

(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  
12 octobre 2006 (12.10.2006)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2006/106397 A1**

(51) Classification internationale des brevets :  
*H01L 41/09* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/IB2006/000748

(22) Date de dépôt international : 31 mars 2006 (31.03.2006)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
FR0503470 7 avril 2005 (07.04.2005) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **SOMFY SAS** [FR/FR]; 50, Avenue du Nouveau Monde, F-74300 Cluses (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **PETIT, Lionel** [FR/FR]; 2b Chemin De La Petite Cerdagne, F-69270 Fontaines Sur Saone (FR).

(74) Mandataires : **MOREAU, Stéphane** etc.; Bugnion S.A., C.P. 375, CH-1211 Genève 12 (CH).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,

AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING THE POWER LINE FREQUENCY OF A PIEZOELECTRIC ACTUATOR

(54) Titre : PROCEDE DE DETERMINATION DE LA FREQUENCE D'ALIMENTATION D'UN ACTIONNEUR PIEZO-ELECTRIQUE

(57) Abstract: The invention concerns a method for determining the normal power line frequency of a piezoelectric actuator comprising generators characterized in that it comprises a phase of determining the frequencies of the generators for which the coupling coefficient of the channels when the power line frequency causes the actuator to resonate and a step of selecting among those frequencies, the normal power line frequency of the actuator by both generators. The invention also concerns a piezoelectric actuator whereof the common frequency of the generators is such that the coupling coefficient of the channels when the actuator is powered at said frequency is less than 40 % of the coupling coefficient of the channels when the power line frequency causes the actuator to resonate.

(57) Abrégé : Le procédé de détermination de la fréquence normale d'alimentation d'un actionneur piézo-électrique comprenant des générateurs est caractérisé en ce qu'il comprend une phase de détermination des fréquences des générateurs pour lesquelles le coefficient de couplage des voies est inférieur à un seuil donné valant 40% du coefficient de couplage des voies lorsque la fréquence d'alimentation provoque la résonance de l'actionneur et une étape de sélection parmi ces fréquences, de la fréquence d'alimentation normale de l'actionneur par les deux générateurs. L'invention concerne également un actionneur piézo-électrique dont la fréquence commune des générateurs est telle que le coefficient de couplage des voies lorsque l'actionneur est alimenté à cette fréquence est inférieur à 40% du coefficient de couplage des voies lorsque la fréquence d'alimentation provoque la résonance de l'actionneur.

WO 2006/106397 A1

Procédé de détermination de la fréquence d'alimentation d'un actionneur piézo-électrique.

L'invention concerne un procédé de détermination de la fréquence normale d'alimentation d'un actionneur piézo-électrique à onde progressive comprenant un stator, un rotor rappelé en contact contre le stator et des transducteurs piézo-électriques précontraints, à structure multicouches, destinés à déformer le stator et répartis selon deux voies d'alimentation chacune raccordée à un générateur. L'invention concerne également un actionneur piézo-électrique à onde progressive.

Des actionneurs piézo-électriques sont connus. Ils comprennent un stator, dont l'état vibratoire est assuré par des transducteurs piézoélectriques et un rotor plaqué contre le stator et entraîné par les vibrations de ce dernier.

Préférentiellement, le mouvement vibratoire d'un point situé à la surface du stator correspond à une trajectoire elliptique dont un axe est perpendiculaire au plan de la surface de contact stator-rotor quand le moteur n'est pas alimenté et dont l'autre axe est dirigé selon la direction orthoradiale d'entraînement du rotor par l'action du stator. Un tel mouvement est provoqué par une onde stationnaire appliquée au stator ou de préférence provoqué par une onde progressive.

Le stator a généralement une forme annulaire de révolution.

Pour créer une onde progressive, au moins deux paires d'éléments piézo-électriques sont utilisées de manière à combiner deux ondes stationnaires. Si les deux paires d'éléments sont décalées dans l'espace de 90° et que les alimentations, de même amplitude et de même fréquence, sont elles mêmes décalées dans le temps d'un quart de

période (déphasage de  $90^\circ$ ), alors la combinaison des deux mouvements vibratoires donne une onde progressive pure : tous les points du stator décrivent une même trajectoire alternative autour de leur position de repos avec un décalage temporel qui ne dépend que de leur décalage angulaire sur l'anneau stator.

Selon la structure géométrique du stator et selon la nature et le positionnement des éléments piézo-électriques par rapport à cette structure, l'amplitude de vibration de la structure peut dépasser d'une façon considérable l'amplitude de vibration des seuls transducteurs piézo-électriques : c'est le phénomène de résonance, qui est généralement exploité pour amplifier l'amplitude de vibration, donc la vitesse d'entraînement.

Le brevet US 4,562,374 décrit une telle structure dans le cas où les transducteurs piézo-électriques ne sont pas séparés mais sont constitués par une même céramique annulaire de très faible épaisseur. Les transducteurs piézo-électriques ne sont pas précontraints. La céramique annulaire est collée sur le stator, et est excitée selon un mode transversal, aussi appelé mode d31. C'est ce type de structure qui a donné lieu à la plus grande partie des études sur les moteurs piézo-électriques.

Cependant, les brevets EP 0 930 660 et US 6,388,365 décrivent également une structure à onde progressive, mais cette fois avec des transducteurs piézo-électriques séparés et précontraints. Chaque transducteur piézo-électrique se présente sous la forme d'une colonne. La polarisation du transducteur piézo-électrique est réalisée selon l'axe de la colonne, et son déplacement principal également, ce qui caractérise le mode d'excitation longitudinal, également appelé mode d33.

L'invention s'applique à de telles structures à onde progressive munies de transducteurs piézo-électriques séparés précontraints et excités selon un mode longitudinal.

- 5 Le phénomène de couplage est exposé à la figure 4. Au préalable, les figures 1 à 3 décrivent un moteur piézo-électrique selon l'art antérieur.

