



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**01.03.2000 Bulletin 2000/09**

(51) Int Cl.7: **H05H 1/54, F03H 1/00**

(21) Numéro de dépôt: **99401981.8**

(22) Date de dépôt: **04.08.1999**

(84) Etats contractants désignés:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE**  
Etats d'extension désignés:  
**AL LT LV MK RO SI**

(72) Inventeurs:  
• **Valentian, Dominique**  
**78710 Rosny-sur-Seine (FR)**  
• **Bugeat, Jean-Pierre**  
**77380 Combs la Ville (FR)**  
• **Klinger, Eric**  
**77300 Fontainebeau (FR)**

(30) Priorité: **25.08.1998 FR 9810674**

(71) Demandeur: **SOCIETE NATIONALE D'ETUDE ET  
DE  
CONSTRUCTION DE MOTEURS D'AVIATION,  
"S.N.E.C.M.A."  
75015 Paris (FR)**

(74) Mandataire: **Thévenet, Jean-Bruno et al**  
**Cabinet Beau de Loménie**  
**158, rue de l'Université**  
**75340 Paris Cédex 07 (FR)**

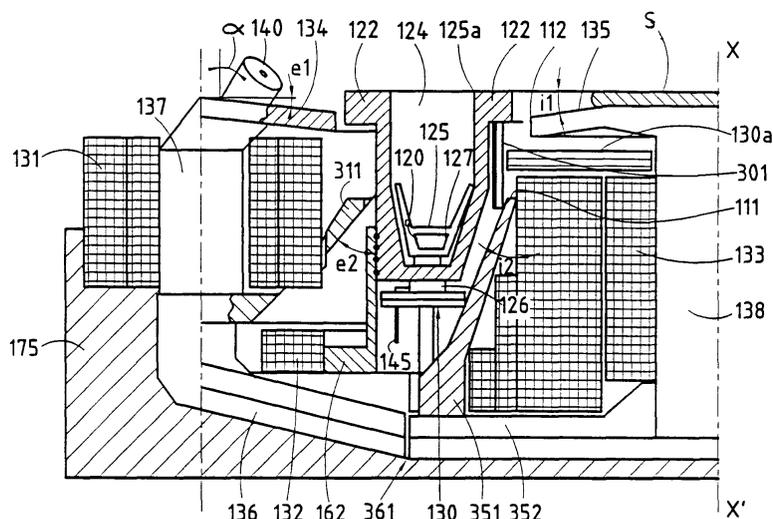
(54) **Propulseur à plasma à dérive fermée d'électrons adapté à de fortes charges thermiques**

(57) Le propulseur à plasma à dérive fermée d'électrons met en oeuvre un circuit magnétique de création d'un champ magnétique dans un canal annulaire principal d'ionisation et d'accélération (124), ce circuit magnétique comprenant :

une première pièce polaire externe essentiellement radiale (134), une deuxième pièce polaire externe conique (311), une première pièce polaire interne essentiellement radiale (135), une deuxième pièce polaire interne conique (351), une pluralité de noyaux magnétiques externes (137) entourés de bobines externes (131) pour

relier entre elles les première et deuxième pièces polaires externes (134, 311), un noyau magnétique axial (138) entouré d'une première bobine interne (133) et relié à la première pièce polaire interne (135), et une deuxième bobine interne (132) placée en amont des bobines externes (131).

Le propulseur comprend en outre une pluralité de bras radiaux (352, 136) inclus dans le circuit magnétique ainsi qu'une embase structurale (175) distincte du circuit magnétique pour assurer entre autres le refroidissement des bobines (131, 132, 133).



**FIG.1**

## Description

### Domaine de l'invention

[0001] La présente invention a pour objet un propulseur à plasma à dérive fermée d'électrons adapté à de fortes charges thermiques, comprenant un canal annulaire principal d'ionisation et d'accélération délimité par des pièces en matériau isolant et ouvert à son extrémité aval, au moins une cathode creuse disposée à l'extérieur du canal annulaire principal du côté de la partie aval de celui-ci, une anode annulaire concentrique au canal annulaire principal et disposée à distance de l'extrémité aval ouverte, une canalisation et un distributeur pour alimenter en gaz ionisable l'anode annulaire, et un circuit magnétique de création d'un champ magnétique dans le canal annulaire principal.

### Art antérieur

[0002] On connaît déjà par exemple par le document EP-A- 0 541 309 des propulseurs à plasma à dérive fermée d'électrons dont la structure est représentée en coupe sur la figure 13.

[0003] Un propulseur de ce type comprend une cathode 2, un distributeur de gaz 1 formant anode, un canal d'accélération annulaire (chambre de décharge) 3 délimité par des parois interne 3a et externe 3b, et un circuit magnétique comprenant un pôle externe 6, un pôle interne 7, un noyau central 12, une chemise magnétique 8, une bobine interne 9 et une bobine externe 10.

[0004] Le canal d'accélération annulaire 3 est situé entre un écran magnétique interne 4 et un écran magnétique externe 5, qui permettent d'augmenter le gradient de champ magnétique radial dans le canal 3. Le canal 3 est relié à la pièce polaire externe 6 par une pièce métallique cylindrique 17.

[0005] Du point de vue thermique, le canal 3 est entouré non seulement par les écrans magnétiques 4, 5 mais également par des écrans thermiques anti-rayonnement 13 vers l'axe et la bobine centrale ainsi que vers l'extérieur. La seule possibilité effective de refroidissement par rayonnement est située à l'extrémité aval du canal 3, ouverte vers l'espace. Il en résulte une température de canal plus élevée que si le canal 3 avait la possibilité de rayonner par sa face latérale externe.

[0006] On connaît encore par le document WO 94/02738 une structure de propulseur à plasma à dérive fermée d'électrons 20, dans laquelle un canal d'accélération 24 est relié en amont à une chambre tampon de tranquillisation 23, comme illustré sur la figure 14 qui est une vue en élévation et en demi-coupe axiale d'une telle structure.

[0007] Le propulseur à plasma décrit sur la figure 14 comprend un canal annulaire principal d'ionisation et d'accélération 24 délimité par des pièces 22 en matériau isolant et ouvert à son extrémité aval 25a, au moins une

cathode creuse 40 et une anode annulaire 25 concentrique au canal principal 24. Des moyens 26 d'alimentation en gaz ionisable débouchent en amont de l'anode 25 à travers un distributeur annulaire 27. Des moyens 31 à 33, 34 à 38 de création d'un champ magnétique dans le canal principal 24 sont adaptés pour produire dans ce canal principal 24 un champ magnétique essentiellement radial qui présente un gradient avec une induction maximale à l'extrémité aval 25a du canal 24. Ces moyens de création d'un champ magnétique comprennent essentiellement une bobine externe 31, entourée d'un blindage magnétique, deux pièces polaires externe 34 et interne 35, une première bobine axiale 33, une deuxième bobine axiale 32 entourée d'un blindage magnétique et une culasse magnétique 36.

[0008] La chambre de tranquillisation 23 qui peut rayonner librement vers l'espace, contribue à refroidir le canal 24. Cependant la bobine externe torique 31 s'oppose au refroidissement du canal 24 dans la partie la plus chargée thermiquement. En outre, la première bobine interne 33 doit fournir un nombre d'ampères-tours très élevé pour le volume qui lui est alloué par l'écran magnétique associé à la deuxième bobine axiale 32. Il en résulte ainsi une température relativement élevée.

[0009] Les propulseurs à plasma à dérive fermée d'électrons actuellement connus, qui peuvent aussi être désignés sous l'appellation de propulseurs à plasma stationnaire, sont utilisés essentiellement pour le contrôle Nord-Sud des satellites géostationnaires.

[0010] Les caractéristiques structurelles des propulseurs à plasma à dérive fermée d'électrons actuellement connus, ne permettent pas d'optimiser en fonctionnement l'évacuation du flux thermique. Il s'ensuit que les propulseurs à plasma à dérive fermée d'électrons ne peuvent pas présenter un niveau de puissance suffisamment élevé pour permettre des missions de propulsion primaire tel qu'un transfert en orbite géostationnaire ou une mission planétaire, dès lors que le rapport entre la surface et la puissance dissipée est plus faible pour un gros propulseur, ce qui signifie que la température d'un gros propulseur à plasma du type connu augmente de façon exagérée, ou encore que la masse de ce gros propulseur à plasma connu devient excessive si le flux thermique est maintenu constant.

### Objet et description succincte de l'invention

[0011] L'invention vise à remédier aux inconvénients précités et à permettre d'optimiser le fonctionnement et l'évacuation du flux thermique dans des propulseurs à plasma à dérive fermée d'électrons de manière à permettre de réaliser des propulseurs à plasma de puissance plus importante que celle des propulseurs à plasma à dérive fermée d'électrons actuellement connus.

[0012] L'invention vise ainsi à proposer une nouvelle configuration de propulseur à dérive fermée d'électrons dont la conception thermique et structurale est améliorée par rapport aux propulseurs à plasma déjà connus.

**[0013]** Ces buts sont atteints grâce à un propulseur à plasma à dérive fermée d'électrons adapté à de fortes charges thermiques, comprenant un canal annulaire principal d'ionisation et d'accélération délimité par des pièces en matériau isolant et ouvert à son extrémité aval, au moins une cathode creuse disposée à l'extérieur du canal annulaire principal du côté de la partie aval de celui-ci, une anode annulaire concentrique au canal annulaire principal et disposée à distance de l'extrémité aval ouverte, une canalisation et un distributeur pour alimenter en gaz ionisable l'anode annulaire, et un circuit magnétique de création d'un champ magnétique dans le canal annulaire principal, caractérisé en ce que le circuit magnétique comprend :

- une première pièce polaire externe essentiellement radiale,
- une deuxième pièce polaire externe conique,
- une première pièce polaire interne essentiellement radiale,
- une deuxième pièce polaire interne conique,
- une pluralité de noyaux magnétiques externes entourés de bobines externes pour relier entre elles les première et deuxième pièces polaires externes,
- un noyau magnétique axial entouré d'une première bobine interne et relié à la première pièce polaire interne, et
- une deuxième bobine interne placée en amont des bobines externes.

