



(11) **EP 1 520 104 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**07.05.2008 Bulletin 2008/19**

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

(21) Numéro de dépôt: **03763933.3**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/FR2003/002100**

(22) Date de dépôt: **07.07.2003**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 2004/007957 (22.01.2004 Gazette 2004/04)**

(54) **PROPULSEUR PLASMIQUE A EFFET HALL**

**HALLEFFECKTPLASMAANTRIEB**

**HALL-EFFECT PLASMA THRUSTER**

(84) Etats contractants désignés:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR  
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**

- **RENAUDIN, Patrice**  
**F-28410 Boutigny sur Opton (FR)**
- **GUYOT, Marcel**  
**F-28230 Droue sur Drouette (FR)**

(30) Priorité: **09.07.2002 FR 0208612**

(43) Date de publication de la demande:  
**06.04.2005 Bulletin 2005/14**

(74) Mandataire: **Poulin, Gérard et al**  
**Brevatome**  
**3, rue du Docteur Lancereaux**  
**75008 Paris (FR)**

(73) Titulaire: **CENTRE NATIONAL D'ETUDES  
SPATIALES**  
**F-75001 Paris (FR)**

(56) Documents cités:  
**US-A- 5 359 258 US-A- 5 763 989**  
**US-A- 5 838 120**

(72) Inventeurs:

- **CAGAN, Vladimir**  
**F-93170 Bagnolet (FR)**

**EP 1 520 104 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

### DOMAINE TECHNIQUE

**[0001]** L'invention se situe dans le domaine des propulseurs plasmiques en particulier à effet Hall.

**[0002]** De tels moteurs peuvent par exemple être utilisés dans l'espace par exemple pour maintenir un satellite en orbite géostationnaire, ou pour opérer un transfert d'un satellite entre deux orbites, ou pour compenser des forces de traînée sur des satellites en orbite basse, ou encore pour les missions nécessitant des poussées faibles sur des temps très longs comme lors d'une mission interplanétaire.

### ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

**[0003]** De tels propulseurs sont connus et ont déjà fait l'objet de descriptions, par exemple dans le brevet US-A 6,281,622, ou encore dans le brevet US 5,359,258.

**[0004]** La structure détaillée de tels propulseurs est décrite dans ces deux documents. Il sera utilisé ci-après en liaison avec les figures 1 et 2 un schéma simplifié d'une telle structure. Ce schéma est destiné plus particulièrement à donner des explications sur le fonctionnement d'un tel propulseur.

**[0005]** La figure 1 représente une coupe axiale d'un exemple d'un tel propulseur, et la figure 2 représente une vue en perspective vue de l'arrière dudit exemple de propulseur.

**[0006]** Le propulseur présente sensiblement une forme de révolution autour d'un axe OO'. Le plan de coupe de la figure 1 comporte cet axe OO'. Une direction arrière avant ou aval amont dans la direction axiale est matérialisée par des flèches E représentant sensiblement la direction d'un champ électrique créé par l'association d'une anode annulaire 1 placée à l'arrière d'un canal annulaire 3 et d'une cathode 2 placée sensiblement à l'avant du canal annulaire 3, à l'extérieur de celui-ci et de façon adjacente à celui-ci. La disposition de la cathode 2 permet ainsi de créer avec l'anode 1 un champ électrique orienté sensiblement selon la direction axiale OO', tout en étant en dehors du jet de propulsion. Pour des raisons de fiabilité, cette cathode est en général, comme représenté figure 2, doublée par une seconde cathode redondante. L'anode annulaire 1 présente un fond annulaire placé concentriquement au canal annulaire 3. Ce fond comporte des passages, par exemple sous forme de trous traversants permettant le passage d'un gaz qui peut être ionisé, par exemple du xénon.

**[0007]** Le propulseur comporte un circuit magnétique 40 en matériaux ferro magnétique constitué par une plaque 4 perpendiculaire à l'axe OO' du propulseur, un bras central 41 ayant pour axe l'axe OO', deux pôles cylindriques circulaires 63 et 64 ayant pour axe l'axe OO' et des bras périphériques extérieurs 42, disposés selon une symétrie de révolution autour de l'axe OO', à l'extérieur du canal annulaire 3. Les bras périphériques 42, peuvent

être au nombre de 2, 3, 4 ou d'avantage, ou encore être constitués par un bras annulaire unique. Le bras central 41 est terminé à son extrémité amont par un pôle magnétique central 49, et chacun des bras périphériques extérieurs 42, est terminé à son extrémité amont par un pôle magnétique 48. Les pôles magnétiques 48 sont constitués par des plaques sensiblement perpendiculaires à la direction axiale OO'. Ils peuvent, comme décrit colonne 5 lignes 51-62 du brevet US 6,281,622 déjà cité, être inclinés par exemple entre - 15 et +15 degrés par rapport à un plan perpendiculaire à l'axe OO'. Une bobine centrale 51 centrée sur le bras central 41, et des bobines périphériques 52 enroulées autour des bras magnétiques extérieurs 42 permettent de créer des lignes de champ magnétique joignant le pôle central 49 aux pôles périphériques 48 et le pôle 63 au pôle 64. Le champ magnétique dans le canal annulaire est ainsi sensiblement perpendiculaire à l'axe OO'. Cette direction du champ magnétique dans le canal annulaire 3 est matérialisée, figure 1, par des flèches M. Naturellement, de façon connue, dans le canal annulaire les lignes de champ magnétique ne sont pas toutes parallèles entre elles. Le canal annulaire 3 est matériellement délimité par des parois annulaires interne et externe 61, 62 respectivement, centrées toutes deux sur l'axe OO'. Ces parois sont constituées par un matériau réfractaire aussi résistant que possible à l'ablation.

