(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 008 160 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
30.06.2010 Bulletin 2010/26

(21) Numéro de dépôt: **07727747.3**

(22) Date de dépôt: **03.04.2007**

(51) Int Cl.:
G04C 5/00 *(2006.01)* ***G04B 17/06*** *(2006.01)*

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2007/053276

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2007/115985 (18.10.2007 Gazette 2007/42)

(54) **RESONATEUR COUPLE POUR SYSTEME REGLANT**

GEKOPPELTER RESONATOR FÜR EIN REGULIERUNGSSYSTEM

COUPLED RESONATOR FOR REGULATING SYSTEM

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorité: **07.04.2006 EP 06007397**

(43) Date de publication de la demande:
31.12.2008 Bulletin 2009/01

(73) Titulaire: **The Swatch Group Research and Development Ltd.**
2074 Marin (CH)

(72) Inventeurs:
- **HESSLER, Thierry**
  CH-1024 St-Aubin (CH)
- **TRÜMPY, Kaspar**
  CH-4500 Soleure (CH)

(74) Mandataire: **Couillard, Yann Luc Raymond et al**
ICB
Ingénieurs Conseils en Brevets SA
Faubourg de l'Hôpital 3
2001 Neuchâtel (CH)

(56) Documents cités:
CH-A- 443 748 **CH-A- 615 314**
FR-A- 563 314 **FR-A- 2 114 016**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 2 008 160 B1

Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un résonateur couplé pour un système réglant, c'est-à-dire un ensemble formé de deux résonateurs dont le couplage permet de stabiliser une fréquence et donc de la rendre plus indépendante des sollicitations extérieures. L'invention sera plus particulièrement illustrée par le système réglant d'un mouvement mécanique horloger pour lequel l'isochronisme est un facteur de qualité.

Arrière plan technolonique

[0002] Pour stabiliser la fréquence d'un système réglant balancier-spiral, de nombreux dispositif ont déjà été proposés. Le brevet GB 1 138 818 publié en 1967 décrit un dispositif de couplage dans lequel les alternances d'un premier oscillateur viennent exciter par chocs un diapason, c'est-à-dire sans liaison mécanique directe. Les dispositifs de régulation plus récents reposent essentiellement sur des dispositifs associant un régulateur mécanique, tel qu'un balancier-spiral, associé par un couplage électromagnétique à un régulateur électronique, ledit couplage étant essentiellement effectué au moyen d'aimants disposés dans les bras ou dans la serge de balancier. Un tel dispositif a, par exemple, été décrit dans le brevet US 3 937 001. De nombreux perfectionnements ont été apportés à ce dispositif de base, essentiellement au niveau de la conception ou de l'agencement des aimants, du circuit électronique et du deuxième résonateur, ainsi qu'au niveau de la source d'énergie nécessaire pour alimenter ledit circuit électronique. De tels perfectionnements sont par exemple décrit dans les brevets EP 0 679 968, EP 0 762 243, EP 0 806 710, EP 0 822 470, EP 0 848 306, EP 0 935 177 et EP 1 521 141.

[0003] Le document CH 615 314 divulgue un mouvement horloger comportant un ensemble balancier - spiral et un organe vibrant couplé magnétiquement avec un organe fixe pour la synchronisation du balancier.

[0004] Tous ces dispositifs de couplage ont l'inconvénient, soit d'être peu fiables, soit d'exiger l'assemblage d'un grand nombre de composants dont les fonctions propres doivent être ajustées les unes par rapport aux autres, ce qui contribue finalement à augmenter fortement le coût du produit final.

Résumé de l'invention

[0005] La présente invention vise donc à palier les inconvénients de l'art antérieur précité en procurant un résonateur couplé de conception plus simple et plus fiable.

[0006] A cet effet l'invention concerne un résonateur couplé comportant un premier résonateur à basse fréquence par exemple de l'ordre de quelques hertz et un deuxième résonateur à plus haute fréquence, par exemple de l'ordre de 100 Hz. L'invention concerne un résonateur couplé selon la revendication 1, ledit couplage permettant de stabiliser la fréquence en cas de perturbations extérieures, par exemple en cas de chocs.

[0007] Les deux résonateurs peuvent être fabriqués séparément en des matériaux identiques ou différents, puis assemblés mécaniquement par tout moyen connu de l'homme de l'art, tel que le collage, le rivetage, le soudage ou l'emboîtement.