**[0014]** La présence d'une pluralité de noyaux magnétiques externes reliant les première et deuxième pièces polaires externes permet de laisser passer une grande partie du rayonnement issu de la paroi interne du canal en céramique. La forme conique de la deuxième pièce polaire externe permet d'augmenter le volume disponible pour les bobines externes et d'augmenter l'angle solide de rayonnement. La forme conique de la deuxième pièce polaire interne permet également d'accroître le volume alloué à la première bobine interne tout en assurant une canalisation du flux magnétique assurant une fonction de blindage pour la deuxième bobine interne.

**[0015]** De façon avantageuse, le propulseur à plasma comprend une pluralité de premiers bras radiaux reliant le noyau magnétique axial à la partie amont de la deuxième pièce polaire interne conique et une pluralité de deuxièmes bras radiaux prolongeant les premiers bras radiaux et raccordés à ladite pluralité de noyaux magnétiques externes ainsi qu'à la partie amont de la deuxième pièce polaire externe conique.

**[0016]** Le nombre des premiers bras radiaux et celui des deuxièmes bras radiaux est égal à celui des noyaux magnétiques externes.

**[0017]** Un faible entrefer peut être ménagé entre les premiers bras radiaux et les deuxièmes bras radiaux, de manière à compléter l'effet de la deuxième bobine interne.

**[0018]** Selon un aspect remarquable de la présente invention, le propulseur à plasma comprend une embase structurale en matériau bon conducteur de la chaleur qui constitue un support mécanique du propulseur, distinct du noyau magnétique axial, des première et deuxième pièces polaires externes et des première et deuxième pièces polaires internes, et qui assure le refroidissement par conduction de la première bobine interne, de la deuxième bobine interne et des bobines externes.

**[0019]** Avantageusement, l'embase structurale est recouverte sur ses faces latérales d'un revêtement émissif.

**[0020]** Avantageusement, le canal annulaire principal présente dans un plan axial une section de forme tronconique à sa partie amont et cylindrique à sa partie aval et l'anode annulaire présente dans un plan axial une section profilée en forme de tronc de cône.

**[0021]** Selon une caractéristique particulière, les pièces délimitant le canal annulaire principal définissent un canal annulaire monobloc et sont reliées à l'embase par un support unique muni de fentes de dilatation, lesdites pièces étant rendues solidaires du support unique par vissage.

**[0022]** Selon un autre mode de réalisation particulier, le canal principal annulaire présente une extrémité aval délimitée par deux pièces en forme d'anneau constituées de céramique isolante et reliées chacune à l'embase par un support individuel, et la partie amont du canal principal annulaire est matérialisée par les parois de l'anode qui est isolée électriquement des supports par le vide. Les supports individuels sont coaxiaux.

**[0023]** A titre d'exemple, le rapport entre la longueur axiale de pièces en céramique isolante et la largeur du canal est compris entre 0,25 et 0,5 et la distance entre les parois de l'anode et les supports des pièces en céramique isolante est comprise entre 0,8 mm et 5 mm.

**[0024]** L'anode est fixée par rapport à l'embase à l'aide d'une colonnette massive et de lames flexibles.

**[0025]** Des fraisages peuvent être ménagés dans l'embase pour recevoir les deuxièmes bras radiaux, la canalisation d'alimentation en gaz ionisable munie d'un isolateur, une ligne de polarisation de l'anode et des fils d'alimentation des bobines externes et des première et deuxième bobines internes.

**[0026]** Grâce à la présence d'une embase structurale, le circuit magnétique peut exercer essentiellement la fonction de canalisation du flux magnétique tandis que l'embase massive en matériau bon conducteur de la chaleur, par exemple en alliage léger anodisé sur sa face latérale, ou encore en matériau composite carbone-carbone revêtu sur sa face aval d'un dépôt de cuivre, assure à la fois le refroidissement par conduction des bobines puis l'évacuation des pertes thermiques par rayonnement et la fonction de tenue structurale du propulseur.

**[0027]** Le propulseur à plasma comprend des feuilles de matériau superisolant disposées en amont du canal

annulaire principal et des feuilles de matériau superisolant interposées entre le canal annulaire principal et la première bobine interne.

**[0028]** Selon une première configuration possible, la pointe du cône de la deuxième pièce polaire interne amont conique est dirigée vers l'aval.

**[0029]** Selon une autre configuration possible, la pointe du cône de la deuxième pièce polaire interne amont conique est dirigée vers l'amont.

**[0030]** Selon une autre caractéristique particulière de l'invention, le propulseur à plasma comprend un support commun pour supporter la première bobine interne, la deuxième pièce polaire interne conique et la deuxième bobine interne fixées par brasage ou soudure par diffusion sur ce support commun, et ce support commun est assemblé par vissage sur l'embase avec interposition d'une feuille conductrice thermiquement.

**[0031]** Selon un mode particulier de réalisation, pour améliorer le refroidissement de la première bobine interne qui est la plus chargée thermiquement, la première bobine interne est refroidie par un caloduc relié à la partie interne du support commun et situé dans un évidement du noyau magnétique.

**[0032]** A titre de variante, la première bobine interne est refroidie par une pluralité de caloducs reliés à la partie amont du support commun et passant à travers des orifices ménagés dans la deuxième pièce polaire interne.

**[0033]** De préférence, la deuxième pièce polaire externe conique est ajourée.

**[0034]** Les première et deuxième pièces polaires externes sont reliées mécaniquement par une pièce structurale de liaison amagnétique ajourée.

**[0035]** Selon une variante de réalisation, les noyaux magnétiques externes des bobines externes sont inclinés d'un angle  $\beta$  par rapport à l'axe du propulseur de telle manière que l'axe de ces noyaux magnétiques externes soit sensiblement perpendiculaire à la bissectrice de l'angle formé par les génératrices des cônes des première et deuxième pièces polaires externes.

**[0036]** Selon une caractéristique particulière, l'anode annulaire comprend un distributeur muni de chicanes internes et comportant une plaque plane aval délimitant avec les parois du canal principal deux diaphragmes annulaires, une plaque arrière ajustée sur les parois du canal principal pour limiter les fuites de gaz vers l'amont et des parois cylindriques munies de trous d'injection de gaz ionisable dans le canal principal.

#### **Breve description des dessins**

**[0037]** D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description suivante de modes particuliers de réalisation, donnés à titre d'exemples, en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue en demi-coupe axiale, d'un premier mode particulier de réalisation d'un propul-

seur à plasma à dérive fermée d'électrons selon l'invention,

- la figure 2 est une vue en perspective, avec coupe partielle, du propulseur à plasma de la figure 1,
- la figure 3 est une vue en perspective de la partie centrale d'un propulseur à plasma selon l'invention, équipé de caloducs,
- la figure 4 est une vue en perspective avec coupe axiale, d'une anode pouvant être incorporée dans un propulseur à plasma selon l'invention,
- la figure 5 est une vue partielle en perspective avec demi-coupe axiale, d'une autre anode de structure simplifiée pouvant être incorporée dans un propulseur à plasma selon l'invention,
- la figure 6 est une vue en élévation avec demi-coupe d'un support de canal annulaire selon un mode particulier de réalisation d'un propulseur à plasma selon l'invention,
- la figure 7 est une vue éclatée de la partie centrale d'un propulseur à plasma selon l'invention,
- la figure 8 est une section montrant un caloduc associé à une première bobine interne d'un propulseur à plasma selon l'invention,
- la figure 9 est une vue en perspective montrant un renfort structural entre les pièces polaires externes du circuit magnétique d'un propulseur à plasma selon l'invention,
- la figure 10 est une vue schématique partielle montrant un mode particulier de réalisation d'un propulseur à plasma équipé de bobines externes inclinées, selon une variante de réalisation de l'invention,
- la figure 11 est une vue partielle en demi-coupe axiale montrant une anode formant une partie du corps d'un canal d'accélération selon un mode particulier de réalisation d'un propulseur à plasma selon l'invention,
- la figure 12 est une vue en demi-coupe axiale d'un autre mode particulier de réalisation d'un propulseur à plasma à dérive fermée d'électrons selon l'invention,
- la figure 13 est une vue en demi-coupe axiale d'un premier exemple de propulseur à plasma à dérive fermée d'électrons selon l'art antérieur, et
- la figure 14 est une vue en élévation et en demi-coupe axiale d'un deuxième exemple de propulseur à plasma à dérive fermée d'électrons selon l'art antérieur.

#### **Description détaillée de modes particuliers de réalisation de l'invention.**

**[0038]** On se reportera tout d'abord aux figures 1 et 2 montrant un premier exemple de propulseur à plasma à dérive fermée d'électrons conforme à la présente invention.

**[0039]** Le propulseur à plasma à dérive fermée d'électrons des figures 1 et 2 comprend un canal annulaire

principal d'ionisation et d'accélération 124 délimité par des parois isolantes 122. Le canal 124 est ouvert à son extrémité aval 125a et présente dans un plan axial une section de forme tronconique à sa partie amont et cylindrique à sa partie aval.

**[0040]** Une cathode creuse 140 est disposée à l'extérieur du canal principal 124 et présente avantageusement avec l'axe X'X du propulseur un angle  $\alpha$  compris entre 15 et 45°.

**[0041]** Une anode annulaire 125 présente dans un plan axial une section profilée en forme de tronc de cône ouvert vers l'aval.

**[0042]** L'anode 125 peut présenter des fentes augmentant la surface de contact avec le plasma. Des trous 120 d'injection d'un gaz ionisable provenant d'un distributeur 127 de gaz ionisable sont formés dans la paroi de l'anode 125. Le distributeur 127 est alimenté en gaz ionisable par une canalisation 126.

**[0043]** Des exemples particuliers d'anode 125 seront décrits plus loin en référence aux figures 4 et 5.

**[0044]** La décharge entre l'anode 125 et la cathode 140 est contrôlée par une distribution de champ magnétique déterminée par un circuit magnétique.