Un moteur 1 connu de l'art antérieur est représenté schématiquement en coupe à la figure 1. Il comprend un arbre 11 solidaire d'un rotor 12  
10 rappelé dans une position de contact avec un stator 13 par un effort statique  $F_0$ . Pour plus de lisibilité, le rotor est représenté ici légèrement décollé par rapport au stator. Un matériau de friction est en général collé sur le stator pour assurer un meilleur contact entre les deux pièces. L'arbre 11 est guidé par un roulement à billes 14. L'axe de cet arbre 11  
15 constitue un axe de symétrie cylindrique pour le moteur, à l'exception de transducteurs piézo-électriques 15, 16 qui sont séparés. Ces transducteurs ont par exemple la forme de colonnes cylindriques ou la forme de colonnes à base rectangulaire et sont répartis sur le stator, comme représenté par exemple dans le brevet EP 0 930 660. Ces  
20 transducteurs piézo-électriques sont regroupés électriquement, en général selon un montage en parallèle, pour former une voie d'excitation (dans un moteur à onde stationnaire) ou deux voies d'excitation (dans un moteur à onde progressive). Dans un moteur à onde progressive de ce type, deux excitateurs diamétralement opposés appartiennent en général  
25 à la même voie d'excitation et sont donc branchés en parallèle avec des polarisations alternées. Un moteur comportant quatre excitateurs B1-B4 aurait donc les deux excitateurs B1 et B3, appartenant à la première voie d'excitation, comme représentés par les transducteurs 15 et 16 de la figure 1, tandis que les axes des deux autres excitateurs B2 et B4,  
30 appartenant à la deuxième voie, seraient contenus dans un plan perpendiculaire au plan de la figure 1. Cependant, pour simplifier, on

considère par la suite que le transducteur 15 appartient à une première voie, tandis que le transducteur 16 appartient à la deuxième voie d'excitation.

- 5 Le stator et le rotor sont généralement métalliques. Pour simplifier, on suppose que le stator 13 est non-conducteur en surface. C'est le cas quand il s'agit d'un alliage d'aluminium anodisé.

Chaque transducteur piézo-électrique est alimenté par deux électrodes, représentées par un trait noir épais et référencées 151 et 152 pour le transducteur piézo-électrique 15. Le matériau piézo-électrique est représenté par la surface hachurée entre les électrodes 151 et 152.

Un problème posé par ces structures concerne la difficulté de contrôler le fonctionnement de l'actionneur.

Il est connu du document US 5,554,905 un actionneur piézo-électrique à onde progressive comprenant un stator, un rotor rappelé en contact contre le stator et des transducteurs piézo-électriques précontraints, à structure multicouches et destinés à déformer le stator. Selon ce brevet, l'effet technique obtenu par la structure multicouches des transducteurs est de permettre une plus grande déformation de ceux-ci. Du fait de la structure multicouches des transducteurs les intensités des courants d'alimentation sont élevées, ce qui pose des problèmes, notamment des problèmes de commutation. De plus, la difficulté de contrôler le fonctionnement de l'actionneur est accrue.

On connaît du brevet US 5,767,609 un moteur piézo-électrique comprenant des transducteurs piézo-électriques monolithiques alimentés à une fréquence d'anti-résonance. Ce choix d'une fréquence d'anti-

résonance n'est justifié que par des considérations de rendement et de stabilité de fonctionnement du moteur.

Le but de l'invention est de fournir un actionneur piézo-électrique et un  
5 procédé de détermination de la fréquence d'alimentation d'un actionneur  
piézo-électrique améliorant les actionneurs et les procédés connus de  
l'art antérieur et permettant de pallier aux inconvénients précités. En  
particulier, l'invention propose un procédé pour déterminer une fréquence  
d'alimentation permettant d'améliorer le contrôle de l'actionneur. Elle  
10 concerne également un actionneur piézo-électrique à onde progressive  
alimenté à une fréquence permettant d'améliorer son contrôle.

Le procédé de détermination selon l'invention est caractérisé par la partie  
caractérisante de la revendication 1.

15

Différents modes d'exécution du procédé sont définis par les  
revendications dépendantes 2 à 6.

L'actionneur selon l'invention est défini par la revendication 7.

20

Différents modes de réalisation de l'actionneur sont définis par les  
revendications dépendantes 8 à 11.

Le dessin annexé représente, à titre d'exemple, un actionneur  
25 piézoélectrique selon l'invention.

La figure 1 représente schématiquement un actionneur piézoélectrique  
de structure connue de l'art antérieur.

La figure 2 représente une courbe caractéristique de l'admittance d'un transducteur piézo-électrique, en fonction de la fréquence d'alimentation, lorsque celui-ci équipe un actionneur.

- 5 La figure 3 représente un schéma électrique équivalent d'une voie d'un actionneur piézo-électrique.

La figure 4 représente un schéma électrique équivalent de deux voies d'un actionneur piézo-électrique.

10

La figure 5 représente schématiquement un actionneur piézoélectrique selon l'invention.

- 15 La figure 6 représente schématiquement la partie électrique d'un actionneur piézo-électrique selon l'invention.

La figure 7 représente un ordinogramme d'un procédé de détermination d'une fréquence d'alimentation d'un actionneur piézo-électrique permettant de minimiser le coefficient de couplage entre les voies.

20

La figure 8 représente une première variante du procédé de détermination d'une fréquence d'alimentation.

- 25 La figure 9 représente une deuxième variante du procédé de détermination d'une fréquence d'alimentation.

La figure 10 représente une troisième variante du procédé de détermination d'une fréquence d'alimentation.

- 30 L'admittance  $Y$  de la première voie d'excitation, comprenant le transducteur 15, est représentée à la figure 2 sur un large intervalle de

fréquences. Pour une valeur constante de l'amplitude de la tension d'excitation  $U_1$ , l'admittance est l'image de l'intensité du courant absorbé  $I_A$ . On constate sur cette figure une relation globale de proportionnalité entre l'admittance et la fréquence, ce qui est le propre d'un  
5 comportement capacitif. Ceci est dû à la capacité statique  $C_0$  du condensateur formé par les électrodes 151, 152 en regard, séparées par le matériau piézo-électrique fortement isolant.

On constate également l'apparition de plusieurs modes de résonance,  
10 suffisamment éloignés pour que chaque mode puisse faire l'objet d'une analyse séparée et d'une représentation sous forme d'un schéma équivalent comme en figure 3.

Sur le schéma équivalent de la figure 3, le mode est caractérisé par une  
15 « branche motionnelle » comportant au moins trois composants équivalents : un condensateur  $C_n$ , une inductance  $L_n$ , une résistance  $R_n$  et, éventuellement, un générateur  $E_n$ . La capacité du condensateur  $C_n$  et l'inductance  $L_n$  correspondent à la raideur et à la masse des parties subissant les déformations. La résistance  $R_n$  correspond à la puissance  
20 dissipée dans ces déformations mécaniques, tandis que la force-contre-électromotrice du générateur  $E_n$  donne la puissance convertie en puissance mécanique utile, lorsqu'elle est multipliée par le courant  $I_{m_n}$  circulant dans la branche motionnelle. Pour un moteur à vide, on a  $E_n = 0$ .