**[0008]** Le modèle théorique de fonctionnement d'un tel propulseur n'est pas encore parfaitement maîtrisé. Il est cependant admis que le fonctionnement peut sensiblement être expliqué comme suit. Des électrons émis par la cathode 2, se dirigent vers l'anode 1 de l'amont vers l'aval du canal annulaire 3. Une partie de ces électrons est piégée dans le canal annulaire 3 par le champ magnétique inter polaire. Les chocs entre électrons et molécules gazeuses contribuent à ioniser le gaz introduit dans le canal 3 au travers de l'anode 1. Le mélange d'ions et d'électrons constitue alors un plasma ionisé auto entretenu. Les ions sont éjectés vers l'aval sous l'effet du champ électrique, créant ainsi une poussée du moteur dirigée vers l'amont. Le jet est électriquement neutralisée par des électrons provenant de la cathode 2.

**[0009]** La vitesse d'éjection des ions est de l'ordre de 5 fois supérieure à la vitesse d'éjection que l'on peut obtenir avec des propulseurs chimiques. Il s'en suit qu'avec une masse éjectée bien moindre on peut obtenir une efficacité de poussée améliorée.

**[0010]** L'alimentation des bobines de création du champ magnétique nécessite une alimentation électrique constituée en général à partir de panneaux solaires.

**[0011]** Le document US-A-5 838 120 décrit un propulseur plasmique comprenant les caractéristiques du préambule de la revendication 1.

**[0012]** Le document US-A-5 763 989 divulgue un propulseur plasmique à canal annulaire. Le circuit magnétique de ce propulseur est constitué d'aimants permanents.

## EXPOSÉ DE L'INVENTION

**[0013]** Par rapport à l'état de la technique qui vient d'être décrit, l'invention vise un propulseur plasmique ayant pour une même poussée, une consommation réduite de courant électrique et donc une masse diminuée de générateurs électriques, une masse et un encombrement diminués du circuit magnétique, une fiabilité accrue et enfin un coût de production réduit.

**[0014]** Selon l'invention les bobines de création de champ magnétique ont un nombre réduit de spires bobinées en fil spécial haute température. Ce nombre réduit de spires bobinées entraîne les avantages ci-après. Les pertes par effet Joule sont réduites, ce qui a pour conséquence une réduction de l'échauffement du propulseur, la fiabilité du propulseur est augmentée car le fil spécial haute température est fragile. La masse totale des éléments producteurs de champ magnétique est diminuée, du fait de la réduction du nombre de spires et de l'encombrement corrélatif du circuit magnétique. Le coût de production est diminué car le fil spécial haute température est onéreux, et parce que les bobines dont le rôle se limite alors à un simple ajustement de la valeur du champ magnétique sont simplifiées. Enfin le propulseur est allégé également par la réduction de la masse des alimentations électriques rendue possible par la diminution de la consommation du courant.

**[0015]** A toute ces fins l'invention est relative à un propulseur plasmique à effet Hall présentant les caractéristiques de la revendication 1.

**[0016]** Dans un mode de réalisation une partie des bras du circuit magnétique comporte un aimant permanent et une autre partie des bras du circuit magnétique ne comporte pas d'aimants permanents.

**[0017]** Dans un autre mode de réalisation, tous les bras du circuit magnétique comportent un aimant permanent.

**[0018]** Lorsque le circuit magnétique comporte une bobine inductrice celle ci est enroulée autour d'un bras ne comportant pas d'aimant permanent.

**[0019]** Aucune bobine inductrice n'est logée autour des bras du circuit magnétique comportant un aimant permanent.

## BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

**[0020]** Des modes de réalisation de l'invention seront maintenant décrits à titre d'exemple non limitatifs, en conjonction avec les dessins annexés.

- Les figures 1 et 2 déjà commentées représentent respectivement une coupe axiale, et une vue en perspective vue de l'arrière d'un exemple de réalisation d'un propulseur plasmique selon l'art antérieur.
- La figure 3A représente une coupe axiale d'un premier exemple de circuit magnétique d'un propulseur plasmique selon l'invention, coupe effectuée selon

la ligne CD de la figure 3B.

- La figure 3B représente une coupe transversale du premier exemple de circuit magnétique d'un propulseur plasmique selon l'invention, coupe effectuée selon la ligne AB de la figure 3A.
- La figure 4A représente une coupe axiale d'un second exemple de circuit magnétique d'un propulseur plasmique selon l'invention, coupe effectuée selon la ligne CD de la figure 4B.
- La figure 4B représente une coupe transversale du second exemple de circuit magnétique d'un propulseur plasmique selon l'invention, coupe effectuée selon la ligne AB de la figure 4A.
- La figure 5A représente une coupe axiale d'un troisième exemple de circuit magnétique d'un propulseur plasmique selon l'invention, coupe effectuée selon la ligne CD de la figure 5B.
- La figure 5B représente une coupe transversale du troisième exemple de circuit magnétique d'un propulseur plasmique selon l'invention, coupe effectuée selon la ligne AB de la figure 5A.

## EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

**[0021]** Dans les modes de réalisation qui vont être décrits ci-après, seul le circuit magnétique d'un propulseur selon l'invention est décrit. Ces circuits assurent les mêmes fonctions que les circuits magnétiques connus et sont disposés de façon similaire.