**[0045]** Le circuit magnétique comprend une première pièce polaire externe 134 essentiellement radiale. Cette pièce polaire externe 134 peut être plane ou peut présenter une faible conicité définissant un angle  $e_1$  compris entre +15° et -15° par rapport au plan de sortie S (figure 1).

**[0046]** La pièce polaire externe 134 est reliée par une pluralité de noyaux magnétiques 137 entourés de bobines externes 131 à une deuxième pièce polaire externe 311 de forme conique plus marquée que l'éventuelle légère forme conique de la première pièce polaire externe 134. Le demi-angle  $e_2$  du cône de la pièce polaire externe 311 peut être compris entre 25 et 60°. La pièce polaire externe 311 est avantageusement ajourée au droit des passages des bobines externes 131 afin de diminuer l'encombrement radial et entre les bobines afin d'améliorer le refroidissement par rayonnement de la céramique constituant les parois 122 du canal 124.

**[0047]** Une première pièce polaire interne 135 essentiellement radiale peut être plane ou peut présenter une faible conicité définissant un angle  $i_1$  compris entre -15° et +15° par rapport au plan de sortie S.

**[0048]** La première pièce polaire interne 135 est prolongée par un noyau magnétique axial central 138 entouré d'une première bobine interne 133. Le noyau magnétique axial 138 est lui-même prolongé à la partie amont du propulseur par une pluralité de bras radiaux 352 reliés à une deuxième pièce polaire interne amont conique 351 présentant un demi-angle  $i_2$  de 15 à 45° avec l'axe X'X du propulseur. Dans le mode de réalisation des figures 1 et 2, la pointe du cône de la deuxième pièce polaire interne 351 est dirigée vers l'aval. Dans l'ensemble de la présente description, le terme aval signifie une zone voisine du plan de sortie S et de l'extrémité ouverte 125a du canal 124 tandis que le terme

amont désigne une zone éloignée du plan de sortie S en allant dans la direction de la partie fermée du canal annulaire 124 équipée de l'anode 125 et du distributeur 127 d'alimentation en gaz ionisable.

**[0049]** Une deuxième bobine magnétique interne 132 est placée dans la partie amont de la deuxième pièce polaire interne 351, à l'extérieur de celle-ci. Le champ magnétique de la deuxième bobine interne 132 est canalisé par des bras radiaux 136 placés dans le prolongement des bras radiaux 352, ainsi que par la pièce polaire externe 311 et la pièce polaire interne 351. Un faible entrefer, par exemple de l'ordre de 1 à 4 mm peut être ménagé entre les bras radiaux 352 et les bras radiaux 136 pour compléter l'effet de la deuxième bobine interne 132.

**[0050]** Le noyau magnétique axial 138 est relié aux noyaux magnétiques externes 137 par la pluralité de bras magnétiques 136 placés dans le prolongement des bras radiaux 352. Les bras radiaux 352, et les bras radiaux 136 sont en nombre égal à celui des bobines externes 131 disposées sur les noyaux magnétiques externes 137.

**[0051]** Selon un aspect important de la présente invention, les bobines 133, 131, 132 sont directement refroidies par conduction sur une embase structurale 175 en matériau conducteur de la chaleur, cette embase 175 servant aussi de support mécanique pour le propulseur. L'embase 175 est avantageusement munie sur ses faces latérales d'un revêtement émissif permettant d'améliorer le rayonnement des pertes thermiques vers l'espace.

**[0052]** L'embase 175 peut être réalisée en alliage léger, anodisé sur sa face latérale de manière à augmenter son émissivité.

**[0053]** L'embase 175 peut aussi être réalisée en matériau composite carbone-carbone revêtu sur sa face aval d'un dépôt métallique tel que du cuivre de manière à maximiser l'émissivité des faces latérales et à minimiser l'absorptivité de la face aval soumise au rayonnement de la céramique du canal.

**[0054]** La présence d'une embase massive 175 assurant les rôles de support structural et de refroidissement par conduction des bobines 131, 133, 132, permet d'alléger au maximum le circuit magnétique proprement dit.

**[0055]** Dans l'exemple des figures 1 et 2, le circuit magnétique comprend quatre bobines externes 131, dont deux sont visibles sur la figure 2. Toutefois, on pourrait mettre en oeuvre un nombre de bobines externes 131 différent de quatre.

**[0056]** Les bobines externes 131 et leurs noyaux magnétiques 137 permettent de créer un champ magnétique canalisé en partie par les pièces polaires externes aval 134 et amont 311. Le reste du champ magnétique est repris par les bras 136 regroupés autour du noyau magnétique axial 138 lui-même muni de la pièce polaire interne aval 135, de la première bobine axiale 133, de la deuxième pièce polaire conique amont 351 et de la deuxième bobine 132.

**[0057]** Le flux magnétique fourni par la bobine 132 est canalisé par la pièce polaire 351, le noyau 138, les bras radiaux 136 et la pièce polaire 311, de sorte que cette bobine 132 n'a pas besoin de blindage magnétique particulier.

**[0058]** Si l'on considère la figure 7, on voit que la bobine 133, la pièce polaire 351 et la bobine 132 forment avec un support commun 332 un ensemble monobloc sur les plans mécanique et thermique, cet ensemble monobloc étant énergiquement refroidi par conduction sur l'embase 175.

**[0059]** La bobine 133, la pièce polaire 351 et la bobine 132 peuvent être rendues solidaires du support commun 332 par brasage ou soudure par diffusion. Le support 332 peut lui-même être assemblé par vis sur l'embase 175. Une feuille conductrice est intercalée entre l'embase 175 et le support 332 pour diminuer la résistance thermique de contact. L'alésage intérieur de la pièce polaire 351 est ajusté sur le noyau magnétique axial 138 de manière à permettre le montage de l'ensemble des deux bobines internes 133, 132 et de la pièce polaire 351 sur le noyau 138.

**[0060]** Dans les propulseurs à plasma traditionnels, la structure 122 en matériau céramique délimitant le canal annulaire 124 est maintenue vis-à-vis de la pièce polaire extérieure par un support métallique.

**[0061]** Selon la présente invention, telle qu'illustrée par exemple sur les figures 1, 2 et 6, la structure 122 en matériau céramique délimitant le canal 124 est fixée sur l'arrière (c'est-à-dire l'amont) du propulseur par un support métallique 162, afin que ce dernier ne fasse pas obstacle au rayonnement de la partie aval de la pièce 122 qui est libre de rayonner vers l'espace.

**[0062]** Certaines céramiques à base de nitrure de bore sont difficiles à braser sur les métaux. Ce problème peut être éliminé si l'on adopte une fixation mécanique.

**[0063]** A titre d'exemple, on peut ménager un filetage à profil semi-circulaire à la fois dans la pièce 122 en matériau céramique et dans le support 162. Il est alors possible de glisser un fil métallique 163 entre les deux pièces 122, 162 de manière à solidariser celles-ci. Une telle disposition permet de mettre en place la pièce 122 en céramique sur le support 162 préalablement monté sur les éléments du circuit magnétique.

**[0064]** Le support métallique 162 peut être muni d'une nervure 165 et d'échancrures 164 définissant des lamelles qui permettent de compenser la dilatation différentielle métal-céramique tout en assurant un serrage élastique.

**[0065]** A titre de variante, on peut aussi utiliser un montage vissé de la céramique 122 dans le support 162, le talon de fixation de ce dernier étant alors inversé, c'est-à-dire tourné vers l'intérieur du support cylindrique 162, et ajouré pour laisser passer le fil 145 de polarisation de l'anode ainsi que la canalisation 126 d'alimentation du distributeur 127 en gaz ionisable.

**[0066]** La figure 11 montre encore une autre variante de réalisation du canal 124.

**[0067]** Pour un propulseur de forte poussée, c'est-à-dire de grand diamètre, il devient difficile de réaliser une pièce en céramique monobloc pour définir le canal annulaire 124. Dans ce cas, la pièce en matériau céramique 122 est subdivisée en deux anneaux distincts 122a, 122b montés sur des supports distincts 162a, 162b.

**[0068]** Le rapport entre la longueur des pièces céramiques 122a, 122b en forme d'anneaux et la largeur du canal 124 peut être typiquement compris entre 0,25 et 0,5. Le reste du canal 124 est matérialisé par les parois de l'anode 125. L'isolation électrique entre l'anode 125 et les deux supports 162a, 162b est assurée par le vide. La distance entre les parois de l'anode 125 et les supports 162a, 162b constitue un jeu réduit compris entre 0,8 et 5 mm.

**[0069]** L'anode 125 illustrée sur la figure 11 est supportée par des isolateurs tels que 151 fixés sur l'embase massive 175 qui constitue un écran électrostatique naturel pour les isolateurs tels que 151. Les isolateurs 151 sont prolongés par des lames flexibles 115a qui les protègent des efforts de dilatation différentielle.

**[0070]** Dans le cas d'un propulseur à plasma de grand diamètre, il peut par ailleurs être avantageux de mettre en oeuvre une pièce polaire interne amont 351 dont la pointe du cône est tournée vers l'amont plutôt que vers l'aval. Le diamètre important de la bobine 133 dans sa partie aval permet de compenser le fait que la bobine présente en amont une section réduite par rapport à une forme trapézoïdale à large base, ce qui peut faciliter l'intégration de supports d'anneaux 162a, 162b associés à des anneaux séparés 122a, 122b.

**[0071]** On notera cependant que, pour des propulseurs à plasma dont le diamètre n'est pas excessif, la réalisation de la pièce polaire interne amont 351 sous la forme d'un cône dont la pointe est tournée vers l'aval permet d'augmenter la surface de contact de la bobine 133, de section trapézoïdale, avec l'embase 175 (figure 1) tout en réservant un volume important pour la bobine interne aval 133 sans pour autant intervenir sur la position des extrémités 111, 112 des pièces polaires 351, 135 qui conditionnent la répartition du champ magnétique.

