



DEMANDE DE BREVET EUROPEEN


 Numéro de dépôt: 86401786.8


 Int. Cl.⁴: **H 01 F 41/08**
H 01 F 17/06


 Date de dépôt: 08.08.86


 Priorité: 13.08.85 FR 8512328


 Date de publication de la demande:
 18.03.87 Bulletin 87/12


 Etats contractants désignés: DE GB IT


 Demandeur: **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE**
Etablissement de Caractère Scientifique Technique et Industriel
 31/33, rue de la Fédération
 F-75015 Paris (FR)


 Inventeur: **Blanpain, Roland**
Avenue Jules Ferry
F-38380 Saint Laurent du pont (FR)

Dumont, André
37 Domaine Valetière
Le Fontanil F-38120 Saint Egreve (FR)


 Mandataire: **Mongrédien, André et al**
c/o BREVATOME 25, rue de Ponthieu
F-75008 Paris (FR)


Procédé de réalisation d'un enroulement torique de faibles dimensions et de géométrie optimale.


 Procédé de réalisation d'un enroulement torique de faibles dimensions.

Pour réaliser un enroulement dont les spires sont parfaitement radiales par rapport à un cylindre (10), on utilise un cylindre intérieur (22) et un cylindre extérieur (23) percé de rainures (25, 26) disposées le long des génératrices de ces cylindres. Des boucles conductrices (30) en forme d'épingles sont introduites dans ces rainures et soudées l'une à l'autre.

Application à la réalisation de magnétomètres à couche mince ferromagnétique de grande stabilité.

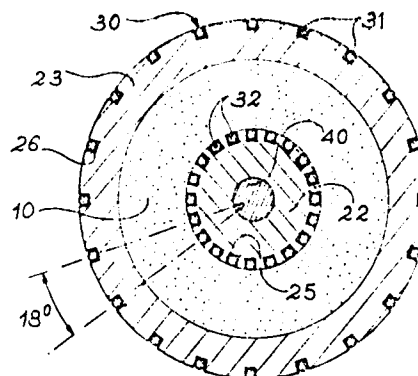


FIG. 7

Description

PROCEDE DE REALISATION D'UN ENROULEMENT TORIQUE DE FAIBLES DIMENSIONS ET DE GEOMETRIE OPTIMALE

La présente invention a pour objet un procédé de réalisation d'un enroulement torique de faibles dimensions et de géométrie optimale. Elle trouve une application privilégiée dans la réalisation d'enroulements dits de prélèvement qui interviennent dans les magnétomètres du type à couche mince ferromagnétique.

Un tel magnétomètre est décrit dans la publication de brevet français FR-A-2 198 146. Il comprend un cylindre isolant, par exemple en quartz, sur lequel est déposée une couche mince ferromagnétique. Cette couche présente un axe circonférentiel de facile aimantation. Un tel dispositif possède un enroulement de prélèvement qui est de forme torique et qui est bobiné autour de la section droite du cylindre supportant la couche mince. La figure 1 représente très schématiquement l'allure de ce bobinage. On y voit un cylindre creux 10 destiné à supporter la couche magnétique (non représentée) et un enroulement torique 12 dont les spires sont censées être dans des plans radiaux, c'est-à-dire dans des plans passant par l'axe 13 du cylindre.

Dans l'art antérieur, compte tenu de ses faibles dimensions, l'enroulement est bobiné à la main. De ce fait, l'orientation des spires n'est pas parfaite. Si certaines spires, comme la spire 12a, sont bien situées dans un plan radial, d'autres, comme la spire 12b, sont inclinées par rapport à un tel plan. D'autres défauts encore plus gênants sont visibles sur les spires 12c et 12d. Il s'ensuit, dans ces différentes spires, d'une part, un couplage direct entre la bobine d'excitation et l'enroulement de prélèvement et, d'autre part, un désalignement entre la normale à ces spires et l'axe facile circonférentiel. Ces deux anomalies sont à l'origine de dérives, d'erreurs et de non reproductibilité d'un magnétomètre à l'autre.

La présente invention a justement pour but d'éliminer cet inconvénient en proposant un procédé qui permet d'obtenir des spires situées toutes rigoureusement dans des plans radiaux.

