(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) **N° de publication :** **2 745 476**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **96 02608**

(51) Int Cl[6] : **A 43 B 7/04**, H 02 N 2/18

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 01.03.96.

(30) **Priorité** :

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande :** 05.09.97 Bulletin 97/36.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *THOMSON CSF SOCIETE ANONYME* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** MAZEROLLE DENIS, JOFFRE PASCAL et MICHEL CLAUDE.

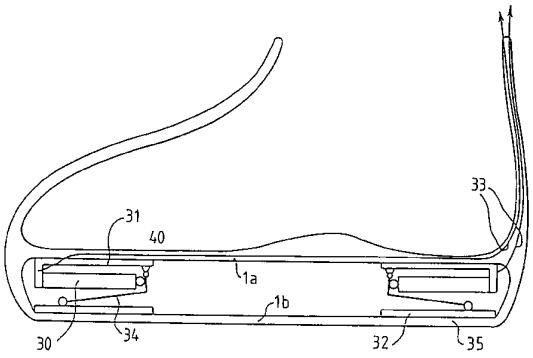
(73) **Titulaire(s) :** .

(74) **Mandataire :** THOMSON CSF.

(54) SEMELLES DE CHAUSSURE A RECUPERATION D'ENERGIE.

(57) La semelle comporte des transducteurs (40) répartis à l'intérieur de la semelle, entre une paroi supérieure (1_a) et une paroi inférieure (1_b) horizontales, dans des zones qui subissent la compression la plus forte pour transformer l'énergie mécanique créée dans la semelle lors de la marche, en énergie électrique. Chaque transducteur (40) est maintenu en compression entre les deux parois (1_a, 1_b) de la semelle par l'intermédiaire de moyens de couplage mécanique (34, 46, 47).

Les applications vont à l'alimentation d'appareils électroniques portatifs.



FR 2 745 476 - A1

La présente invention concerne une semelle de chaussure à récupération d'énergie.

L'utilisation de dispositifs électroniques portables de plus en plus performants fait apparaître le besoin de sources d'énergie électrique compactes de haute capacité. Actuellement, la quasi-totalité de ces dispositifs sont alimentés soit par des piles à usage unique soit par des accumulateurs rechargeables. Toutefois, malgré les progrès de ces composants, il semble que leur capacité de stockage soit limitée dans les années à venir, compte tenu de l'évolution prévisible de la technologie, à 200 W.heure/kg pour les piles à usage unique et à 100W.heure/kg pour les accumulateurs (technologie "lithium ion"). Ainsi, avec ce type de technologie, pour pouvoir faire fonctionner un micro-ordinateur portable avec disque dur et écran couleur de type "matrice active" (consommation estimée : 20W) pendant une journée (10 heures), il faudrait un accumulateur pesant au moins 2kg.

Il paraît donc important de pouvoir disposer de sources d'énergie électrique capables d'alimenter des dispositifs électroniques portables ou pouvant servir à charger les accumulateurs mentionnés ci-dessus en récupérant l'énergie disponible dans l'environnement immédiat de l'utilisateur sans imposer un effort ou une gêne supplémentaire à celui-ci lorsqu'il évolue dans son environnement.

Ce type de système peut trouver des applications aussi bien dans le domaine de l'électronique grand public où il peut servir à alimenter par exemple un micro-ordinateur portable, un équipement vidéo ou un GPS que dans le domaine militaire où il peut permettre au fantassin d'utiliser de façon autonome un système de communication et un équipement informatisé.

Le premier type d'énergie disponible dans l'environnement immédiat de l'utilisateur auquel on peut penser est l'énergie solaire ; toutefois, son emploi semble limité puisque, même avec des capteurs solaires de rendement élevé, il faut une surface de capteurs d'environ $1m^2$ pour disposer de 20W électriques sous une luminosité moyenne.

Un autre type d'énergie envisageable est l'énergie mécanique engendrée par les mouvements de l'utilisateur; ainsi, des générateurs de type dynamo chargeant un accumulateur sont utilisés actuellement dans des

montres commercialisées sous la marque de fabrique "Seiko" par exemple. Toutefois, ces dispositifs nécessitent que l'utilisateur, au cours de ses mouvements, fournisse une énergie mécanique supplémentaire ; ainsi, seule une énergie faible peut être récupérée si l'on ne veut pas provoquer une fatigue sensible.

Pour obtenir une énergie plus importante sans imposer de mouvements supplémentaires à l'utilisateur il est connu de la demande de brevet japonaise 06-141524 de récupérer une partie de l'énergie mécanique développée dans les talons des chaussures d'un marcheur en utilisant des transducteurs piézoélectriques. Cependant le rendement énergétique d'un tel dispositif reste faible et est insuffisant pour satisfaire aux besoins énergétiques des dispositifs précités.

Le but de l'invention est de palier les inconvénients précités.