**[0022]** Ces circuits diffèrent de l'art antérieur par le fait que un ou plusieurs bras du circuit comportent des aimants permanents, par exemple en terres rares. Cette caractéristique permet de réduire le nombre de spires des bobines d'induction, éventuellement jusqu'à supprimer ces bobines ou une partie de ces bobines. La diminution de l'encombrement des bobines qui résulte de cette modification permet de réduire la dimension transversale du circuit magnétique puisque l'épaisseur des bobines à loger peut être réduite. Elle permet également de diminuer la dimension axiale qui est souvent déterminée en fonction du nombre de spires à loger autour du bras central. Il devient ainsi possible de limiter la longueur axiale du propulseur à la longueur minimale de la chambre d'ionisation.

**[0023]** Chacun des modes de réalisation de circuit magnétique 40 décrit en liaison avec les figures 3, 4 et 5A et B comporte comme dans l'art antérieur décrit en liaison avec les figures 1 et 2, une plaque amont 4, en matériau magnétique doux, placée perpendiculairement à un axe OO' du circuit 40. Cette plaque est complétée par un bras central 41 de forme cylindrique ayant pour axe l'axe OO', par des pôles cylindriques circulaires 63 et 64 ayant pour axe l'axe OO', disposés de part et d'autre d'un canal annulaire 3 et par des bras périphériques 42, 42' disposés selon une symétrie de révolution autour de l'axe OO' à l'extérieur du canal annulaire 3. Sur les figures 3A et B et 4 A et B il y a quatre bras périphériques 42. Naturel-

lement le nombre de bras peut être différent. Il pourra en particulier être supérieur à 4, comme représenté figure 5 A et B où ce nombre est de 8, en raison de la diminution d'encombrement résultant de la suppression ou de la réduction de la taille des bobines d'induction.

**[0024]** Chacun des bras 41, 42 est terminé dans sa partie amont par un pôle magnétique référencé 49 pour le pôle du bras central 41 et 48 pour chacun des pôles des bras périphériques 42. Chaque pôles 49, 48 terminant un bras 41, 42 respectivement, est disposé perpendiculairement à l'axe dudit bras. L'angle d'inclinaison des pôles peut être différent comme décrit en liaison avec la description de l'art antérieur.

**[0025]** L'accroissement du nombre de bras périphériques distincts apporte une amélioration de la symétrie circulaire du champ magnétique, entre le pôle central 49 et les pôles périphériques 48.

**[0026]** Contrairement à l'art antérieur décrit, au moins l'un des bras comporte un aimant permanent constituant une partie de la longueur axiale du bras. Les bras comportant un aimant permanent portent la référence 41' lorsqu'il s'agit du bras central et 42' lorsqu'il s'agit d'un bras périphérique. Dans les figures 3, 4, 5 A et B l'aimant permanent est référencé 54 lorsqu'il est incorporé à un bras périphérique 42' et 55 lorsqu'il est incorporé au bras central 41'.

**[0027]** Dans l'exemple représenté figures 3 A et B, tous les bras périphériques 42' sont ainsi constitués de l'aval vers l'amont d'une partie aval 43 en matériau magnétique doux en contact avec la plaque aval 4, d'un aimant en terre rare 54, d'une partie amont 45 en matériau magnétique doux, cette partie amont 45 portant le pôle magnétique 48. On voit qu'une partie centrale du bras adjacente à la partie aval 43 et à la partie amont 45 est constituée par ledit aimant permanent 54.

**[0028]** Dans l'exemple représenté figure 3 A et B le bras central 41 est entièrement en matériau magnétique doux. Une bobine centrale 51 réalisée comme dans l'art antérieur par un fil spécial haute température, comportant une gaine métallique autour d'un conducteur central, permet un ajustement du champ magnétique inter polaire. Dans cette configuration aucune bobine périphérique d'induction n'est disposée autour des bras périphériques 42'.

**[0029]** Ainsi dans ce premier exemple de réalisation, les bras périphériques 42' comportent chacun un aimant permanent 54, et le bras central 41 est réalisé uniquement en matériau magnétique, une bobine inductrice 51 étant logée autour dudit bras central 41.

**[0030]** Dans l'exemple représenté figures 4 A et B, tous les bras périphériques 42 sont constitués entièrement en matériau magnétique doux. Une bobine d'induction 52 est disposée autour de chacun des bras 42. Par contre le bras central 41' comporte une partie aval 44 en matériau magnétique doux, un aimant permanent en terre rare 55, et une partie amont 46 en matériau magnétique doux, cette partie amont 46 portant le pôle magnétique 49.

**[0031]** Dans cette configuration aucune bobine cen-

trale d'induction n'est disposée autour du bras central 41.

**[0032]** Dans ce second mode de réalisation, le bras central 41' comporte un aimant permanent 55, les bras périphériques 42 sont réalisés uniquement en matériau magnétique et une bobine inductrice 52 est logée autour de chacun desdits bras périphériques 42.

**[0033]** Chacun des bras 41' ou 42' comportant un aimant permanent 55, 54 respectivement, comporte une chemise périphérique 47, extérieure au dit bras, en métal non magnétique. Cette chemise 47 permet de tenir mécaniquement assemblés, par exemple par serrage, les parties aval 43, 44, amont 45, 46 ainsi que l'aimant 54, 55 constituant ensemble un bras 42' 41' respectivement. L'aimant 54, 55 est maintenu au contact des parties aval 43, 44 et amont 45, 46 respectivement.

**[0034]** Dans l'exemple représenté figures 5 A et B, il y a 8 bras périphériques 42' qui comportent comme dans le mode de réalisation décrit en liaison avec les figures 3 A et B des aimants permanents 54. De même, le bras central 41' comporte une partie aval 44 en matériau magnétique doux, un aimant permanent en terre rare 55, et une partie amont 46 en matériau magnétique doux, cette partie amont 46 portant le pôle magnétique 49. Une chemise 47 assure la cohésion mécanique des parties constituant ensemble un bras 42' ou 41' et assure que les parties de noyau magnétique 43, 45 et l'aimant permanent 54 sont maintenus coaxiaux.

