

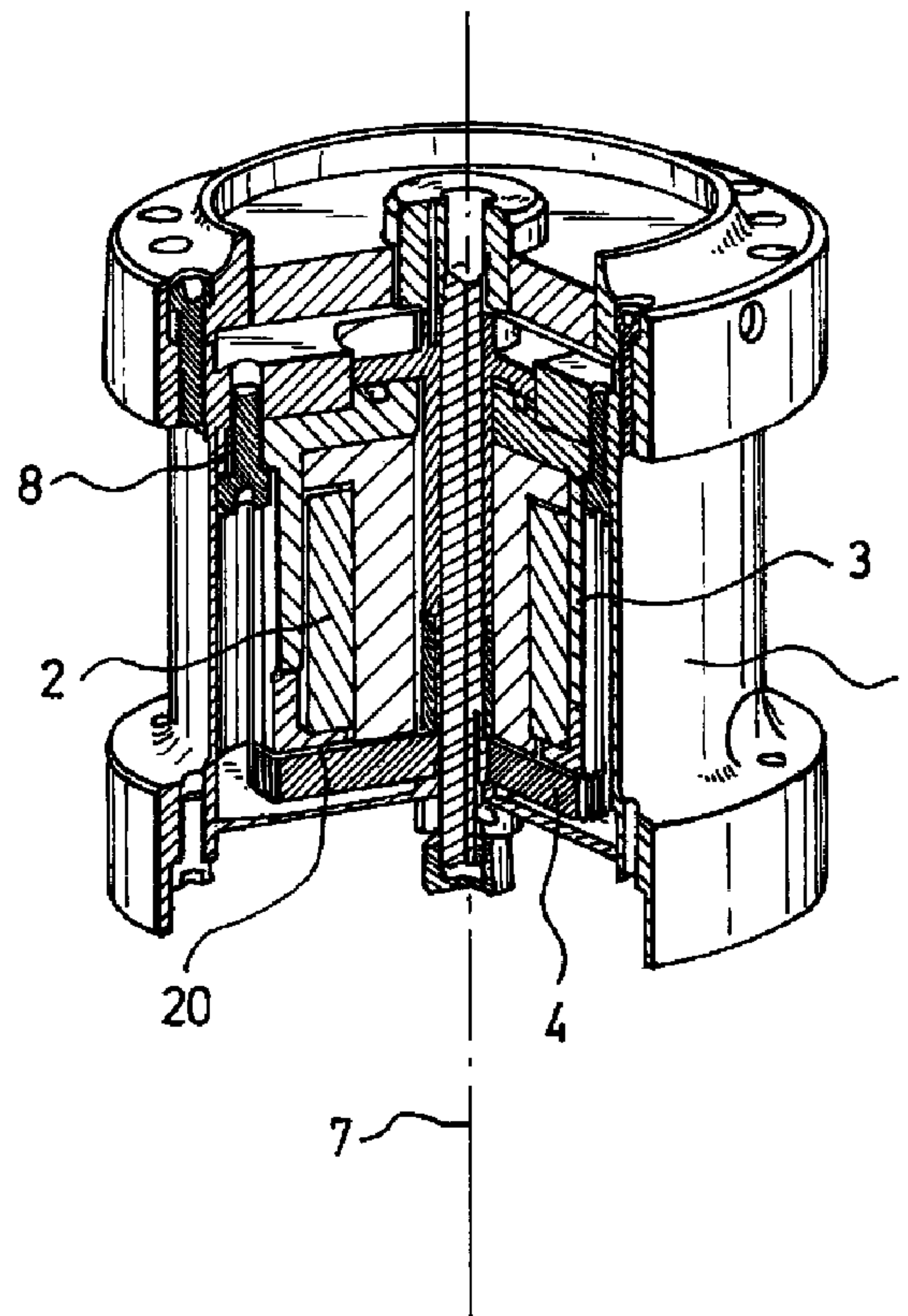


(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2008/05/07  
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2008/12/18  
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2009/11/10  
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2008/000642  
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2008/152237  
 (30) Priorité/Priority: 2007/05/11 (FR0703382)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *H02K 33/04* (2006.01),  
*H01F 7/16* (2006.01)  
 (71) Demandeur/Applicant:  
CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES (C.N.E.S.),  
FR  
 (72) Inventeurs/Inventors:  
VANNIER, JEAN-CLAUDE, FR;  
DUGUE, FRANCOIS, FR;  
ROUX, FRANCOIS, FR;  
GIBEK, ISABELLE, FR;  
SCHWANDER, DENIS, FR  
 (74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) Titre : ACTIONNEUR ELECTROMAGNETIQUE A RELUCTANCE VARIABLE  
 (54) Title: ELECTROMAGNETIC ACTUATOR WITH VARIABLE RELUCTANCE

Fig 1



(57) Abrégé/Abstract:

L'invention concerne un actionneur électromagnétique à reluctance variable comprenant une armature (3) ferromagnétique fixe comprenant au moins deux cylindres de révolution concentriques reliés par une couronne de liaison, au moins un bobinage (2)

(57) **Abrégé(suite)/Abstract(continued):**

d'aimantation agencé entre lesdits cylindres, une armature (4) mobile ferromagnétique guidée en translations alternatives par rapport à ladite armature (3) fixe, avec laquelle elle définit un circuit magnétique avec un entrefer (20) dont la dimension varie au cours des translations alternatives de l'armature (4) mobile, caractérisé en ce que ladite armature (3) fixe comprend au moins deux séries de fentes, une première série de fentes ménagées radialement dans dudit cylindre extérieur et s'étendant sur toute la hauteur dudit cylindre extérieur, et une deuxième série de fentes ménagées radialement dans lesdits cylindres extérieur et intérieur et s'étendant uniquement sur une majeure partie de la hauteur desdits cylindres.

(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  
18 décembre 2008 (18.12.2008)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2008/152237 A1**

- (51) Classification internationale des brevets :  
*H02K 33/04* (2006.01) *H01F 7/16* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2008/000642
- (22) Date de dépôt international : 7 mai 2008 (07.05.2008)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
0703382 11 mai 2007 (11.05.2007) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : CEN-  
TRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES (C.N.E.S.)  
[FR/FR]; 2, place Maurice Quentin, F-75039 Paris Cedex  
01 (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : VANNIER,

Jean-Claude [FR/FR]; 29, rue Danton, F-92240 Malakoff (FR). DUGUÉ, François [FR/FR]; 11, impasse Valette, F-31450 Pompertuzat (FR). ROUX, François [FR/FR]; 23 avenue Edouard Duleu, F-31590 Gauré (FR). GIBEK, Isabelle [FR/FR]; 18, impasse de Cannes, F-31240 l'Union (FR). SCHWANDER, Denis [FR/FR]; 24, rue Salvador Dali, F-31860 Labarthe Sur Leze (FR).

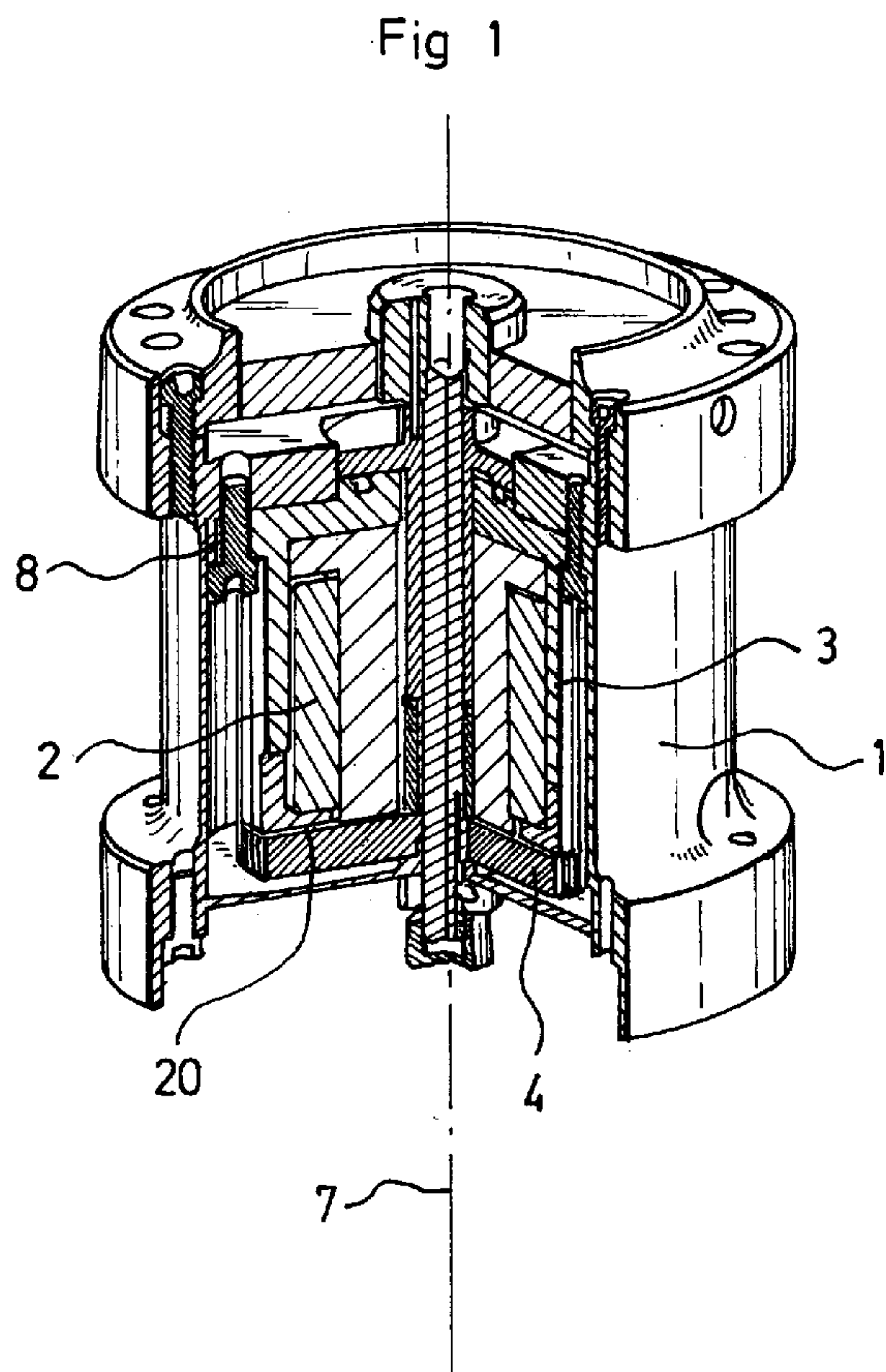
(74) Mandataire : CABINET BARRE LAFORGUE & ASSOCIES; 95, rue des Amidonniers, F-31000 Toulouse (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: ELECTROMAGNETIC ACTUATOR WITH VARIABLE RELUCTANCE

