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

(11) **EP 2 211 056 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
11.03.2015 Bulletin 2015/11

(51) Int Cl.:
F03H 1/00 *(2006.01)*

(21) Numéro de dépôt: **10151687.0**

(22) Date de dépôt: **26.01.2010**

(54) **Propulseur à dérive fermée d'électrons**

Antrieb mit geschlossenem Elektronenlaufbahn

Electron closed drift thruster

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR

(30) Priorité: **27.01.2009 FR 0950486**

(43) Date de publication de la demande:
28.07.2010 Bulletin 2010/30

(73) Titulaire: **SNECMA**
75015 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
- **Duchemin, Olivier**
  78114, MAGNY LES HAMEAUX (FR)
- **Valentian, Dominique**
  78710, ROSNY SUR SEINE (FR)

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

(56) Documents cités:
US-A- 5 359 258 **US-A1- 2006 290 287**
US-B1- 6 612 105

- **ZHURIN V V ET AL: "REVIEW ARTICLE; Physics of closed drift thrusters" PLASMA SOURCES SCIENCE AND TECHNOLOGY, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, BRISTOL, GB, vol. 8, no. 1, 1 février 1999 (1999-02-01) , pages R1-R20, XP020070348 ISSN: 0963-0252**

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

EP 2 211 056 B1

Description

Domaine de l'invention

[0001] La présente invention concerne un propulseur à dérive fermée d'électrons comprenant un canal annulaire principal d'ionisation et d'accélération autour de l'axe du propulseur, au moins une cathode creuse, une anode annulaire concentrique au canal annulaire principal, une canalisation et un distributeur pour alimenter en gaz ionisable l'anode et un circuit magnétique de création d'un champ magnétique dans ledit canal annulaire principal, ledit circuit magnétique comprenant au moins un noyau magnétique axial entouré d'une première bobine et d'une pièce polaire de révolution amont interne et une pluralité de noyaux magnétiques externes entourés de bobines externes.

Art antérieur

[0002] On connaît déjà divers types de propulseurs à dérive fermée d'électrons.

[0003] Un premier type de propulseur à dérive fermée d'électrons comprend une pièce polaire externe magnétisée par une bobine annulaire.

[0004] Un tel type de propulseur avec une bobine externe blindée est décrit par exemple dans le document de brevet EP 0 900 196 A1.

[0005] Le document de brevet FR 2 693 770 A1 décrit également un propulseur à dérive fermée d'électrons à trois bobines dont une bobine externe annulaire.

[0006] La figure 8 est une vue en élévation et en demi-coupe axiale d'un exemple de propulseur à dérive fermée d'électrons à bobine annulaire externe 31 décrit dans le document FR 2 693 770 A1.

[0007] Ce propulseur connu 20 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 225, au moins une cathode creuse 40 associée à des moyens 41 d'alimentation en gaz ionisable et une anode annulaire 25 concentrique au canal annulaire principal 24 et disposée à distance de l'extrémité aval ouverte 225. L'anode 25 est disposée sur les pièces isolantes 22 et reliée par une ligne électrique 43 au pôle positif d'une source de tension continue 44, qui peut être par exemple de 200 à 300 V et dont le pôle négatif est relié par une ligne 42 à la cathode creuse 40 qui est associée à un circuit 41 d'alimentation en gaz ionisable tel que du xénon. La cathode creuse 40 fournit un plasma 29 sensiblement au potentiel de référence d'où sont extraits les électrons se dirigeant vers l'anode 25 sous l'effet du champ électrostatique E dû à la différence de potentiel entre l'anode 25 et la cathode 40. Un circuit 26 d'alimentation en gaz ionisable débouche en amont de l'anode 25 à travers un distributeur annulaire 27.

[0008] La maîtrise du gradient de champ magnétique radial dans le canal annulaire principal 24 est obtenue grâce à la disposition de bobines annulaires internes 32, 33 et externe 31 et de pièces polaires interne 35 et externe 34, la pièce polaire interne 35 étant reliée par une âme centrale 38 et la pièce polaire externe étant reliée par des barres de liaison 37 à une culasse 36 qui peut être protégée par une ou plusieurs couches 30 de matériau super isolant thermiquement.

[0009] Les propulseurs à dérive fermée d'électrons à bobine externe annulaire, tels que le propulseur connu illustré sur la figure 8, garantissent un champ magnétique radial constant dans l'entrefer défini entre les pièces polaires externe 34 et interne 35.

[0010] Toutefois, pour des missions spatiales nécessitant de fortes puissances et une impulsion spécifique élevée, les propulseurs à plasma à dérive fermée d'électrons présentent des inconvénients sur le plan thermique car une bobine annulaire externe implique une longueur de fil importante qui se traduit par une dissipation thermique élevée et par une masse de bobinage également élevée. De plus, la bobine annulaire externe 31 s'oppose au refroidissement du canal 24 en céramique, en particulier de la partie aval la plus chargée thermiquement.

[0011] On connaît encore un second type de propulseur à dérive fermée d'électrons dans lequel il n'est pas mis en oeuvre de grosse bobine annulaire externe centrée sur l'axe du propulseur, mais plusieurs petites bobines réparties à la périphérie du propulseur servant à magnétiser la pièce polaire externe.

[0012] Le document de brevet EP 0 982 976 B1 décrit ainsi un propulseur à plusieurs bobines externes qui est adapté à de fortes charges thermiques.

[0013] Les documents de brevet US 6 208 080 B1 et US 5 359 258 décrivent également un propulseur à quatre bobines externes.

[0014] Un autre propulseur à dérive fermée d'électrons connu sous la dénomination ALT D55 met en oeuvre trois bobines externes. Un tel propulseur à dérive fermée d'électrons ALT D 55 est décrit dans l'article AIAA-94-3011 - 30ème conférence de l'AIAA sur la Propulsion "Operating Characteristics of the Russian D-55 Thruster with Anode Layer", de John M Sankovic et Thomas X. Haag, NASA Lewis Research Center, Cleveland, Ohio et Davis H. Manzella, Nyma, Inc. Brook Park, Ohio - et également dans l'article AIAA-94-3010 - même conférence "Experimental evaluation of Russian Anode Layer Thrusters", de C. Garner, J.R. Bropy, J.E. Polk, S. Semenkin, V. Garkusha, S. Tverdokhelbov, C. Marrese -.