[0008] Les deux résonateurs peuvent également être fabriqués en une seule pièce dans un unique matériau.

[0009] Les matériaux utilisés doivent avoir une certaine constante élastique et peuvent par exemple être choisis parmi les métaux ou alliage, ou les matériaux amorphes, monocristallins ou polycristallins, tels que le verre, le quartz et le silicium ou ses dérivés.

[0010] L'invention concerne un résonateur couplé formé par un spiral et un diapason, un tel résonateur pouvant être intégré dans le système réglant d'une pièce d'horlogerie, en particulier une montre bracelet susceptible de recevoir des chocs.

Brève description des dessins

[0011] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront dans la description suivante d'un exemple de réalisation, concernant le système réglant d'un mouvement horloger mécanique, donné à titre illustratif et non limitatif, en référence aux dessins annexés, dans lesquels:

- la figure 1 représente un premier mode de réalisation;
- la figure 2 est une représentation partielle d'un deuxième mode de réalisation;
- la figure 3 est une représentation partielle d'un troisième mode de réalisation;
- la figure 4 correspond à un graphe représentant les fréquences propres du système couplé, et
- la figure 5 correspond à un graphe montrant l'influence du couplage sur la stabilisation de la fréquence.

[0012] L'invention sera plus particulièrement illustrée par le résonateur couplé représenté à la figure 1 pour maintenir l'isochronisme d'un mouvement mécanique horloger.

[0013] Il comporte fondamentalement un premier résonateur constitué par un spiral 1 ayant typiquement une fréquence de l'ordre de quelques hertz et un deuxième résonateur constitué par un diapason 2 ayant typiquement une fréquence de l'ordre du kilohertz. La courbe à l'intérieur 3 du spiral 1 est fixée de façon classique sur une virole 5 pour l'assujettissement à un axe de balancier et le diapason 2 comporte, de façon également connue deux bras 4, 6 reliés par un pied 8. Le pied 8 du diapason 2 est fixé de façon connue à une pièce fixe du mouvement horloger, tel que le coq.

[0014] Comme on peut le voir, le spiral 1 et le diapason 2 sont reliés mécaniquement en permanence. Dans ce

mode de réalisation le bras 6 du diapason 2 est prolongé par la courbe à l'extérieur 7 du spiral 1.

[0015] En d'autres termes, les deux résonateurs sont réalisés en une seule pièce, par des techniques connues qui dépendent des matériaux utilisés. Ces matériaux sont évidemment des matériaux ayant une certaine constante élastique "k", tels que les métaux et alliages, ou les matériaux amorphes, monocristallins ou polycristallins, tels que le verre, le quartz, le silicium ou ses dérivés.

[0016] Les techniques de conformation de ces matériaux par étampage, technique LIGA, gravage, photolithographie, ou autres sont bien connues de l'homme de l'art et ne seront donc pas davantage décrites.

[0017] Ce mode de réalisation de base fera plus loin l'objet d'un exemple montrant comment un tel couplage a un effet favorable sur la stabilisation de la fréquence.

[0018] En se référant maintenant à la figure 2, on a représenté une variante de réalisation. Cette variante diffère du mode de réalisation précédent en ce que le premier résonateur, à savoir le spiral 1, et le deuxième résonateur, à savoir le diapason 2, sont initialement deux pièces indépendantes pouvant être réalisées dans des matériaux différents. Entre ces deux pièces, il est créé une liaison mécanique. Dans l'exempte représenté, le bras 6 du diapason 2 comporte une encoche 10 dans laquelle on engage l'extrémité de la courbe à l'extérieur 7 du spiral, en complétant éventuellement la liaison mécanique par collage. D'autres modes de liaison mécanique, bien connus de l'homme de l'art, sont évidemment possibles. Dans le mode de réalisation représenté, le pied 8 du diapason 2 comporte en outre un rétrécissement 12 permettant la fixation à une partie fixe du mouvement horloger, et pouvant influencer la constante de couplage "k_c" entre les deux résonateurs.