(54) Titre : ACTIONNEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE À RÉLUCTANCE VARIABLE



(57) Abstract: The invention relates to an electromagnetic actuator with variable reluctance comprising a fixed ferromagnetic armature (3) comprising at least two concentric cylinders of revolution linked by a ring nut, at least one magnetizing winding (2) arranged between said cylinders, a ferromagnetic moving armature (4) guided in reciprocating translation movements relative to said fixed armature (3), with which it defines a magnetic circuit with an air gap (20), the dimension of which varies during reciprocating translation movements of the moving armature (4), characterized in that said fixed armature (3) comprises at least two series of slots, a first series of slots provided radially in said outer cylinder and extending over the entire height of said outer cylinder, and a second series of slots provided radially in said outer and inner cylinders and extending only over a major part of the height of said cylinders.

(57) Abrégé : L'invention concerne un actionneur électromagnétique à reluctance variable comprenant une armature (3) ferromagnétique fixe comprenant au moins deux cylindres de révolution concentriques reliés par une couronne de liaison, au moins un bobinage (2) d'aimantation agencé entre lesdits cylindres, une armature (4) mobile ferromagnétique guidée en translations alternatives par rapport à ladite armature (3) fixe, avec laquelle elle définit un circuit magnétique avec un entrefer (20) dont la dimension varie au cours des translations alternatives de l'armature (4) mobile, caractérisé en ce que ladite armature (3) fixe comprend au moins deux séries de fentes, une première série de fentes ménagées radialement dans dudit cylindre extérieur et s'étendant sur toute la hauteur dudit cylindre extérieur, et une deuxième série de fentes ménagées radialement dans lesdits cylindres extérieur et intérieur et s'étendant uniquement sur une majeure partie de la hauteur desdits cylindres.

**WO 2008/152237 A1**

MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**(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,

**Publiée :**

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

## ACTIONNEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE À RÉLUCTANCE VARIABLE

L'invention concerne un actionneur électromagnétique à réluctance variable à déplacement linéaire.

EP 1 250 526 décrit une électropompe comprenant un actionneur alternatif à réluctance variable adapté pour entraîner une pompe à hydrazine pour l'alimentation en carburant d'un système de propulsion d'un satellite. EP 1 250 526 indique qu'un tel actionneur est adapté pour être commandé à une fréquence supérieure à 100 Hz, notamment voisine de 200 Hz.

L'actionneur décrit dans EP 1 250 526 donne entière satisfaction pour des débits moyens de la pompe. Néanmoins, pour les débits les plus élevés de la pompe, il est nécessaire de faire passer un flux d'induction magnétique à une fréquence élevée, de l'ordre de 100 à 300 Hz et avec un bon niveau d'induction pour produire la force nécessaire à la création de la force d'entraînement de la pompe. Les matériaux ferromagnétiques étant électriquement conducteurs, les courants de Foucault induits par ces variations d'induction conduisent à des pertes de puissance et de limitation des amplitudes des variations de flux. L'actionneur décrit dans EP 1 250 526 propose pour augmenter la résistance électrique du circuit magnétique de recourir à un feuilletage du circuit magnétique (empilage de tôles isolées les unes des autres par des couches de vernis ou par oxydation). Cette solution présente différents inconvénients.

Un premier inconvénient réside dans le fait que le feuilletage se prête mal à une réalisation mécanique précise. Or, dans de nombreuses applications, en particulier à bord d'un véhicule, notamment à bord de systèmes spatiaux tels que des satellites, on est en permanence à la recherche de l'encombrement minimal. Dès lors, il convient d'optimiser le volume de l'actionneur, ce qui implique une réalisation mécanique très précise.

Un autre inconvénient du feuilletage est qu'il présente une durée de vie limitée, et peut être sujet à des phénomènes de vieillissement anticipé ou mal contrôlé, compte tenu de la présence de vernis. Cela est vrai en

particulier lorsque l'actionneur subit des vibrations et/ou est placé dans un environnement agressif, par exemple dans le vide spatial. En conséquence, la présence d'un feuilletage limite la durée de vie d'un tel actionneur et ne permet pas de garantir une durée de vie importante.

5 De plus, un feuilletage fragilise la structure mécanique de l'actionneur et ne permet pas un usinage de précision, ce qui empêche notamment la réalisation de très faibles entrefers. Dès lors, un tel actionneur ne peut pas être utilisé à pleine puissance, en particulier à faible entrefer, tant du fait des risques d'amorce de fissuration que du fait des irrégularités de surface.

10 Il a été proposé, par exemple dans EP 1 250 526 et US 4 673 163, de recourir à un actionneur comprenant des armatures massives dotées d'au moins une fente s'étendant radialement de façon à s'opposer à la propagation des courants de Foucault.

Cette solution permet de pallier les inconvénients du  
15 feuilletage. En revanche, les pertes énergétiques dans les armatures, notamment celles induites par la propagation des courants de Foucault, sont alors trop importantes pour permettre le développement de forces suffisantes, et rendent à ce titre un tel actionneur incompatible avec de nombreuses applications, notamment à bord de véhicules, en particulier des véhicules spatiaux.

20 Les actionneurs de l'art antérieur mettent en exergue qu'un feuilletage produit deux phénomènes a priori contradictoires. En effet, un feuilletage permet d'une part de limiter les pertes énergétiques, ce qui contribue à assurer le développement d'une force suffisante ; mais d'autre part réduit la résistance mécanique de l'actionneur.

25 Dès lors, jusqu'à maintenant, il fallait faire un choix entre un actionneur résistant mais de rendement et de puissance volumique limités par des pertes par courants de Foucault relativement importants, et un actionneur présentant peu de pertes par courants de Foucault, mais de puissance volumique limitée par la faible résistance mécanique des armatures.

30 Le but de l'invention est de fournir un actionneur

électromagnétique permettant de pallier ces inconvénients.

A ce titre, l'invention vise un actionneur électromagnétique à réluctance variable capable de développer des efforts importants par unité de volume ou de masse de l'actionneur –notamment plus importants que les  
5 actionneurs connus– et dans lequel les pertes par courants de Foucault sont faibles.

L'invention vise aussi à proposer un actionneur électromagnétique adapté pour être utilisé dans des applications embarquées à bord d'engins à déplacement terrestre et/ou aquatique et/ou aérien et/ou spatial.

10 L'invention vise aussi à proposer un tel actionneur électromagnétique qui soit compact et léger.

L'invention vise aussi à proposer un actionneur électromagnétique adapté pour développer des efforts importants, notamment des forces de l'ordre de 150 à 250 N pour une course d'environ 1 mm et pouvant  
15 présenter un volume inférieur à  $150 \text{ cm}^3$ , dans lequel les pertes par hystérésis sont réduites –notamment non significatives–.

Pour ce faire, l'invention concerne un actionneur électromagnétique à réluctance variable comprenant :

- un corps d'actionneur,
- 20 - une armature ferromagnétique fixée audit corps d'actionneur, dite armature fixe, comprenant au moins deux cylindres de révolution concentriques, dits respectivement cylindre intérieur et cylindre extérieur, espacés radialement l'un de l'autre et s'étendant le long d'un axe, dit axe d'actionneur, lesdits cylindres intérieur et extérieur étant reliés par une  
25 couronne de liaison s'étendant dans un plan orthogonal audit axe d'actionneur,
  - au moins un bobinage d'aimantation agencé entre lesdits cylindres intérieur et extérieur,
  - au moins une armature mobile ferromagnétique agencée en regard d'une extrémité axiale de ladite armature fixe, dite extrémité  
30 d'entrefer, chaque armature mobile étant guidée en translations alternatives par

rapport à ladite armature fixe le long dudit axe d'actionneur, avec laquelle elle définit un circuit magnétique avec un entrefer dont la dimension varie au cours des translations alternatives de cette armature mobile par rapport à l'armature fixe,

- 5 caractérisé en ce que ladite armature fixe comprend au moins deux séries de fentes, une première série de fentes ménagées radialement dans ledit cylindre extérieur et s'étendant sur toute la hauteur dudit cylindre extérieur et une deuxième série de fentes ménagées radialement dans lesdits cylindres extérieur et intérieur et s'étendant uniquement sur une partie de la hauteur desdits cylindres à
- 10 partir de chaque extrémité d'entrefer, de telle sorte que des portions non fendues de l'armature fixe soient éloignées de chaque entrefer, chaque fente de ladite deuxième série de fentes étant intercalée entre deux fentes de ladite première série de fentes.