**[0072]** La mise en oeuvre de bobines externes 131, dont le nombre peut par exemple être compris entre 3 et 8, munies de noyaux magnétiques 137 disposés entre les pièces polaires externes 134, 311, permet de laisser passer une grande partie du rayonnement issu de la paroi externe du canal annulaire 124. La forme conique de la deuxième pièce polaire externe 311 permet d'augmenter le volume disponible pour les bobines externes 131 et d'augmenter l'angle solide de rayonnement. La pièce polaire externe conique 311 est par ailleurs avantageusement ajourée pour augmenter le facteur de vue des pièces en céramique 122, de sorte que l'on obtient un circuit magnétique très compact et très aéré qui permet le rayonnement de l'ensemble de la face latérale du canal 124.

**[0073]** Comme cela a déjà été indiqué, l'embase 175

joue un rôle structurel essentiel. Cette embase massive 175 présente une fréquence de résonance élevée. Il doit en être de même des pièces polaires. Or, si la pièce polaire externe amont 311 est ajourée, sa fréquence de résonance devient relativement basse. De même, la forme essentiellement plane de la pièce polaire externe aval 134 donne aussi une fréquence de résonance peu élevée. Pour remédier à ce problème, il est possible d'interposer une pièce de liaison amagnétique 341 (figure 9), de forme essentiellement conique entre les deux pièces polaires 311 et 134. Pour permettre le rayonnement, la pièce 341 doit elle-même être fortement ajourée, mais cela ne nuit pas à sa fréquence de résonance car les éléments en forme de treillis qui la composent, travaillent essentiellement en traction-compression.

**[0074]** Selon une variante de réalisation, illustrée sur la figure 10, on améliore le rapport entre la géométrie des pièces polaires 134, 311 et le volume alloué aux bobines externes en inclinant l'axe de ces dernières. Ainsi, si l'axe des bobines externes 131 forme un angle  $\beta$  avec l'axe X'X du propulseur, de telle sorte que l'axe d'une bobine externe 131 soit sensiblement perpendiculaire à la bissectrice de l'angle  $u$  formé par les génératrices des cônes des deux pièces polaires 134, 311, une bobine externe 131 peut présenter un volume plus important, et l'encombrement de l'embase 175 peut être réduit. Comme représenté sur la figure 10, sur laquelle sont omis pour des raisons de clarté le canal 124, les bobines 133, 132 et la pièce polaire 351, il est tout à fait possible de combiner la mise en oeuvre de bobines externes 131 inclinées et d'une pièce polaire conique externe 311 ajourée.

**[0075]** Comme déjà indiqué plus haut, l'embase 175 joue un rôle essentiel dans le refroidissement par conduction, du support commun 332, des bobines 133, 132 et de la pièce polaire 351, qui est elle-même avantageusement munie d'échancures comme représenté sur la figure 2.

**[0076]** Le refroidissement de la bobine 133, la plus chargée thermiquement, peut cependant être amélioré par la mise en oeuvre d'un ou plusieurs caloducs. Ainsi, sur la figure 8, on a représenté un caloduc 433 agencé dans un évidement 381 du noyau magnétique axial 138, mais sans contact avec ce dernier. Le caloduc 433 peut être soudé ou brasé sur la face interne du support interne 332 de la bobine 133, de manière à rendre ce support 332 isotherme.

**[0077]** Sur la figure 3, on a représenté une bobine 133 refroidie par plusieurs caloducs 433a, 433b reliés à la partie amont du support de la bobine 133, et passant à travers des orifices ménagés dans la pièce polaire interne amont 351.

**[0078]** Si l'on se reporte à nouveau aux figures 1 et 2, on voit que des feuilles de matériau superisolant formant écran 130 sont disposées en amont du canal annulaire 124 et des feuilles de matériau superisolant 301 formant écran sont également interposées entre le ca-

nal 124 et la première bobine interne 133. Les écrans superisolants 130, 301 éliminent ainsi l'essentiel du flux rayonné par le canal 124 en direction des bobines internes 133, 132 et de l'embase 175. En revanche, les pièces 122 délimitant le canal 124 sont libres de rayonner vers l'espace par l'angle solide entre les pièces polaires 134 et 311.

**[0079]** Dans le cas du mode de réalisation de la figure 11, un écran électrostatique 302 est disposé à l'amont de l'anode 125 pour assurer le respect de la loi de Paschen (isolation par le vide) tout en contribuant à maintenir en place les feuilles de matériau superisolant 130. Par ailleurs, la face externe du support externe 162a peut recevoir un revêtement émissif pour améliorer le refroidissement de la céramique des pièces 122a, 122b.

**[0080]** La figure 12 montre un exemple de mode de réalisation particulier d'un propulseur à plasma selon l'invention, dans lequel la pointe du cône de la deuxième pièce polaire interne amont 351 est dirigée vers l'amont. Cette disposition est plus particulièrement adaptée aux propulseurs de grand diamètre, mais peut être mise en oeuvre aussi bien avec un canal d'accélération 124 délimité par une pièce 122 monobloc en matériau céramique, comme représenté sur la figure 12, qu'avec un canal d'accélération 124 délimité par deux pièces 122a, 122b distinctes en matériau céramique, comme déjà décrit en référence à la figure 11. Sur la figure 12, les divers éléments fonctionnellement équivalents aux éléments déjà décrits en référence aux figures déjà décrites, notamment les figures 1 et 2, portent les mêmes numéros de référence et ne seront pas décrits à nouveau.

**[0081]** Comme on peut le voir sur la figure 12, des évidements ou fraisages 751 sont ménagés dans l'embase 175 pour recevoir les deuxièmes bras radiaux 136, une ligne 145 de polarisation de l'anode 125 et des fils d'alimentation 313, 323, 333 des bobines externes 131 et des première et deuxième bobines internes 133, 132 (figures 7 et 12). Un évidement peut également être ménagé dans l'embase 175 pour recevoir la canalisation 126 d'alimentation en gaz ionisable munie d'un isolateur 300 (représentée par exemple sur la figure 4).

**[0082]** Avantageusement, les bobines externes 131 ainsi que les première et deuxième bobines internes 133, 132 sont réalisées à partir d'un fil blindé à isolant minéral. Les fils des différentes spires des bobines 131, 132, 133 sont solidarisés par un métal de brasure à forte conductivité thermique.

**[0083]** Les bobines externes 131, ainsi que les première et deuxième bobines internes 133, 132 sont montées en série et reliées électriquement à la cathode 140 et à un pôle négatif de l'alimentation électrique de la décharge anode-cathode.

**[0084]** Dans les réalisations de l'art antérieur, telles que celle représentée sur la figure 14, il est mis en oeuvre une chambre tampon annulaire 23 qui présente dans le sens radial une dimension au moins égale à celle du canal annulaire principal 24 et s'étend en amont de celui-ci au-delà de la zone dans laquelle est placée

l'anode annulaire 25.

**[0085]** Dans un mode de réalisation de l'invention tel que celui de la figure 1, on obtient une disposition plus compacte en mettant en oeuvre un canal annulaire principal 124 qui présente dans un plan axial une section de forme tronconique à sa partie amont et cylindrique à sa partie aval. L'anode annulaire 125 présente alors dans un plan axial une section profilée en forme de tronc de cône.

**[0086]** Il a été constaté que l'on pouvait obtenir l'effet d'une chambre de tranquillisation dans le canal principal 124 en augmentant la densité locale de gaz, c'est-à-dire en diminuant la section de passage des gaz vers l'amont au lieu de l'augmenter.

**[0087]** On a représenté sur la figure 4 un exemple de réalisation possible pour l'anode annulaire 125. Une série de fentes circulaires 117 réalisées dans la partie massive 116 de l'anode 125 permet d'assurer une protection contre la contamination. Le gaz ionisable est introduit par une canalisation rigide 126 dans une chambre de distribution 127 qui communique avec les fentes circulaires 117 par des trous d'injection 120. Un isolateur 300 est interposé entre la canalisation 126 et l'anode 125 qui est reliée par une liaison électrique 145 au pôle positif de l'alimentation électrique de la décharge anode-cathode.

**[0088]** Il convient par ailleurs de pouvoir remédier aux problèmes de dilatation différentielle entre l'anode 125 et les pièces 122 en matériau céramique délimitant le canal 124.

**[0089]** Dans le cas d'une anode massive fixée par trois colonnettes circulaires, il n'est pas possible de trouver un compromis acceptable entre une fréquence propre de vibration élevée, obtenue avec des colonnettes courtes, et des contraintes thermomécaniques acceptables, qui exigent des colonnettes longues.

**[0090]** Une solution possible a été représentée sur la figure 4. L'anode 125 est supportée à la fois par une colonnette massive 114 à section circulaire et par au moins deux colonnettes 115 amincies en lames flexibles, ce qui réalise un compromis satisfaisant du point de vue des dilatations différentielles.

**[0091]** La figure 5 représente un autre mode de réalisation possible pour une anode 125 disposée dans la partie tronconique d'un canal d'accélération 124. Dans ce cas, l'anode annulaire 125 comprend un distributeur 127 muni de chicanes internes 271 et comportant une plaque plane aval 272 délimitant avec les parois du canal principal 124 deux diaphragmes annulaires 273. Une plaque arrière 274 est ajustée sur les parois 122 du canal principal 124 pour limiter les fuites de gaz vers l'amont. Des parois cylindriques munies de trous 120 permettent l'injection de gaz ionisable dans le canal principal 124.