25 En général, la capacité motionnelle  $C_n$  du mode  $n$  est très faible devant la capacité  $C_0$ .

Le comportement électromécanique de la branche motionnelle dépend  
30 de la fréquence d'excitation. Le courant  $I_{Mn}$  absorbé est en effet maximum quand les impédances du condensateur  $C_n$  et de l'inductance

Ln présentent un même module. On note  $SRF_n$  cette fréquence de résonance du mode n, dite « résonance série ».

5 Quand la fréquence  $FREQ$  est sensiblement inférieure à cette valeur, alors la branche motionnelle devient équivalente à la seule capacité du condensateur  $C_n$ . Comme la capacité du condensateur  $C_n$  est faible devant la capacité du condensateur  $C_0$ , le courant  $I_{mn}$  circulant dans la branche motionnelle est négligeable devant  $I_{C_0}$  circulant à travers le condensateur  $C_0$ .

10

Quand la fréquence  $FREQ$  est supérieure à cette valeur  $SRF_n$ , alors la branche motionnelle devient sensiblement équivalente à l'inductance  $L_n$ . L'ensemble formé par le condensateur  $C_0$  et par l'inductance  $L_n$  constitue alors un circuit résonant parallèle, dont on sait que le courant absorbé  $I_{An}$  passe par un minimum. On désigne par  $PRF_n$  cette valeur particulière de la fréquence, dite « résonance parallèle » ou fréquence d'anti-résonance.

15

20 En fait, le schéma équivalent de la figure 3 représente ce qui est vu par le générateur d'une voie d'excitation lorsque le générateur alimentant l'autre voie est débranché. La figure 4 représente maintenant simultanément les deux générateurs  $G_1$  et  $G_2$  alimentant chacune des voies. Trois composants d'impédances  $Z_1$ ,  $Z_2$  et  $Z_C$  représentent la plus ou moins grande facilité de la structure à entrer en vibration sous l'effet des vibrations de l'un ou de l'autre transducteur piézo-électrique. Mais les vibrations sur l'un des transducteurs piézo-électriques ont nécessairement un effet induit sur le transducteur piézo-électrique voisin, qui appartient à l'autre voie. Seule une articulation parfaite au niveau de la liaison entre transducteur piézo-électrique et stator éviterait un tel couplage. L'objet du brevet EP 0 930 660 est de diminuer au plus ce couplage, mais il subsiste et est représenté ici par l'impédance  $Z_C$ .

25

30

- Les impédances  $Z1$  et  $Z2$  incluent des éléments représentatifs de la raideur et de la masse dans le mode  $n$ . Dans une structure symétrique, la valeur de l'impédance  $Z1$  est égale à la valeur de l'impédance  $Z2$ . L'idéal serait d'avoir l'impédance  $ZC$  valant 0, pour se ramener à deux schémas indépendants, un pour chaque voie. Quand la structure est peu couplée, la valeur de l'impédance  $ZC$  est très inférieure à la valeur des impédances  $Z1$  ou  $Z2$ .
- 10 Les générateurs  $G1$  et  $G2$  ne sont pas parfaits, et présentent au minimum une résistance interne  $RG1$  et  $RG2$ . Ainsi, leur tension de sortie est affectée par le courant débité. Si par exemple, à l'instant où la tension  $U1$  est maximum et où la tension  $U2$  devrait être nulle, on remplace le générateur  $G2$  par sa résistance équivalente  $RG2$ , on mesure une
- 15 tension  $U2$  provenant de la tension aux bornes de  $ZC$  et divisée par le montage potentiométrique formé par les impédances  $Z2$  et  $RG2$  en parallèle sur  $C02$ . Il est donc clair que la relation de phase voulue (déphasage de  $90^\circ$ ) n'est pas vérifiée.
- 20 Dans un moteur piézo-électrique à céramique annulaire fine, cet effet est très peu marqué en particulier du fait de la faible épaisseur de la céramique, ce qui conduit à des valeurs importantes pour la capacité bloquée  $C0$ , et donc à une faible impédance du condensateur  $C0$  à la fréquence considérée.
- 25
- Par contre, dans un moteur comprenant des transducteurs piézo-électriques de type bâton ou cylindre, les deux électrodes sont écartées de plusieurs millimètres et la capacité  $C0$  est très faible, d'où une forte impédance du condensateur  $C0$  à la fréquence considérée. Pour ces
- 30 mêmes raisons, il n'est pas possible, sauf à utiliser des inductances de forte valeur, et donc coûteuses, de compenser par une inductance

additionnelle en série avec chaque générateur la présence de la capacité C0.

5 Une telle inductance, qui constituerait alors l'impédance équivalente au générateur G2, peut présenter l'avantage de constituer avec C02 un circuit bouchon accordé, d'impédance infinie à la fréquence de travail, revenant à annuler le courant dans une branche mot ionnelle Z2 qui n'est plus alimentée.

10 L'ajout de capacités sous forme d'éléments discrets pénaliserait bien entendu la structure : le gain apporté dans la lutte contre le couplage serait annulé par la nécessité de fournir des courants ou tension plus importants.

15 L'actionneur piézo-électrique représenté à la figure 5 a sensiblement la même structure que celui représenté à la figure 1. Tous les composants similaires ont une référence commençant par le chiffre 2 au lieu du chiffre 1 sur la figure 1. Cependant, il diffère de l'actionneur de la figure 1 en ce qu'il comprend des transducteurs piézo-électriques multicouches 25, 26.

20

Cet actionneur piézo-électrique a une structure lui permettant de générer une onde progressive. Il comprend ainsi, par exemple, deux voies comprenant chacune deux transducteurs piézo-électriques, ces deux voies étant alimentées par deux générateurs. Les transducteurs utilisés  
25 sont de type multicouches. Deux transducteurs piézo-électriques de ce type, appartenant à chaque voie, sont représentés sous les références 25 et 26.

30 Le matériau piézo-électrique est intercalé entre des plans conducteurs alternativement reliés à une première électrode 251 et à une deuxième électrode 252. Ces plans conducteurs délimitent des couches 263 de

matériau piézo-électrique dont le sens de polarisation est alterné d'une couche à l'autre. Chaque électrode est reliée à une borne d'un générateur de tension.

- 5 Dans un but de clarté, seules quelques couches de matériau piézo-électrique ont été représentées, cependant, les transducteurs piézo-électriques peuvent présenter plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines de couches. Les transducteurs utilisés pour la mise au point de l'invention comprennent par exemple 20 couches au millimètre.