A cet effet, l'invention a pour objet une semelle de chaussure à récupération d'énergie pour marcheur comportant des transducteurs répartis à l'intérieur de la semelle, entre une paroi supérieure et une paroi inférieure horizontales, dans des zones qui subissent la compression la plus forte pour transformer l'énergie mécanique créée dans la semelle lors de la marche, en énergie électrique caractérisé en ce que chaque transducteur est maintenu en compression entre les deux parois de la semelle par l'intermédiaire de moyens de couplage mécanique.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront dans la description qui suit faite en regard des dessins annexés qui représentent.

La figure 1 un mode de réalisation d'une semelle à récupération d'énergie selon l'invention.

Les figures 2 à 7 des schémas pour illustrer le comportement des capteurs piézoélectriques équipant la semelle de la figure 1.

La figure 8 un circuit de charge qui peut être couplé à la sortie des capteurs d'énergie de la figure 1.

Les figures 9 à 10 différents modes de réalisation de transducteurs pouvant équiper une semelle à récupération d'énergie selon l'invention.

La semelle à récupération d'énergie selon l'invention permet de récupérer sous forme électrique une partie de la puissance mécanique

dépensée par l'utilisateur lors de l'exercice normal de la marche, sans que ce dernier ait à dépenser une puissance supplémentaire.

Afin de récupérer une partie importante de cette puissance, normalement dissipée sous forme thermique dans les semelles du marcheur, celle-ci est transformée en puissance électrique pour recharger un accumulateur. Cette opération se traduit pour le marcheur par une sensation d'amortissement similaire à celle qu'il aurait avec des semelles classiques.

Pour fixer quelques ordres de grandeur : la puissance dissipée dans les semelles d'un marcheur peut atteindre 20W à une fréquence voisine de 1Hz lors d'une marche normale, 200W à 2Hz pour une marche rapide ; l'amplitude de déformation des semelles est de l'ordre de quelques mm. Une puissance mécanique du même ordre de grandeur ou supérieure à la puissance dissipée est restituée au marcheur grâce à l'élasticité des semelles.

Selon un mode de réalisation de l'invention qui est représenté à la figure 1 la semelle de la chaussure 1 comprend des transducteurs 2, 3, 4, permettant de transformer la puissance mécanique en puissance électrique.

Les transducteurs sont placés dans les zones de la semelle 1 ou l'énergie est le plus fortement dissipée, principalement le talon 5 et la partie avant 6 de la semelle, qui subissent une forte compression en supportant alternativement la quasi-totalité du poids du marcheur, éventuellement la partie 7 située entre ces deux zones qui subit une flexion importante. Ainsi, au cours de la marche, les contraintes s'enchaînent périodiquement dans l'ordre suivant : compression du talon droit, compression de l'avant de la semelle droite et flexion quasi-simultanée du milieu de la semelle droite, compression du talon gauche, compression de l'avant de la semelle gauche et flexion quasi-simultanée du milieu de la semelle gauche etc.

Ces transducteurs, de type électromagnétique, piézo-électrique, tribo-électrique ou autre, peuvent être associés en parallèle ou en série, par l'intermédiaire de circuits d'interface, non représentés, au circuit de charge d'un accumulateur. Les différents circuits ainsi que l'accumulateur peuvent être placés soit directement sur la chaussure, soit déportés, par exemple à la ceinture du marcheur.

Les transducteurs peuvent également servir de capteurs sismiques sans que leur fonction de récupération d'énergie soit notablement

perturbée. Il suffit pour cela qu'une faible portion du courant qu'ils engendrent soit dirigée vers une électronique de traitement adéquate.

Le principe d'amortissement dans une chaussure ordinaire est rappelé de façon simplifiée dans les figures 2 et 3, la figure 3 correspondant au schéma électrique équivalent au schéma mécanique de la figure 2. Le marcheur est symbolisé par une masse m à laquelle est appliquée une force sinusoïdale F ; la semelle qui est couplée mécaniquement au marcheur est symbolisée par un ressort de raideur k mis en parallèle avec un amortisseur de coefficient de frottement α. Sur la figure 3 le courant x' apparaissant dans le schéma équivalent est la dérivée par rapport au temps du déplacement vertical x de la masse m.

La masse m est équivalente à une inductance L, le ressort de raideur K est équivalent à une capacité C et l'amortisseur de coefficient 2 est équivalent à une résistance R.

Le principe d'amortissement mis en oeuvre dans l'invention est montré sur les figures 4 et 5, la figure 5 correspondant à un schéma équivalent de la figure 4.