Les inventeurs ont déterminé qu'un actionneur présentant

15 une telle structure, bien que pouvant paraître de prime abord extrêmement fragile, est en réalité très résistant, et en tout état de cause suffisamment résistant pour endurer des efforts répétés pour pouvoir exploiter toute la puissance électrique disponible. La double série de fentes permet d'augmenter, à l'instar d'un feuilletage, la résistance électrique du circuit magnétique traversé par les

20 courants induits par les variations d'induction, ce qui permet d'empêcher la propagation des courants de Foucault. En revanche, contrairement au feuilletage, ces fentes sont directement réalisées dans la masse, par exemple par électroérosion, ce qui permet une mécanique de précision et surtout préserve l'intégrité mécanique de l'armature fixe. L'architecture à double série de fentes,

25 dont une série s'étend intégralement sur toute la hauteur du cylindre extérieur, implique que les fentes s'étendent pratiquement dans toutes les zones parcourues par du flux magnétique et que les portions non fendues, très peu nombreuses, sont sensiblement non parcourues par du flux magnétique. Au moins une série de fentes ne s'étend pas intégralement sur toute la hauteur des

30 cylindres pour pouvoir constituer une portion non fendue qui permette le

maintien de la structure générale de l'armature. Cette portion non fendue est agencée à l'opposé de l'entrefer.

Avantageusement et selon l'invention, ladite première série de fentes de ladite armature fixe s'étend également sur une portion radiale de ladite couronne de liaison, sur toute sa hauteur.

Les inventeurs ont également déterminé qu'il est possible de ménager des fentes dans ladite couronne de liaison reliant les cylindres intérieur et extérieur de l'armature fixe sans néanmoins fragiliser notablement l'armature. Une telle solution s'avère particulièrement efficace étant donné que l'armature fixe présente ainsi des fentes qui s'étendent dans toutes les zones parcourues par le flux magnétique, à l'exception uniquement d'une portion d'armature agencée à l'opposé de l'entrefer.

Avantageusement et selon l'invention, ladite deuxième série de fentes de ladite armature fixe s'étend également radialement uniquement sur une partie de la hauteur de ladite couronne de liaison.

Une telle structure permet de fournir une armature fixe qui comprend des fentes dans toutes les zones où le flux magnétique circule, à l'exception d'une portion centrale de la couronne de liaison délimitée radialement par une paroi intérieure du cylindre intérieur et l'extrémité radiale des fentes de la première série de fentes et longitudinalement le long dudit axe d'actionneur, par une extrémité de la couronne de liaison et l'extrémité des fentes de la deuxième série de fentes opposée à l'entrefer. A noter par ailleurs que cette portion de la couronne de liaison non fendue est agencée à distance de chaque entrefer du circuit magnétique.

La couronne de liaison reliant les cylindres intérieur et extérieur peut être agencée dans n'importe quel plan orthogonal à l'axe d'actionneur entre les extrémités axiales des cylindres de l'armature fixe. En particulier, dans le cas où l'actionneur comprend deux armatures mobiles agencées respectivement en regard de chacune des extrémités axiales de l'armature fixe, cette couronne de liaison est avantageusement agencée de telle

sorte qu'elle s'étend dans le plan médian des cylindres intérieur et extérieur orthogonal à l'axe d'actionneur. Dans le cas le plus courant où l'actionneur comprend une unique armature mobile en regard d'une extrémité axiale de l'armature fixe avec laquelle elle forme un circuit magnétique avec un seul entrefer, la couronne de liaison reliant les cylindres intérieur et extérieur s'étend de préférence dans un plan agencé à l'extrémité axiale opposée à l'entrefer.

Ainsi, avantageusement, un actionneur selon l'invention comprend une seule armature mobile agencée en regard d'une extrémité axiale de ladite armature fixe, dite extrémité d'entrefer, avec laquelle elle définit un circuit magnétique avec un seul entrefer, lesdits cylindres intérieur et extérieur de ladite armature fixe étant reliés au niveau de l'extrémité axiale opposée à ladite extrémité d'entrefer par ladite couronne de liaison.

Dans ce cas, la portion non fendue de la couronne de liaison est agencée à une extrémité axiale de l'armature fixe.

Cette portion centrale non fendue assure le maintien mécanique des cylindres intérieur et extérieur fendus.

Les fentes de la deuxième série de fentes de l'armature fixe peuvent s'étendre axialement plus ou moins dans les cylindres intérieur et extérieur, à partir de l'extrémité d'entrefer. La longueur des fentes le long dudit axe d'actionneur peut être optimisée pour d'une part limiter la propagation des courants de Foucault, et d'autre part conserver l'intégrité mécanique de l'armature fixe.

Avantageusement et selon l'invention, chaque fente de chaque série de fentes s'étend parallèlement audit axe d'actionneur.

Avantageusement et selon l'invention, chaque fente de ladite deuxième série de fentes de ladite armature fixe s'étend sur plus de 80% de la hauteur des cylindres intérieur et extérieur.

Ce rapport entre la longueur des cylindres et la longueur des fentes de la deuxième série de fentes permet d'assurer que les portions de l'armature non fendues ne représentent pas plus de 20% de l'armature totale.

Avantageusement et selon l'invention, au moins une armature mobile –notamment chaque armature mobile– est discoïdale et présente au moins une série de fentes radiales ménagées uniquement sur une partie radiale de cette armature sur toute la hauteur de cette armature mobile.

5 A l'instar de l'armature fixe, les inventeurs ont déterminé qu'une armature mobile peut en combinaison avec l'armature fixe présenter au moins une série de fentes ménagées uniquement sur une partie radiale de l'armature mobile sans néanmoins fragiliser l'armature. Les découpes permettant de créer les fentes sont avantageusement réalisées par électroérosion.

10 Avantageusement et selon l'invention, chaque fente de ladite première série de fentes d'au moins une armature mobile –notamment chaque armature mobile– s'étend radialement sur plus de 30 % du rayon de l'armature mobile.

15 Une armature mobile peut comprendre une ou plusieurs séries de fentes.

Avantageusement et selon l'invention, au moins une armature mobile –notamment chaque armature mobile– comprend au moins une deuxième série de fentes ménagées uniquement sur une partie radiale de cette armature mobile sur toute la hauteur de cette armature mobile, chaque fente de  
20 ladite deuxième série de fentes de cette armature mobile s'étendant radialement sur plus de 60 % du rayon de cette armature mobile.

Avantageusement et selon l'invention, au moins une armature mobile –notamment chaque armature mobile– comprend au moins une troisième série de fentes ménagées uniquement sur une partie radiale de cette  
25 armature mobile sur toute la hauteur de cette armature mobile, chaque fente de ladite troisième série de fentes de cette armature mobile s'étendant radialement sur plus de 75 % du rayon de cette armature mobile.

Un tel actionneur présente ainsi des performances électromagnétiques similaires à celles d'un actionneur présentant un feuilletage,  
30 voire meilleures, et des performances mécaniques similaires à celles d'un

actionneur massif. En revanche, il présente des performances mécaniques nettement supérieures à celles d'un actionneur présentant un feuilletage et des performances électromagnétiques nettement supérieures à celles d'un actionneur massif. Un actionneur selon l'invention peut ainsi présenter des dimensions optimisées, un poids et une durée de vie compatibles avec des applications embarquées, notamment spatiales. Un actionneur selon l'invention peut générer une puissance par unité de volume et/ou de masse nettement supérieure aux actionneurs de l'art antérieur, et présente un rendement énergétique optimal.

L'armature fixe selon l'invention est une armature réalisée de préférence par électroérosion qui présente deux cylindres concentriques entre lesquels est logé le bobinage d'aimantation. De même, l'armature mobile est discoïdale et est de préférence réalisée par électroérosion.

Avantageusement et selon l'invention, au moins une armature mobile –notamment chaque armature mobile– est discoïdale et présente un diamètre sensiblement égal au diamètre dudit cylindre extérieur de ladite armature fixe.

Les armatures d'un actionneur selon l'invention peuvent être réalisées en tout type de matériau ferromagnétique. Il est connu que dans le cadre d'un circuit magnétique soumis à un champ magnétique à haute fréquence, les pertes par hystérésis sont limitées par l'utilisation de matériaux à cycle étroit, tel que les matériaux nanocristallins. Les armatures d'un actionneur selon l'invention peuvent également être réalisées en fer doux, en acier XC 10, en AISI 430, en tout type d'alliage de métaux, etc. Néanmoins, les expériences ont démontré que les pertes magnétiques générées par l'utilisation de certains de ces matériaux, notamment le fer doux, peuvent être importantes.

Ainsi, avantageusement et selon l'invention, ladite armature fixe est réalisée en un alliage fer-nickel comprenant du fer et du nickel en proportions sensiblement identiques. Il s'agit d'un alliage à très faible hystérésis associé à une induction à saturation relativement élevée. Il présente une perméabilité initiale relative de 7 500.

De même, une armature mobile peut également être réalisée en tout type de matériau. Néanmoins, avantageusement et selon l'invention, au moins une armature mobile –notamment chaque armature mobile– est réalisée en un alliage fer-nickel comprenant du fer et du nickel en proportions sensiblement identiques.