**[0035]** Dans cette configuration aucune bobine centrale d'induction n'est disposée autour du bras central 41' ni autour des bras périphériques 42' comportant un aimant permanent 54.

**[0036]** Dans cette troisième configuration, le bras central 41' comporte un aimant permanent 55, et tous les bras périphériques 42' comportent un aimant permanent 54.

**[0037]** Dans toutes les configurations de l'invention, la puissance des aimants est ajustée de façon à ce que le champ magnétique ait sa valeur optimale dans la gamme envisagée de température de fonctionnement du propulseur.

**[0038]** Dans le cas des configurations comportant des bobines 51 et/ou 52, la puissance des aimants est de plus ajustée de façon à ce que le nombre de spire soit minimal.

## Revendications

1. Propulseur plasmique à effet Hall ayant un axe longitudinal OO' sensiblement parallèle à une direction de propulsion définissant une partie amont et une partie avale, et comportant :

- un canal annulaire (3) principal d'ionisation et d'accélération réalisé en matériau réfractaire entouré par deux pôles magnétiques cylindriques circulaires (63, 64) le canal annulaire (3) étant ouvert à son extrémité amont,

- une anode (1) annulaire distributrice de gaz recevant du gaz de conduits de distribution et pourvue de passages pour laisser ce gaz entrer dans le canal annulaire (3), ladite anode (1) annulaire étant placée à l'intérieur du canal (3) dans une partie aval de ce canal (3),
- au moins une cathode (2) creusée disposée en dehors du canal annulaire (3), de façon adjacente à celui-ci,
- un circuit magnétique (40) comportant des extrémités polaires amont (49, 48) pour créer un champ magnétique radial dans une partie amont du canal annulaire (3) entre ces parties polaires (49, 48), ce circuit (40) étant constitué par une plaque aval (4), de laquelle jaillissent vers l'amont parallèlement à l'axe OO', un bras central (41), situé au centre du canal annulaire (3), deux pôles cylindriques (63, 64) circulaires de part et d'autre du canal annulaire (3) et des bras périphériques (42) situés à l'extérieur du canal annulaire (3) et adjacents à celui-ci, l'un au moins des bras (42', 41') du circuit magnétique (40) comportant un aimant permanent (54, 55), **caractérisé en ce que** chaque bras (41', 42') du circuit magnétique (40) comportant un aimant permanent (55, 54) est constitué par une partie aval (43, 44) en contact avec la plaque aval (4), une partie amont (45, 46) portant un pôle magnétique (49, 48) et une partie centrale adjacente à la partie aval (43, 44) et à la partie amont (45, 46) constituée par ledit aimant permanent (55, 54).
2. Propulseur plasmique selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** une partie des bras (41', 42') du circuit magnétique (40) comporte un aimant permanent (55, 54) et **en ce que** une autre partie des bras (41, 42) du circuit magnétique (40) ne comporte pas d'aimants permanents.
3. Propulseur plasmique selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** une chemise (47) est présente sur chaque bras (41', 42') du circuit magnétique (40) comportant un aimant permanent (55, 54).
4. Propulseur plasmique selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** une bobine inductrice (51, 52) est enroulée autour de bras (42, 41) ne comportant pas d'aimants permanents.
5. Propulseur plasmique selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** aucune bobine inductrice n'est logée autour des bras (41', 42') du circuit magnétique (40) comportant un aimant permanent (55, 54).
6. Propulseur plasmique selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** les bras périphériques (42, 42') sont disposés selon une symétrie de révolution autour de l'axe OO'.
7. Propulseur plasmique selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les bras périphériques (42') comportent chacun un aimant permanent (54), **en ce que** le bras central (41) est réalisé uniquement en matériau magnétique et **en ce que** une bobine inductrice (51) est logée autour dudit bras central (41).
8. Propulseur plasmique selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le bras central (41') comporte un aimant permanent (55), **en ce que** les bras périphériques (42) sont réalisés uniquement en matériau magnétique et **en ce que** une bobine inductrice (52) est logée autour de chacun desdits bras périphériques (42).
9. Propulseur plasmique selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le bras central (41') comporte un aimant permanent (55), **en ce que** tous les bras périphériques (42') comportent un aimant permanent (54).

#### Claims

1. Hall-effect plasma thruster having a longitudinal axis OO' substantially parallel to a thrust direction defining an upstream portion and a downstream portion, and comprising:

- a primary ionization and acceleration channel (3) made of a refractory material surrounded by two circular cylindrical poles (63, 64), the annular channel (3) being open at its upstream end,

- an annular gas-dispensing anode (1) receiving gas from gas-distribution lines and equipped with passages for admitting this gas into the annular channel (3), said annular anode (1) being placed inside of the channel (3) in an upstream portion of said channel (3),

- at least one hollow cathode (2) arranged outside the annular channel (3), adjacent thereto,

- a magnetic circuit (40) comprising upstream polar ends (49, 48) for creating a radial magnetic field in an upstream portion of the annular channel (3) between these polar parts (49, 48), said circuit (40) consisting of a downstream plate (4), from which protrude, upstream and parallel to the axis OO', a central arm (41) situated at the centre of the annular channel (3), two circular cylindrical poles (63, 64) on both sides of the annular channel (3), and peripheral arms (42) situated on the exterior of the annular channel (3) and adjacent thereto, at least one of the arms (42', 41') of the magnetic circuit (40) comprising