Pour que soit mieux appréciée la difficulté résolue par l'invention, il faut souligner que les dimensions du tore sur lequel l'enroulement doit être réalisé sont très petites : le diamètre intérieur est de l'ordre du millimètre et le diamètre extérieur de l'ordre de quelques millimètres. C'est précisément en raison de ces faibles dimensions que le bobinage effectué à la main présente nécessairement des imperfections.

Le procédé de l'invention est caractérisé en ce qu'il consiste à :

- réaliser un deuxième cylindre isolant ayant un diamètre extérieur égal au diamètre intérieur du premier cylindre creux sur lequel on veut réaliser l'enroulement,
- réaliser un troisième cylindre isolant ayant un diamètre intérieur égal au diamètre extérieur du premier cylindre creux,
- usiner à la surface extérieure du deuxième et du troisième cylindres N rainures parallèles aux génératrices de ces cylindres et régulièrement espacées,
- réaliser N épingles en fil conducteur, chaque épingle étant formée de deux brins parallèles et d'un coude les reliant, ce fil conducteur ayant un diamètre suffisamment faible pour qu'il puisse être introduit dans les rainures pratiquées dans les cylindres avec un diamètre extérieur très voisin de la largeur d'une rainure pour éviter les défauts du type 12c et 12d,
- disposer le premier et le second cylindres isolants l'un au-dessus de l'autre et selon un même axe, et les orienter de telle sorte que les N rainures d'un des cylindres soient alignées avec les N encoches de l'autre et avec l'axe commun des cylindres pour former N plans radiaux angulairement équidistants,
- introduire les N épingles dans les N rainures ainsi disposées, un brin d'une épingle étant disposé dans une rainure du deuxième cylindre et l'autre brin de la même épingle dans la rainure du troisième cylindre situé dans le même plan radial,
- introduire le deuxième cylindre isolant avec ses brins à l'intérieur du premier cylindre creux et passer le troisième cylindre avec ses brins autour du premier cylindre creux,
- connecter électriquement les extrémités des brins sortant de chaque rainure du deuxième cylindre sauf un, avec l'extrémité du brin sortant de la rainure du troisième cylindre située dans le plan radial adjacent, les deux brins qui restent non connectés formant deux connexions pour l'enroulement.

De toutes façons, les caractéristiques de l'invention apparaîtront mieux après la description qui suit, d'un exemple de réalisation donné à titre explicatif et nullement limitatif. Cette description se réfère à des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1, déjà décrite, représente un enroulement torique selon l'art antérieur,
- la figure 2 représente une coupe axiale de deux cylindres intérieur et extérieur utilisés pour mettre en place des épingles conductrices,
- la figure 3 est une vue en bout des deux cylindres,
- la figure 4 montre, en coupe axiale, l'ensemble connecté,
- la figure 5 montre cet ensemble en vue de dessus,
- la figure 6 montre cet ensemble en vue de dessous,
- la figure 7 est une coupe transversale de l'ensemble,
- la figure 8 est une courbe permettant de déterminer les caractéristiques optimales de l'enroulement.

Sur les figures 2 et 3, on voit un cylindre isolant 22 ayant un diamètre extérieur D2 égal au diamètre intérieur du cylindre creux sur lequel on veut réaliser l'enroulement et un cylindre isolant 23 ayant un diamètre intérieur D3 égal au diamètre extérieur du cylindre creux. Pour des raisons qui tiennent à la structure du magnétomètre,

le cylindre 22 est creux lui aussi, ce qui permettra, à la fin du procédé, d'y introduire un fil dit de saturation. A la surface extérieure de ces cylindres sont usinées N rainures 25 et 26 parallèles aux génératrices et espacées l'une de l'autre de $\frac{2\pi}{N}$ (comme on le voit mieux sur la figure 3).

Les deux cylindres 22 et 23 sont disposés l'un au-dessus de l'autre selon un même axe, et sont orientés de telle sorte que les N rainures d'un des cylindres soient alignées avec les N rainures de l'autre et avec l'axe commun des cylindres pour former N plans radiaux angulairement équidistants de $\frac{2\pi}{N}$ (comme illustré sur la figure 3).