Différents types de bobinages peuvent être utilisés dans un actionneur selon l'invention. Le nombre de spires de ces bobinages, la section de chaque spire et l'alimentation de ces bobinages dépendent de l'utilisation envisagée.

Un actionneur selon l'invention peut par exemple être utilisé pour entraîner une pompe à carburant pour l'alimentation d'un système de propulsion d'un satellite. Pour ce faire, les inventeurs ont déterminé les volumes et sections de l'actionneur permettant d'optimiser l'encombrement de l'actionneur, à pompe et performance données. L'ensemble des dimensions dérive d'une part du diamètre de la tige de la pompe à entraîner et d'autre part de la force à développer par la mise en action de la pompe.

Avantageusement et selon l'invention, l'épaisseur d'au moins une armature mobile –notamment chaque armature mobile– est sensiblement égale à l'épaisseur de ladite couronne d'extrémité reliant ledit cylindre intérieur et ledit cylindre extérieur.

Les fentes ménagées dans les différentes armatures peuvent présenter différentes dimensions. Ces dernières doivent permettre de limiter les courants de Foucault tout en maintenant l'intégrité mécanique des armatures.

Avantageusement et selon l'invention, pour chacune des armatures fixe et mobile, les fentes sont réalisées de telle sorte que chaque portion d'armature entre deux fentes adjacentes, dite lame d'armature, présente des dimensions adaptées pour que le premier mode propre en flexion de cette lame soit de fréquence supérieure à la fréquence de fonctionnement de l'actionneur.

Les fréquences d'utilisation d'un actionneur selon

l'invention sont de l'ordre de 100 Hz à 300 Hz. Dès lors, les dimensions des lames d'armature sont déterminées de telle sorte que les premiers modes propres en flexion dans l'axe de la plus petite et de la plus grande inertie soient respectivement de l'ordre de 1 000 Hz et de plus de 3 000 Hz.

5 La répartition des fentes dans les armatures peut changer d'une application à une autre.

Néanmoins, avantageusement et selon l'invention, pour chacune des armatures fixe et mobile, lesdites fentes sont uniformément réparties sur toute la périphérie de cette armature.

10 Le décalage angulaire entre deux fentes peut être adapté pour chaque application, en fonction des contraintes mécaniques et magnétiques poursuivies.

Néanmoins, avantageusement et selon l'invention, deux fentes adjacentes dudit cylindre extérieur sont séparées angulairement d'au moins  
15 3°, notamment de 3,75°.

Les inventeurs ont déterminé que cette répartition des fentes permet de limiter les courants de Foucault tout en maintenant l'intégrité mécanique du cylindre extérieur de l'armature fixe.

20 De même, avantageusement et selon l'invention, deux fentes adjacentes d'au moins une armature mobile –notamment de chaque armature mobile– sont séparées angulairement d'au moins 3°, notamment de 3,75°.

La largeur de chacune des fentes peut être choisie selon l'application visée.

25 Néanmoins, avantageusement et selon l'invention, chaque fente présente une largeur d'au moins 0,3 mm, notamment de 0,37 mm.

Les inventeurs ont déterminé que de telles fentes permettent de limiter les courants de Foucault tout en maintenant l'intégrité mécanique des armatures.

30 Un actionneur électromagnétique selon l'invention présente

un circuit magnétique axisymétrique, ce qui permet d'utiliser la totalité du champ électromagnétique généré par une bobine cylindrique ménagée entre les cylindres intérieur et extérieur de l'armature fixe de cet actionneur.

De plus, un actionneur selon l'invention permet de  
5 supporter des écarts thermiques importants sans générer de contraintes thermo-élastiques. En particulier, un actionneur selon l'invention peut supporter des chocs thermiques, ce qui autorise l'utilisation d'un tel actionneur sur des plages étendues de température. Dès lors, un actionneur selon l'invention peut être embarqué à bord de divers engins, à déplacement terrestre et/ou aquatique et/ou  
10 aérien et/ou spatial, destinés à évoluer dans des conditions diverses sans nécessiter de modification spécifique de la structure de l'actionneur, ni d'adaptation de l'environnement au sein duquel est placé l'actionneur.

L'invention concerne en outre un actionneur électromagnétique à réluctance variable caractérisé en combinaison par tout ou  
15 partie des caractéristiques mentionnées ci-dessus ou ci-après.

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante qui présente à titre d'exemple non limitatif un mode de réalisation de l'invention, en référence aux dessins annexés ; sur ces dessins :

20 - la figure 1 est une vue schématique en perspective d'un actionneur selon un mode de réalisation de l'invention,

- la figure 2 est une vue schématique en perspective d'une armature fixe d'un actionneur selon un mode de réalisation de l'invention,

25 - la figure 3 est une vue schématique en perspective d'une armature mobile d'un actionneur selon un mode de réalisation de l'invention,

- la figure 4 est une vue schématique en perspective d'une armature fixe d'un actionneur selon un mode de réalisation de l'invention portant un bobinage d'aimantation,

30 - la figure 5 est une vue schématique en coupe longitudinale à plans sécants de l'armature fixe de la figure 2.

Un actionneur électromagnétique à réluctance variable selon l'invention comprend, tel que représenté sur la figure 1, un corps 1 d'actionneur, un noyau magnétique et un bobinage 2 d'aimantation. Le noyau magnétique comprend une armature 3 fixée au corps 1 d'actionneur par l'intermédiaire de pattes 8 de fixation et une armature 4 mobile par rapport à l'armature 3 fixe. L'armature 3 fixe, l'armature 4 mobile et le bobinage 2 d'aimantation forme un circuit magnétique avec entrefer 20 dont la dimension varie par déplacement de l'armature 4 mobile par rapport à l'armature 3 fixe.

L'armature 3 fixe comprend selon l'invention, et tel que représenté notamment sur la figure 2, au moins deux cylindres de révolution concentriques espacés radialement l'un de l'autre, un cylindre 5 extérieur et un cylindre 6 intérieur. Les cylindres 5 extérieur et 6 intérieur s'étendent le long d'un axe, dit axe 7 d'actionneur. Cet axe 7 d'actionneur correspond à l'axe de guidage en translations alternatives de l'armature 4 mobile par rapport à l'armature 3 fixe. Les cylindres 5 extérieur et 6 intérieur sont reliés à une de leur extrémité axiale, dite extrémité 10 de liaison, par une couronne 9 de liaison.

Selon le mode de réalisation des figures, l'actionneur comprend une seule armature 4 mobile agencée en regard d'une extrémité axiale des cylindres 5 extérieur et 6 intérieur, dite extrémité 11 d'entrefer, opposée à l'extrémité 10 de liaison où s'étend la couronne 9 de liaison.

Néanmoins, selon d'autres modes de réalisation de l'invention, un actionneur peut comprendre deux armatures mobiles agencées en regard de chacune des extrémités axiales de l'armature fixe définissant ainsi deux entrefers. Selon ce mode de réalisation, la couronne de liaison s'étend de préférence au voisinage d'un plan médian de l'armature fixe, agencée à mi-distance entre les deux entrefers.

De préférence, les pattes 8 de fixation de l'armature 3 fixe sur le corps 1 d'actionneur s'étendent dans un plan orthogonal audit axe 7 d'actionneur qui comprend au moins en partie la couronne 9 liaison.

A noter que l'armature fixe tel que représentée sur les

figures 2, 4 et 5 est retournée par rapport à sa représentation sur la figure 1.

Le cylindre 6 intérieur comprend une paroi 15 intérieure et une paroi 17 extérieure. Le cylindre 5 extérieur comprend une paroi 18 intérieure en regard de la paroi 17 extérieure du cylindre 6 intérieur et espacée de cette dernière, et une paroi 16 extérieure.

Le bobinage 2 d'aimantation d'un actionneur selon l'invention est agencé entre la paroi 17 extérieure du cylindre 6 intérieur et la paroi 18 intérieure du cylindre 5 extérieur. Tout type de bobinage peut être utilisé pour la réalisation d'un actionneur selon l'invention. Par exemple, le bobinage peut être une bobine de 168 spires en fil de 0,9 mm prévue pour fonctionner à 50 V ou une bobine de 328 spires en fil de 0,56 mm prévue pour fonctionner à 100V. Bien entendu, d'autres types de bobinage peuvent être utilisés selon le type d'application poursuivie. La figure 4 présente un bobinage 2 selon l'invention logé entre les cylindres 6 intérieur et 5 extérieur de l'armature 3 fixe selon l'invention.

Selon l'invention, l'armature 3 fixe comprend une première série de fentes 12 ménagées radialement dans le cylindre 5 extérieur, chaque fente 12 débouchant sur la paroi 18 intérieure et sur la paroi 16 extérieure du cylindre 5 extérieur. Par ailleurs, chaque fente 12 s'étend sur toute la hauteur du cylindre 5 extérieur parallèlement à l'axe 7 d'actionneur. Chaque fente s'étend ainsi dans un plan radial. Le cylindre 5 extérieur est donc intégralement découpé par la première série de fentes 12. Les fentes 12 sont avantageusement uniformément réparties sur le cylindre 5 extérieur. Le nombre de fentes 12 dépend du diamètre du cylindre 5 et de l'application visée par l'actionneur. Selon le mode de réalisation des figures, deux fentes 12 adjacentes sont séparées d'un angle de 7,5°. Bien entendu, selon d'autres modes de réalisation, les fentes 12 peuvent être séparées d'un angle supérieur ou inférieur à l'angle précité. Chaque fente étant de préférence réalisée par électroérosion, elle présente une largeur constante.