[0015] Il a toutefois été constaté que le champ magnétique radial fourni par les propulseurs à bobines externes multiples n'est pas rigoureusement uniforme, les variations pouvant atteindre plusieurs pour cents.

[0016] Or cette non-uniformité du champ magnétique radial pose de sérieux problèmes lorsque les propulseurs présentent une forte puissance ou fonctionnent à une haute tension. Il a ainsi été constaté que du fait que le confinement du plasma est directement lié à l'intensité du champ magnétique, de petites variations du champ magnétique résultent en une interaction plasma-paroi qui est variable en azimut et nuit au rendement et au potentiel

de durée de vie du moteur. Par ailleurs, pour être sûr d'atteindre le champ magnétique souhaité en tous points du canal annulaire, il est nécessaire d'augmenter le potentiel magnétique, c'est-à-dire le nombre d'ampères tours des bobines en se basant sur les zones où le champ magnétique présente la valeur la plus faible, ce qui augmente la masse du bobinage.

Définition et objet de l'invention

[0017] La présente invention vise à remédier aux inconvénients précités et à permettre de réaliser un propulseur à dérive fermée d'électrons de forte puissance qui à la fois bénéficie d'un bon refroidissement du canal annulaire principal, permette l'obtention d'un champ magnétique radial uniforme au sein de ce canal et minimise la longueur de fil nécessaire pour les bobinages et en conséquence minimise la masse de ces bobinages.

[0018] Ces buts sont atteints conformément à l'invention grâce à un propulseur à dérive fermée d'électrons comprenant un canal annulaire principal d'ionisation et d'accélération autour de l'axe du propulseur, au moins une cathode creuse, une anode annulaire concentrique au canal annulaire principal, une canalisation et un distributeur pour alimenter en gaz ionisable l'anode et un circuit magnétique de création d'un champ magnétique dans ledit canal annulaire principal, ledit circuit magnétique comprenant au moins un noyau magnétique axial entouré d'une première bobine et d'une pièce polaire de révolution amont interne et une pluralité de noyaux magnétiques externes entourés de bobines externes, comprend en outre une première pièce polaire externe essentiellement radiale définissant une surface périphérique interne concave et une deuxième pièce polaire interne essentiellement radiale définissant une surface périphérique externe convexe et en ce que ladite surface périphérique interne concave et ladite surface périphérique externe convexe présentent chacune un profil ajusté distinct d'une surface cylindrique circulaire de manière à former entre elles un entrefer de largeur variable présentant des zones de valeur maximale au droit des bobines externes et des zones de valeur minimale entre lesdites bobines externes de manière à créer un champ magnétique radial uniforme.

[0019] Selon un premier mode de réalisation possible, ladite pièce polaire de révolution amont interne est essentiellement conique et définit une bordure périphérique profilée à son extrémité libre la plus proche de ladite cathode.

[0020] Dans ce cas, selon l'invention, ledit circuit magnétique comprend en outre une pièce polaire amont externe essentiellement conique qui définit une bordure périphérique profilée à son extrémité libre la plus proche de ladite cathode et ladite bordure périphérique profilée de ladite pièce polaire de révolution amont interne essentiellement conique et ladite bordure périphérique profilée de ladite pièce polaire amont externe essentiellement conique présentent chacune un profil ajusté avec des portions en retrait selon l'axe du propulseur au droit des bobines externes de manière à maintenir constant le profil de champ magnétique en azimut.

[0021] Selon un autre mode de réalisation possible, ladite pièce polaire de révolution amont interne comprend un écran magnétique interne essentiellement cylindrique qui définit une bordure périphérique profilée à son extrémité libre la plus proche de ladite cathode.

[0022] Dans ce cas, selon l'invention, ledit circuit magnétique comprend en outre un écran magnétique externe essentiellement cylindrique qui définit une bordure périphérique profilée à son extrémité libre la plus proche de ladite cathode et ladite bordure périphérique profilée dudit écran magnétique interne et ladite bordure périphérique profilée dudit écran magnétique externe présentent chacune un profil ajusté avec des portions en retrait selon l'axe du propulseur au droit des bobines externes de manière à maintenir constant le profil de champ magnétique en azimut.

[0023] Le propulseur selon la présente invention comprend de préférence quatre bobines externes entourant quatre noyaux magnétiques externes.

[0024] Toutefois, compte tenu des mesures préconisées selon l'invention, il est aussi possible d'obtenir d'excellents résultats avec trois bobines externes entourant trois noyaux magnétiques externes ou même avec deux bobines externes entourant deux noyaux magnétiques externes.

Brève description des dessins

[0025] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description suivante de modes particuliers de réalisation donnés à titre d'exemple, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue en demi-coupe axiale d'un propulseur à plasma à dérive fermée d'électrons selon un premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 2 est une vue partielle schématique en perspective de certains éléments du propulseur de la figure 1,
- la figure 3 est une vue de face de pièces polaires ajustées du propulseur de la figure 1,
- la figure 4 est une vue de côté des pièces polaires amont ajustées du propulseur de la figure 1,
- la figure 5 est une vue de face d'un propulseur à dérive fermée d'électrons selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 6 est une vue de côté d'un écran magnétique ajusté du propulseur de la figure 5,
- la figure 7 est une vue en demi-coupe axiale du propulseur des figures 5 et 6, et
- la figure 8 est une vue en élévation et en demi-coupe axiale d'un propulseur à plasma à dérive fermée d'électrons avec une bobine externe annulaire selon l'art antérieur.

Description détaillée de modes de réalisation préférentiels

[0026] Les figures 1 à 4 montrent un premier exemple de propulseur à dérive fermée d'électrons auquel est appliquée la présente invention.