10

Cependant, l'utilisation de transducteurs piézoélectriques à structure multicouches augmente considérablement la résistance série des transducteurs, ce qui revient à augmenter d'autant la résistance interne RG1 ou RG2 des générateurs G1 et G2. La prise en compte de cet effet conduit à s'écarter davantage encore de la fréquence de résonance série. A cette augmentation de la résistance interne s'ajoute le problème de l'augmentation du courant absorbé, résultant de la plus grande valeur de la capacité de blocage C01 et C02 pour un excitateur multicouches en comparaison d'un excitateur massif.

20

En définitive, il est donc nécessaire, pour résoudre le problème de difficulté de contrôle de l'actionneur relevé dans les documents de l'art antérieur, de choisir une fréquence d'alimentation permettant de minimiser de manière sûre le coefficient de couplage entre les voies.

25

Pour ce faire, on peut déterminer cette fréquence grâce au procédé décrit en référence à la figure à la figure 7.

30

Dans une première étape 100, on remplace l'un des deux générateur G2 par un résistor RG2 dont la valeur est égale à la résistance interne du générateur G2. Dans le cas où le générateur G2 présente une

impédance de sortie complexe  $ZG2$ , le générateur  $G2$  est remplacé par un élément présentant cette impédance. Alternativement, on peut laisser le générateur  $G2$  en place et simplement faire en sorte qu'il délivre une amplitude de tension nulle.

5

Dans une étape 110, on fixe une fréquence d'alimentation  $Fa$  du générateur  $G1$ . Cette fréquence est par exemple une extrémité basse de l'intervalle de fréquences correspondant au mode de vibration  $n$  choisi pour permettre un bon entraînement du rotor par les déformations du stator.

10

Dans une étape 120, on procède à un test sur la valeur de  $Fa$  et à l'incrémentement de  $Fa$  tant que cette valeur appartient à l'intervalle considéré. Cette étape permet de procéder au balayage de l'ensemble de l'intervalle retenu.

15

Dans une étape 130, on alimente l'actionneur à l'aide du générateur  $G1$  à la fréquence  $fa$  et on ajuste la tension du générateur de manière à obtenir une déformation du stator donnée, de préférence une déformation proche de celle obtenue lors du fonctionnement de l'actionneur.

20

Dans une étape 140, on mesure différentes valeurs électriques en particulier la tension aux bornes du générateur  $G1$  et la tension aux bornes du résistor  $RG2$ . Eventuellement, on peut mesurer également le courant fourni par le générateur de tension  $G1$  et/ou le courant absorbé par le résistor  $RG2$ .

25

Dans une étape 150, on calcule le coefficient de couplage entre les voies, en calculant par exemple le rapport de l'amplitude de la tension mesurée aux bornes du résistor  $RG2$  et de l'amplitude la tension

30

mesurée aux bornes du premier générateur G1 lorsqu'il alimente la première voie.

5 A l'issue de l'étape 150, le procédé boucle sur l'étape 110 à laquelle la fréquence du générateur G1 est incrémentée et les étapes 120 à 150 réitérées.

10 Lorsqu'une plage de fréquences suffisante (par exemple égale à deux fois l'écart séparant PRFn et SRFn) a été balayée, on passe à l'étape 160 dans une deuxième phase du procédé dans laquelle on détermine les fréquences pour lesquelles le coefficient de couplage est inférieur à un certain seuil, par exemple inférieur à 40 %, ou de préférence à 20 % du coefficient de couplage lorsque l'actionneur est alimenté à une fréquence provoquant sa résonance.

15 A l'étape finale 170, on choisit une fréquence de fonctionnement FN du moteur à l'intérieur de la zone de fréquences définie à l'étape 160. Cette étape 170 peut correspondre à un choix arbitraire, ou préférentiellement être réalisée selon les variantes représentées par les figures 8 à 10.

20 Dans le cas le plus simple, représenté à la figure 8 sous forme d'une seule sous-étape 170-1, l'étape 170 consiste à prendre comme valeur FN la valeur correspondant à une valeur minimum du coefficient de couplage.

25 Dans la variante de la figure 9, comportant également une seule sous-étape 170-2, l'étape 170 consiste à prendre comme valeur FN la valeur correspondant à une valeur minimum du courant I1 absorbé sur la première voie d'excitation. Cette valeur de FN correspond en général à la  
30 fréquence d'anti-résonance PRFn, si celle-ci se trouve dans la zone retenue au cours de l'étape 160.

Dans la variante de la figure 10, on utilise deux sous-étapes pour réaliser l'étape 170.

- 5 A la sous-étape 170-3, on définit une grandeur C comprenant le coefficient de couplage, mais également enrichie par la prise en compte de l'intensité I1 absorbée par la voie d'excitation alimentée. On souhaite en effet à la fois réduire le coefficient de couplage et l'intensité I1. Une expression de C croissante avec ces deux paramètres convient.
- 10 La grandeur C la plus simple s'écrit donc :

$$C = K1 \times U2 \times I1$$

- Dans cette expression, K1 est un coefficient de proportionnalité, U2 est la tension mesurée aux bornes du résistor RG2 et I1 est le courant absorbé sur la voie 1, donc fourni par le générateur G1 tandis que le générateur G2 a été remplacé par sa résistance équivalente RG2.
- 15

- La résistance RG2 étant fixe, il est clair que le coefficient de couplage peut aussi s'exprimer à partir du courant I2 dans cette résistance, et que la grandeur C peut aussi s'écrire, à l'aide d'un deuxième coefficient de proportionnalité K2 :
- 20

$$C = K2 \times I2 \times I1$$

- Enfin, tout en restant dans l'esprit de l'invention, il est possible de choisir un critère plus élaboré, selon que l'on préfère privilégier plus ou moins l'influence du couplage ou du courant absorbé. On peut avantageusement intégrer l'amplitude de vibration et/ou la vitesse vibratoire dans la grandeur C.
- 25

A la sous-étape 170-4, on prend comme valeur de fréquence FN de fonctionnement du moteur la valeur de fréquence correspondant à un minimum de cette valeur.

- 5 Les moyens de simulation électromécanique des structures permettent de déterminer le coefficient de couplage et la zone de fréquences dans laquelle ce coefficient est inférieur à un seuil donné sans avoir à procéder à des essais réels, mais la démarche est équivalente à celle qui vient d'être décrite.