Sur la figure 4, la masse m du marcheur est couplée mécaniquement à un transducteur 20 transformant l'énergie mécanique fournie par la force F appliquée par la masse m du marcheur sur le transducteur 20 en une énergie électrique d'alimentation le circuit de charge d'accumulateurs 21. Le circuit équivalent sur la figure 5 se compose de deux inductances L et L_0, d'une capacité C_0 d'une résistance R_0 reliées en série avec l'enroulement primaire d'un transformateur de rapport de transformation T, qui transforme un couple de grandeurs mécaniques (force, vitesse) en un couple de grandeurs électriques (tension, courant) l'ensemble étant alimenté par un générateur de force F. L'inductance mécanique L représente la masse du marcheur, l'inductance mécanique L_0 celle du transducteur, la capacité mécanique C_0 la raideur du transducteur et la résistance mécanique R_0 les pertes d'énergie mécanique dans le transducteur se traduisent par exemple par une dissipation de chaleur. Le transducteur 20 débite dans le circuit de charge 21 de l'accumulateur. L'impédance électrique interne Z_0 du transducteur est figurée sur la figure 5 au secondaire du transformateur de rapport T. A une fréquence très inférieure à la fréquence de résonance propre du transducteur, l'impédance

Z_0 est inductive dans le cas d'un transducteur électromagnétique, capacitive dans le cas d'un transducteur piézo-électrique et comprend une partie résistive correspondant aux pertes électriques. Le transformateur converti les paramètres mécaniques, force F et vitesse x', en paramètres électriques, tension U et courant I, le rapport T représente son taux de conversion.

Le schéma de la figure 5 peut être simplifié; par le schéma de la figure 6 suivant lequel le circuit de charge 21 est alimenté en parallèle avec la capacité C_0 par un générateur de tension U=T.F au travers d'une capacité égale $\frac{K^2}{1-K^2}C_0$ une capacité de valeur C_0 étant placé en parallèle sur l'entrée du circuit de charge 21. Ce schéma est équivalent à celui d'un transducteur piézo-électrique de capacité C_0 de coefficient de couplage électromécanique K, de taux de conversion T, travaillant avec une fréquence de fonctionnement f sensiblement inférieure à la fréquence propre du système, pour rendre négligeable l'effet des masses, c'est-à-dire des inductances. On suppose dans ce schéma que les pertes mécaniques et électriques sont négligeables.

Le schéma de la figure 6 est équivalent en application du théorème de Thévenin au schéma de la figure 7 qui est composé d'un générateur de force électromotrice $U_1=K^2.T.F$ et d'impédance interne $C_1=\frac{C_0}{1-K^2}$. Ce circuit débite dans le circuit de charge 21 qui peut être du type du circuit de la figure 8, c'est-à-dire constitué d'un pont redresseur à diodes 22, d'une capacité de filtrage 23 transformant la tension sinusoïdale redressée en une tension quasi-continue, et d'un convertisseur de tension 24 adaptant la tension de sortie des transducteurs à la tension propre Ua de l'accumulateur 25. Dans cette configuration, si l'on suppose que le circuit ne présente aucune perte électrique, la puissance moyenne récupérée dans l'accumulateur est :

$$P=\frac{U_1^2}{Z_1}x\left[\frac{2U_2}{\pi U_1}\sqrt{1-\frac{U_2^2}{U_1^2}}-\frac{U_2^2}{U_1^2}\right]=\frac{U_1^2}{Z_1}\left[\frac{2X}{\pi}\sqrt{1-X^2}-X^2\right] \text{ avec } X=\frac{U_2}{U_1}$$

Z1 étant l'impédance du générateur de Thévénin équivalent, soit dans le cas de la figure 7 : $(2\pi.C1.f)^{-1}$. Cette puissance est maximale pour $U_2\approx 0{,}28U_1$, soit :

$Pmax = (10,8)^{-1}.U1^2/Z1 = K^4.(1-K^2)^{-1}.f.C_0.T^2.F^2x2\pi x(10,8)^{-1}$

Lorsque cette puissance est maximale, la puissance moyenne restituée au système (puissance réactive) est de l'ordre de Pmax.

Les ordres de grandeur de la fréquence f de la marche et de l'amplitude de la force appliquée au système, sont respectivement égaux à environ 1Hz et à la moitié du poids du marcheur. Ces données permettent d'optimiser la conception des transducteurs de façon que d'une part, la puissance récupérée soit importante, d'autre part que le marcheur ait une sensation similaire à celle qu'il aurait avec des chaussures classiques. Ces résultats sont atteints en conférant au transducteur une raideur proche de celle des semelles usuelles et en adaptant l'ordre de grandeur de la portion de puissance restituée mécaniquement à celle de la puissance dissipée.

Les transducteurs peuvent être par exemple de type piézo-électrique. Toutefois, les matériaux piézo-électriques usuels (cristaux, céramiques, polymères) étant relativement rigides, il peut être intéressant d'avoir recours à une structure à amplification mécanique ou encore à une structure bimorphe ou composite afin que la semelle ait la raideur souhaitée. Quelques exemples de structure de transducteurs sont exposés aux figures 9a à 9h.