[0027] Un tel type de propulseur comprend une structure de base qui correspond en grande partie à la description qui est donnée dans le document de brevet EP 0 982 976.

[0028] Le propulseur à plasma comprend ainsi essentiellement 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. Une cathode creuse 140 est disposée à l'extérieur du canal principal 124 et une anode annulaire 125 est disposée dans le canal principal 124. Un distributeur 127 de gaz ionisable alimenté par une canalisation 126 permet l'injection de gaz ionisable à travers des trous 120 formés dans la paroi de l'anode 125. On voit aussi sur la figure 1 un fil 145 de polarisation de l'anode 125.

[0029] La décharge entre l'anode 125 et la cathode 140 est contrôlée par une distribution de champ magnétique déterminée par un circuit magnétique qui comprend une pièce polaire externe 134 essentiellement radiale définissant une surface périphérique interne concave 134a.

[0030] La pièce polaire externe 134 est reliée par une pluralité de noyaux magnétiques 137 entourés de bobines externes 131 à une autre pièce polaire externe 311 de forme essentiellement conique qui définit une bordure périphérique profilée 311a à son extrémité libre la plus proche de la cathode 140.

[0031] Le circuit magnétique comprend également une pièce polaire interne 135 essentiellement radiale qui définit une surface périphérique externe convexe 135a.

[0032] La pièce polaire interne 135 est prolongée par un noyau magnétique axial central 138 entouré d'une bobine interne 133. Le noyau magnétique axial 138 est lui-même prolongé à la partie amont du propulseur par une partie de liaison à une autre pièce polaire interne amont conique 351, dont la pointe du cône est de préférence dirigée vers l'amont (figures 1 et 2). On notera que 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.

[0033] Une bobine magnétique interne additionnelle 132 peut être placée dans la partie amont de la pièce polaire interne 351 à l'extérieur de celle-ci. Le champ magnétique de la bobine 132 est canalisé par les pièces polaires externe 311 et interne 351 ainsi que par des bras radiaux 136 reliant le noyau magnétique axial 138 aux noyaux magnétiques externes 137.

[0034] Les bobines 133, 131, 132 peuvent être directement refroidies par conduction sur une embase structurale 175 en matériau conducteur de la chaleur qui sert aussi de support mécanique pour le propulseur.

[0035] La mise en oeuvre de bobines externes 131, dont le nombre peut être compris entre 2 et 8 et de préférence égal à trois ou quatre, qui sont 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 pièce polaire externe 311 permet d'augmenter le volume disponible pour les bobines externes 131 et d'augmenter l'angle solide de rayonnement. Par ailleurs, la pièce polaire externe conique 311 est 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.

[0036] Le propulseur à plasma à dérive fermée d'électrons selon la présente invention est adapté aux fortes puissances, dès lors qu'il permet un bon refroidissement du canal annulaire principal, qu'il minimise la longueur de fil nécessaire pour les bobinages du fait de la mise en oeuvre d'une pluralité de bobines externes 131 au lieu d'une seule bobine annulaire de grand diamètre et que par ailleurs des mesures sont prises pour garantir l'obtention d'un champ magnétique radial uniforme au sein du canal 124.

[0037] On entend ici par profil de champ magnétique uniforme dans le canal d'accélération 124 le fait que le champ magnétique est identique dans le canal 124 dans tout plan passant par l'axe du propulseur.

[0038] Conformément à l'invention, un champ magnétique radial uniforme est obtenu dans le canal 124, du fait que la surface périphérique interne concave 134a de la pièce polaire externe 134 et la surface périphérique externe convexe 135a de la pièce polaire interne 135 présentent chacune un profil ajusté distinct d'une surface cylindrique circulaire de manière à former entre elles un entrefer de largeur variable présentant des zones 232 de valeur maximale au droit des bobines externes 131 et des zones 231 de valeur minimale entre les bobines externes 131 (voir les figures 2 et 3).

[0039] Sur la figure 3, on a représenté en pointillés les traces 434a, 435a des surfaces périphériques 134a et 135a si celles-ci étaient rigoureusement cylindriques circulaires sans aucune correction.

[0040] Par ailleurs, la bordure périphérique profilée 351a de la pièce polaire de révolution amont interne 351 essentiellement conique et la bordure périphérique profilée 311a de la pièce polaire amont externe 311 essentiellement conique présentent également chacune un profil ajusté avec des portions en retrait selon l'axe du propulseur au droit des bobines externes 131 de manière à maintenir constant le profil de champ magnétique en azimut dans le canal 124 (voir figures 1 et 4). Sur la figure 4, on a représenté en pointillés la trace 411a de la bordure

périphérique profilée 311a en l'absence de correction, c'est-à-dire de façon analogue à l'art antérieur où cette bordure ne comportait aucune partie en retrait.

[0041] On notera que selon un premier procédé possible, la correction conduisant aux profils corrigés 135a, 134a des pièces polaires interne 135 et externe 134 peut être calculée à l'aide d'un logiciel de calcul de champ magnétique 3D qui permet d'abord de calculer l'augmentation de champ magnétique au droit des bobines externes 131, puis de déterminer l'augmentation d'entrefer nécessaire pour uniformiser le champ. Sur la figure 3, qui concerne un mode de réalisation à quatre bobines externes 131 montées sur des noyaux 137 disposés sensiblement aux sommets d'un carré, on voit que la largeur d'entrefer est plus grande dans la zone 232 au droit des bobines 131 que dans les zones 231 situées à 45° des noyaux 137 où la largeur d'entrefer est minimale. Sur la figure 3, on voit à la fois en pointillés, le profil d'origine 434a, 435a des surfaces périphériques des pièces polaires 134, 135 et en traits pleins des profils corrigés de ces surfaces périphériques 134a, 135a. Une fois les corrections calculées, on procède à l'usinage par une machine à commande numérique pour obtenir des surfaces souhaitées 134a, 135a, 311a, 351a.

[0042] On notera que selon un autre procédé possible, la correction peut être déterminée expérimentalement par une méthode itérative : après une première mesure 3D du champ magnétique sur une configuration de révolution, on procède à un premier usinage de correction numérique et on mesure la répartition de champ magnétique 3D. On procède à un deuxième usinage si la première correction n'est pas satisfaisante et ainsi de suite.