10

Enfin, il est clair que la fréquence normale de fonctionnement FN de l'actionneur complet lorsqu'il est alimenté par les deux générateurs qui est ainsi déterminée donne une valeur nominale. Il est connu que la fréquence réelle de la fréquence d'alimentation des moteurs piézo-  
15 électriques peut et doit être auto-ajustée autour de cette valeur nominale, notamment pour tenir compte des variations de température ou de charge.

La figure 6 représente la partie électrique d'un actionneur piézo-  
20 électrique, à deux voies d'alimentation et deux transducteurs par voie, sous la forme d'un schéma équivalent. C'est préférentiellement sur un tel actionneur complet que sont réalisées les mesures précédentes de coefficient de couplage et de courant absorbé. Dans cette partie électrique, les composants schématisant le couplage des voies ont  
25 disparu (ou sont devenus négligeables) du fait de l'utilisation de transducteurs piézo-électriques à structure multicouches B1 et B3 sur la première voie, B2 et B4 sur la deuxième voie et d'une fréquence minimisant le couplage entre les voies. Les caractéristiques électriques des tensions U1 et U2 d'alimentation des voies sont telles que leurs  
30 fréquences d'excitations sont identiques (avec un déphasage souhaité, par exemple 90°) et sont choisies selon le procédé décrit plus haut.

Le schéma équivalent à un tel montage est celui de la figure 4, dans lequel l'impédance  $Z_C$  est remplacée par un court-circuit : en effet, l'invention permet de rendre l'impédance  $Z_C$  négligeable devant les  
5 impédances motionnelles  $Z_1$  ou  $Z_2$ .

Les générateurs  $G_1$  et  $G_2$  peuvent comprendre des inductances série supplémentaire de manière à compenser les capacités bloquées des transducteurs piézo-électriques, celles-ci étant devenues importantes.  
10 Ces inductances série sont représentées en trait pointillé et sont référencées par  $L_{s1}$  et  $L_{s2}$ .

L'intérêt de l'inductance  $L_{s2}$  est de pouvoir constituer avec la capacité bloquée  $C_{02}$  un circuit résonnant parallèle, ou circuit bouchon, sur une  
15 voie dont la tension est normalement nulle à un instant donné. A la fréquence d'accord, ceci revient à augmenter encore considérablement l'impédance motionnelle  $Z_2$  de cette voie en comparaison de l'impédance de couplage  $Z_C$ . Ce qui revient à rendre le terme de couplage encore plus négligeable.

20 Par ailleurs, l'inductance  $L_{s1}$ , comme il est déjà appliqué dans l'art antérieur, constitue un circuit résonnant série avec la capacité bloquée  $C_{01}$  pour le premier générateur  $G_1$ . En résumé, le premier générateur « ne voit pas » la seconde voie, grâce au couplage  $C_{02}$  et  $L_{s2}$ , tandis  
25 que les effets d'une forte capacité bloquée  $C_{01}$  sont compensés par  $L_{s1}$ . Réciproquement, le deuxième générateur ne voit pas la première voie d'alimentation, grâce au couplage  $C_{01}$  et  $L_{s1}$ , tandis que les effets d'une forte capacité bloquée  $C_{02}$  sont compensés par  $L_{s2}$ . Les valeurs d'inductances supplémentaires sont choisies de manière telle que la  
30 fréquence d'accord soit égale à la fréquence d'alimentation du moteur.

Revendications :

1. Procédé de détermination de la fréquence normale d'alimentation (FN) d'un actionneur piézo-électrique (2) à onde progressive  
5 comprenant un stator (23), un rotor (22) rappelé en contact contre le stator (23) et des transducteurs piézo-électriques (25, 26) précontraints, à structure multicouches, destinés à déformer le stator (23) et répartis selon deux voies d'alimentation chacune raccordée à un générateur (G1, G2), caractérisé en ce qu'il  
10 comprend :
- a. une phase de détermination des fréquences des générateurs (G1, G2) pour lesquelles le coefficient de couplage des voies est inférieur à un seuil donné au plus égal à 40% du coefficient de couplage des voies lorsque la fréquence d'alimentation  
15 provoque la résonance de l'actionneur et
  - b. une étape de sélection parmi ces fréquences, de la fréquence (FN) d'alimentation normale de l'actionneur par les deux générateurs.
- 20
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le coefficient de couplage est déterminé par la mesure de grandeurs électriques (U1, U2, I1, I2) lorsqu'une voie est alimentée par le premier générateur (G1) tandis que le deuxième générateur (G2)  
25 est remplacé par sa résistance interne (RG2) et en ce que le coefficient de couplage est calculé par le rapport de deux de ces grandeurs.
- 30
3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de sélection de la fréquence (FN) d'alimentation normale de l'actionneur consiste à choisir, parmi les fréquences

déterminées dans la première phase, la valeur de fréquence donnant la plus faible valeur pour le coefficient de couplage.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 2, caractérisé en ce que  
5 l'étape de sélection de la fréquence (FN) d'alimentation normale de l'actionneur consiste à choisir, parmi les fréquences déterminées dans la première phase, la valeur de fréquence donnant la plus faible valeur pour l'intensité (I1) fournie par le premier générateur.
- 10 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 2, caractérisé en ce que l'étape de sélection de la fréquence (FN) d'alimentation normale de l'actionneur comprend une sous-étape de définition d'une grandeur (C) à la fois croissante avec le coefficient de couplage et avec  
15 l'intensité absorbée, et une sous-étape consistant à choisir, parmi les fréquences déterminées dans la première phase, la valeur de fréquence donnant la plus faible valeur pour cette grandeur.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que dans la phase de détermination des fréquences, le seuil de  
20 coefficient de couplage vaut 20% du coefficient de couplage des voies lorsque la fréquence d'alimentation provoque la résonance de l'actionneur.
7. Actionneur piézo-électrique (2) à onde progressive comprenant un  
25 stator (23), un rotor (22) rappelé en contact contre le stator (23) et des transducteurs piézo-électriques (25, 26) précontraints, à structure multicouches et destinés à déformer le stator (23), répartis selon deux voies d'alimentation chacune raccordée à un générateur (G1, G2), caractérisé en ce que la fréquence commune des  
30 générateurs est telle que le coefficient de couplage des voies lorsque l'actionneur est alimenté à cette fréquence est inférieur à

40% du coefficient de couplage des voies lorsque la fréquence d'alimentation provoque la résonance de l'actionneur.