Par ailleurs, on réalise N épingles en fil conducteur 30, chaque épingle étant formée de deux brins parallèles 31 et 32 et d'un coude 33 les reliant. Le fil conducteur utilisé a un diamètre suffisamment faible pour qu'il puisse être introduit dans les rainures 25 et 26 pratiquées dans les cylindres 22 et 23. On introduit ensuite ces N épingles dans les N rainures, un brin d'une épingle étant disposé dans une rainure du cylindre 22 et l'autre brin de la même épingle dans la rainure du cylindre 23 situé dans le même plan radial.

On introduit ensuite le cylindre 22 avec ses brins à l'intérieur du cylindre 10 support de la couche magnétique et l'on passe le cylindre 23 avec ses brins autour du cylindre creux 10. On obtient alors un ensemble tel que celui qui est illustré sur la figure 4 avec un cylindre 10, un cylindre intérieur 22 et un cylindre extérieur 23. Il reste à connecter électriquement les extrémités des différents brins. Pour cela, on relie l'extrémité des brins sortant de chaque rainure du cylindre intérieur 22 avec l'extrémité du brin sortant de la rainure du cylindre extérieur 23 située dans le plan radial adjacent.

La figure 5 montre l'ensemble en vue de dessus où l'on voit les coudes 33 des épingles tous situés dans des plans radiaux. La figure 6 montre l'ensemble en vue de dessous où l'on voit comment l'on passe d'une spire à la suivante par un point de connexion 35.

On obtient ainsi un enroulement continu dont les extrémités sont accessibles par les deux brins 36 et 38 qui n'ont pas été interconnectés.

Compte tenu de la forme des rainures qui guident le fil conducteur rigoureusement selon les génératrices des cylindres intérieur et extérieur, il est clair que les spires d'un tel enroulement sont situées exactement dans des plans radiaux.

La figure 7 illustre la disposition finale obtenue en fin de procédé. On y voit notamment le fil de saturation 40 disposé au centre du cylindre intérieur 22.

A titre purement explicatif, il peut être indiqué que le Demandeur a réalisé un dispositif de ce genre dans les conditions suivantes. Le support de la couche mince ferromagnétique est un cylindre de quartz de diamètre extérieur 2 mm et de diamètre intérieur 1 mm. La couche mince est déposée sur la périphérie de ce cylindre par une opération de dépôt sous vide. Ces deux tubes auxiliaires, intérieur et extérieur, sont en quartz ou en céramique. Le tube intérieur est un cylindre creux de diamètre extérieur 1 mm, percé d'un canal de 0.3 mm de diamètre, ce canal étant traversé par un fil de cuivre qui constitue un fil de saturation. Celui-ci permet, d'une part, de polariser l'aimantation de la couche en la saturant et, d'autre part, de renforcer l'anisotropie de la couche mince.

Les rainures ont une section rectangulaire de largeur 0,08 mm, valeur qui est très proche de celle du diamètre du fil formant l'enroulement (diamètre email compris 0,075). Cette dimension limite à 20 le nombre de spires de l'enroulement, le pas étant de 18°, ceci afin de conserver une quantité suffisante de matière entre chaque rainure du cylindre intérieur (voir figure 7).

Un usinage au centième de millimètre minimise l'erreur angulaire entre la normale aux spires du circuit et la tangente à l'axe facile de la couche mince (axe circonférentiel) à une valeur de l'ordre de 3.10^{-4} radian soit 0,02°.

Le procédé qui vient d'être décrit, en plus des avantages qui viennent d'être soulignés, présente celui de permettre une optimisation du nombre de spires et de leur diamètre comme on va l'expliquer maintenant.

La fréquence d'excitation du magnétomètre est de l'ordre de 1,5 MHz. Le choix de cette valeur résulte d'une étude de minimisation du bruit du magnétomètre. A cette fréquence, l'épaisseur de peau e du cuivre est de 54 μm .

L'application de la loi d'Ohm à un fil cylindrique de diamètre d permet de calculer la résistance R de ce fil à une fréquence f en fonction de la valeur R_0 de la résistance en continu. La relation est :

$$R = R_0 \frac{a^2}{2} (a - 1 + e^{-a})^{-1}$$

$$\text{avec } a = \frac{d}{2e}$$

$$\text{et } R_0 = K \frac{N}{d^2}$$

N étant le nombre de spires du circuit, K une constante, d le diamètre du fil et e l'épaisseur de peau.

On peut écrire :

$$R = \frac{KN}{d^2} g(a)$$

5 où $g(a)$ est une fonction de a .