- a permanent magnet (54, 55), **characterized in that** each arm (41', 42') of the magnetic circuit (40) comprising a permanent magnet (55, 54) consists of a downstream portion (43, 44) in contact with the downstream plate (4), an upstream portion (45, 46) holding a magnetic pole (49, 48) and a central portion adjacent to the downstream portion (43, 44) and to the upstream portion (45, 46) consisting of said permanent magnet (55, 54).
2. Plasma thruster as claimed in claim 1, **characterized in that** a portion of the arms (41', 42') of the magnetic circuit (40) comprises a permanent magnet (55, 54) and **in that** another portion of the arms (41', 42') of the magnetic circuit (40) does not comprise permanent magnets.
3. Plasma thruster as claimed in claim 1, **characterized in that** a jacket (47) is present on each arm (41', 42') of the magnetic circuit (40) comprising a permanent magnet (55, 54).
4. Plasma thruster as claimed in one of claims 1 to 3, **characterized in that** a field coil (51, 52) is wound around arms (42, 41) not comprising permanent magnets.
5. Plasma thruster as claimed in one of claims 1 to 4, **characterized in that** no field coil is engaged around the arms (41', 42') of the magnetic circuit (40) comprising a permanent magnet (55, 54).
6. Plasma thruster as claimed in one of claims 1 to 4, **characterized in that** the peripheral arms (42, 42') are arranged in rotational symmetry around the axis OO'.
7. Plasma thruster as claimed in claim 1, **characterized in that** the peripheral arms (42') each comprise a permanent magnet (54), **in that** the central arm (41) is made of a magnetic material only and **in that** a field coil (51) is engaged around said central arm (41).
8. Plasma thruster as claimed in claim 1, **characterized in that** the central arm (41') comprises a permanent magnet (55), **in that** the peripheral arms (42) are made of a magnetic material only, and **in that** a field coil (51) is engaged around said central arm (41).
9. Plasma thruster as claimed in claim 1, **characterized in that** the central arm (41') comprises a permanent magnet (550, and **in that** all of the peripheral arms (42') comprise a permanent magnet (54).

## Patentansprüche

1. Plasmaantrieb mit Hall-Effekt, der eine Längsachse (00') aufweist, die im wesentlichen parallel zu einer stromaufwärtigen Abschnitt und einen stromabwärtigen Abschnitt festlegenden Antriebsrichtung ist, und der umfasst:

- einen ringförmigen Haupt-Ionisierungs- und Beschleunigungskanal (3), der aus einem feuerfesten Material hergestellt ist und von zwei zylindrischen kreisförmigen Magnetpolen (63,64) umgeben ist, wobei der ringförmige Kanal (3) an seinem stromaufwärtigen Ende offen ist,
- eine ringförmige Gasverteilungsanode (1), welche Gas aus Verteilungsleitungen aufnimmt und mit Durchgängen versehen ist, um dieses Gas in den ringförmigen Kanal (3) eintreten zu lassen, wobei die ringförmige Anode (1) im Inneren des Kanals (3) in einem stromaufwärtigen Abschnitt dieses Kanals (3) angeordnet ist,
- mindestens eine hohle Kathode (2), die außerhalb des ringförmigen Kanals (3) an diesen angrenzend angeordnet ist,
- einen Magnetkreis (40), der stromaufwärtige Polenden (49,48) zum Erzeugen eines radialen Magnetfeldes in einem stromaufwärtigen Abschnitt des ringförmigen Kanals (3) zwischen diesen Polabschnitten (49,48) umfasst, wobei dieser Kreis (40) aus einer stromabwärtigen Platte (4) gebildet ist, von der stromaufwärts parallel zur Achse (00') ein in der Mitte des ringförmigen Kanals (3) befindlicher zentraler Arm (41), zwei kreisförmige zylindrische Pole (63,64) auf beiden Seiten des ringförmigen Kanals (3) sowie außerhalb des ringförmigen Kanals (3) und angrenzend an diesen gelegene periphere Arme (42) ausgehen, wobei mindestens einer der Arme (42',41') des Magnetkreises (40) einen Permanentmagneten (54,55) aufweist,

**dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Arm (41',42') des einen Permanentmagneten (55,54) aufweisenden Magnetkreises (40) von einem stromabwärtigen Abschnitt (43,44) in Kontakt mit der stromabwärtigen Platte (4), einem stromaufwärtigen Abschnitt (45,46), der einen Magnetpol (49,48) trägt, und einem zentralen Abschnitt angrenzend an den stromabwärtigen Abschnitt (43,44) und an den von dem Permanentmagneten (55,54) gebildeten stromaufwärtigen Abschnitt (45,46) gebildet ist.