- 5 8. Actionneur piézo-électrique (2) selon la revendication 7, caractérisé en ce que la fréquence commune des générateurs est déterminée par le procédé selon l'une des revendications 1 à 5.
- 10 9. Actionneur piézo-électrique (2) selon la revendication 7, caractérisé en ce que la fréquence commune des générateurs est telle que le coefficient de couplage des voies lorsque l'actionneur est alimenté à cette fréquence est inférieur à 20% du coefficient de couplage des voies lorsque la fréquence d'alimentation provoque la résonance de l'actionneur.
- 15 10. Actionneur piézo-électrique (2) selon la revendication 9, caractérisé en ce que la fréquence commune des générateurs est déterminée par le procédé selon la revendication 6.
- 20 11. Actionneur piézo-électrique (2) selon l'une des revendications 7 à 10, caractérisé en ce que chaque générateur de tension est connecté en série à un élément inductif (Ls1, Ls2) et en ce que chacun de ces éléments inductifs constitue, à la fréquence d'alimentation, un circuit résonnant série avec les transducteurs de la voie alimentée.

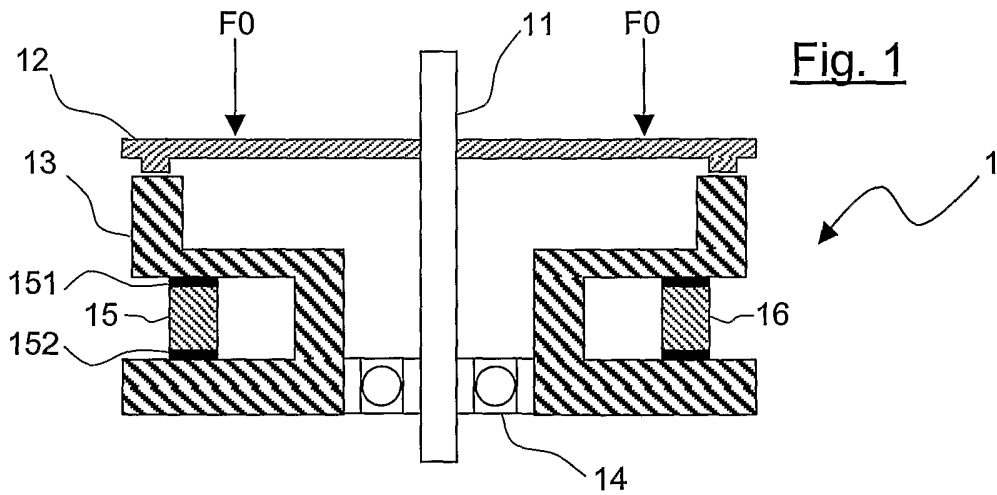


Fig. 1

Fig. 2

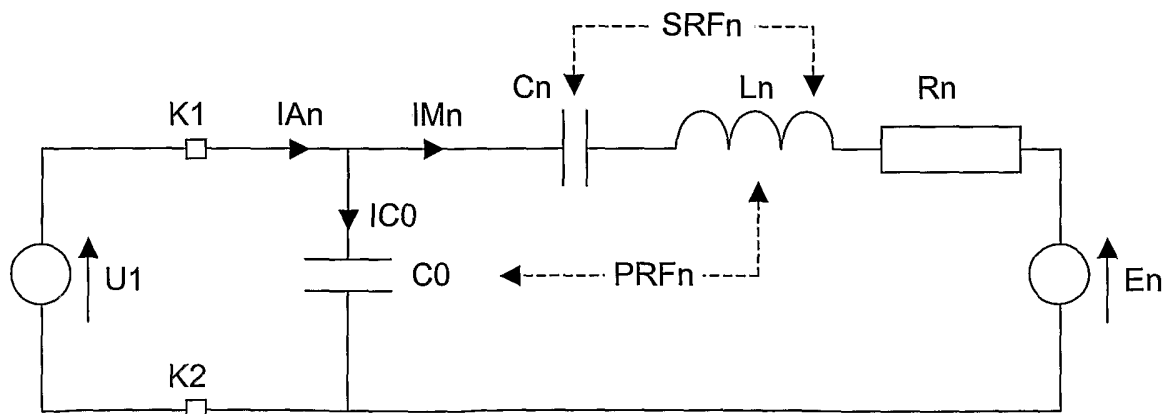
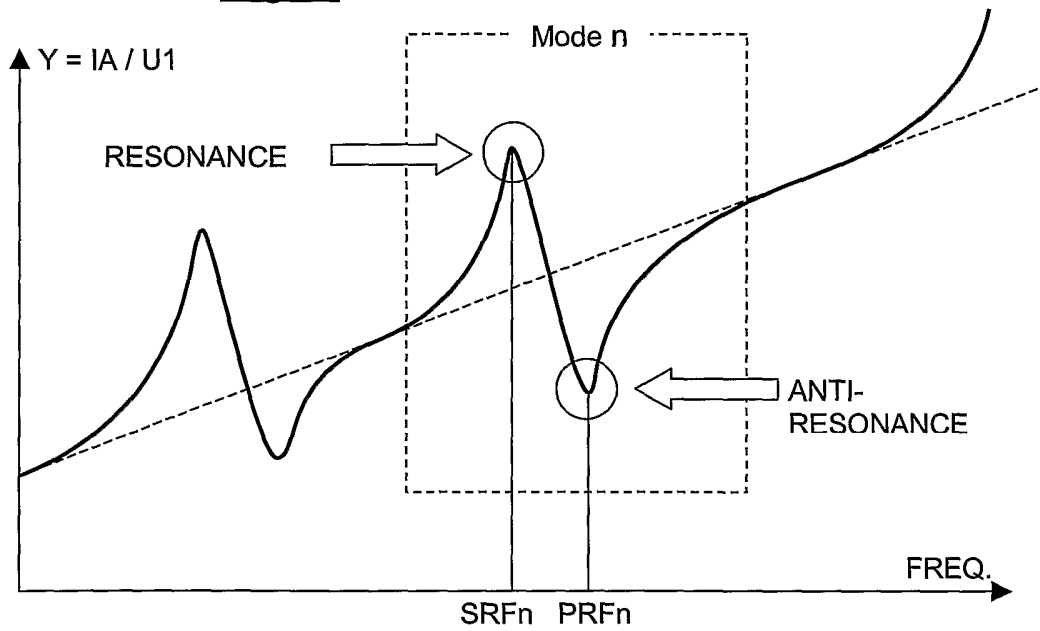