L'optimisation du circuit consiste à maximiser le rapport signal à bruit thermique. Le signal S est de la forme $S = \beta N^2$ (puissance de signal dans une bande de 1 Hz) où β est un coefficient ; le bruit B est de la forme $B = 4kTR$ (puissance de bruit dans une bande de 1 Hz) où k est la constante de Boltzmann, T la température exprimée en Kelvins. On a donc un rapport signal à bruit de la forme :

$$\frac{S}{B} = \alpha \frac{N^2}{R}$$

10 où α est un coefficient indépendant de N et de R . Rendre $\frac{S}{B}$ maximum revient donc à rendre $\frac{R}{N^2}$ minimum. Or, on ne peut augmenter N indéfiniment car il existe une limite fixée par le fait que le produit Nd est au maximum égal à la circonférence C du cylindre intérieur. Pour $Nd = C$, les spires seront jointives et pour $Nd = \frac{C}{2}$, on aura la situation de la figure 7 avec une épaisseur de matière égale à la largeur d'une rainure. Pour un tube donné, Nd est donc limité à une valeur C' (par exemple égale à $\frac{C}{2}$). On a donc :

$$20 \quad Nd = C' \\ \text{et} \quad \frac{R}{N^2} = \frac{Rd^2}{C'^2}$$

25 Il faut donc minimiser la quantité Rd^2 . Or, R a été calculé plus haut :

$$30 \quad R = \frac{KN}{d^2} g(a)$$

ON a donc $Rd^2 = KN g(a)$

soit $KC' \frac{g(a)}{d}$

soit encore $K' h(a)$

35 où $h(a)$ est la fonction $a(a - 1 + e^{-a})^{-1}$ et K' une constante.

La figure 8 montre les variations de la fonction $h(a)$ en fonction de a . Cette fonction décroît très vite quand a augmente à partir de 0 (décroissance en a^{-1} au voisinage de 0).

40 Quand a est supérieur à 1 et croît, $h(a)$ tend vers 1 et décroît très lentement. Or, compte tenu du diamètre du cylindre intérieur, a ne peut raisonnablement dépasser la valeur 1,5, soit $d_{OPT} = 0,165$. Le nombre de spires du circuit de prélèvement est alors égal à 10.

Cette contrainte est raisonnable pour la réalisation des rainures. Afin de garder une marge de sécurité en ce qui concerne la tenue mécanique des tubes rainurés, on peut adopter une valeur de d égale $d_{OPT}/2$, soit environ 0,08 mm et $n = 20$. Il faut noter que le calcul des valeurs de $h(a)$ correspondantes montre que le rapport signal à bruit thermique de source ne diminue que dans un rapport $\sqrt{3}$ environ (en puissance). Ce choix est également justifié par la présence d'un bruit thermique supplémentaire engendré par l'agitation thermique dans la couche mince ferromagnétique. Il est de 1,5 à 2 fois plus important que le bruit thermique de source pour $d = 0,1$ mm et $N = 20$.

50 Naturellement, ce n'est qu'à titre explicatif que les rainures ont été présentées comme formées de gorges rectangulaires. En fait, toute forme convient (fond cylindrique, en toit, etc...).

Revendications

- 55 1. Procédé de réalisation d'un enroulement torique autour d'un cylindre creux (10) de faibles dimensions, cet enroulement devant être constitué de spires situées rigoureusement dans des plans radiaux passant par l'axe (13) du cylindre, ce procédé étant caractérisé en ce qu'il consiste à :
- réaliser un deuxième cylindre isolant (22) ayant un diamètre extérieur (D_2) égal au diamètre intérieur du premier cylindre creux,
 - 60 - réaliser un troisième cylindre isolant (23) ayant un diamètre intérieur (D_3), égal au diamètre extérieur du premier cylindre creux,
 - usiner à la surface extérieure du deuxième et du troisième cylindres N rainures (25, 26) parallèles aux génératrices de ces cylindres et régulièrement espacées de $\frac{2\pi}{N}$,
 - réaliser N épingles en fil conducteur (30), chaque épingle étant formée de deux brins parallèles (31, 32),
 - 65 et d'un coude (33) les reliant, ce fil conducteur ayant un diamètre suffisamment faible pour qu'il puisse

être introduit dans les rainures (25, 26) pratiquées dans les cylindres.