[0043] La présente invention est aussi applicable aux propulseurs à plasma à dérive fermée d'électrons à écrans magnétiques, tels que ceux décrits dans le document de brevet US 5 359 258.

[0044] Les figures 5 à 7 illustrent un tel type de propulseur à plasma avec un distributeur de gaz 1 formant anode annulaire, une cathode 2, une chambre de décharge annulaire 3, un écran magnétique externe entourant la chambre de décharge 3 et se terminant par une surface libre terminale 5a, une pièce polaire externe 6 se terminant par une surface périphérique concave 6a, une pièce polaire interne 7 se terminant par une surface périphérique convexe 7a, un circuit magnétique 8, une bobine centrale 9 créant un champ magnétique interne, une pluralité de bobines externes 10 pour créer un champ magnétique externe, un noyau central 12, des écrans thermiques 13, et un support 17.

[0045] Sur la figure 5, on a représenté quatre bobines externes 10^{I}, 10^{II}, 10^{III}, 10^{IV} et une pièce polaire externe 6.

[0046] Comme dans le mode de réalisation des figures 1 à 4, la surface périphérique interne concave 6a de la pièce polaire 6 et la surface périphérique externe convexe 7a de la pièce polaire 7 présentent chacune un profil ajusté distinct d'une surface cylindrique circulaire de manière à former entre elles un entrefer de largeur variable présentant des zones de valeur maximale au droit des bobines externes 10 et des zones de valeur minimale entre les bobines externes 10 (bobines 10^{I}, 10^{II}, 10^{III}, 10^{IV} sur la figure 5). Les profils des surfaces 6a, 7a non corrigées (c'est-à-dire des surfaces rigoureusement circulaires telles qu'elles apparaissent avant correction) ont été représentés en pointillés sur la figure 5.

[0047] Le propulseur des figures 5 à 7 comprend un écran magnétique interne 4 essentiellement cylindrique qui définit une bordure périphérique profilée 4a à son extrémité libre la plus proche de la cathode 2. La bordure périphérique profilée 4a de l'écran magnétique interne 4 et la bordure périphérique profilée 5a de l'écran magnétique externe 5 présentent chacune un profil ajusté avec des portions en retrait selon l'axe du propulseur au droit des bobines externes 10 de manière à maintenir constant le profil de champ magnétique en azimut. La figure 7 montre en traits pleins le profil ajusté de la bordure périphérique profilée 5a et en pointillés le profil initial 405a de la bordure périphérique profilée 5a avant son ajustement.

Revendications

1. Propulseur à dérive fermée d'électrons comprenant un canal annulaire principal d'ionisation et d'accélération (124;3) autour de l'axe du propulseur, au moins une cathode creuse (140;2), une anode annulaire (125;1) concentrique au canal annulaire principal (124;3), une canalisation (126) et un distributeur (127) pour alimenter en gaz ionisable l'anode (125;1) et un circuit magnétique de création d'un champ magnétique dans ledit canal annulaire principal (124;3), ledit circuit magnétique comprenant au moins un noyau magnétique axial (138;12) entouré d'une première bobine (133;9) et d'une pièce polaire de révolution amont interne (351) et une pluralité de noyaux magnétiques externes (137) entourés de bobines externes (131;10),
ledit circuit magnétique comprenant en outre une première pièce polaire externe essentiellement radiale (134;6) définissant une surface périphérique interne concave (134a;6a) et une deuxième pièce polaire interne essentiellement radiale (135;7) définissant une surface périphérique externe convexe (135a;7a), **caractérisé en ce que** ladite surface périphérique interne concave (134a;6a) et ladite surface périphérique externe convexe (135a;7a) présentent chacune un profil ajusté distinct d'une surface cylindrique circulaire de manière à former entre elles un entrefer de largeur variable présentant des zones (232) de valeur maximale au droit des bobines externes (131;10) et des zones (231) de valeur minimale entre lesdites bobines externes (131;10) de manière à créer un champ magnétique radial uniforme.

2. Propulseur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ladite pièce polaire de révolution amont interne (351) est essentiellement conique et définit une bordure périphérique profilée (351a) à son extrémité libre la plus proche de ladite cathode (140).

3. Propulseur selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** ledit circuit magnétique comprend en outre une pièce polaire amont externe essentiellement conique (311) qui définit une bordure périphérique profilée (311a) à son extrémité libre la plus proche de ladite cathode (140) et **en ce que** ladite bordure périphérique profilée (351a) de ladite pièce polaire de révolution amont interne (351) essentiellement conique et ladite bordure périphérique profilée (311a) de ladite pièce polaire amont externe essentiellement conique (311) présentent chacune un profil ajusté avec des portions en retrait selon l'axe du propulseur au droit des bobines externes (131) de manière à maintenir constant le profil de champ magnétique en azimut.

4. Propulseur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ladite pièce polaire de révolution amont interne (4) comprend un écran magnétique interne essentiellement cylindrique qui définit une bordure périphérique profilée (4a) à son extrémité libre la plus proche de ladite cathode (2).

5. Propulseur selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** ledit circuit magnétique comprend en outre un écran magnétique externe essentiellement cylindrique (5) qui définit une bordure périphérique profilée (5a) à son extrémité libre la plus proche de ladite cathode (2) et **en ce que** ladite bordure périphérique profilée (4a) dudit écran magnétique interne (4) et ladite bordure périphérique profilée (5a) dudit écran magnétique externe (5) présentent chacune un profil ajusté avec des portions en retrait selon l'axe du propulseur au droit des bobines externes (10) de manière à maintenir constant le profil de champ magnétique en azimut.

6. Propulseur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'**il comprend quatre bobines externes (131;10) entourant quatre noyaux magnétiques externes (137).

7. Propulseur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'**il comprend trois bobines externes (131;10) entourant trois noyaux magnétiques externes (137).