Fig. 3

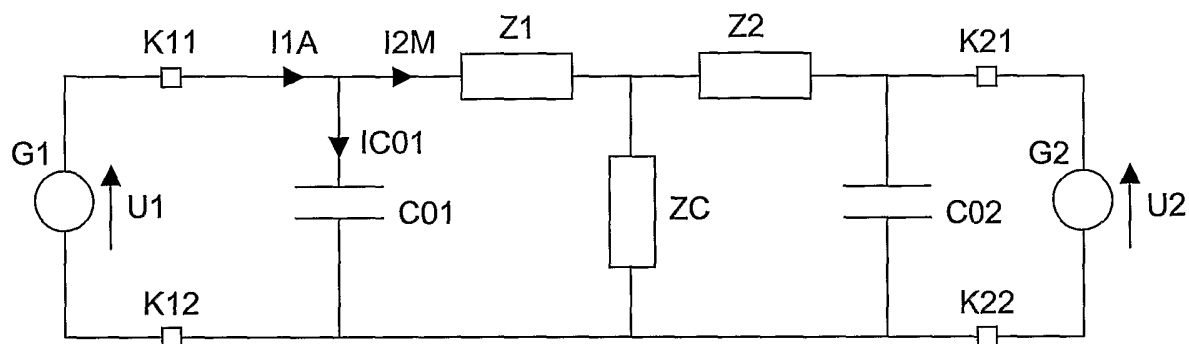


Fig. 4

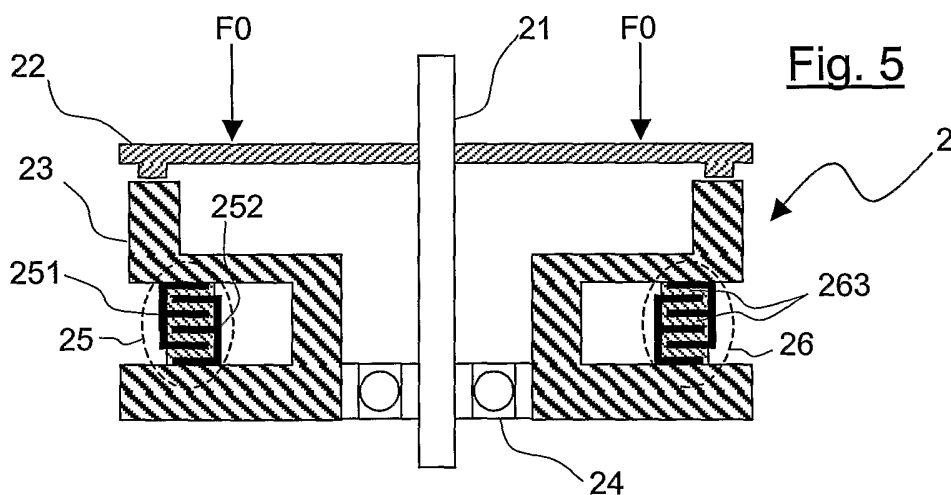


Fig. 5

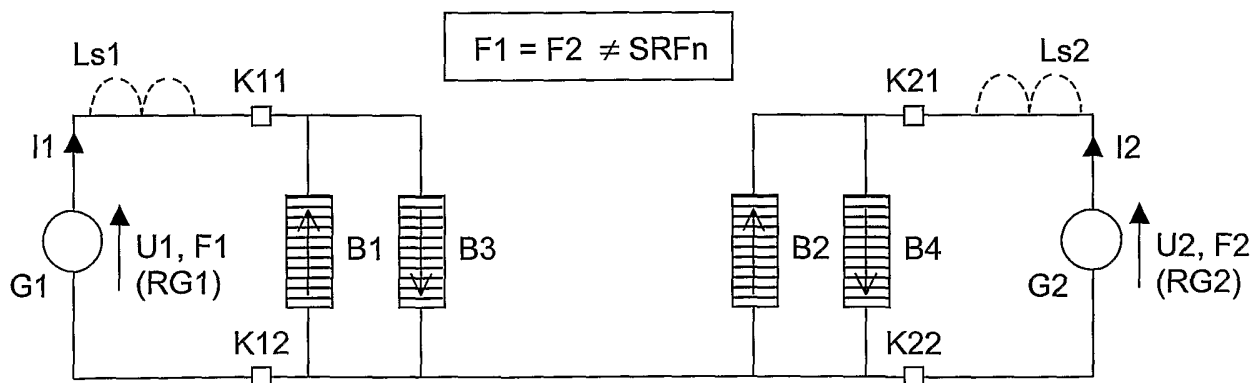


Fig. 6

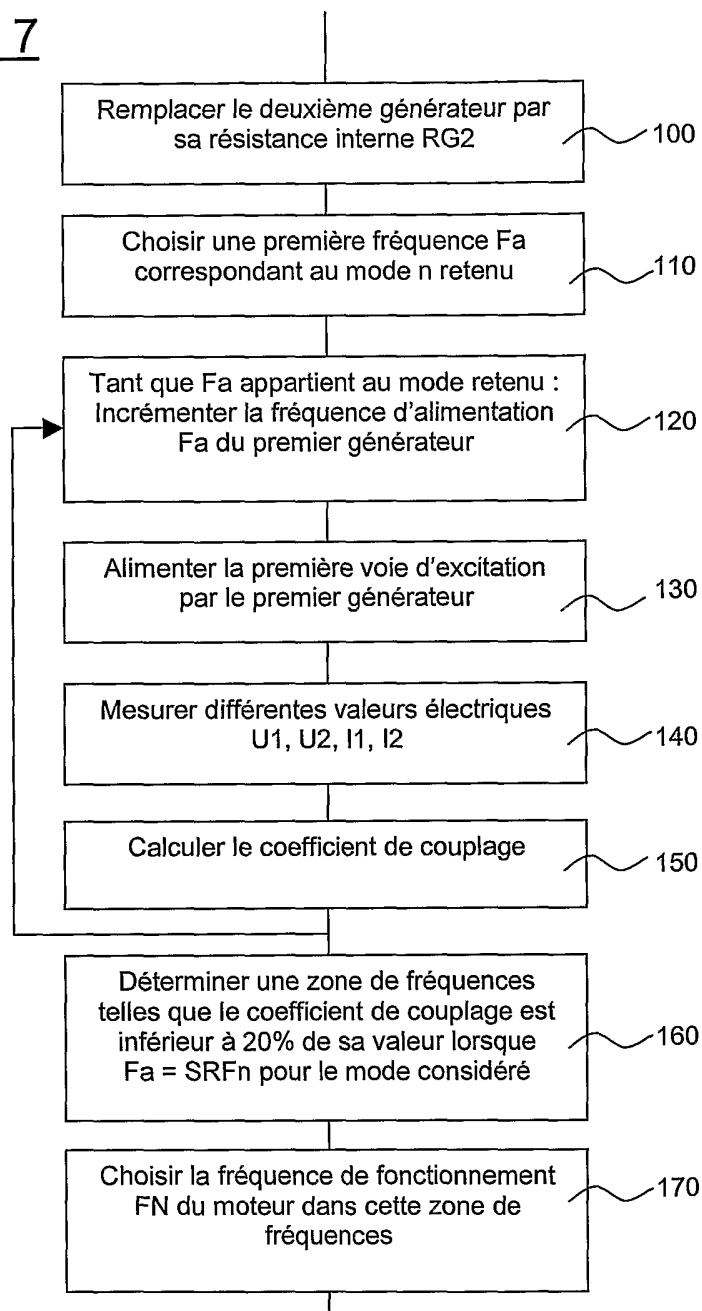
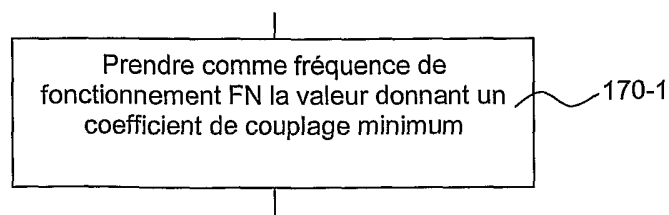
Fig. 7Fig. 8