## Revendications

1. Propulseur à plasma à dérive fermée d'électrons adapté à de fortes charges thermiques, comprenant un canal annulaire principal d'ionisation et d'accélération (124) délimité par des pièces (122) en matériau isolant et ouvert à son extrémité aval (125a), au moins une cathode creuse (140) disposée à l'extérieur du canal annulaire principal (124) du côté de la partie aval de celui-ci, une anode annulaire (125) concentrique au canal annulaire principal (124) et disposée à distance de l'extrémité aval ouverte (125a), une canalisation (126) et un distributeur (127) pour alimenter en gaz ionisable l'anode annulaire (125), et un circuit magnétique de création d'un champ magnétique dans le canal annulaire principal (124), caractérisé en ce que le circuit magnétique comprend :
  - une première pièce polaire externe essentiellement radiale (134),
  - une deuxième pièce polaire externe conique (311),
  - une première pièce polaire interne essentiellement radiale (135),
  - une deuxième pièce polaire interne conique (351),
  - une pluralité de noyaux magnétiques externes (137) entourés de bobines externes (131) pour relier entre elles les première et deuxième pièces polaires externes (134, 311),
  - un noyau magnétique axial (138) entouré d'une première bobine interne (133) et relié à la première pièce polaire interne (135), et
  - une deuxième bobine interne (132) placée en amont des bobines externes (131).
2. Propulseur à plasma selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend une pluralité de premiers bras radiaux (352) reliant le noyau magnétique axial (138) à la partie amont de la deuxième pièce polaire interne conique (351) et une pluralité de deuxièmes bras radiaux (136) prolongeant les premiers bras radiaux (352) et raccordés à ladite pluralité de noyaux magnétiques externes ainsi qu'à la partie amont de la deuxième pièce polaire externe conique (311).
3. Propulseur à plasma selon la revendication 2, caractérisé en ce que le nombre des premiers bras radiaux (352) et celui des deuxièmes bras radiaux (136) est égal à celui des noyaux magnétiques externes (137).
4. Propulseur à plasma selon la revendication 2 ou la revendication 3, caractérisé en ce qu'un faible entrefer est ménagé entre les premiers bras radiaux

- (352) et les deuxièmes bras radiaux (136).
5. Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le canal annulaire principal (124) présente dans un plan axial une section de forme tronconique à sa partie amont et cylindrique à sa partie aval et en ce que l'anode annulaire (125) présente dans un plan axial une section profilée en forme de tronc de cône.
6. Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend une embase structurale (175) en matériau bon conducteur de la chaleur qui constitue un support mécanique du propulseur, distinct du noyau magnétique axial (138), des première et deuxième pièces polaires externes (134, 311) et des première et deuxième pièces polaires internes (135, 351), et qui assure le refroidissement par conduction de la première bobine interne (133), de la deuxième bobine interne (132) et des bobines externes (131).
7. Propulseur à plasma selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'embase structurale (175) est recouverte sur ses faces latérales d'un revêtement émissif.
8. Propulseur à plasma selon la revendication 6 ou la revendication 7, caractérisé en ce que les pièces (122) délimitant le canal annulaire principal (124) définissent un canal annulaire monobloc, sont reliées à l'embase (175) par un support unique (162) muni de fentes de dilatation (164) et sont rendues solidaires du support unique par vissage.
9. Propulseur à plasma selon la revendication 6 ou la revendication 7, caractérisé en ce que le canal principal annulaire (124) présente une extrémité aval délimitée par deux pièces (122a, 122b) en forme d'anneau constituées de céramique isolante et reliées chacune à l'embase (175) par un support individuel (162a, 162b), et en ce que la partie amont du canal principal annulaire (124) est matérialisée par les parois de l'anode (125) qui est isolée électriquement des supports (162) par le vide.
10. Propulseur à plasma selon la revendication 9, caractérisé en ce que le rapport entre la longueur axiale des pièces (122) en céramique isolante et la largeur du canal (124) est compris entre 0,25 et 0,5 et en ce que la distance entre les parois de l'anode (125) et les supports (162) des pièces (122) en céramique isolante est comprise entre 0,8 mm et 5 mm.
11. Propulseur à plasma selon la revendication 9 ou la revendication 10, caractérisé en ce que l'anode (125) est fixée par rapport à l'embase (175) à l'aide d'une colonnette massive (114, 151) et de lames flexibles
- (115).
12. Propulseur à plasma selon la revendication 2 et l'une quelconque des revendications 6 à 11, caractérisé en ce que des fraisages (751) sont ménagés dans l'embase (175) pour recevoir les deuxièmes bras radiaux (136), la canalisation (126) d'alimentation en gaz ionisable munie d'un isolateur (300), une ligne (145) de polarisation de l'anode (125) et des fils d'alimentation des bobines externes (131) et des première et deuxième bobines internes (133, 132).
13. Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'il comprend des feuilles de matériau superisolant (130) disposées en amont du canal annulaire principal (124) et des feuilles de matériau superisolant (301) interposées entre le canal annulaire principal (124) et la première bobine interne (133).
14. Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que la pointe du cône de la deuxième pièce polaire interne amont conique (351) est dirigée vers l'aval.
15. Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que la pointe du cône de la deuxième pièce polaire interne amont conique (351) est dirigée vers l'amont.
16. Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 6 à 12, caractérisé en ce qu'il comprend un support commun (332) pour supporter la première bobine interne (133), la deuxième pièce polaire interne conique (351) et la deuxième bobine interne (132) fixées par brasage ou soudure par diffusion sur ce support commun (332), et en ce que ce support commun (332) est assemblé sur l'embase (175) au moyen de vis avec interposition d'une feuille conductrice thermiquement.
17. Propulseur à plasma selon la revendication 16, caractérisé en ce que la première bobine interne (133) est refroidie par un caloduc (433) relié à la partie interne du support commun (332) et situé dans un évidement (381) du noyau magnétique (38).
18. Propulseur à plasma selon la revendication 16, caractérisé en ce que la première bobine interne (133) est refroidie par une pluralité de caloducs (433a, 433b) reliés à la partie amont du support commun (332) et passant à travers des orifices ménagés dans la deuxième pièce polaire interne (351).
19. Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 18, caractérisé en ce que la deuxième pièce polaire externe conique (311) est

ajourée.

- 20.** Propulseur à plasma selon la revendication 19, caractérisé en ce que les première et deuxième pièces polaires externes (134, 311) sont reliées mécaniquement par une pièce structurale de liaison aimantée ajourée (341). 5
- 21.** Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 20, caractérisé en ce que les noyaux magnétiques externes (137) des bobines externes (131) sont inclinés d'un angle  $\beta$  par rapport à l'axe du propulseur de telle manière que l'axe de ces noyaux magnétiques externes (137) soit sensiblement perpendiculaire à la bissectrice de l'angle formé par les génératrices des cônes des première et deuxième pièces polaires externes (34, 311). 10 15
- 22.** Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'anode annulaire (125) comprend un distributeur (127) muni de chicane internes (271) et comportant une plaque plane aval (272) délimitant avec les parois du canal principal (124) deux diaphragmes annulaires (273), une plaque arrière (274) ajustée sur les parois du canal principal (124) pour limiter les fuites de gaz vers l'amont et des parois cylindriques munies de trous (120) d'injection de gaz ionisable dans le canal principal (124). 20 25 30
- 23.** Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 6 à 12, caractérisé en ce que l'embase (175) est réalisée en alliage léger anodisé sur sa face latérale. 35
- 24.** Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 6 à 12, caractérisé en ce que l'embase (175) est réalisée en matériau composite carbone-carbone revêtu sur sa face aval d'un dépôt de cuivre. 40
- 25.** Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 24, caractérisé en ce que les bobines externes (131) ainsi que les première et deuxième bobines internes (133, 132) sont réalisées à partir d'un fil blindé à isolant minéral et en ce que les fils des différentes spires des bobines (131, 133, 132) sont solidarités par un métal de brasure à forte conductivité thermique. 45 50
- 26.** Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 25, caractérisé en ce que les bobines externes (131) ainsi que les première et deuxième bobines internes (133, 132) sont montées en série et reliées électriquement à la cathode (140) et un pôle négatif de l'alimentation électrique de la décharge anode-cathode. 55
- 27.** Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 26, caractérisé en ce que la deuxième pièce polaire externe conique (311) présente un demi-angle de cône compris entre 25 et 60°.
- 28.** Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 27, caractérisé en ce que la deuxième pièce polaire interne conique (351) présente avec l'axe du propulseur un demi-angle compris entre 15 et 45°.