[0019] La figure 3 représente d'autres variantes permettant d'avoir une grande liberté pour ajuster la constante de couplage "k_c" entre le premier et le deuxième résonateur et la fréquence propre du deuxième résonateur. Comme on peut le voir, le pied 8 peut comporter des évidements 14 de matière qui vont permettre de modifier la constante de couplage "k_c" Ils pourraient également être effectués sur toute autre partie du diapason 2, notamment sur le bras libre 4 pour en modifier la masse "m" et donc la fréquence propre du diapason. Inversement, selon un mode de réalisation non représenté, il serait possible d'ajouter de la masse en un endroit quelconque du deuxième résonateur.

[0020] La figure 3 montre également une autre variante, qui peut être combinée avec la variante précédente, pour modifier la fréquence propre du premier résonateur. Le bras libre 4 comporte en effet une masselotte 16, mobile sur ledit bras 4 et pouvant être immobilisée en un endroit déterminé, par exemple au moyen d'une vis de serrage 18.

[0021] Selon encore une autre variante non représentée, lorsque le diapason 2 est réalisé en quartz selon des axes cristallographiques permettant d'obtenir un effet piézoélectrique, des électrodes peuvent être prévues sur les bras 4, 6 pour générer de l'énergie électrique. Dans le cas d'une montre bracelet cette énergie pourra par exemple être utilisée pour éclairer le cadran.

[0022] En se référant maintenant aux figures 4 et 5, on donne ci-après un exemple correspondant à un résonateur couplé selon le mode de réalisation représenté à la figure 1. Le premier résonateur a une constante élastique $k_1 = 5 \cdot 10^{-6}$ N·m/rad et une inertie $I_1 = 16 \cdot 10^{-10}$ kg·m^2, ce qui correspond à une fréquence propre $f_1 =$ 9.2 Hz. Le second résonateur a une constante élastique $k_2 = 1 \cdot 10^{-4}$ N·m/rad et une inertie $I_2 = 5 \cdot 10^{-10}$ kg·m^2, ce qui correspond à une fréquence propre $f_2 = 71$ Hz. Lorsque les deux résonateurs sont couplés de façon mécanique, la valeur de la constante de couplage "k_c" dépend de la forme du pied qui joint les deux résonateurs. On a fait varier cette fréquence de couplage k_c entre les valeurs $1 \cdot 10^{-8}$ et $1 \cdot 10^{-4}$ et représenté à la figure 4 avec une échelle logarithmique les fréquences propres du système couplé. Comme on peut le voir, les fréquences f_1 et f_2 sont influencées par la variation du coefficient de couplage k_c.

[0023] Le graphe de la figure 5 correspond, en fonction d'une variation du coefficient du couplage k_c dans les limites sus-indiquées, à une étude de perturbation sur le premier résonateur par exemple due à un choc, c'est à dire à une comparaison de l'effet de la perturbation sur une variation de fréquence du premier résonateur lorsqu'il est seul et lorsqu'il est couplé avec le deuxième résonateur, supposé stable.

[0024] Comme on peut le voir, pour un coefficient de couplage $k_c \leq 1.10^{-6}$ on obtient une stabilisation de plus de 20% ce qui montre l'intérêt d'un résonateur couplé selon l'invention pour stabiliser la fréquence, par exemple celle du système réglant d'une pièce d'horlogerie, par une conception simple et relativement moins croûteuse.

Revendications

1. Résonateur couplé comportant un premier résonateur à basse fréquence et un deuxième résonateur à plus haute fréquence, le premier résonateur et le deuxième résonateur comportant des moyens de couplage mécanique permanents, le premier résonateur étant un spiral (1) et le deuxième résonateur étant un diapason (2) comportant deux bras (4, 6) reliés par un pied (8) **caractérisé en ce que** l'un des bras (6) du diapason (2) est solidaire de la courbe à l'extérieur (7) du spiral (1) et l'autre bras (4) du diapason (2) est libre.

2. Résonateur couplé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le bras libre (4) du diapason (2) comporte en outre une masselotte (16) pouvant être déplacée pour modifier sa fréquence propre et ajuster ainsi la fréquence du résonateur couplé.

3. Résonateur couplé selon la revendication 1 ou 2,

caractérisé en ce que le bras libre (4) du diapason (2) comporte en outre des zones (14) facilement usinables permettant de modifier sa fréquence propre et ajuster ainsi la fréquence du résonateur couplé.

4. Résonateur couplé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le pied (8) du diapason (2) comporte en outre des évidements (14) permettant de modifier la constante de couplage (K_C) et ajuster ainsi la fréquence du résonateur couplé.

