-01-10) figures 1,2	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2010/058185

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2006046937 A1	04-05-2006	CN 101002343 A	18-07-2007
		EP 1803170 A1	04-07-2007
		JP 2008518573 T	29-05-2008
		US 2008129147 A1	05-06-2008
US 2009085442 A1	02-04-2009	AUCUN	
WO 2008005113 A2	10-01-2008	US 2008129153 A1	05-06-2008