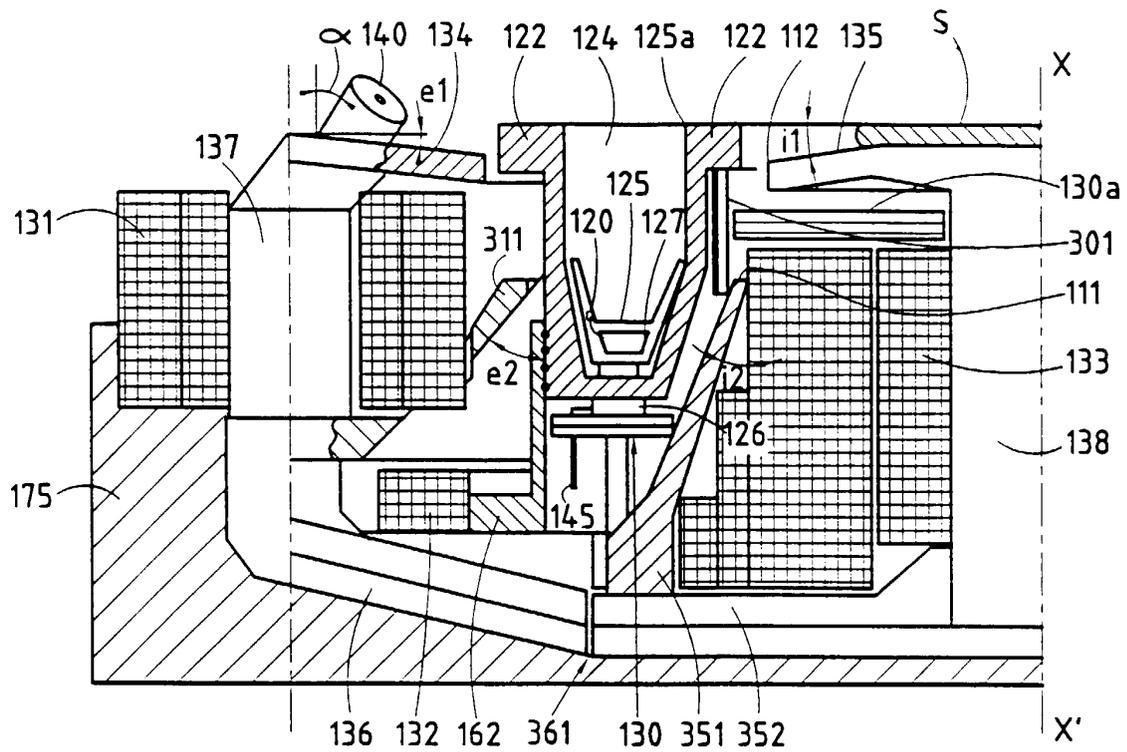


FIG.1

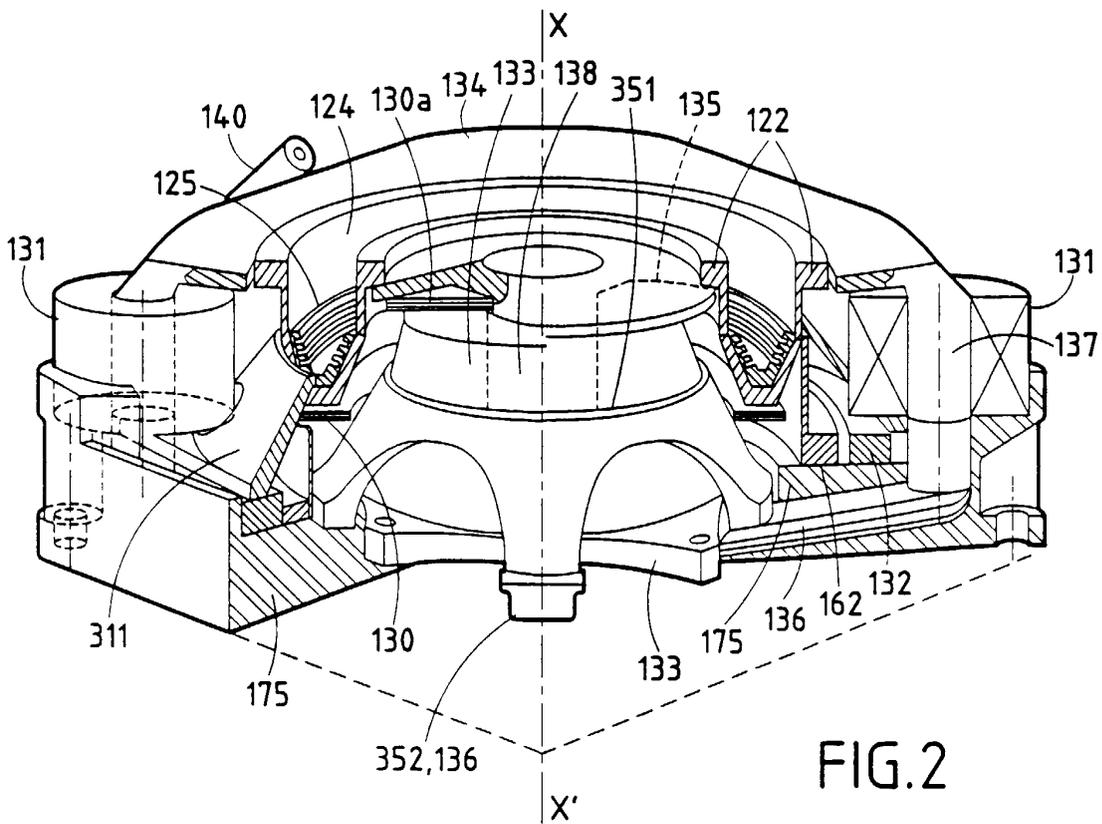
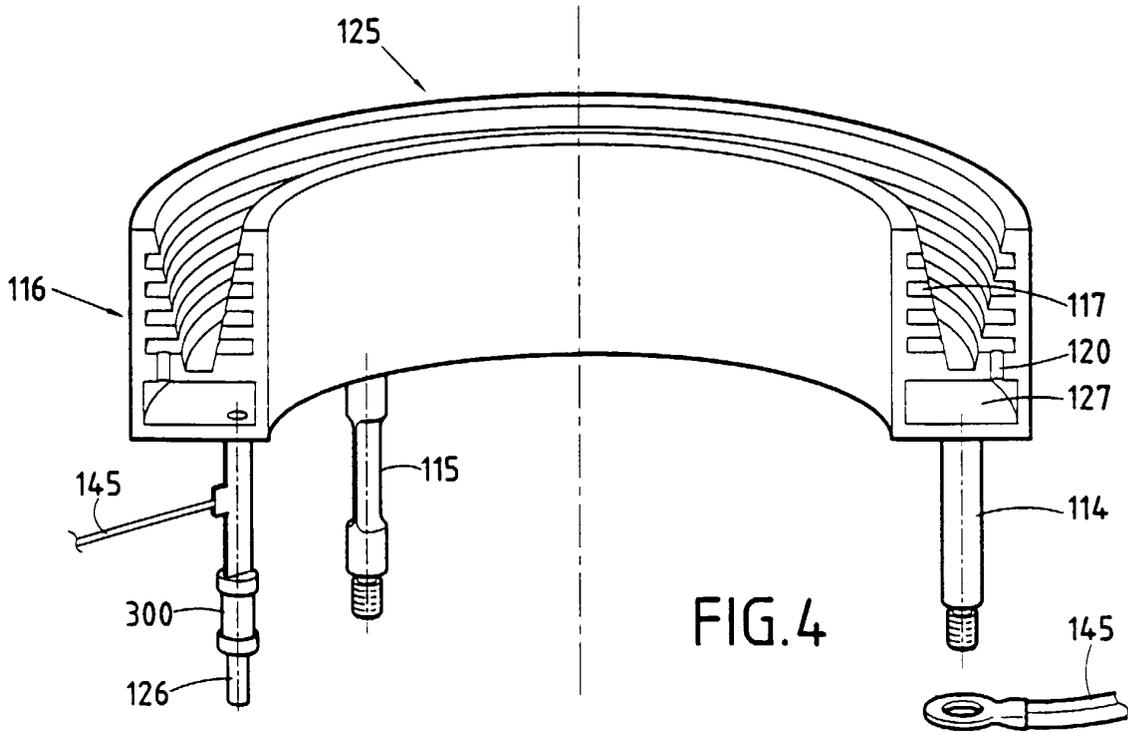
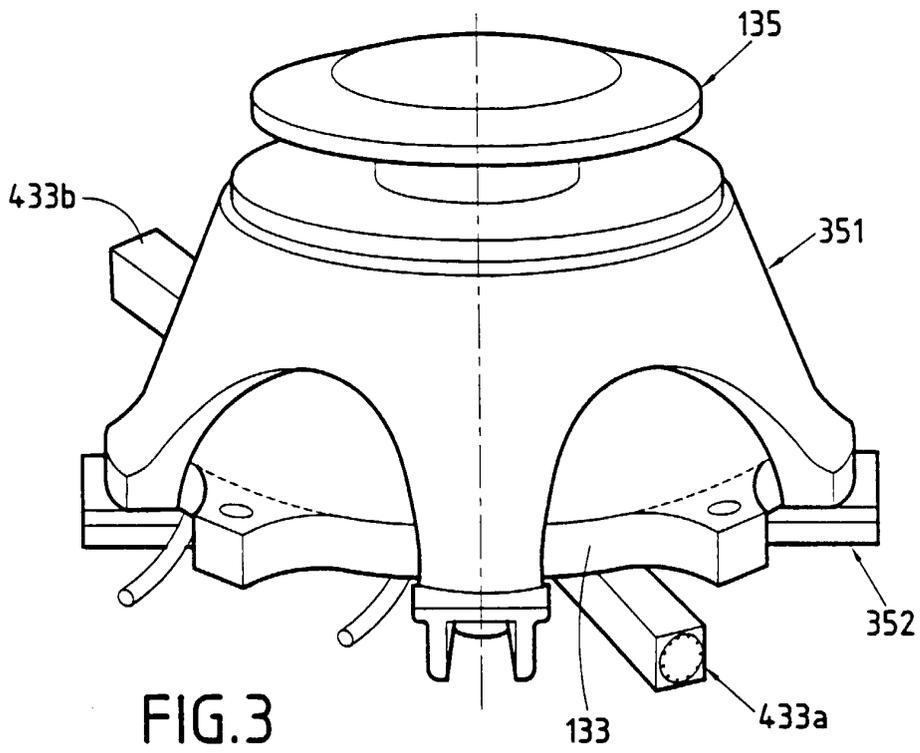