8. Propulseur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'**il comprend deux bobines externes (131;10) entourant deux noyaux magnétiques externes (137).

Patentansprüche

1. Triebwerk mit geschlossener Elektronendrift, umfassend einen ringförmigen Hauptkanal zur Ionisierung und Beschleunigung (124; 3) um die Achse des Triebwerks, wenigstens eine Hohlkathode (140; 2), eine ringförmige Anode (125; 1), die zu dem ringförmigen Hauptkanal (124; 3) konzentrisch ist, eine Rohrleitung (126) und einen Verteiler (127), um die Anode (125; 1) mit ionisierbarem Gas zu versorgen, sowie einen Magnetkreis zur Erzeugung eines Magnetfeldes in dem ringförmigen Hauptkanal (124; 3), wobei der Magnetkreis wenigstens einen axialen Magnetkern (138; 12), der von einer ersten Spule (133; 9) und von einem stromaufwärtigen inneren Rotationspolschuh (351) umgeben ist, sowie eine Vielzahl von äußeren Magnetkernen (137), die von äußeren Spulen (131; 10) umgeben sind, umfasst, wobei der Magnetkreis ferner einen im Wesentlichen radialen, ersten äußeren Polschuh (134; 6), der eine konkave innere Umfangsfläche (134a; 6a) definiert, sowie einen im Wesentlichen radialen, zweiten inneren Polschuh (135; 7), der eine konvexe äußere Umfangsfläche (135a; 7a) definiert, umfasst,
dadurch gekennzeichnet, dass die konkave innere Umfangsfläche (134a; 6a) und die konvexe äußere Umfangsfläche (135a; 7a) jeweils ein abgestimmtes, von einer kreisförmigen Zylinderfläche verschiedenes Profil aufweisen, um zwischen sich einen Luftspalt mit veränderlicher Breite zu bilden, der Bereiche (232) mit maximalem Wert gegenüber den äußeren Spulen (131; 10) und Bereiche (231) mit minimalem Wert zwischen den äußeren Spulen (131; 10) aufweist, so dass ein gleichförmiges radiales Magnetfeld erzeugt wird.

2. Triebwerk nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der stromaufwärtige innere Rotationspolschuh (351) im Wesentlichen konisch ist und einen profilierten Umfangsrand (351 a) an seinem der Kathode (140) am nächsten gelegenen freien Ende definiert.

3. Triebwerk nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Magnetkreis ferner einen im Wesentlichen konischen, stromaufwärtigen äußeren Polschuh (311) umfasst, der einen profilierten Umfangsrand (311a) an seinem der Kathode (140) am nächsten gelegenen freien Ende definiert und dass der profilierte Umfangsrand (351 a) des im Wesentlichen konischen, stromaufwärtigen inneren Rotationspolschuhs (351) und der profilierte Umfangsrand (311a) des im Wesentlichen konischen, stromaufwärtigen äußeren Polschuhs (311) jeweils ein abgestimmtes Profil mit zurückspringenden Abschnitten entlang der Achse des Triebwerks gegenüber den äußeren Spulen (131) aufweisen, um das Magnetfeldprofil im Azimut konstant zu halten.

4. Triebwerk nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der stromaufwärtige innere Rotationspolschuh (4) einen im Wesentlichen zylindrischen, inneren Magnetschirm umfasst, der einen profilierten Umfangsrand (4a) an seinem der Kathode (2) am nächsten gelegenen freien Ende definiert.

5. Triebwerk nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Magnetkreis ferner einen im Wesentlichen zylindrischen, äußeren Magnetschirm (5) umfasst, der einen profilierten Umfangsrand (5a) an seinem der Kathode (2) am nächsten gelegenen freien Ende definiert, und dass der profilierte Umfangsrand (4a) des inneren Magnetschirms (4) und der profilierte Umfangsrand (5a) des äußeren Magnetschirms (5) jeweils ein abgestimmtes Profil mit zurückspringenden Abschnitten entlang der Achse des Triebwerks gegenüber den äußeren Spulen (10) aufweisen, um das Magnetfeldprofil im Azimut konstant zu halten.

6. Triebwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** es vier äußere Spulen (131; 10), die vier äußere Magnetkerne (137) umgeben, umfasst.

7. Triebwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** es drei äußere Spulen (131; 10), die drei äußere Magnetkerne (137) umgeben, umfasst.

8. Triebwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zwei äußere Spule (131; 10), die zwei äußere Magnetkerne (137) umgeben, umfasst.

Claims

1. A closed electron drift thruster comprising a main annular ionization and acceleration channel (124; 3) about an axis of the thruster, at least one hollow cathode (140; 2), an annular anode (125; 1) concentric about the main annular channel (124; 3), a pipe (126) and a manifold (127) for feeding the anode (125; 1) with ionizable gas, and a magnetic circuit for creating a magnetic field in said main annular channel (124; 3), said magnetic circuit comprising at least one axial magnetic core (138; 12) surrounded by a first coil (133; 9) and by an inner upstream pole piece (351) forming a body of revolution, and a plurality of outer magnetic cores (137) surrounded by outer coils (131; 10), said magnetic circuit further comprising an essentially radial outer first pole piece (134; 6) defining a concave inner peripheral surface (134a; 6a), and an essentially radial inner second pole piece (135; 7) defining a convex outer peripheral surface (135a; 7a), **characterized in that** said concave inner peripheral surface (134a; 6a) and said convex outer peripheral surface (135a; 7a) present respective adjusted profiles that are distinct from circular cylindrical surfaces so as to form between them a gap of varying width presenting zones (232) of maximum value in register with the outer coils (131; 10), and zones (231) of minimum value in between said outer coils (131; 10) so as to create a uniform radial magnetic field.

2. A thruster according to claim 1, **characterized in that** said inner upstream pole piece (351) forming a body of revolution is essentially conical and defines a profiled peripheral margin (351a) at its free end that is closer to said cathode (140).