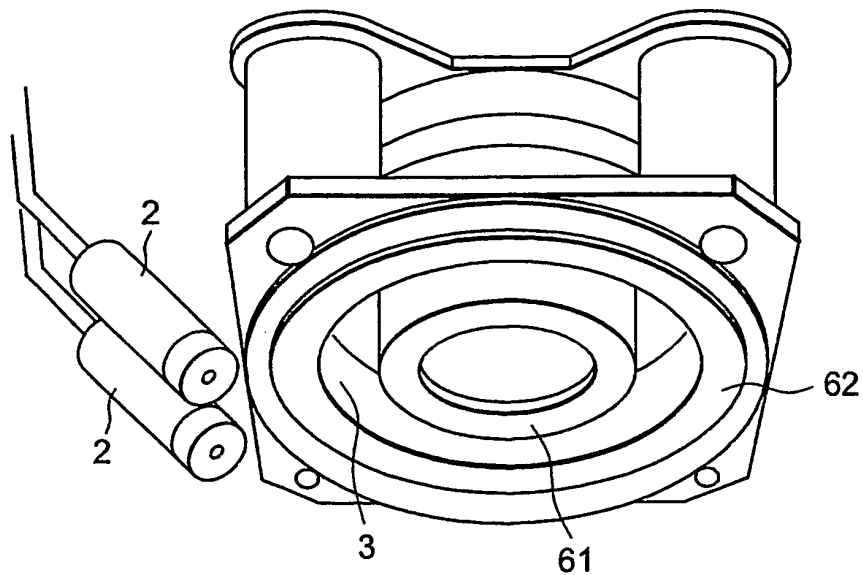
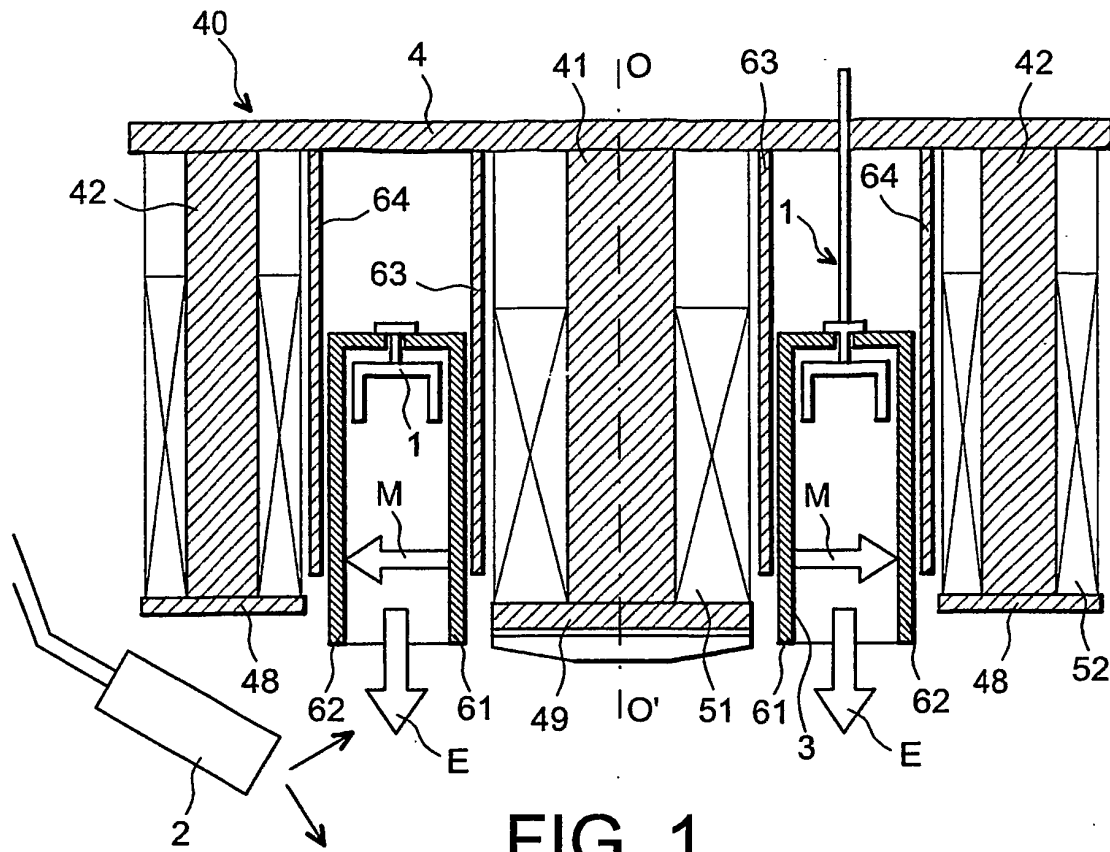
2. Plasmaantrieb nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Abschnitt der Arme (41',42') des Magnetkreises (40) einen Permanentmagneten (55,54) aufweist, und dass ein anderer Abschnitt der Arme (41,42) des Magnetkreises (40) keine Permanentmagnete aufweist.

3. Plasmaantrieb nach Antrieb 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Mantel (47) an jedem Arm (41', 42') des einen Permanentmagneten (55,54) aufweisenden Magnetkreises (40) vorhanden ist. 5
4. Plasmaantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Induktionsspule (51,52) um Arme (42,41), die keine Permanentmagnete aufweisen, herumgewickelt ist. 10
5. Plasmaantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** um die Arme (41', 42') des Magnetkreises (40), der einen Permanentmagneten (55,54) aufweist, keine Induktionsspule angeordnet ist. 15
6. Plasmaantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die peripheren Arme (42,42') gemäß einer Umdrehungssymmetrie um die Achse (00') angeordnet sind. 20
7. Plasmaantrieb nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die peripheren Arme (42') jeweils einen Permanentmagneten (54) aufweisen, dass der zentrale Arm (41) ausschließlich aus magnetischem Material hergestellt ist, und dass eine Induktionsspule (51) um den zentralen Arm (41) herum angeordnet ist. 25
8. Plasmaantrieb nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zentrale Arm (41') einen Permanentmagneten (55) aufweist, dass die peripheren Arme (42) ausschließlich aus magnetischem Material hergestellt sind, und dass eine Induktionsspule (52) um jeden der peripheren Arme (42) herum angeordnet ist. 30 35
9. Plasmaantrieb nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zentrale Arm (41') einen Permanentmagneten (55) aufweist, und dass alle peripheren Arme (42') einen Permanentmagneten (54) aufweisen. 40