5. Résonateur couplé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le premier résonateur a une fréquence propre de l'ordre de quelques hertz et le deuxième résonateur une fréquence propre de l'ordre du hectohertz.

6. Résonateur couplé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le premier et le deuxième résonateur sont réalisés en des matériaux identiques ou différents en étant assemblés par collage, rivetage, soudage, emboîtement ou autre.

7. Résonateur couplé selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le premier et le deuxième résonateur viennent de matière avec un même matériau.

8. Résonateur couplé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les matériaux utilisés pour les premier et deuxième résonateurs sont choisis parmi les métaux ou alliages, ou les matériaux amorphes, monocristallins ou polycristallins, tels que le verre, le quartz et le silicium ou ses dérivés.

9. Résonateur couplé selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le deuxième résonateur (2) est réalisé à partir de quartz selon les orientations cristallographiques et comporte des électrodes sur ses bras (4, 6) permettant d'obtenir entre ces dites électrodes de l'énergie électrique par effet piézoélectrique dudit quartz.

10. Pièce d'horlogerie à mouvement mécanique, **caractérisée en ce qu'**elle comporte comme système réglant un résonateur couplé selon une quelconque des revendications précédentes.

Claims

1. Coupled resonator including a first low frequency resonator and a second higher frequency resonator, the first resonator and the second resonator including permanent mechanical coupling means, the first resonator being a balance spring (1) and the second resonator being a tuning fork (2) including two arms (4, 6) connected by a foot (8), **characterized in that** one of the arms (6) of the tuning fork (2) is secured to the outer curve (7) of the balance spring (1) and the other arm (4) of the tuning fork (2) is free.

2. Coupled resonator according to claim 1, **characterized in that** the free arm (4) of the tuning fork (2) further includes an inertia block (16) able to be moved to alter the natural frequency thereof and thus to adjust the frequency of the coupled resonator.

3. Coupled resonator according to claim 1 or 2, **characterized in that** the free arm (4) of the tuning fork (2) further includes zones (14) that are easy to machine in order to alter the natural frequency of said fork and thus to adjust the frequency of the coupled resonator.

4. Coupled resonator according to any of the preceding claims, **characterized in that** the foot (8) of the tuning fork (2) comprises recesses (14) in the material that will enable the coupling constant (k_c) to be altered.

5. Coupled resonator according to any of the preceding claims, **characterized in that** the first resonator has a natural frequency of the order of several hertz and the second resonator has a natural frequency of the order of hundreds of hertz to several hundred hertz.

6. Coupled resonator according to any of the preceding claims, **characterized in that** the first and the second resonator are made of identical or different materials and are assembled by bonding, rivets, welding, snap fit or other means.

7. Coupled resonator according to any of the claims 1 to 5, **characterized in that** the first and the second resonator are integral and made of the same material.

8. Coupled resonator according to any of the preceding claims, **characterized in that** the materials used for the first and second resonators are selected from among metals or alloys, or amorphous, monocrystalline or polycrystalline materials, such as glass, quartz and silicon or compounds thereof.

9. Coupled resonator according to claim 8, **characterized in that**, the second resonator (2) is made of quartz along crystallographic orientations and includes electrodes on its arms (4, 6) for generating electrical energy from piezoelectric effect of said quartz.

10. Timepiece with a mechanical movement, **characterized in that** it includes as a regulating system a

coupled resonator according to any of the preceding claims.

Patentansprüche

1. Gekoppelter Resonator, der einen ersten Resonator mit niedriger Frequenz und einen zweiten Resonator mit höherer Frequenz umfasst, wobei der erste Resonator und der zweite Resonator Mittel für die permanente mechanische Kopplung aufweisen, wobei der erste Resonator eine Spirale (1) ist und der zweite Resonator eine Stimmgabel (2) ist, die zwei Arme (4, 6) aufweist, die durch einen Fuß (8) verbunden sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** einer der Arme (6) der Stimmgabel (2) mit der äußeren Windung (7) der Spirale (1) verbunden ist und der andere Arm (4) der Stimmgabel (2) frei ist.

2. Gekoppelter Resonator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der freie Arm (4) der Stimmgabel (2) außerdem ein Fliehgewicht (16) aufweist, das verlagert werden kann, um seine Eigenfrequenz zu modifizieren und um somit die Frequenz des gekoppelten Resonators einzustellen.