Selon le mode de réalisation des figures, l'armature 3 fixe

comprend également une deuxième série de fentes 13 ménagées radialement conjointement dans les cylindres 5 extérieur et 6 intérieur. Chaque fente 13 s'étend radialement de la paroi 15 intérieure du cylindre 6 intérieur à la paroi 16 extérieure du cylindre 5 extérieur. En revanche, contrairement aux fentes 12 de la première série de fentes, chaque fente 13 s'étend uniquement sur une portion de la hauteur des cylindres 5 extérieur et 6 intérieur. Chaque fente 13 débouche vers l'extrémité 11 d'entrefer. Ainsi, chaque fente 13 est ménagée entre l'extrémité 11 d'entrefer des cylindres 5, 6 et une zone au voisinage de l'extrémité 10 de liaison des cylindres. Les dimensions des portions des cylindres non fendus par ces fentes 13 dépendent de l'application visée.

Selon le mode de réalisation des figures, la hauteur selon l'axe 7 d'actionneur des portions de cylindres 5 et 6 non parcourues par les fentes 13 n'excède pas 15 % de la hauteur totale des cylindres 5 et 6.

Par exemple, les cylindres 5 et 6 peuvent présenter chacun une hauteur de 39 mm, les fentes 12 s'étendent sur toute la hauteur du cylindre 5 extérieur et les fentes 13 s'étendent uniquement sur 33 mm de la hauteur des cylindres 5 et 6.

Ces découpes dans l'armature 3 fixe sont de préférence réalisées par électroérosion.

Selon le mode de réalisation des figures, les fentes 12 s'étendent également sur une portion radiale de la couronne 9 d'extrémité sur toute la hauteur de cette couronne 9 d'extrémité alors que les fentes 13 s'étendent radialement de la paroi 15 intérieure du cylindre 6 intérieur à la paroi 16 extérieure du cylindre 5 extérieur, uniquement sur une portion de la hauteur de la couronne 9 d'extrémité.

Cette architecture permet d'assurer une découpe quasi uniforme de l'armature 3 fixe à l'exception d'une portion 14 centrale non fendue délimitée radialement par la paroi 15 intérieure du cylindre 5 intérieur et l'extrémité 16 radiale des fentes 12 de la première série de fentes 12, et longitudinalement le long dudit axe 7 d'actionneur, par ladite extrémité 10 de

liaison et l'extrémité des fentes 13 de la deuxième série de fentes 13 opposée à l'extrémité 11 d'entrefer. Cette portion 14 centrale non fendue est agencée à l'opposée de l'entrefer 20 du circuit magnétique ainsi réalisé.

Chaque paire de fentes immédiatement adjacentes définit  
5 une lame d'armature.

Cette portion 14 non fendue permet de maintenir l'intégrité mécanique de l'armature 3 fixe en faisant office de zone de ramification des différentes lames de l'armature fixe. Les inventeurs ont déterminé que cette portion 14 centrale non fendue est suffisante pour assurer l'intégrité mécanique  
10 de l'armature 3 fixe de telle sorte qu'un actionneur selon l'invention peut fonctionner à pleine puissance.

Par ailleurs, la pluralité de fentes 12, 13 ménagées dans l'armature 3 fixe permet d'augmenter la résistance électrique du circuit magnétique, ce qui empêche la propagation des courants de Foucault. Dès lors,  
15 un actionneur selon l'invention possède un excellent rendement.

Selon un mode de réalisation particulièrement avantageux de l'invention, l'armature 4 mobile est discoïdale.

Cette armature 4 mobile discoïdale comprend, tel que représentée sur la figure 3, une face 22 agencée en regard de l'extrémité 11  
20 d'entrefer de l'armature 3 fixe, une fois l'armature 4 mobile montée dans le corps 1 d'actionneur, et une face 23 opposée à la face 22 et parallèle à cette dernière. L'armature 4 mobile est adaptée pour être entraînée en translations alternatives le long de l'axe 7 d'actionneur.

Selon un mode avantageux de réalisation de l'invention,  
25 l'armature 4 mobile comprend également une pluralité de séries de fentes.

Selon le mode de réalisation de la figure 3, l'armature 4 mobile comprend trois séries de fentes, chaque fente de chaque série de fentes s'étendant sur toute la hauteur de l'armature 4 mobile entre ses faces 23, 24. Une première série de fentes 21 s'étend uniquement sur une portion radiale de  
30 l'armature, à partir de la périphérie de l'armature, qui représente de l'ordre de

33% du rayon de l'armature 4 mobile. Une deuxième série de fentes 24 s'étend uniquement sur une portion radiale de l'armature, à partir de la périphérie de l'armature, qui représente de l'ordre de 60% du rayon de l'armature 4 mobile. Une troisième série de fentes 25 s'étend uniquement sur une portion radiale de l'armature, à partir de la périphérie de l'armature, qui représente de l'ordre de 75% du rayon de l'armature 4 mobile.

Selon le mode de réalisation de la figure 3, deux paires de fentes 21 successives sont agencées respectivement de part et d'autre d'une fente 24 et d'une fente 25. Dès lors, selon ce mode de réalisation, la deuxième série de fentes 25 comprend autant de fentes que la troisième série de fentes 24. En revanche, la première série de fentes 21 comprend le double du nombre de fentes de la deuxième série de fentes 24 et de la troisième série de fentes 25.

Cette structure permet d'obtenir une armature 4 mobile résistante car les fentes 24 les plus nombreuses sont les plus courtes, c'est-à-dire, celles dont les découpes enlèvent le moins de matière à l'armature 4 mobile. Par ailleurs, l'armature comprend des fentes qui s'étendent radialement sur la presque totalité de l'armature de telle sorte que seule une petite portion centrale de l'armature dans laquelle l'induction passe ne comprend pas de fentes. Une telle structure permet ainsi de disposer d'une armature dans laquelle l'influence des courants de Foucault est négligeable tout en bénéficiant d'une résistance mécanique qui ne limite pas la puissance électromagnétique utilisable.

Selon le mode de réalisation de la figure 3, la portion centrale non fendue présente une dimension radiale de l'ordre de 10% du rayon de l'armature 4 mobile.

Selon ce mode de réalisation, deux fentes successives, quelle que soit la série dont elles dépendent, sont séparées d'un angle de  $3,75^\circ$ . Chaque paire de fentes adjacentes définit une lame d'armature. Selon le mode de réalisation de la figure 3, deux lames d'armatures adjacentes sont séparées d'un angle de  $3,75^\circ$ .

Néanmoins, selon d'autres modes de réalisation, le nombre

de séries de fentes, les dimensions des fentes et l'agencement de ces dernières peuvent être différents.

Selon un mode de réalisation de l'invention, une ou plusieurs fentes d'une ou plusieurs séries de fentes peuvent être comblées par une  
5 résine, du type résine époxy, de manière à renforcer la tenue mécanique de l'actionneur.

L'armature 4 mobile présente un alésage axial central traversant dans lequel peut être logé, par exemple, le piston d'une pompe, de telle sorte que les déplacements de l'armature 4 mobile par rapport à l'armature 3 fixe  
10 entraîne le déplacement du piston de la pompe. Pour ce faire, l'alésage axial central présente selon le mode de réalisation de la figure 3 un rayon de l'ordre de 15 % du rayon de l'armature 3 mobile discoïdale.

Selon d'autres modes de réalisation, les fentes de l'armature fixe et de l'armature mobile peuvent être agencées différemment et  
15 présenter entre elles des écarts angulaires différents.

Néanmoins, selon un mode de réalisation particulièrement avantageux, les fentes sont réalisées de telle sorte que chaque lame d'armature définie par une portion d'armature agencée entre deux fentes adjacentes présente des dimensions adaptées pour que le premier mode propre en flexion de cette  
20 lame soit de fréquence supérieure à la fréquence de fonctionnement de l'actionneur.

Un actionneur selon l'invention peut fonctionner de façon optimale à des fréquences élevées, de l'ordre de 100 Hz à 300 Hz. Dès lors, les dimensions des lames d'armature sont avantageusement déterminées de telle sorte que les premiers modes de flexion dans l'axe de la plus petite et de la plus  
25 grande inertie soient, par exemple, respectivement de l'ordre de 1 000 Hz et de plus de 3 000 Hz.

Pour ce faire, et tel que représenté sur les figures 2 et 5, les lames du cylindre 5 extérieur de l'armature 4 fixe définies par une paire de fentes  
30 –une fente 12 de la première série de fentes et une fente 13 de la seconde série de

fentes— présente une dimension radiale de 3,25 mm, une dimension angulaire au niveau de la paroi 18 intérieure de 1 mm et une dimension angulaire au niveau de la paroi 16 extérieure de 1,25 mm. La hauteur d'une telle lame est définie par la hauteur des fentes qui, comme on la vu précédemment, est selon le mode de réalisation des figures 2 et 5, de 33 mm.

Selon le mode de réalisation des figures 2 et 5, les lames du cylindre 6 intérieur de l'armature 4 fixe définies par une paire de fentes 13 de la seconde série de fentes présente une dimension radiale de 8,25 mm, une dimension angulaire au niveau de la paroi 15 intérieure de 0,25 mm et une dimension angulaire au niveau de la paroi 17 extérieure de 1,5 mm. La hauteur d'une telle lame est définie par la hauteur des fentes qui, comme on la vu précédemment, est selon le mode de réalisation des figures 2 et 5, de 33 mm.

Bien entendu, d'autres dimensions permettent d'obtenir des lames dont le mode propre en flexion est supérieur à la fréquence de fonctionnement de l'actionneur. Ces derniers sont avantageusement déterminés par simulation.