Ces différents types de transducteur peuvent bien sûr être associés mécaniquement en parallèle ou en série. Dans toutes les configurations des figures 9a à 9h, le transducteur est soumis à une force de compression ou de traction. Il peut exister bien sûr d'autres configurations de transducteurs fonctionnant à partir de flexions, torsions etc. Dans les modes de réalisation des figures 9a à 9h on suppose que le matériau piézo-électrique est une céramique dont le sens de polarisation est indiqué par des flèches 44 ; toutefois, ces configurations peuvent aussi s'appliquer à des matériaux de classe cristallographiques plus complexes orientés de façon à présenter un couplage électromécanique. D'autres flèches 43 schématisent la force à laquelle est soumise l'une des extrémités du transducteur afin d'engendrer une tension V entre les électrodes 40_1 et 40_2 du transducteur 40. L'autre extrémité du transducteur 40 est supposée rigidement liée à un support 45.

Les configurations 9a à 9d comportent un levier d'amplification mécanique 46 qui permet de démultiplier la force appliquée au composant

piézo-électrique 40. Les configurations 9a et 9c font intervenir un couplage électromécanique différent des configurations b et d qui dépend essentiellement de la position du point d'articulation A du levier 46 sur le support 45 et de la forme rectiligne ou repliée à 90° du levier 46 qui est fonction de la position horizontale ou verticale du transducteur 40 relativement au support 45.

Les configurations 9e et 9f font intervenir une structure bimorphe fonctionnant sur modèle "cantilever" (poutre en flexion encastrée à une de ces extrémités) ; cette structure est composée de deux lames piézo-électriques 40a et 40b de polarisations opposées présentant une électrode commune 40c, les deux autres électrodes 40d et 40e étant reliées électriquement par un conducteur 41. La configuration f diffère de la configuration e en ce que l'élément bimorphe est courbe.

Les configurations 9g et 9h, de type composite, sont à symétrie de révolution par rapport à un axe 48 normal au plan du support 45. Elles font intervenir un ou plusieurs disques piézo-électriques activés par la flexion d'un disque de matériau élastique 47. La structure de la figure 9h se rapproche de la structure bimorphe; les électrodes des disques sont reliées électriquement deux à deux à l'aide de conducteurs 42.

Un exemple de réalisation suivant l'invention est schématisé figure 10. Les transducteurs 30, placés sur les zones avant et arrière de la semelle 1 entre une paroi supérieure 1_a et une paroi inférieure 1_b ,sont des barreaux 40 de céramique piézo-électriques polarisés suivant leur longueur. Un levier d'amplification mécanique 34 est articulé sur le support rigide du barreau de céramique 31, lui-même mécaniquement lié par son point d'appui A à la partie supérieure 1a de la semelle. L'extrémité du levier 35 est guidée avec un minimum de frottement sur le plan d'un support rigide 32 lié à la partie inférieure de la semelle. Chaque transducteur est relié par l'intermédiaire de câbles 33 au circuit de charge.

Si l'on choisit des barreaux constitués d'un empilement de couches de céramique piézo-électrique de polarisation alternée telle que montrés à la figure 11 tels que :

$K^2 = 0,5$

permittivité diélectrique $\varepsilon_3 = 2.10^{-8} F/m$

constante piézo-électrique $g_{33} = 20.10^{-3} V.m/N$

longueur l = 20 mm en N = 500 couches d'épaisseur e=40µm

section s = 25 mm^2

pour un coefficient d'amplification mécanique A = 100, on obtient :

soit, dans les conditions classiques de marche d'un adulte (f=1Hz, F=400N), en supposant que la force appliquée à chaque transducteurs est de type sinusoïdal :

Pmax = 3 w

ce qui signifie qu'avec quatre transducteurs (2 par chaussure), la puissance totale récupérée est de 12 w, valeur qui correspond à peu près à la puissance normalement dissipée dans les semelles.

Dans cette configuration, la tension U2 est :

$U2 = (K^2/2).T.F = 320$ v avec $T = A.g_{33}.\frac{e}{s}$

Il est en pratique aisé de convertir une telle tension en une tension typique d'accumulateur (Ua = 10V) à l'aide d'un convertisseur mettant en oeuvre un hachage haute fréquence et un transformateur à ferrite miniature. Ce type de composant est léger et présente un rendement très élevé proche de 1.

REVENDICATIONS

1. Semelle de chaussure à récupération d'énergie pour marcheur comportant des transducteurs (40) répartis à l'intérieur de la semelle, entre une paroi supérieure (1_a) et une paroi inférieure (1_b) horizontales, dans des zones qui subissent la compression la plus forte pour transformer l'énergie mécanique créée dans la semelle lors de la marche, en énergie électrique caractérisé en ce que chaque transducteur (40) est maintenu en compression entre les deux parois (1_a, 1_b) de la semelle par l'intermédiaire de moyens de couplage mécanique (34, 46, 47).