3. Gekoppelter Resonator nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der freie Arm (4) der Stimmgabel (2) außerdem einfach bearbeitbare Zonen (14) aufweist, die ermöglichen, seine Eigenfrequenz zu modifizieren und somit die Frequenz des gekoppelten Resonators einzustellen.

4. Gekoppelter Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Fuß (8) der Stimmgabel (2) außerdem Aussparungen (14) aufweist, die ermöglichen, die Kopplungskonstante (K_c) zu modifizieren und somit die Frequenz des gekoppelten Resonators einzustellen.

5. Gekoppelter Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Resonator eine Eigenfrequenz in der Größenordnung von einigen Hertz hat und der zweite Resonator eine Eigenfrequenz in der Größenordnung von hundert Hertz hat.

6. Gekoppelter Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste und der zweite Resonator aus gleichen oder verschiedenen Materialien verwirklicht sind, indem sie durch Kleben, Nieten, Schweißen, Tiefziehen oder auf andere Weise zusammengefügt sind.

7. Gekoppelter Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste und der zweite Resonator einteilig aus demselben Material gebildet sind.

8. Gekoppelter Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Materialien, die für den ersten und den zweiten Resonator verwendet werden, aus Metallen oder Legierungen, amorphen Materialien, monokristallinen oder polykristallinen Materialien, etwa Glas, Quarz, Silicium oder ihren Derivaten, gewählt sind.

9. Gekoppelter Resonator nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Resonator (2) ausgehend von Quarz längs der Kristallorientierungen verwirklicht ist und an seinen Armen (4, 6) Elektroden aufweist, die ermöglichen, zwischen diesen Elektroden durch piezoelektrischen Effekt des Quarzes elektrische Energie zu erhalten.

10. Zeitmessgerät mit mechanischem Uhrwerk, **dadurch gekennzeichnet, dass** es ein System enthält, das einen gekoppelten Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche reguliert.