Un actionneur selon l'invention peut également être prévu pour fonctionner en dehors de la plage de fréquences de 100Hz à 300 Hz.

Un actionneur selon l'invention peut être réalisé en différents types de matériaux, tel que l'acier inoxydable, l'acier XC 10, le fer doux, des matériaux nanocristallins, des alliages de métaux, etc.

Selon un mode particulièrement avantageux de l'invention, le noyau magnétique est réalisé en un alliage fer-nickel comprenant des proportions sensiblement identiques de fer et de nickel.

En effet, un tel alliage de métaux possède une très faible hystérésis associée à une induction à saturation relativement élevée.

De plus, un tel alliage fer-nickel procure un faible niveau d'induction rémanente. Dès lors, contrairement à ce qui se produit notamment avec des actionneurs comprenant des armatures en fer, une armature mobile réalisée avec un tel alliage fer-nickel ne vient pas se coller contre l'armature fixe

en l'absence d'un courant dans le bobinage d'aimantation. En particulier, il n'est pas nécessaire, avec un actionneur selon l'invention comprenant des armatures réalisées avec un alliage fer-nickel en proportions sensiblement identiques, de limiter l'entrefer minimal de l'actionneur à une valeur de l'ordre de quelques centièmes de millimètres pour éviter de subir la force rémanente qui bloquerait tout mouvement de l'actionneur tant qu'une force suffisante ne serait pas appliquée. Un actionneur selon ce mode de réalisation offre ainsi une grande souplesse d'utilisation.

Un actionneur selon l'invention permet de développer dans un volume réduit une puissance importante.

Selon le mode de réalisation des figures, l'actionneur occupe un volume inférieur à  $140 \text{ cm}^3$  et permet de développer plus de 200N pour une course de 1 mm de l'armature mobile.

Dès lors, un actionneur selon l'invention est particulièrement adapté aux applications embarquées pour lesquelles une puissance par unité de volume importante est recherchée. Un actionneur selon l'invention présente une pluralité de fentes permettant de fortement limiter les courants de Foucault tout en préservant la structure mécanique rigide et résistante des armatures. Dès lors, un actionneur selon l'invention peut être utilisé à pleine puissance électrique sans risque de détérioration des armatures. Un actionneur selon l'invention est donc particulièrement adapté à des applications qui présentent des contraintes mécaniques importantes.

Un actionneur selon l'invention ne se limite pas aux seuls modes de réalisation décrits. En particulier, un actionneur selon l'invention peut comprendre un nombre différent de fentes, une architecture générale différente et un bobinage différent, sans néanmoins sortir de l'objet de la présente invention.

## REVENDICATIONS

1/- Actionneur électromagnétique à reluctance variable  
comprenant :

- un corps (1) d'actionneur,
- 5 - une armature ferromagnétique fixée audit corps d'actionneur, dite armature (3) fixe, comprenant au moins deux cylindres de révolution concentriques, dits respectivement cylindre (6) intérieur et cylindre (5) extérieur, espacés radialement l'un de l'autre et s'étendant le long d'un axe, dit axe (7) d'actionneur, lesdits cylindres (6) intérieur et (5) extérieur étant reliés par  
10 une couronne (9) de liaison s'étendant dans un plan orthogonal audit axe (7) d'actionneur,
  - au moins un bobinage (2) d'aimantation agencé entre lesdits cylindres (6) intérieur et (5) extérieur,
  - au moins une armature (4) mobile ferromagnétique  
15 agencée en regard d'une extrémité axiale de ladite armature (3) fixe, dite extrémité (11) d'entrefer, chaque armature (4) mobile étant guidée en translations alternatives par rapport à ladite armature (3) fixe le long dudit axe (7) d'actionneur, avec laquelle elle définit un circuit magnétique avec un entrefer (20) dont la dimension varie au cours des translations alternatives de cette  
20 armature (4) mobile par rapport à l'armature (3) fixe, caractérisé en ce que ladite armature (3) fixe comprend au moins deux séries de fentes, une première série de fentes (12) ménagées radialement dans ledit cylindre (5) extérieur et s'étendant sur toute la hauteur dudit cylindre (5) extérieur, et une deuxième série de fentes (13) ménagées radialement dans lesdits  
25 cylindres (5) extérieur et (6) intérieur et s'étendant uniquement sur une partie de la hauteur desdits cylindres (5, 6) à partir de chaque extrémité (11) d'entrefer de telle sorte que des portions non fendues de l'armature (3) fixe soient éloignées de chaque entrefer (20), chaque fente (13) de ladite deuxième série de fentes étant intercalée entre deux fentes (12) de ladite première série de fentes.

30

2/- Actionneur selon la revendication 1, caractérisé en ce

que ladite première série de fentes (12) de ladite armature (3) fixe s'étend également sur une portion radiale de ladite couronne (9) d'extrémité, sur toute sa hauteur.

3/- Actionneur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que ladite deuxième série de fentes (13) de ladite armature (3) fixe s'étend également radialement uniquement sur une partie de la hauteur de ladite couronne (9) de liaison.

4/- Actionneur selon l'une des revendications 1 à 3 comprenant une seule armature (4) mobile agencée en regard d'une extrémité axiale de ladite armature (3) fixe, dite extrémité (11) d'entrefer, avec laquelle elle définit un circuit magnétique avec un seul entrefer (20), caractérisé en ce que lesdits cylindres (6) intérieur et (5) extérieur de ladite armature (3) fixe sont reliés par ladite couronne (10) de liaison, au niveau de l'extrémité axiale de ladite armature (4) fixe opposée à ladite extrémité (11) d'entrefer, dite extrémité (10) de liaison.

5/- Actionneur selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que chaque fente de chaque série de fentes s'étend dans un plan radial parallèlement audit axe (7) d'actionneur.

6/- Actionneur selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que chaque fente (13) de ladite deuxième série de fentes de ladite armature (3) fixe s'étend sur plus de 80% de la hauteur des cylindres (6) intérieur et (5) extérieur.

7/- Actionneur selon la revendication 1 à 6, caractérisé en ce qu'au moins une armature (4) mobile est discoïdale et comprend au moins une première série de fentes (21) ménagées sur une majeure partie radiale de cette armature (4) mobile, sur toute la hauteur de cette armature (4) mobile.

8/- Actionneur selon la revendication 7, caractérisé en ce que chaque fente (21) de ladite première série de fentes d'au moins une armature (4) mobile s'étend radialement sur plus de 30 % du rayon de cette armature (4) mobile.

9/- Actionneur selon l'une des revendications 7 ou 8, caractérisé en ce qu'au moins une armature (4) mobile comprend au moins une deuxième série de fentes (24) ménagées uniquement sur une partie radiale de cette armature (4) mobile sur toute la hauteur de cette armature (4) mobile, chaque fente  
5 (24) de ladite deuxième série de fentes de cette armature (4) mobile s'étendant radialement sur plus de 60 % du rayon de cette armature (4) mobile.

10/- Actionneur selon l'une des revendications 7 à 9, caractérisé en ce qu'au moins une armature (4) mobile comprend au moins une troisième série de fentes (25) ménagées uniquement sur une partie radiale de cette  
10 armature (4) mobile sur toute la hauteur de cette armature (4) mobile, chaque fente (25) de ladite troisième série de fentes de cette armature (4) mobile s'étendant radialement sur plus de 75 % du rayon de cette armature (4) mobile.

11/- Actionneur selon l'une des revendications 7 à 10, caractérisé en ce qu'au moins une armature (4) mobile présente un diamètre  
15 sensiblement égale au diamètre dudit cylindre (5) extérieur de ladite armature (3) fixe.

12/- Actionneur selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que ladite armature (3) fixe est réalisée en un alliage fer-nickel comprenant du fer et du nickel en proportions sensiblement identiques.

20 13/- Actionneur selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'au moins une armature (4) mobile est réalisée en un alliage fer-nickel comprenant du fer et du nickel en proportions sensiblement identiques.

14/- Actionneur selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que chaque armature (4) mobile présente une épaisseur  
25 sensiblement égale à l'épaisseur de ladite couronne (9) de liaison reliant ledit cylindre (6) intérieur et ledit cylindre (5) extérieur.

15/- Actionneur selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que pour chacune des armatures (4) fixe et (3) mobile, les fentes (12, 13, 21, 24, 25) sont réalisées de telle sorte que chaque portion d'armature  
30 entre deux fentes adjacentes, dite lame d'armature, présente des dimensions

adaptées pour que le premier mode propre en flexion de cette lame soit de fréquence supérieure à la fréquence de fonctionnement de l'actionneur.