3. A thruster according to claim 2, **characterized in that** said magnetic circuit further comprises an essentially conical outer upstream pole piece (311) that defines a profiled peripheral margin (311a) at its free end closer to said cathode (140), and **in that** said profiled peripheral margin (351a) of said essentially conical inner upstream pole piece (351) forming a body of revolution and said profiled peripheral margin (311a) of said essentially conical outer upstream pole piece (311) present respective adjusted profiles with portions set back along the axis of the thruster in register with the outer coils (131) in such a manner as to keep the profile of the magnetic field constant in azimuth.

4. A thruster according to claim 1, **characterized in that** said inner upstream pole piece (4) forming a body of revolution comprises an essentially cylindrical inner magnetic shield defining a profiled peripheral margin (4a) at its free end close to said cathode (2).

5. A thruster according to claim 4, **characterized in that** said magnetic circuit further comprises an essentially cylindrical outer magnetic shield (5) that defines a profiled peripheral margin (5a) at its free end closer to said cathode (2), and **in that** said profiled peripheral margin (4a) of said inner magnetic shield (4) and said profiled peripheral margin (5a) of said outer magnetic shield (5) present respective adjusted profiles with proportions set back along the axis of the thruster in register with the outer coils (10) so as to keep the magnetic field profile constant in azimuth.

6. A thruster according to any one of claims 1 to 5, **characterized in that** it has four outer coils (131; 10) surrounding four outer magnetic cores (137).

7. A thruster according to any one of claims 1 to 5, **characterized in that** it has three outer coils (131; 10) surrounding three outer magnetic cores (137).

8. A thruster according to any one of claims 1 to 5, **characterized in that** it has two outer coils (131; 10) surrounding two outer magnetic cores (137).

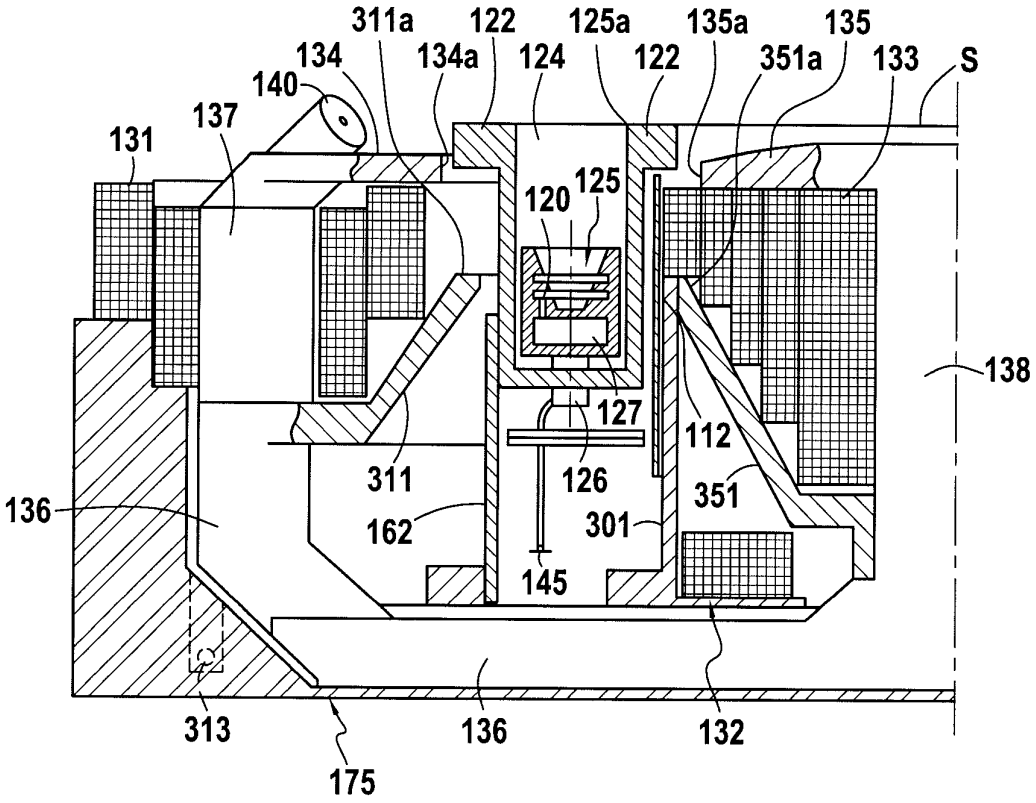

311a
122
125a
135a
135
134
134a
124
122
351a
133
S
140
137
131
120
125
138
127
112
311
126
351
136
162
301
145
313
136
132
175