Fig. 9

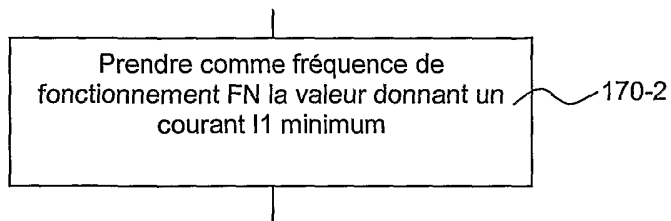
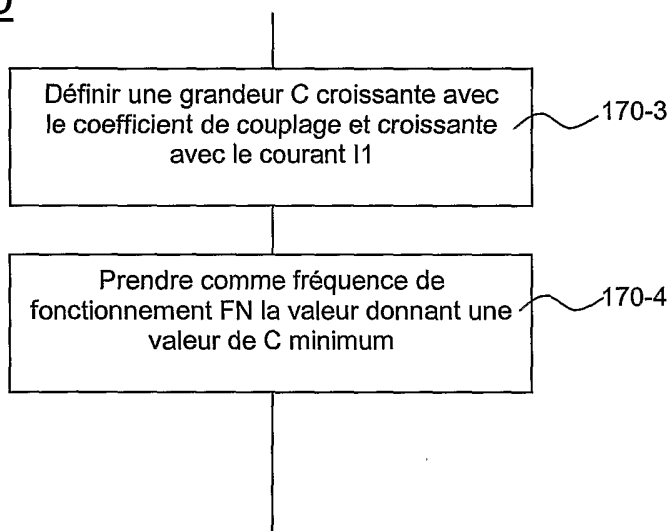


Fig. 10



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/IB2006/000748

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. H01L41/09

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)  
H01L H02N

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, WPI Data, PAJ, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2 715 780 A (IMRA EUROPE SA; TECHSONIC SARL) 4 August 1995 (1995-08-04) cited in the application page 1, line 30 - page 4, line 16; figures 1,2	1,7
A	----- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 182 (E-0916), 12 April 1990 (1990-04-12) -& JP 02 032771 A (SONY CORP), 2 February 1990 (1990-02-02) abstract; figures 1,2 ----- -/--	1,7

Further documents are listed in the continuation of Box C.

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.

\*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 August 2006

Date of mailing of the international search report

08/09/2006

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Köpf, C

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/IB2006/000748

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PETIT L ET AL: "Inter-phases mechanical coupling in ultrasonic motors" SENSORS AND ACTUATORS A, vol. 116, no. 3, 29 October 2004 (2004-10-29), pages 492-500, XP004572655 ISSN: 0924-4247 parties 2., 5., 6. -----	1,7
A	WO 95/05682 A (FIGEST BV ET AL) 23 February 1995 (1995-02-23) page 5 - page 7; figures -----	1,7

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/IB2006/000748

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2715780	A	04-08-1995	DE 69509686 D1 24-06-1999
			DE 69509686 T2 09-03-2000
			EP 0669662 A1 30-08-1995
			JP 7308082 A 21-11-1995
			US 5554905 A 10-09-1996
JP 02032771	A	02-02-1990	NONE
WO 9505682	A	23-02-1995	AT 163108 T 15-02-1998
			DE 69408464 D1 12-03-1998
			DE 69408464 T2 20-08-1998
			EP 0714559 A1 05-06-1996
			FR 2709214 A1 24-02-1995
			JP 9501818 T 18-02-1997
			US 5648696 A 15-07-1997

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°  
PCT/IB2006/000748

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
INV. H01L41/09

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)  
H01L H02N

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, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 2 715 780 A (IMRA EUROPE SA; TECHSONIC SARL) 4 août 1995 (1995-08-04) cité dans la demande page 1, ligne 30 - page 4, ligne 16; figures 1,2	1,7
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 182 (E-0916), 12 avril 1990 (1990-04-12) -& JP 02 032771 A (SONY CORP), 2 février 1990 (1990-02-02) abrégé; figures 1,2	1,7

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

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
- \*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

30 août 2006

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

08/09/2006

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Köpf, C

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	PETIT L ET AL: "Inter-phases mechanical coupling in ultrasonic motors" SENSORS AND ACTUATORS A, vol. 116, no. 3, 29 octobre 2004 (2004-10-29), pages 492-500, XP004572655 ISSN: 0924-4247 parties 2., 5., 6.	1,7
A	----- WO 95/05682 A (FIGEST BV ET AL) 23 février 1995 (1995-02-23) page 5 - page 7; figures -----	1,7

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale n°

PCT/IB2006/000748

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
FR 2715780	A	04-08-1995	DE	69509686 D1	24-06-1999
			DE	69509686 T2	09-03-2000
			EP	0669662 A1	30-08-1995
			JP	7308082 A	21-11-1995
			US	5554905 A	10-09-1996
-----					
JP 02032771	A	02-02-1990	AUCUN		
-----					
WO 9505682	A	23-02-1995	AT	163108 T	15-02-1998
			DE	69408464 D1	12-03-1998
			DE	69408464 T2	20-08-1998
			EP	0714559 A1	05-06-1996
			FR	2709214 A1	24-02-1995
			JP	9501818 T	18-02-1997
			US	5648696 A	15-07-1997
-----					