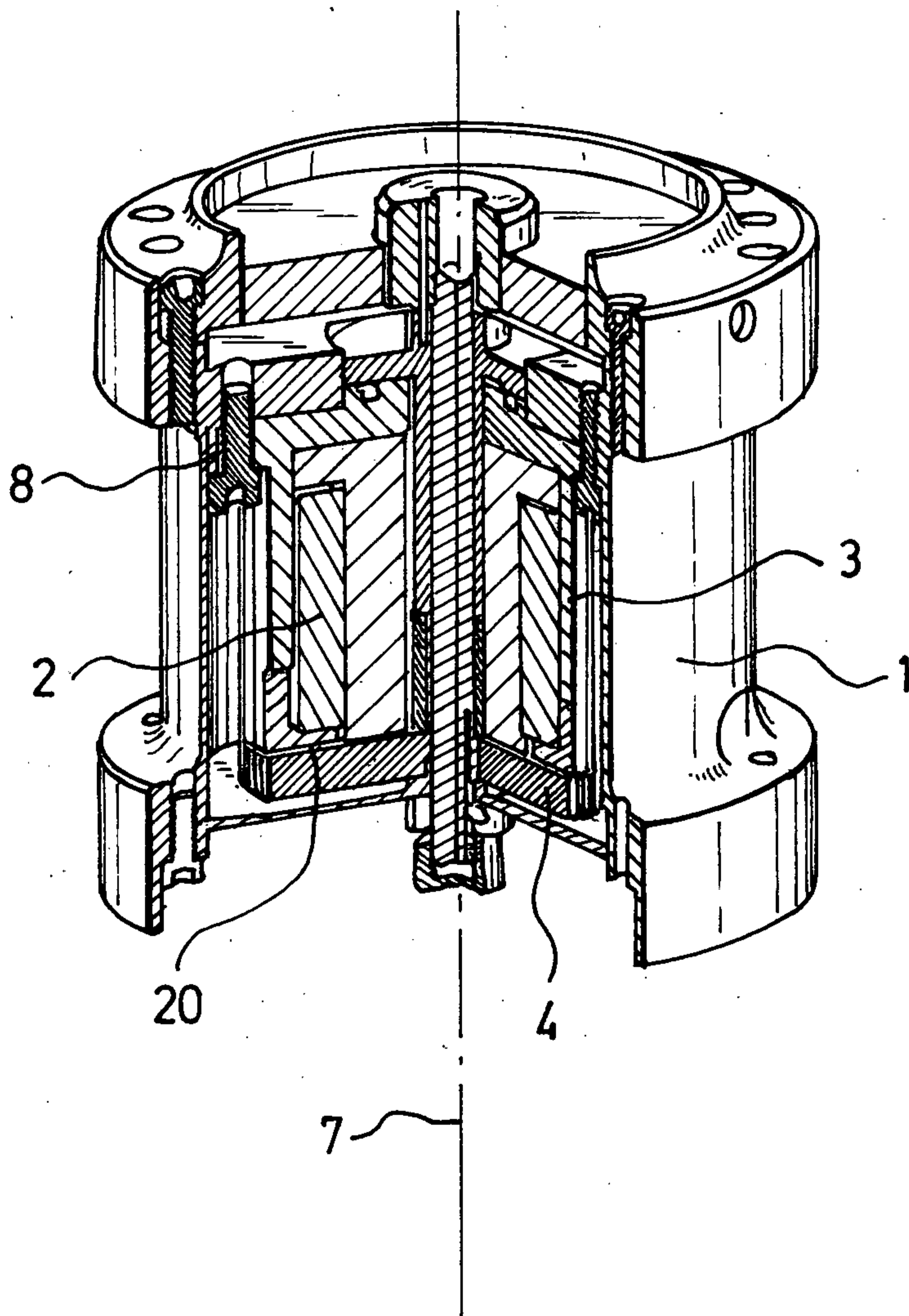
16/- Actionneur selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que pour chacune des armatures (4) fixe et (3) mobile, lesdites  
5 fentes (12, 13, 21, 24, 25) sont uniformément réparties sur toute la périphérie de cette armature.

17/- Actionneur selon la revendication 16, caractérisé en ce que deux fentes adjacentes dudit cylindre (5) extérieur sont séparées angulairement d'au moins  $3^\circ$ , notamment de  $3,75^\circ$ .

10 18/- Actionneur selon les revendications 7 et 17 prises ensemble, caractérisé en ce que pour chaque armature (4) mobile, deux fentes adjacentes sont séparées angulairement d'au moins  $3^\circ$ , notamment de  $3,75^\circ$ .

1/4

Fig 1



2/4

Fig 3

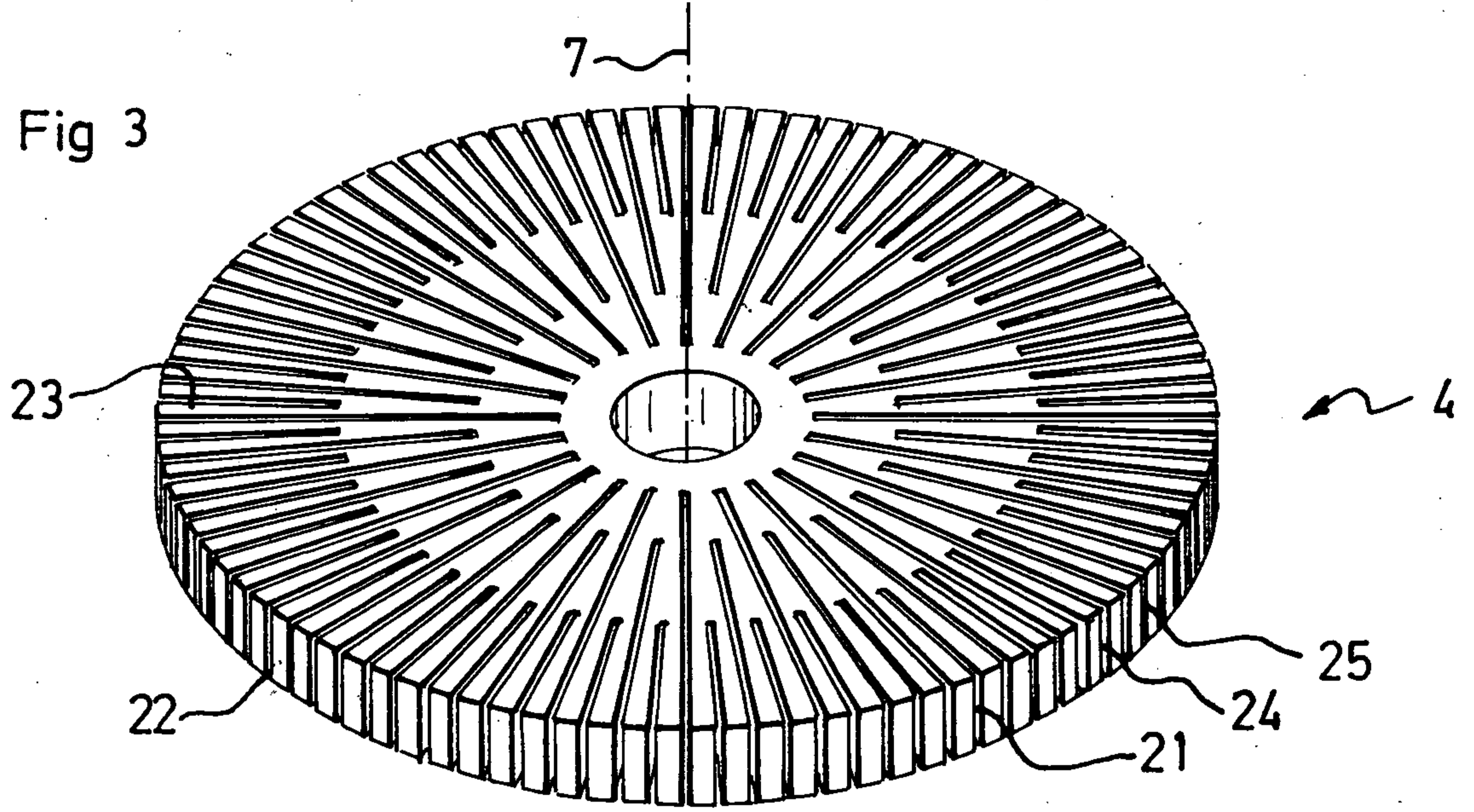
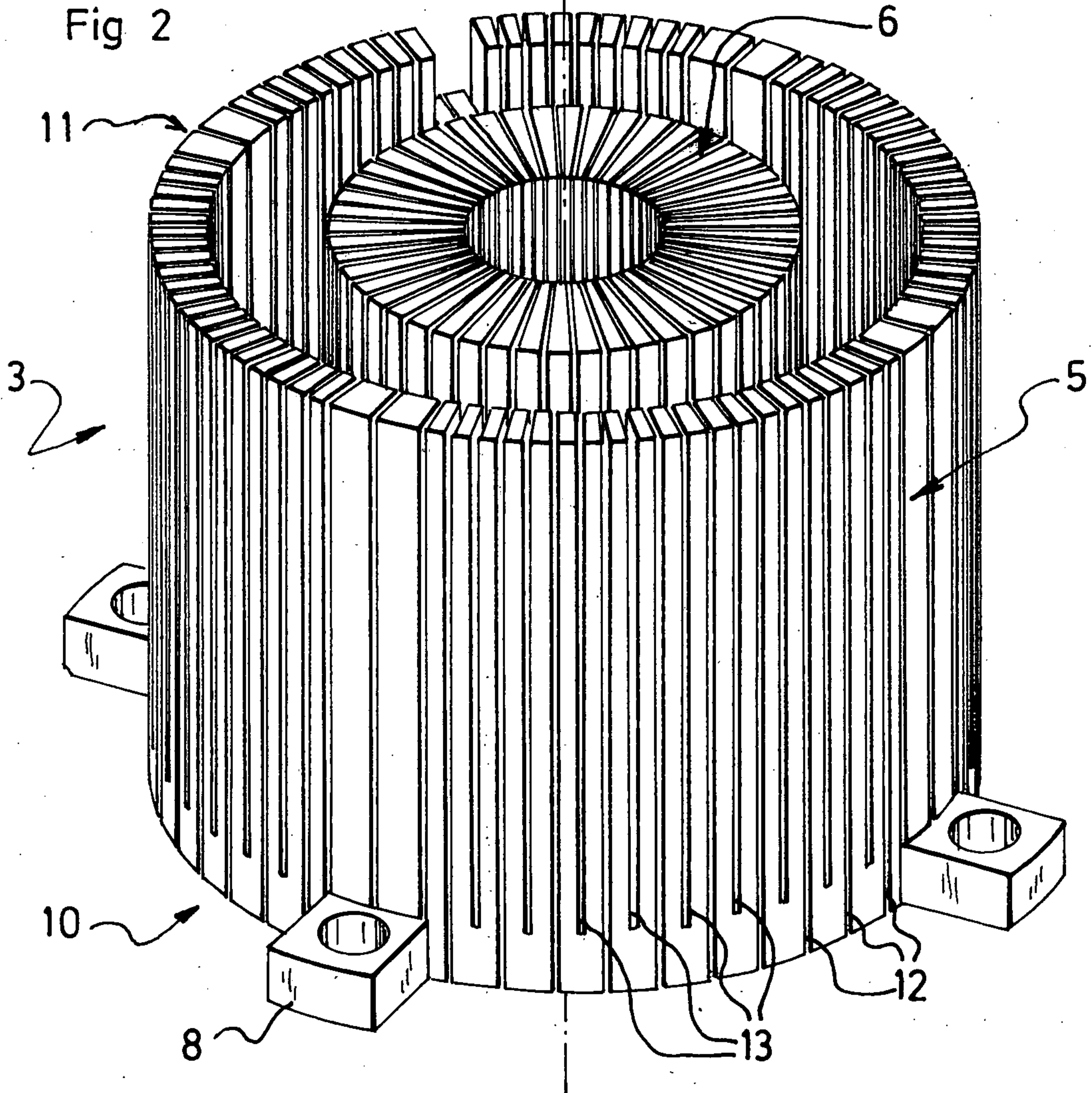
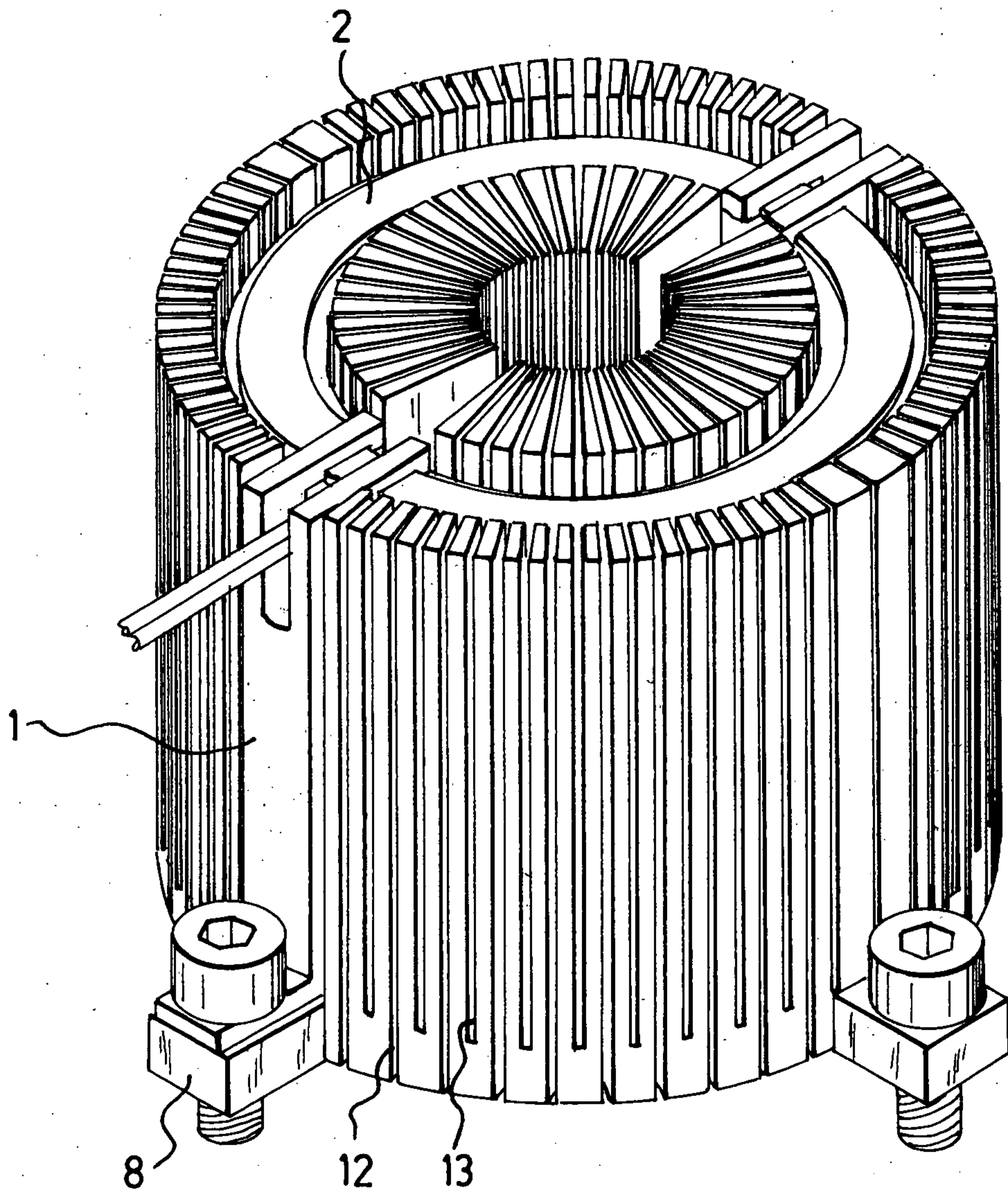