- disposer le premier et le second cylindres isolants (22, 23) l'un au-dessus de l'autre et selon un même axe, et les orienter de telle sorte que les N rainures d'un des cylindres soient alignées avec les N rainures de l'autre et avec l'axe commun des cylindres pour former N plans radiaux angulairement équidistants,

- introduire les N épingles (30) dans les N rainures ainsi disposées, un brin d'une épingle étant disposé dans une rainure du deuxième cylindre et l'autre brin de la même épingle dans la rainure du troisième cylindre situé dans le même plan radial.

- introduire le deuxième cylindre isolant (22) avec ses brins à l'intérieur du premier cylindre creux (10) et passer le troisième cylindre (23) avec ses brins autour du premier cylindre creux (10).

- connecter électriquement les extrémités (35) des brins sortant de chaque rainure du deuxième cylindre sauf un avec l'extrémité du brin sortant de la rainure du troisième cylindre située dans le plan radial adjacent, les deux brins qui restent non connectés formant deux connexions pour l'enroulement.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le deuxième cylindre est creux et qu'on y introduit un fil conducteur.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

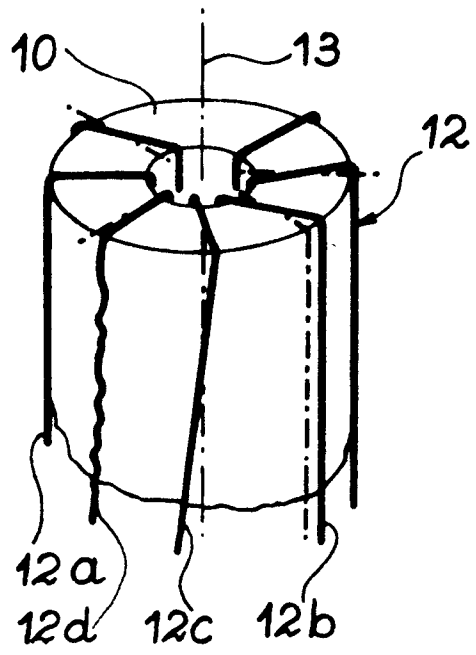


FIG. 1

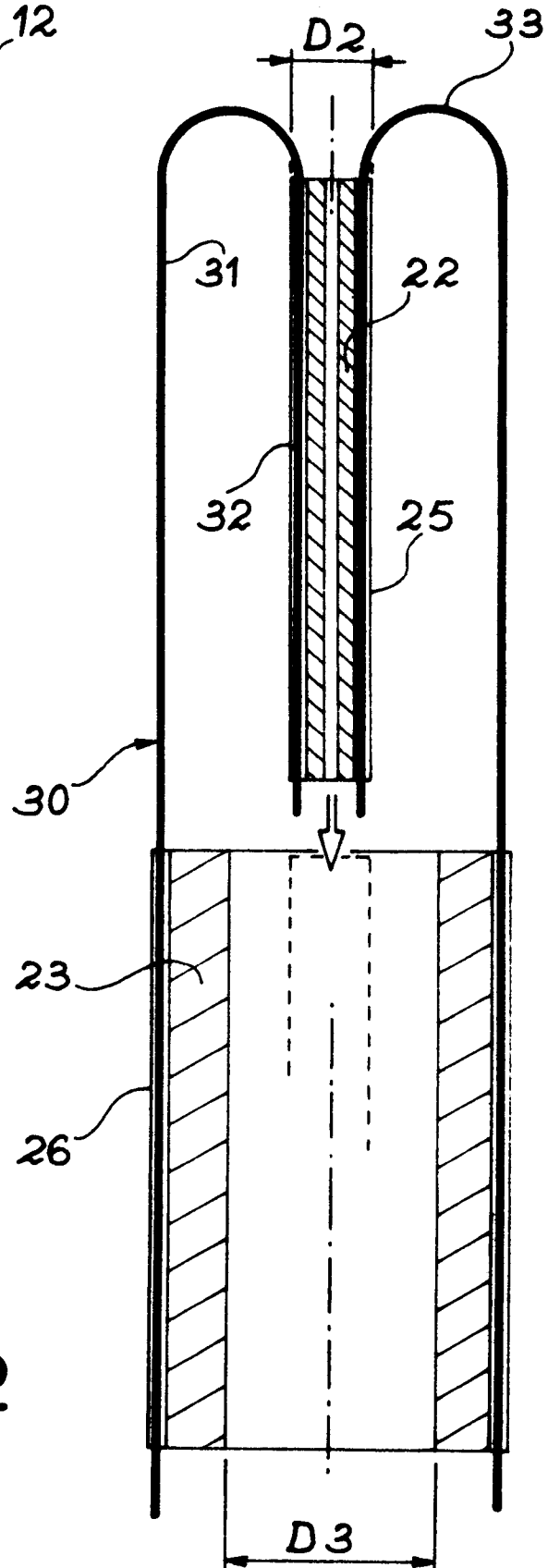


FIG. 2

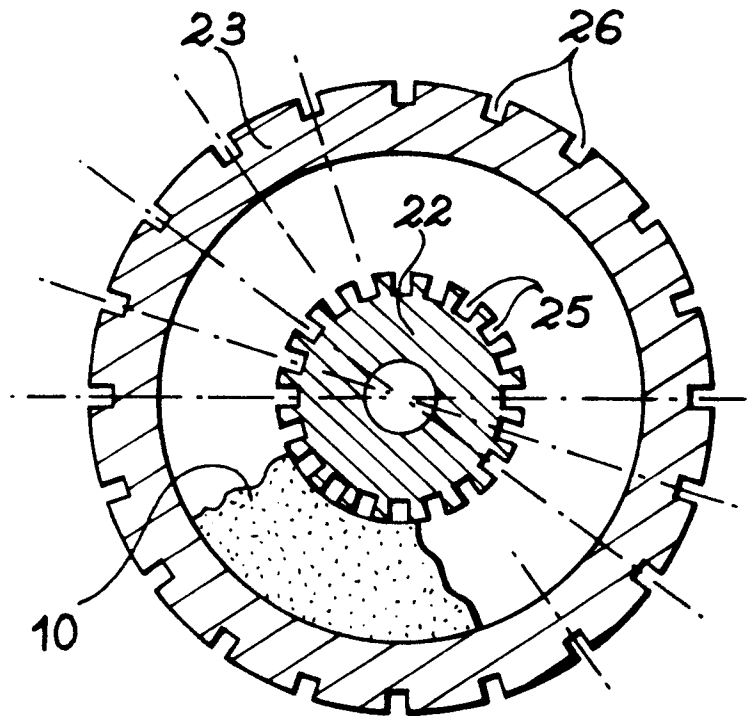


FIG. 3

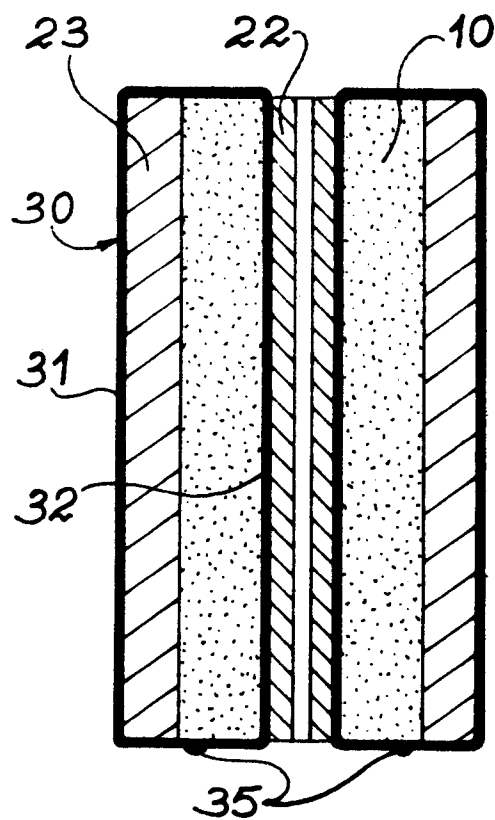


FIG. 4

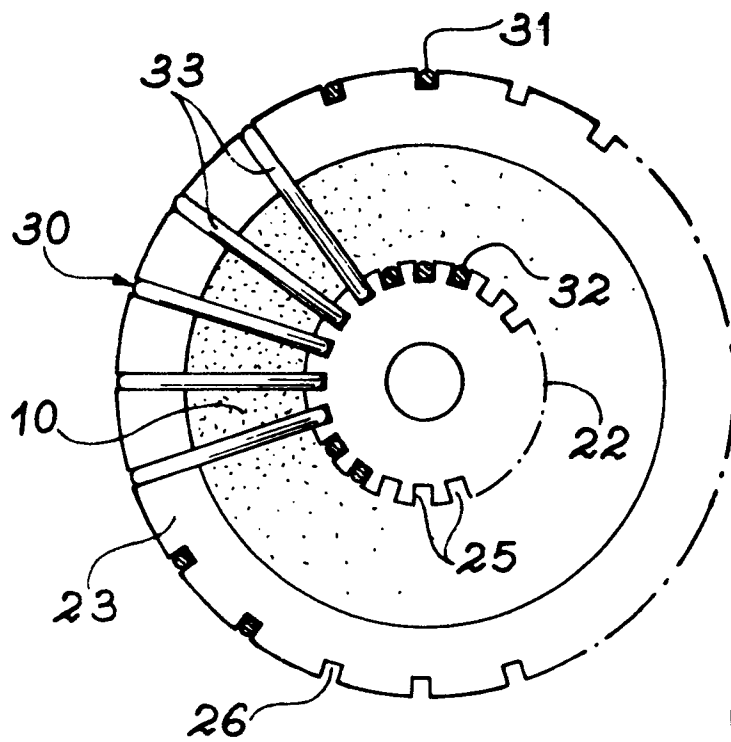


FIG. 5

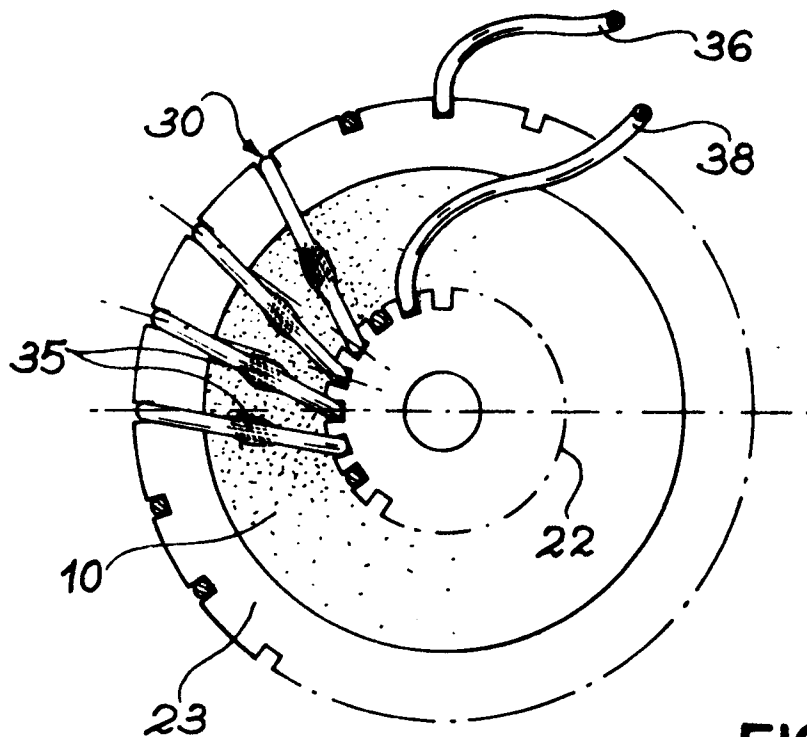


FIG. 6

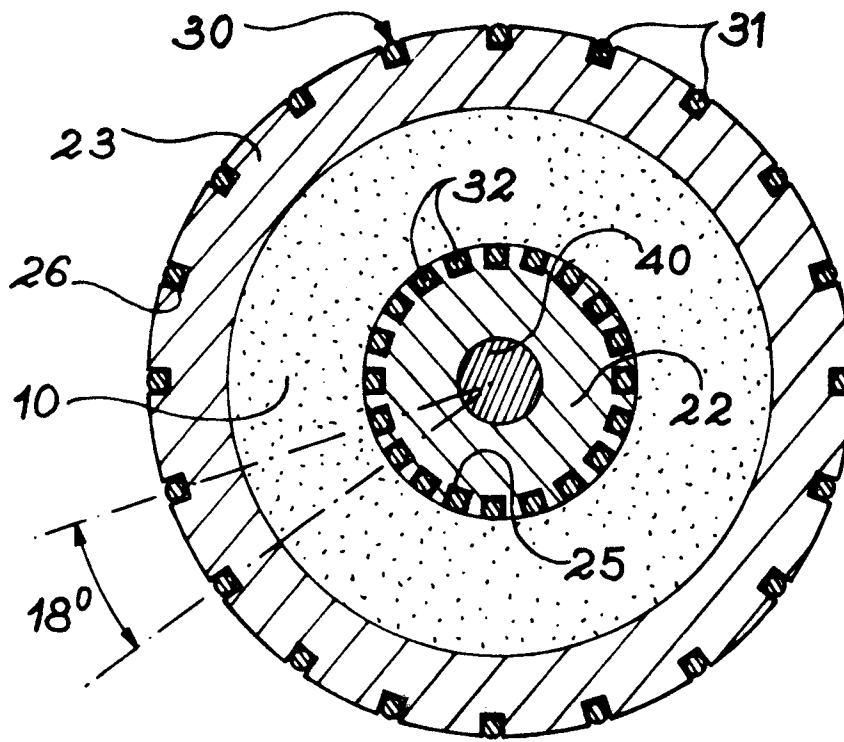


FIG. 7

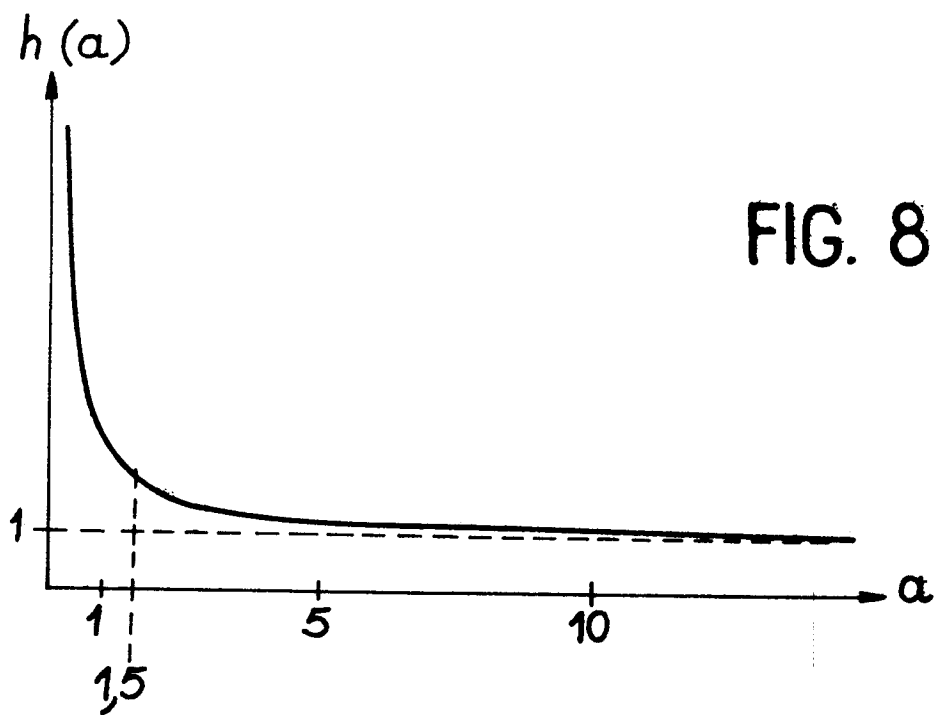


FIG. 8



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 4)
A	PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 8, no. 217 (E-270)[1654], 4 octobre 1984; & JP-A-59 101 815 (NIHON FERRITE K.K.) 12-06-1984 * Abrégé *	1	H 01 F 41/08 H 01 F 17/06
A	--- PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 4, no. 185 (E-38)[667], 19 décembre 1980; & JP-A-55 128 805 (TOKYO DENKI KAGAKU KOGYO K.K.) 06-10-1980 * Abrégé *	1	
A	--- PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 8, no. 95 (E-242)[1532], 2 mai 1984; & JP-A-59 14 618 (NIHON FERRITE K.K.) 25-01-1984 * Abrégé *	1	
A	--- US-A-3 319 207 (DAVIS) * Colonne 5, ligne 51 - colonne 6, ligne 70; figures 8-13 * -----	1	H 01 F
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 07-11-1986	Examineur BIJN E.A.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	