2. Semelle selon la revendication 1 caractérisée en ce que les transducteurs associés aux moyens de couplage mécanique (34, 46, 47) ont une raideur proche de celle d'une semelle usuelle.

3. Semelle selon l'une quelconque des revendications 1 et 2 caractérisée en ce que les transducteurs (40) sont des transducteurs piézoélectriques.

4. Semelle selon la revendication 3 caractérisée en ce que les moyens de compression sont formés par un levier d'amplification (46) pour démultiplier la force (43) appliquée à une de ses extrémités lors de la marche sur l'autre extrémité libre du transducteur.

5. Semelle selon la revendication 4 caractérisée en ce que le levier a une forme rectiligne.

6. Semelle selon la revendication 4 caractérisée en ce que le levier a une forme repliée à 90°.

7. Semelle selon l'une quelconque des revendications 3 à 6 caractérisée en ce que les transducteurs (30) sont placés dans les zones avant et arrière de la semelle (1) et comportent un levier d'amplification mécanique (34) qui est articulé par une extrémité formant point d'appui A sur la paroi supérieure (1_a) de la semelle et dont l'autre extrémité est guidée sur un plan support rigide (32) lié à la paroi inférieure (1_b) de la semelle (1).

8. Semelle selon la revendication 1 caractérisée en ce que chaque transducteur est formé par deux lames piézoélectrique (40_a, 40_b) de polarisation opposées et présentant une électrode commune fonctionnant en mode "cantilever".

9. Semelle selon la revendication 3 caractérisée en ce que chaque transducteur est formé de disques piézoélectriques activés par la flexion d'un disque de matériau élastique (47).

10. Semelle selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 caractérisée en ce que les transducteurs sont reliés à un circuit de charge d'un accumulateur extérieur optimisant le couplage électrique.