45

50

55





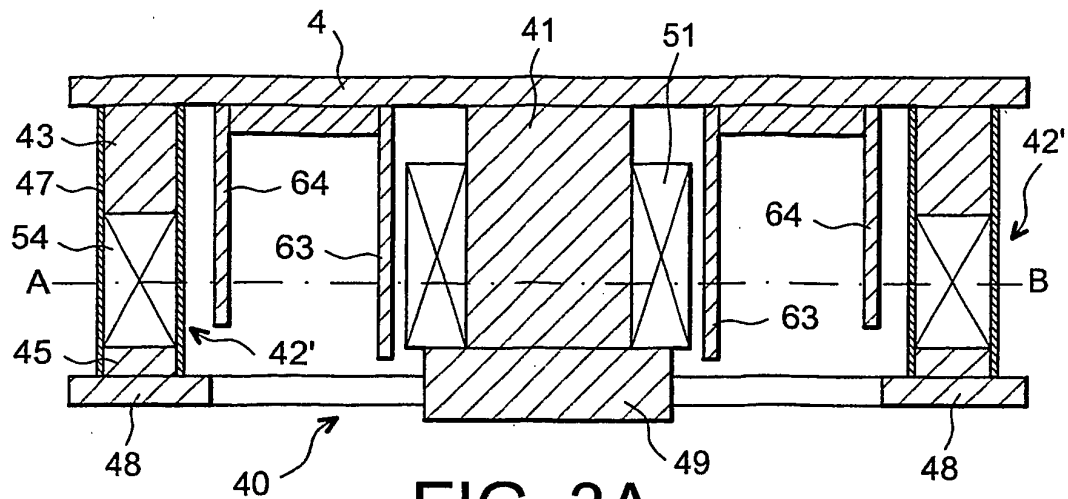


FIG. 3A

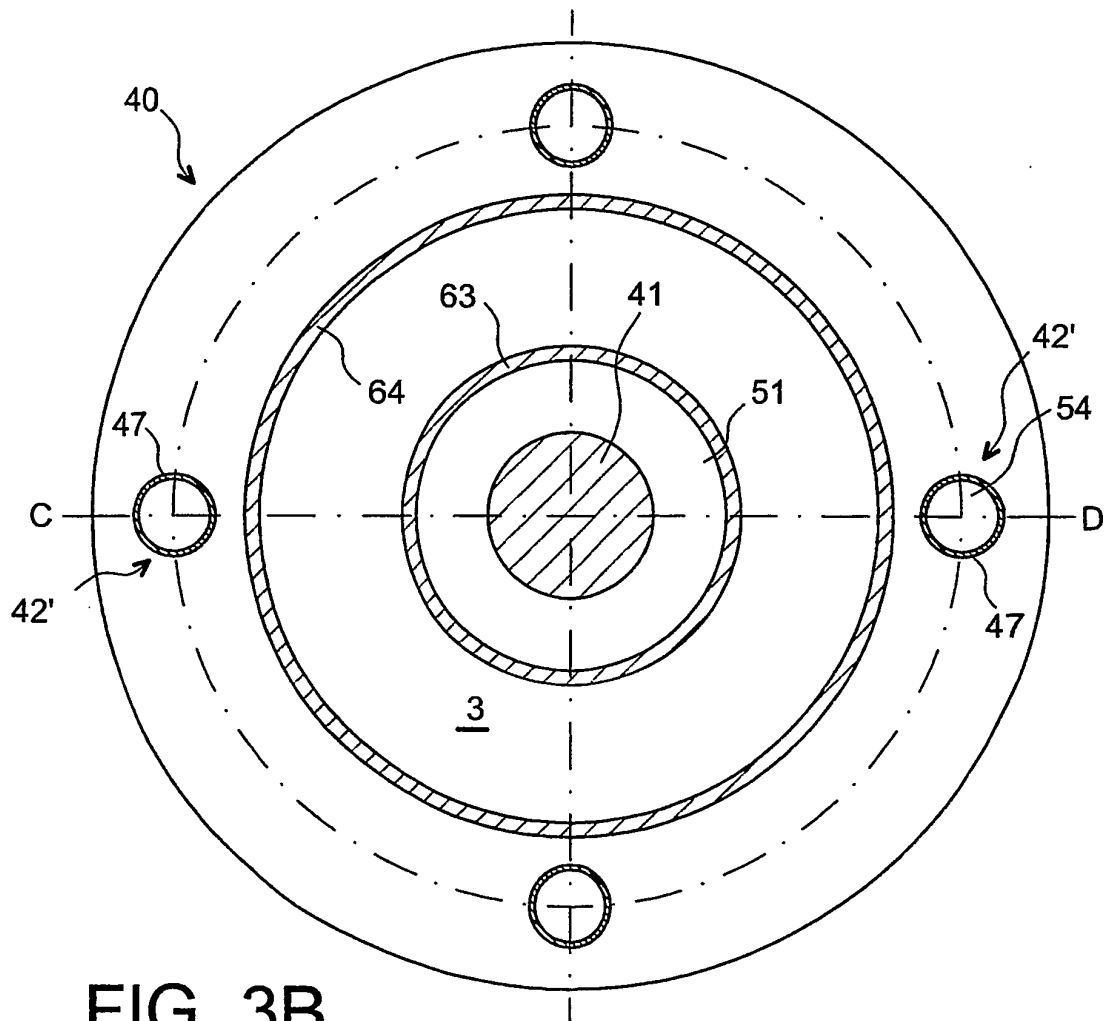