FIG.2



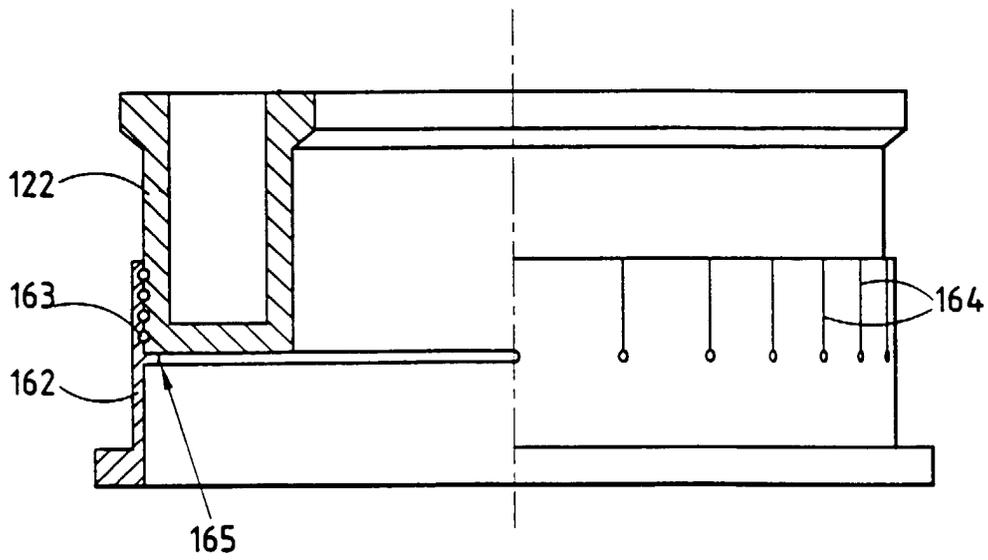
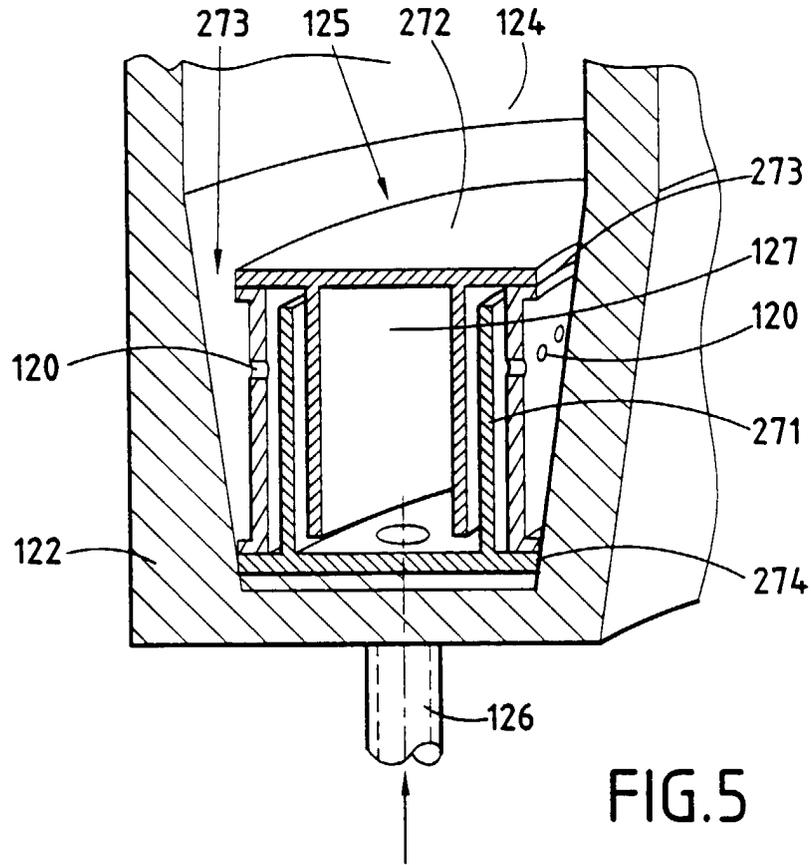