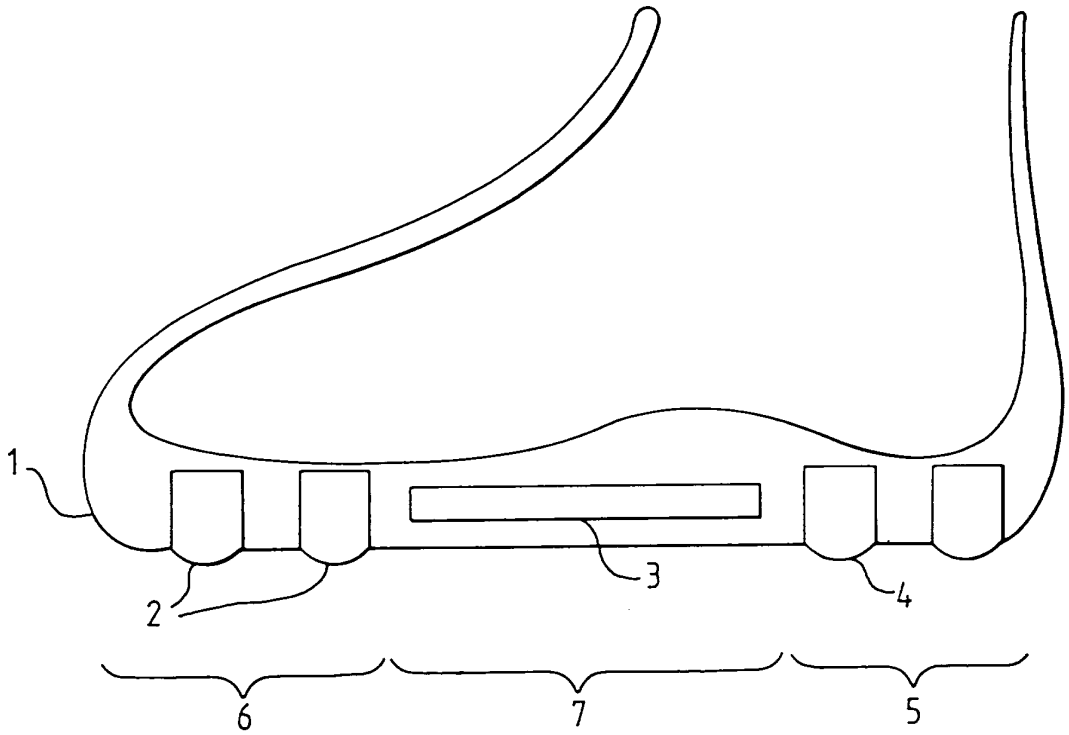


FIG.1

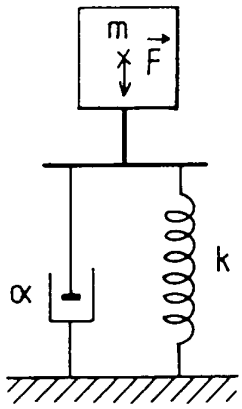


FIG.2

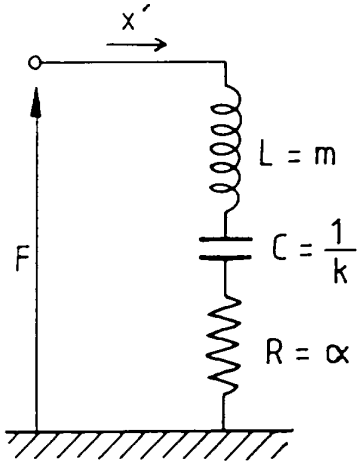


FIG.3

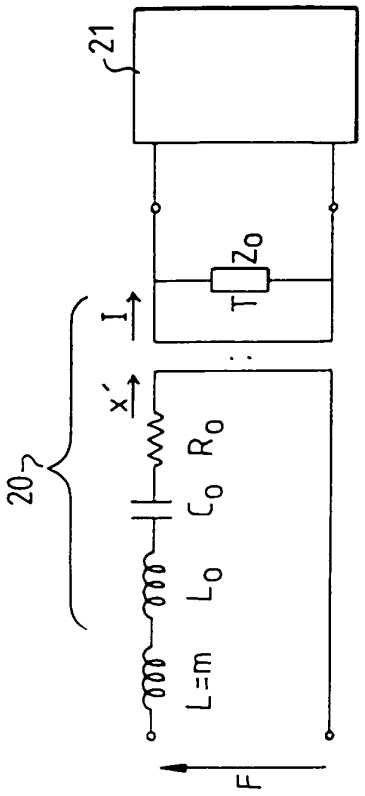


FIG. 5

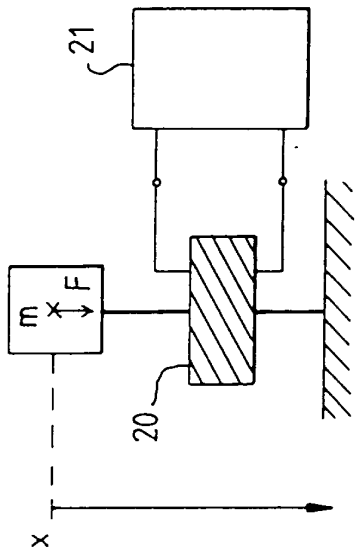


FIG. 4

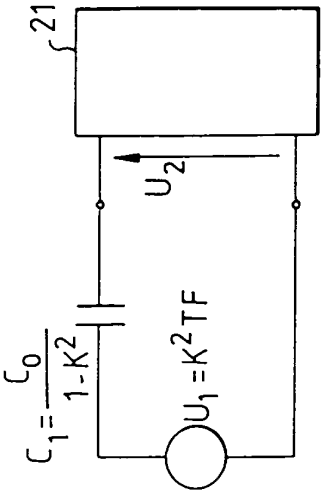


FIG. 7

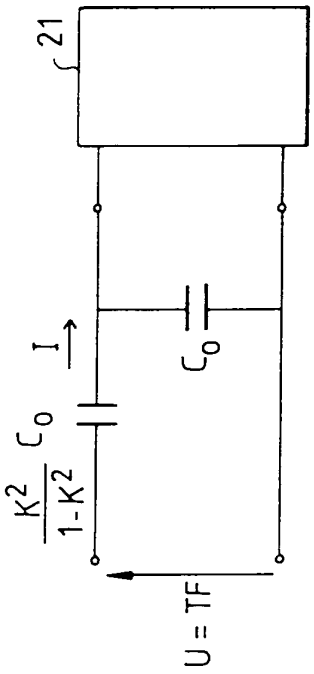


FIG. 6

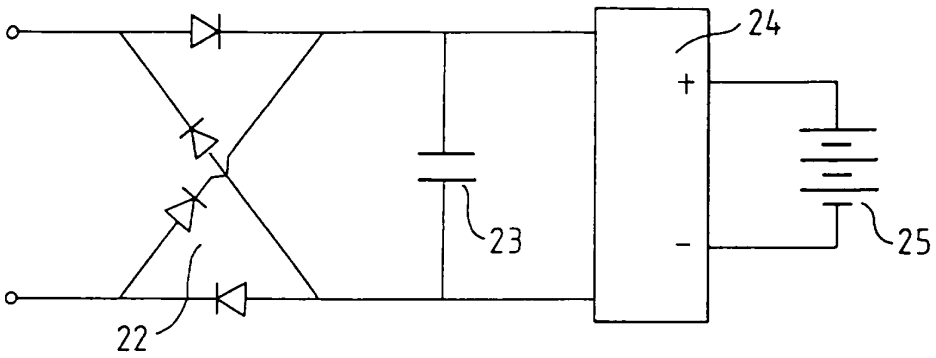


FIG. 8

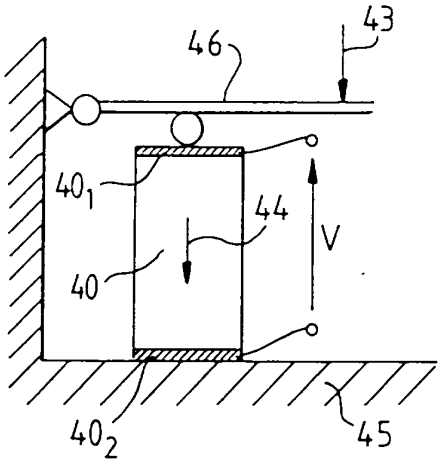


FIG. 9a

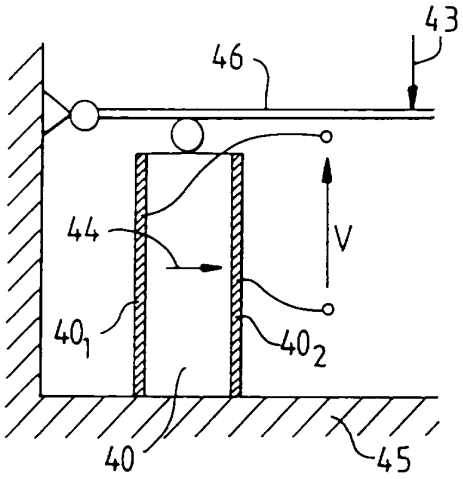


FIG. 9b

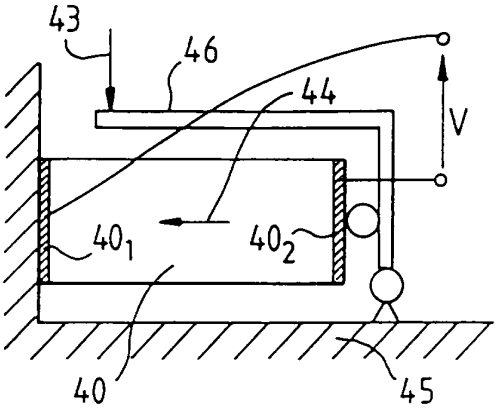


FIG.9c

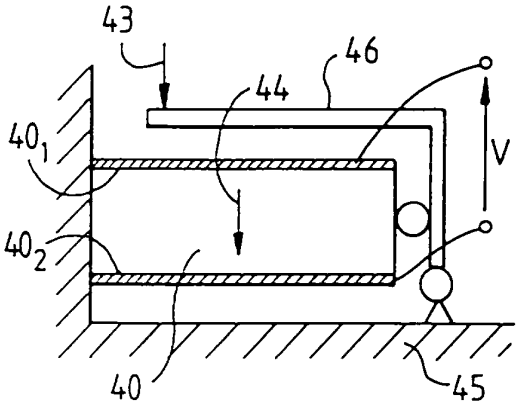


FIG.9d

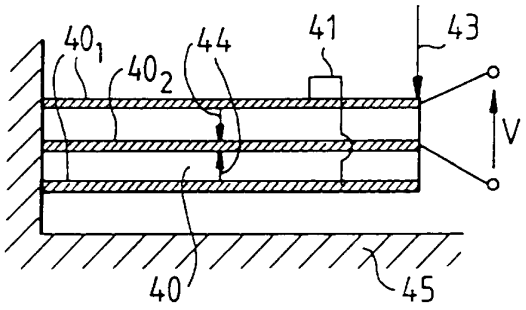