Fig 2



3/4

Fig 4



4/4

Fig 5

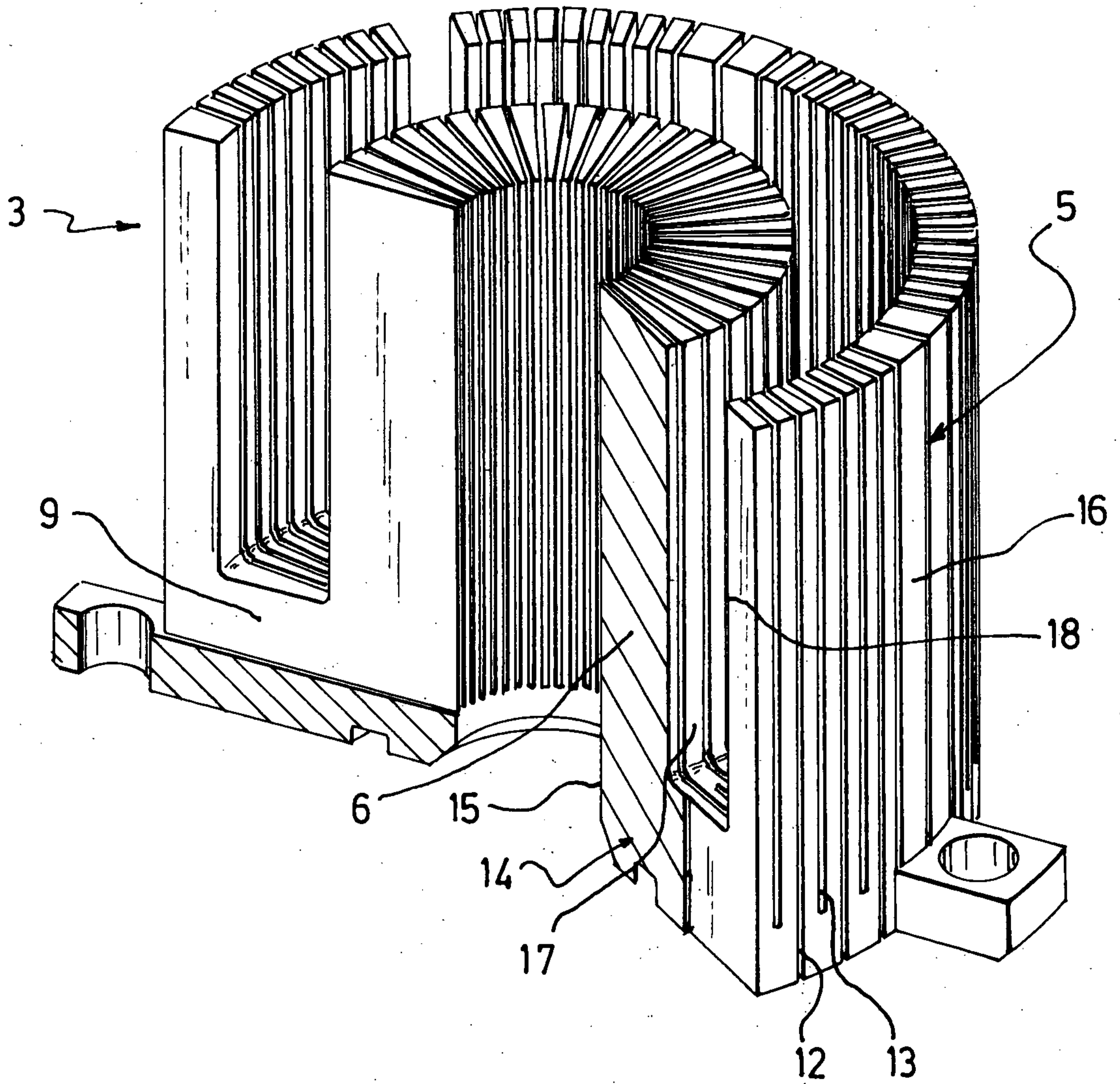


Fig 1