FIG. 6



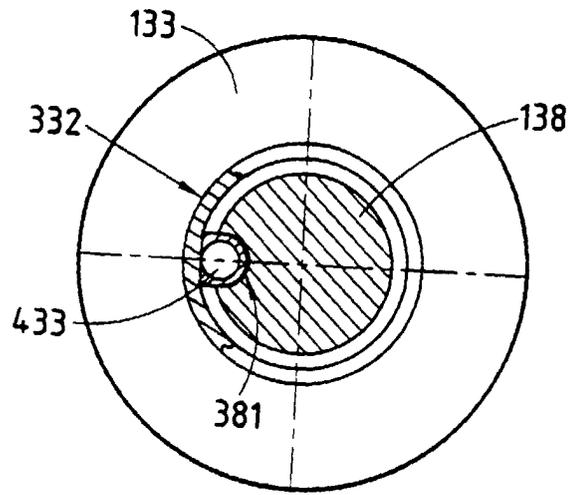


FIG. 8

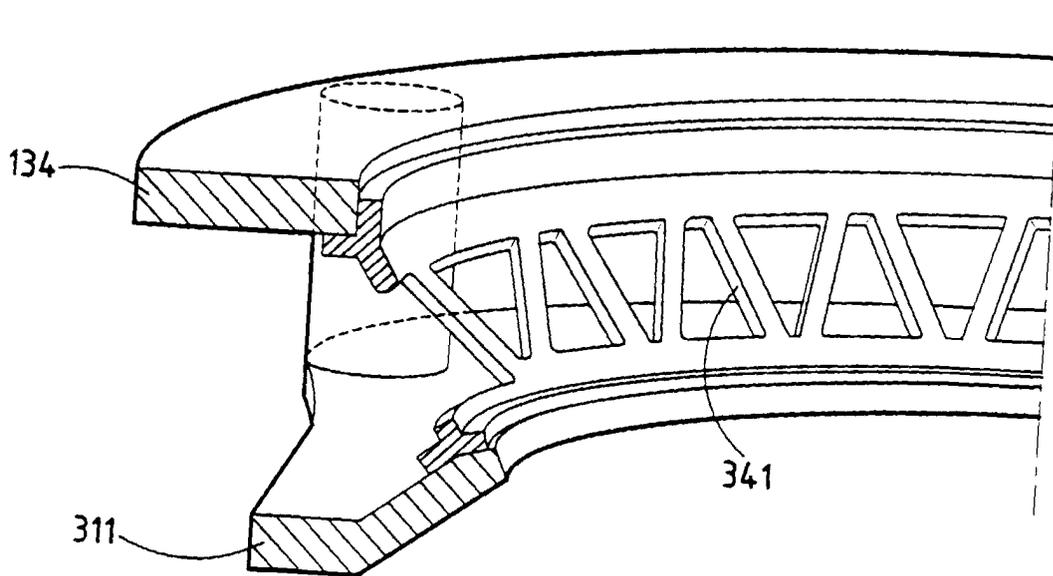


FIG. 9

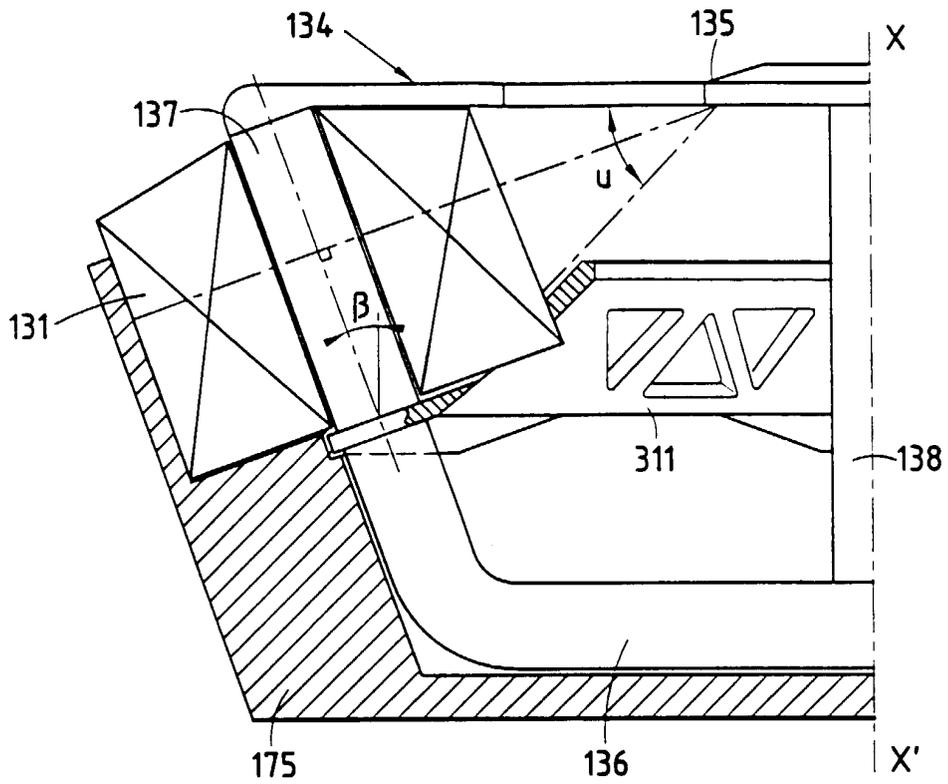


FIG. 10

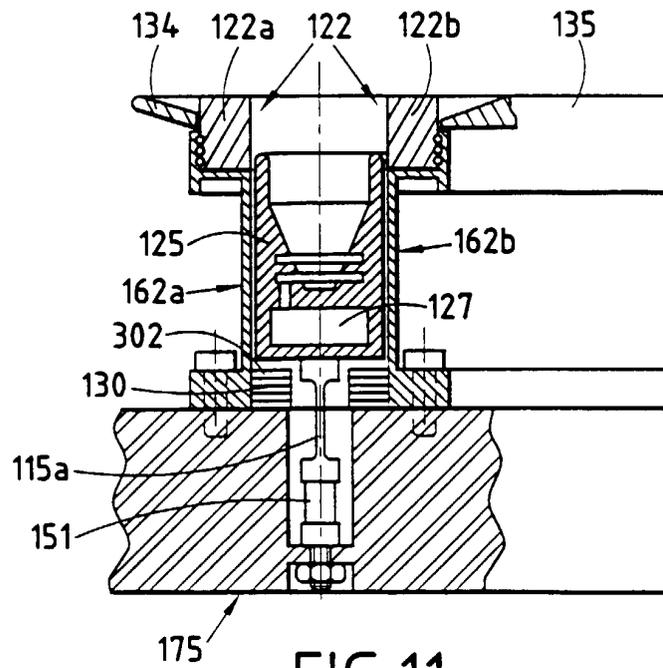


FIG. 11

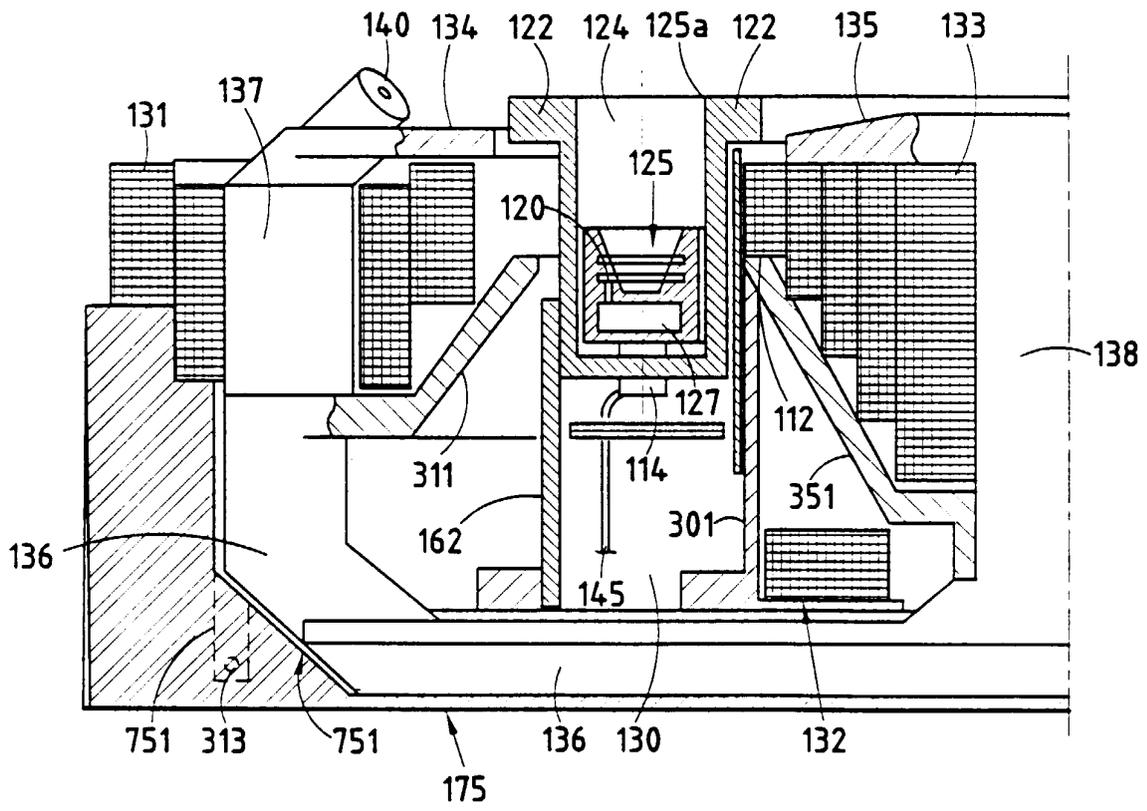


FIG.12

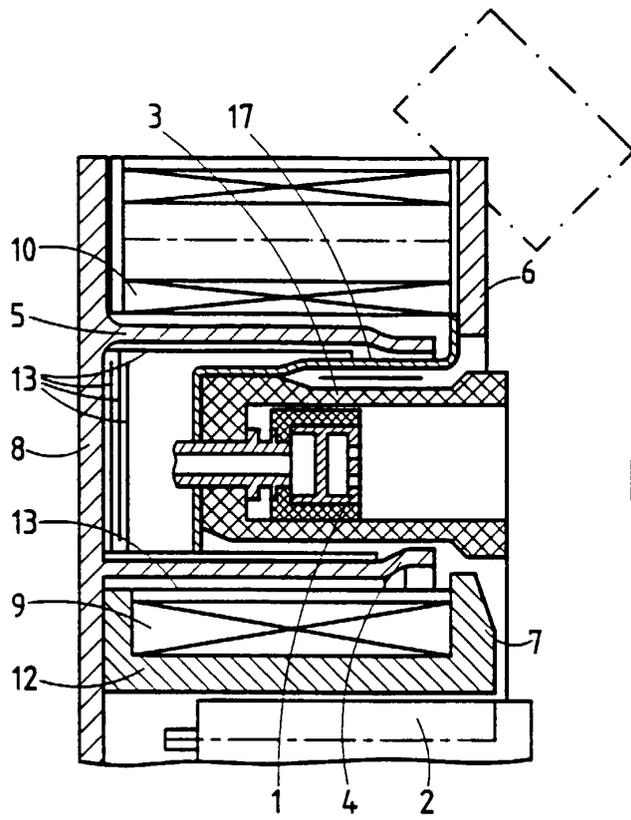


FIG. 13

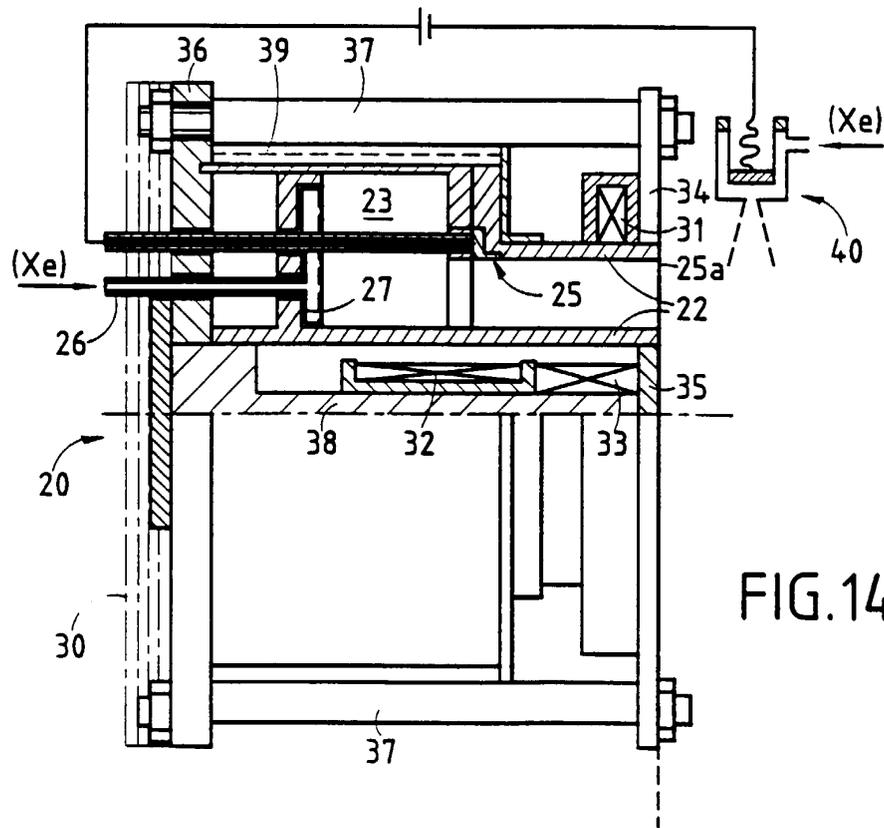


FIG. 14



Office européen  
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 99 40 1981

| 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.7)                           |
| A  | EP 0 781 921 A (SOCIETE EUROPEENNE DE PROPULSION) 2 juillet 1997 (1997-07-02)<br><br>* colonne 7, ligne 42 - ligne 47 *<br>* colonne 10, ligne 12 - ligne 27 *<br>* colonne 10, ligne 48 - ligne 57 *<br>* colonne 11, ligne 24 - colonne 12, ligne 16 *<br>* colonne 15, ligne 9 - ligne 23 *<br>* colonne 16, ligne 53 - ligne 55 *<br>* figure 5 * | 1,6,7,<br>9-11,16,<br>24,26   | H05H1/54<br>F03H1/00  |
| D,A  | FR 2 693 770 A (EUROP PROPULSION) 21 janvier 1994 (1994-01-21)<br>* page 7, ligne 1 - ligne 4 *<br>* page 9, ligne 2 - ligne 10 *<br>* page 10, ligne 25 - ligne 32 *   | 13,17,<br>18,25   |   |
| A  | US 5 763 989 A (KAUFMAN HAROLD R) 9 juin 1998 (1998-06-09)<br>* colonne 5, ligne 60 - ligne 64 *<br>* colonne 11, ligne 56 - colonne 12, ligne 11; figure 12 *  | 22  | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)<br><br>H05H<br>F03H |
| D,A  | EP 0 541 309 A (ARKHIPOV BORIS A ;BISHAEV ANDREY M (RU); GAVRIUSHIN VLADIMIR M (RU) 12 mai 1993 (1993-05-12)  |   |   |
| Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications   |   |   |   |
| Lieu de la recherche<br><b>LA HAYE</b>   |   | Date d'achèvement de la recherche<br><b>30 novembre 1999</b>  | Examineur<br><b>Capostagno, E</b>                             |
| CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES<br>X : particulièrement pertinent à lui seul<br>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie<br>A : arrière-plan technologique<br>O : divulgation non-écrite<br>P : document intercalaire |   | T : théorie ou principe à la base de l'invention<br>E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date<br>D : cité dans la demande<br>L : cité pour d'autres raisons<br>& : membre de la même famille, document correspondant |   |

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 99 40 1981

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

30-11-1999

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication |
|---|------------------------|---|------------------------|
| EP 781921 A                                     | 02-07-1997             | FR 2743191 A                            | 04-07-1997             |
|   |                        | US 5945781 A                            | 31-08-1999             |
| FR 2693770 A                                    | 21-01-1994             | CA 2142607 A                            | 05-01-1995             |
|   |                        | CA 2139581 A                            | 03-02-1995             |
|   |                        | DE 69219625 D                           | 12-06-1997             |
|   |                        | DE 69219625 T                           | 13-11-1997             |
|   |                        | EP 0650557 A                            | 03-05-1995             |
|   |                        | ES 2101870 T                            | 16-07-1997             |
|   |                        | WO 9402738 A                            | 03-02-1994             |
|   |                        | WO 9402739 A                            | 03-02-1994             |
|   |                        | JP 8500930 T                            | 30-01-1996             |
|   |                        | US 5581155 A                            | 03-12-1996             |
| US 5763989 A                                    | 09-06-1998             | AUCUN                                   |                        |
| EP 0541309 A                                    | 12-05-1993             | CA 2081005 A,C                          | 05-05-1993             |
|   |                        | DE 69207720 D                           | 29-02-1996             |
|   |                        | DE 69207720 T                           | 30-05-1996             |
|   |                        | JP 2651980 B                            | 10-09-1997             |
|   |                        | JP 5240143 A                            | 17-09-1993             |
| US 5359258 A                                    | 25-10-1994             |   |                        |

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82