FIG.9e

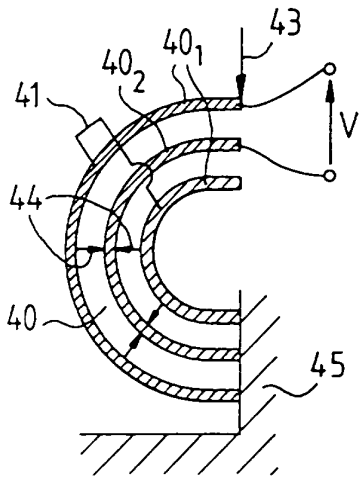


FIG.9f

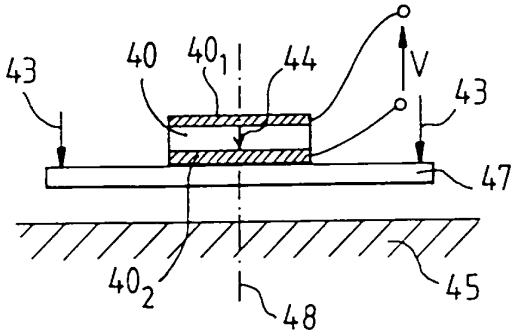


FIG.9g

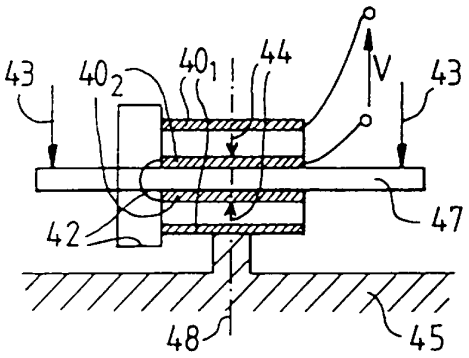


FIG.9h

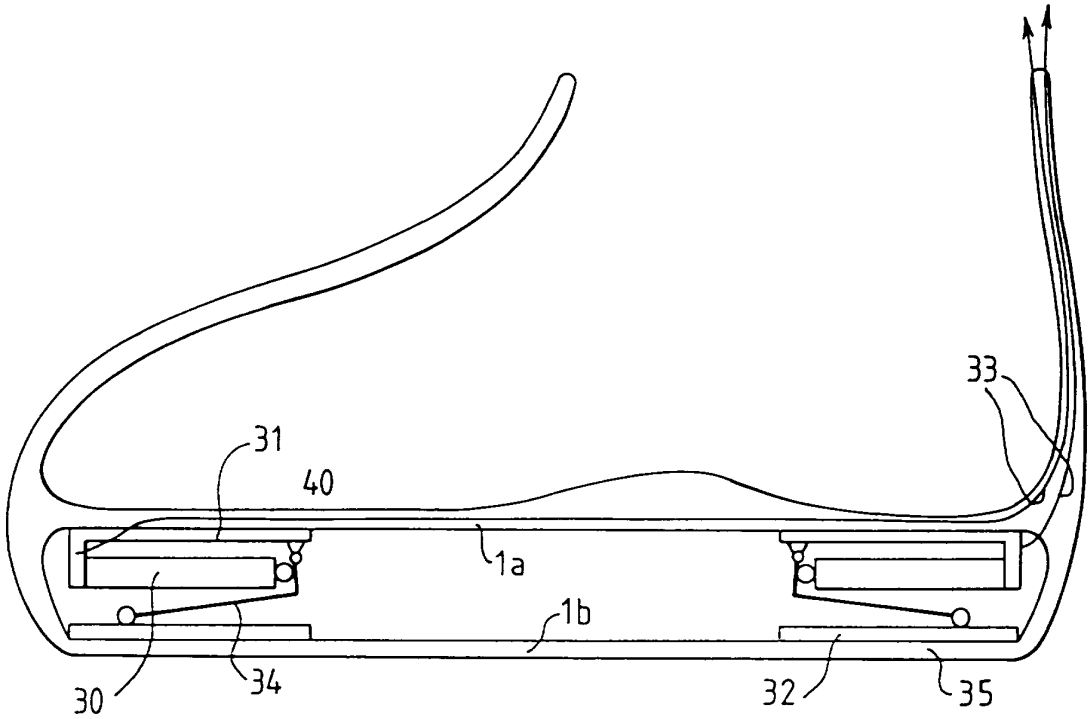


FIG.10

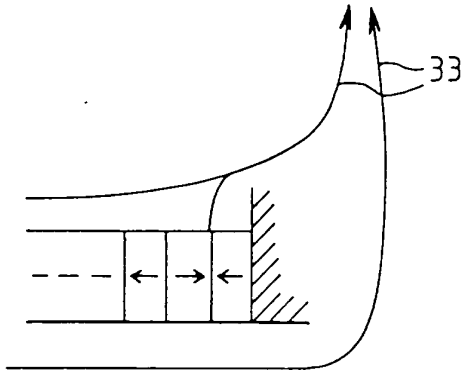


FIG.11

REPUBLIQUE FRANÇAISE

2745476

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FA 527372
FR 9602608

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendications concernées de la demande examinée
D,X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 455 (E-1595), 24 Août 1994 & JP-A-06 141524 (CASIO COMPUT CO LTD), 20 Mai 1994, * abrégé *	1,3,9,10
X	CN-A-1 070 068 (JI WANG) 17 Mars 1993 * abrégé *	1,3
A	EP-A-0 271 787 (SELECTRON FUNK SICHERHEITSTECH) 22 Juin 1988	
A	EP-A-0 673 102 (METRAVIB SA) 20 Septembre 1995	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 571 (C-1267), 2 Novembre 1994 & JP-A-06 209807 (SUZUKI SOGYO CO LTD), 2 Août 1994, * abrégé *	
A	US-A-4 402 524 (D ANTONIO NICHOLAS F ET AL) 6 Septembre 1983	
A	US-A-5 167 082 (CHEN SHI-HIU) 1 Décembre 1992	
A	US-A-5 367 788 (CHEN SHI-HIU) 29 Novembre 1994	

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)

A43B

Date d'achèvement de la recherche: 14 Novembre 1996

Examinateur: Soederberg, J

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 03.82 (P04C13)