FIG.1

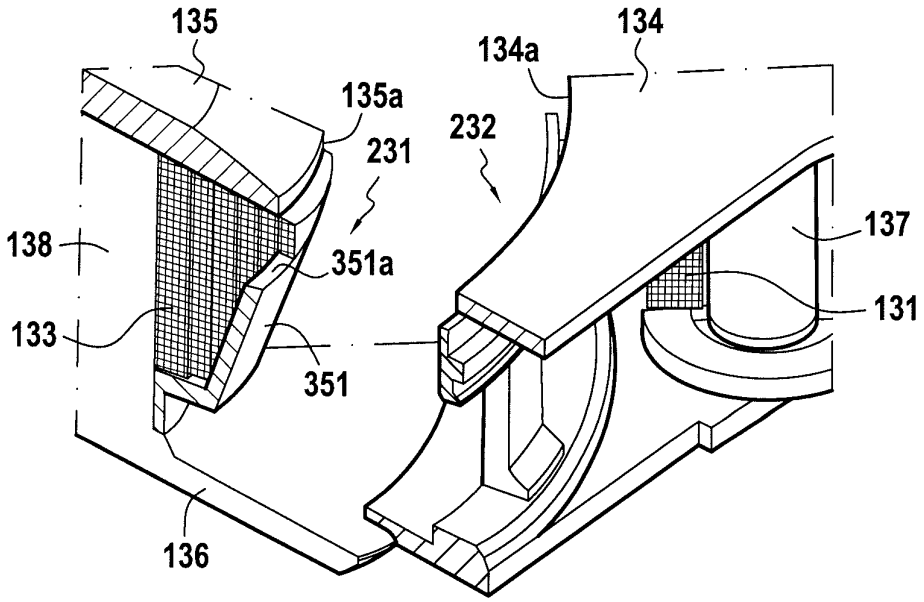

135
134
134a
135a
232
231
137
138
351a
131
133
351
136

FIG.2

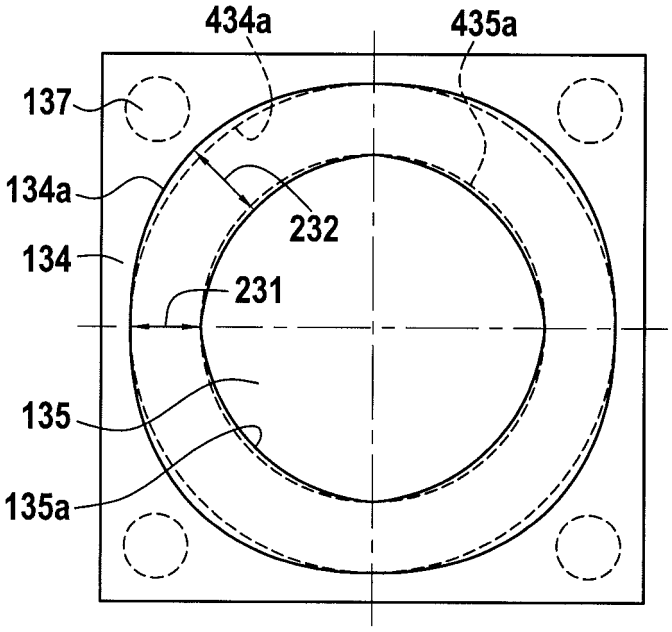

434a
435a
137
134a
232
134
231
135
135a

FIG.3

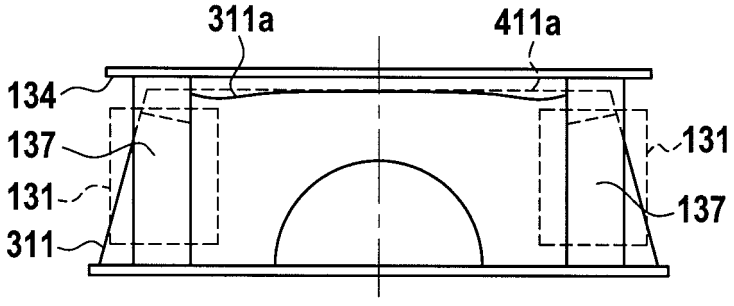

311a
411a
134
137
131
311
131
137

FIG.4

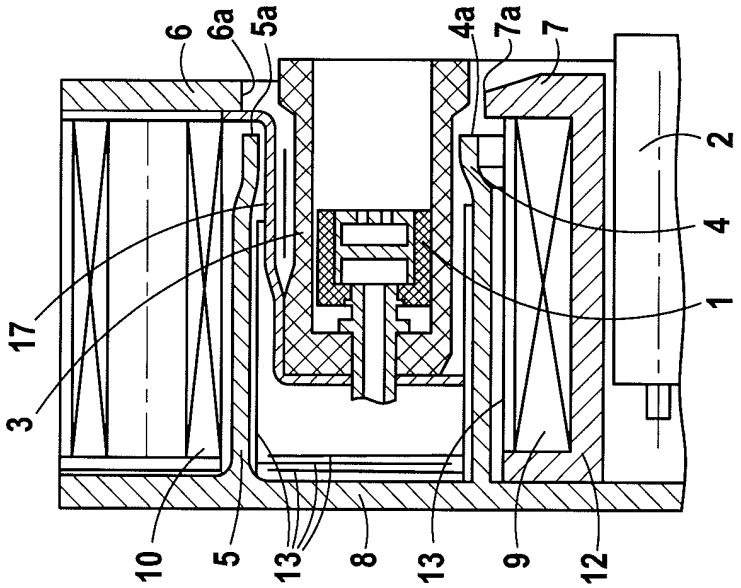


FIG.6

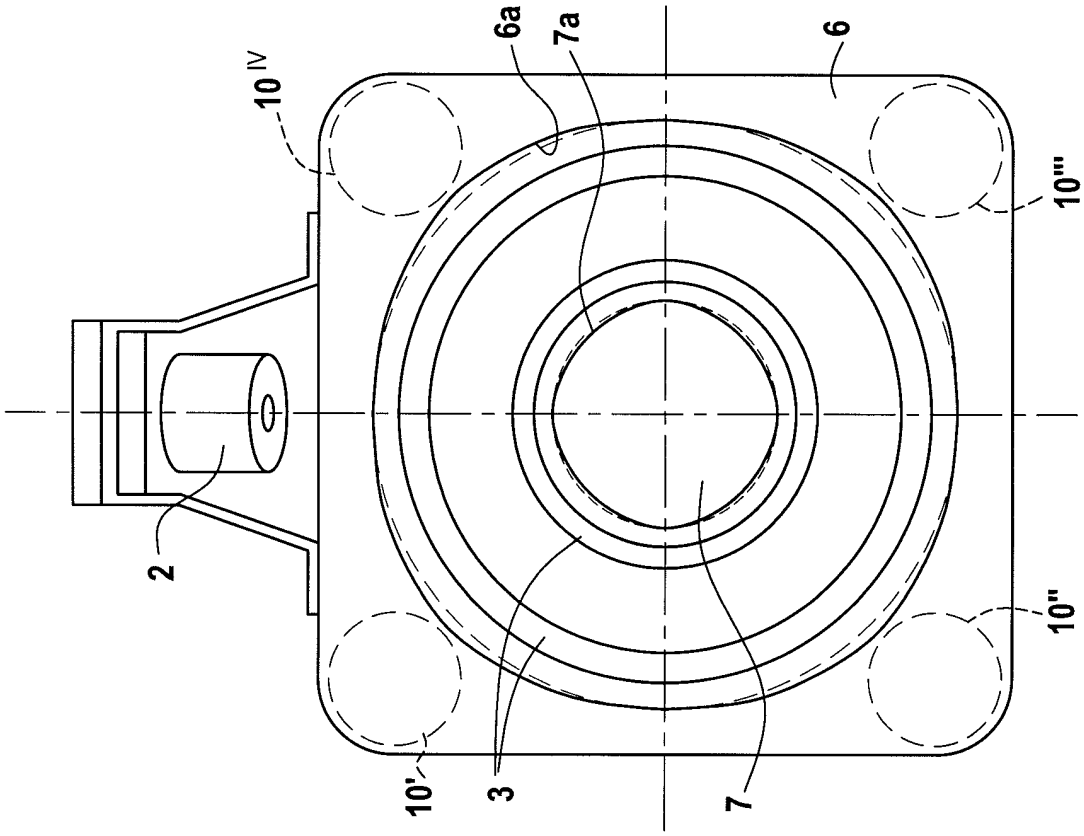


FIG.5

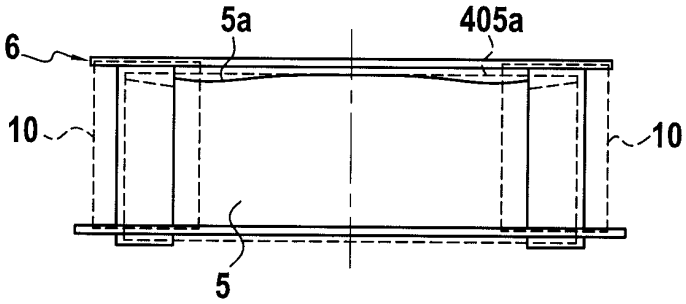


FIG.7

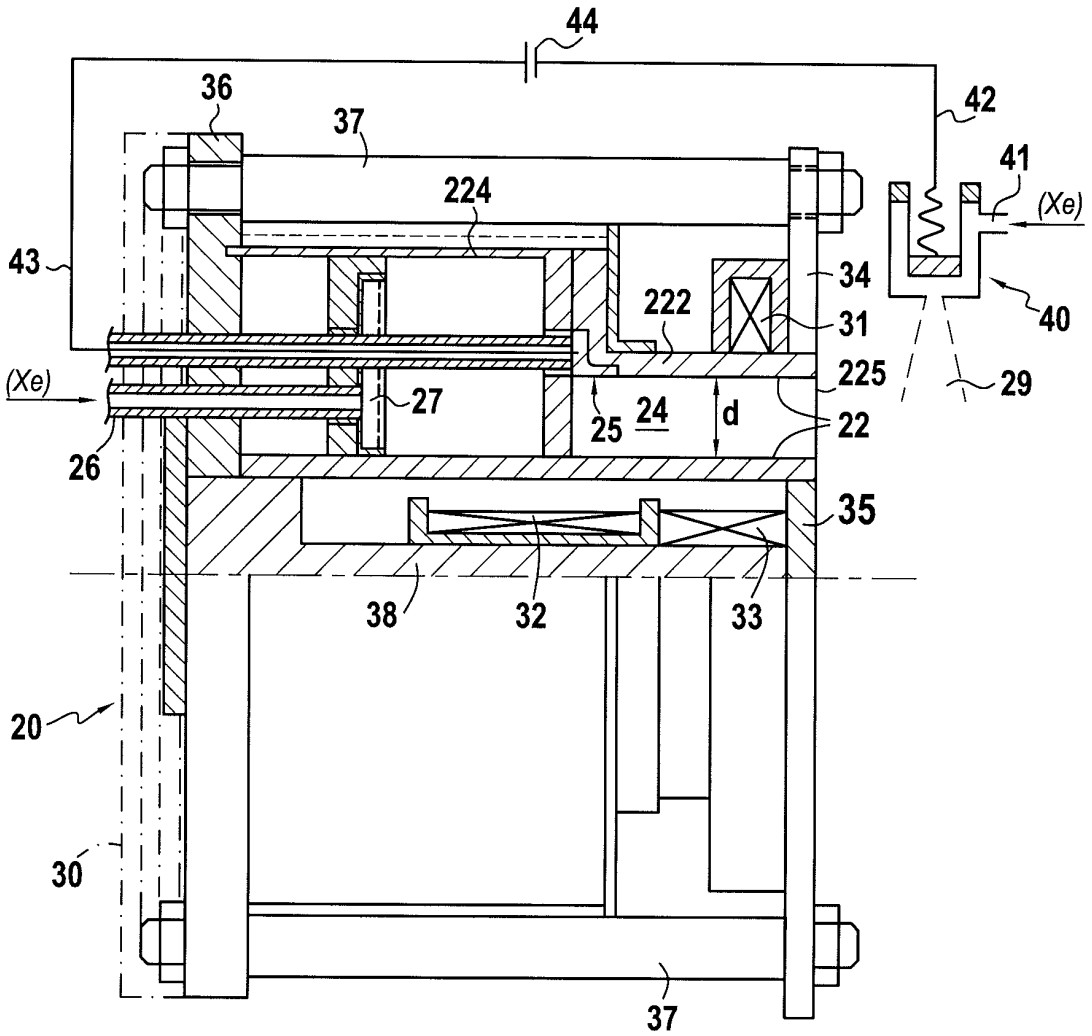


FIG.8
ART ANTERiEUR

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- EP 0900196 A1 **[0004]**
- FR 2693770 A1 **[0005] [0006]**
- EP 0982976 B1 **[0012]**
- US 6208080 B1 **[0013]**
- US 5359258 A **[0013] [0043]**
- EP 0982976 A **[0027]**

Littérature non-brevet citée dans la description

- **JOHN M SANKOVIC ; THOMAS X. HAAG.** Operating Characteristics of the Russian D-55 Thruster with Anode Layer. NASA Lewis Research Center **[0014]**
- **C. GARNER ; J.R. BROPY ; J.E. POLK ; S. SEMENKIN ; V. GARKUSHA ; S. TVERDOKHELBOV ; C. MARRESE.** *Experimental evaluation of Russian Anode Layer Thrusters* **[0014]**