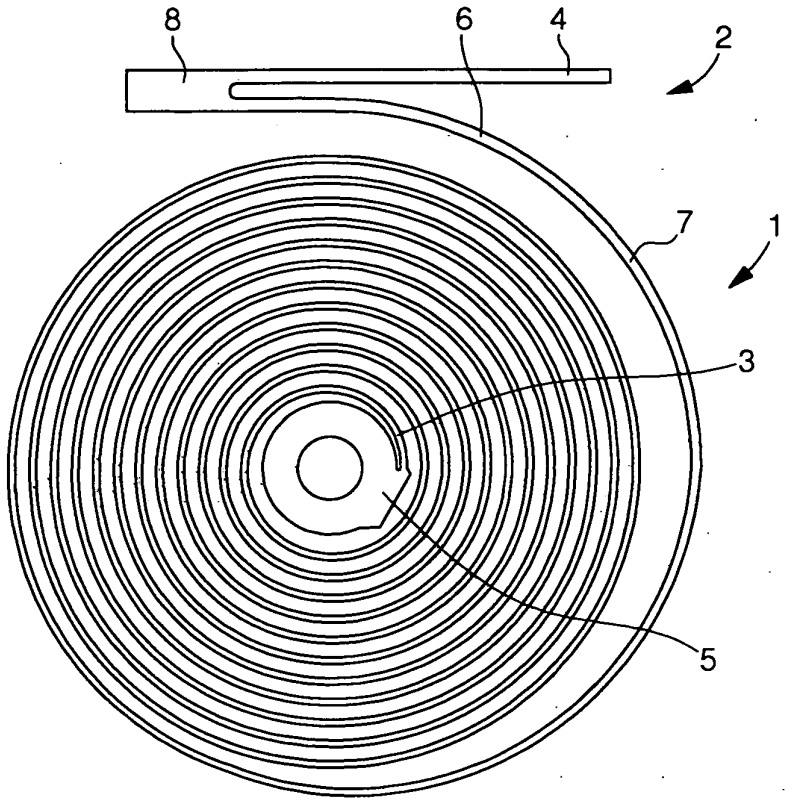


Fig. 1

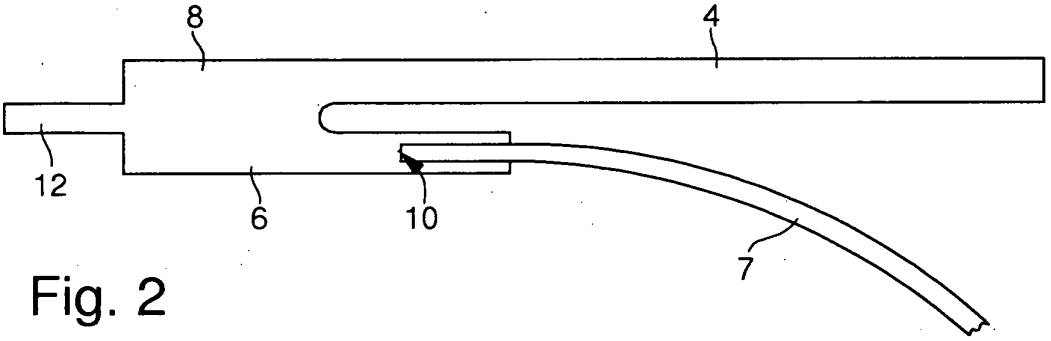


Fig. 2

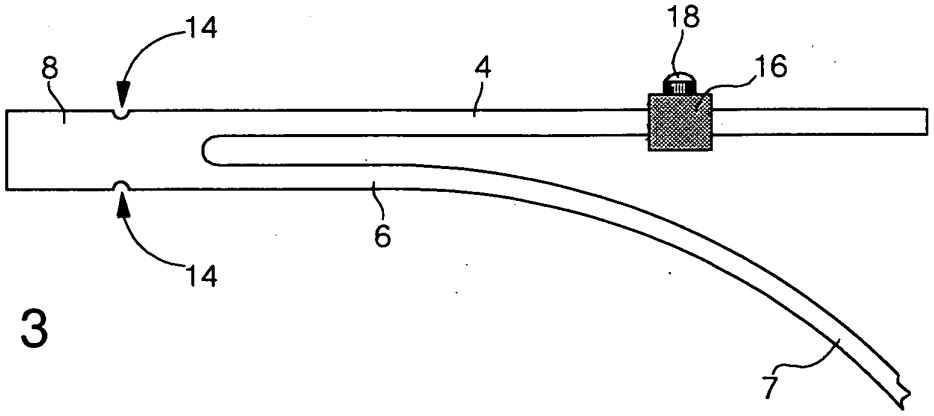


Fig. 3

Fig. 4

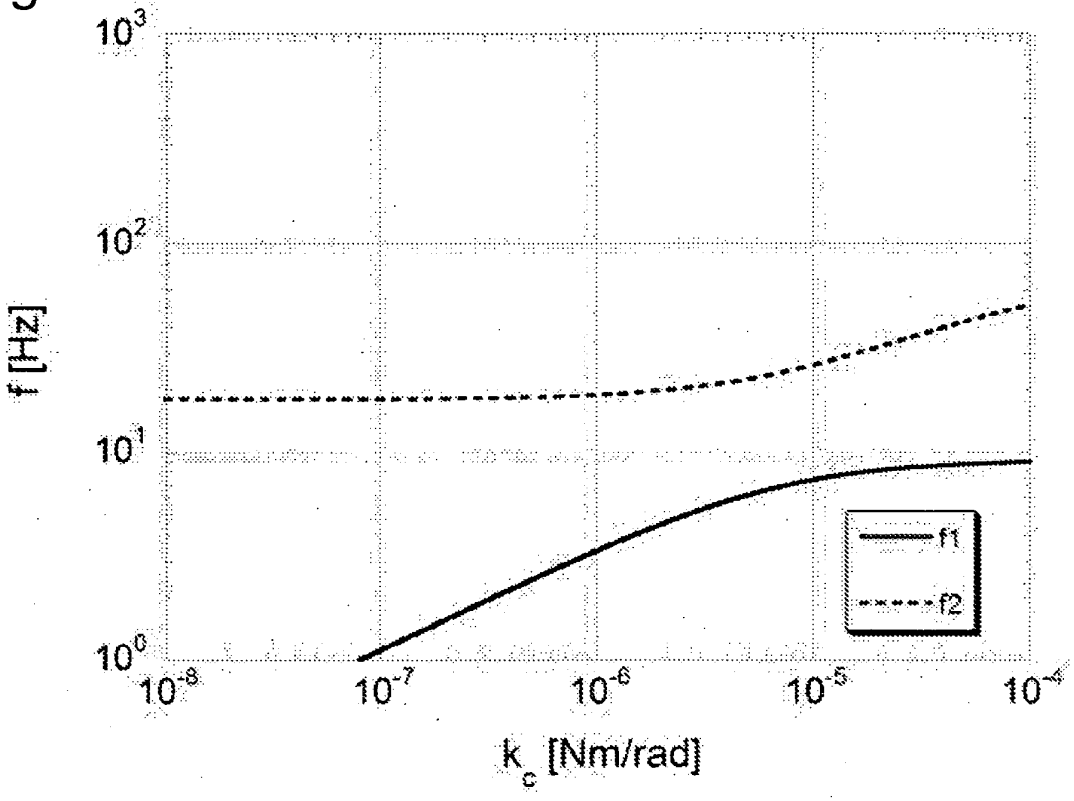
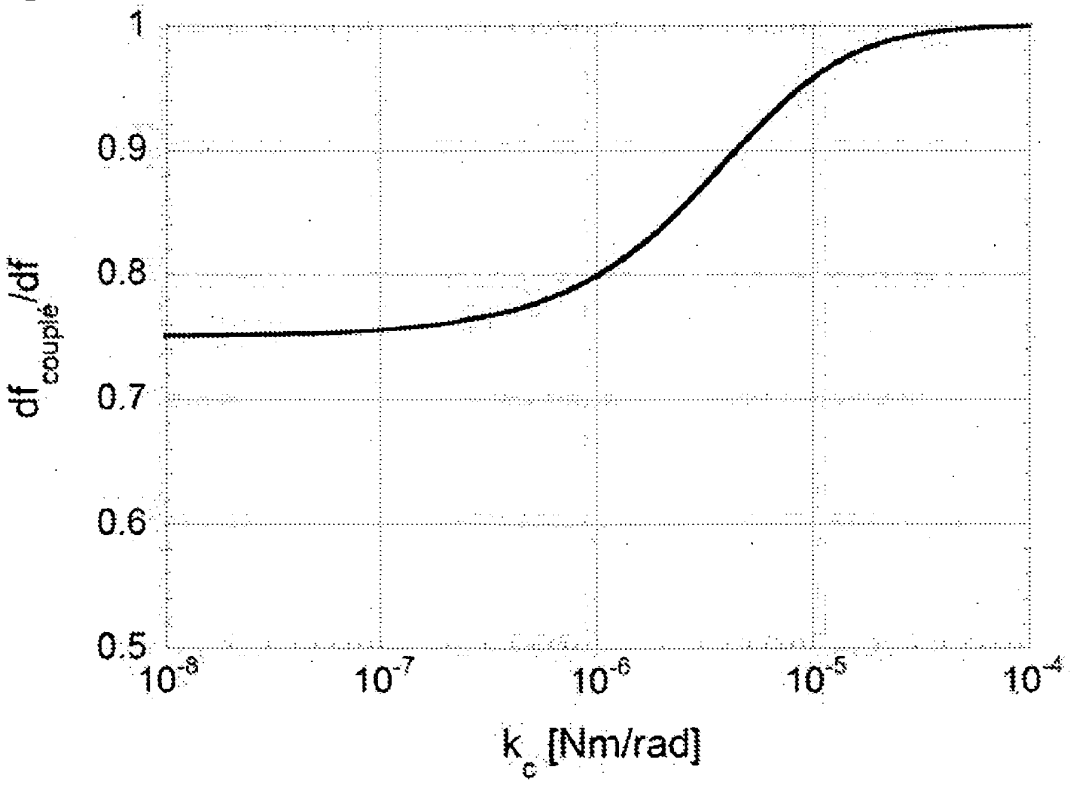

10^3
10^2
10^1
10^0
f [Hz]
f1
f2
10^-8
10^-7
10^-6
10^-5
10^-4
k_c [Nm/rad]

Fig. 5


1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
df_couple/df
10^-8
10^-7
10^-6
10^-5
10^-4
k_c [Nm/rad]

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- GB 1138818 A **[0002]**
- US 3937001 A **[0002]**
- EP 0679968 A **[0002]**
- EP 0762243 A **[0002]**
- EP 0806710 A **[0002]**
- EP 0822470 A **[0002]**
- EP 0848306 A **[0002]**
- EP 0935177 A **[0002]**
- EP 1521141 A **[0002]**
- CH 615314 **[0003]**