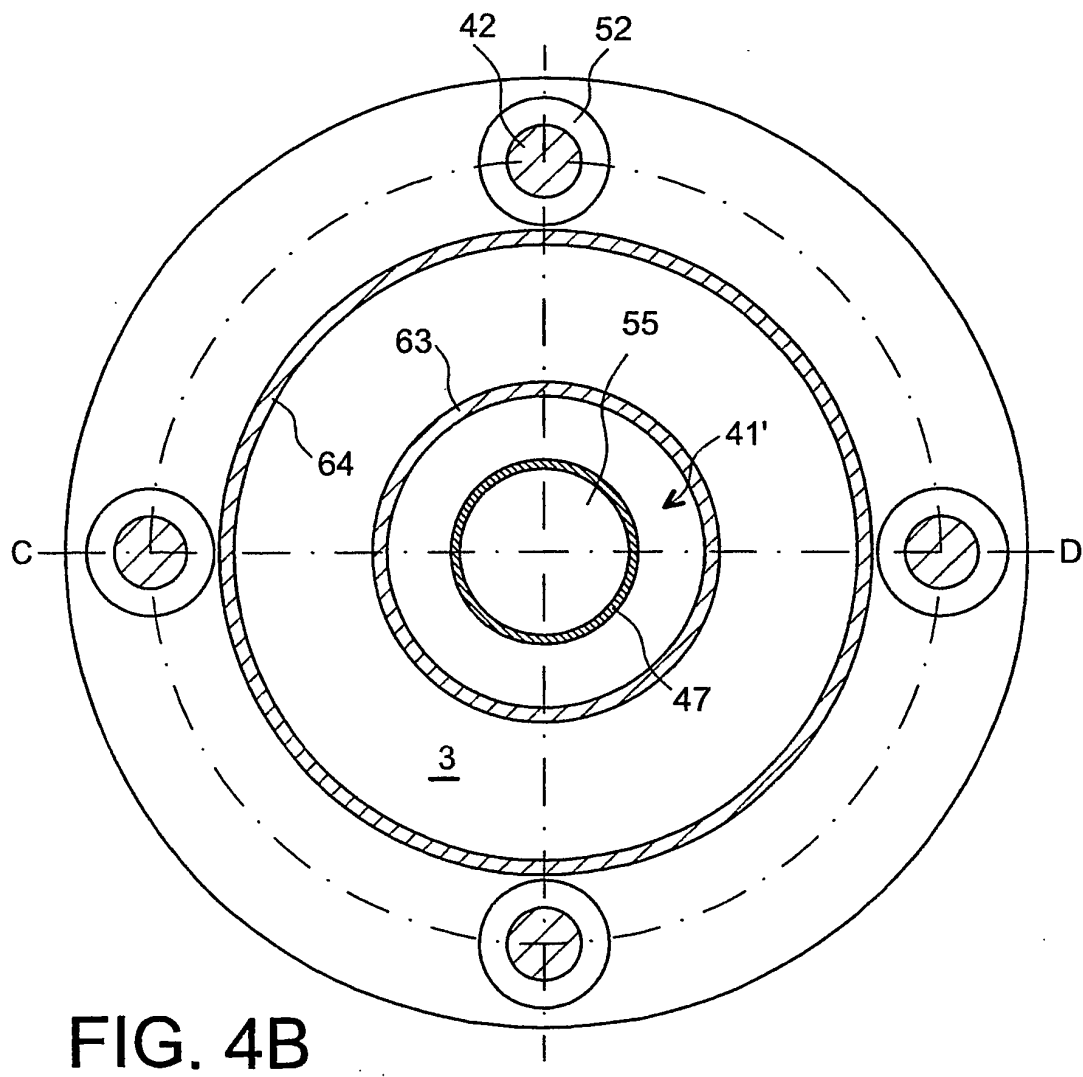
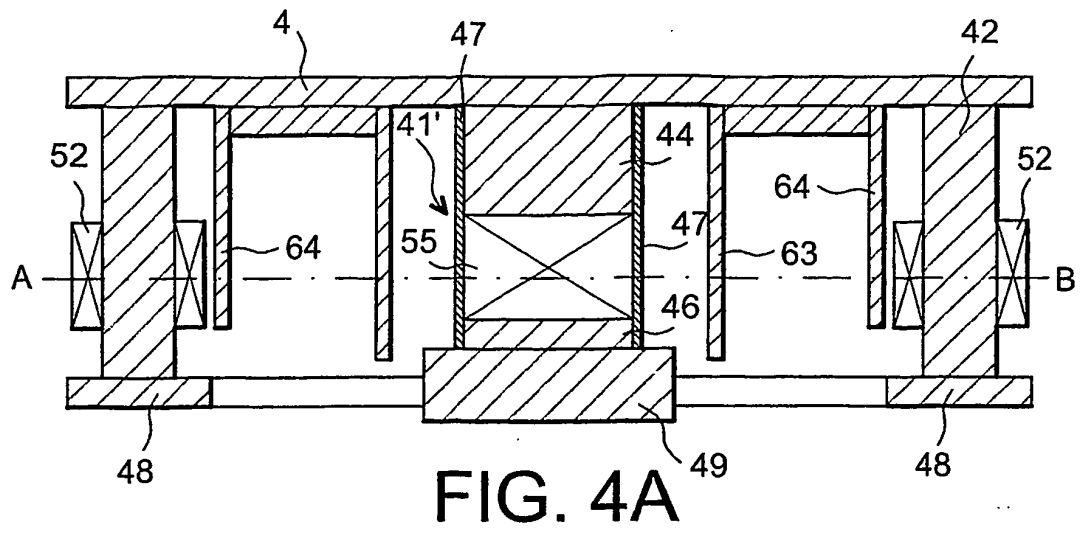


FIG. 3B



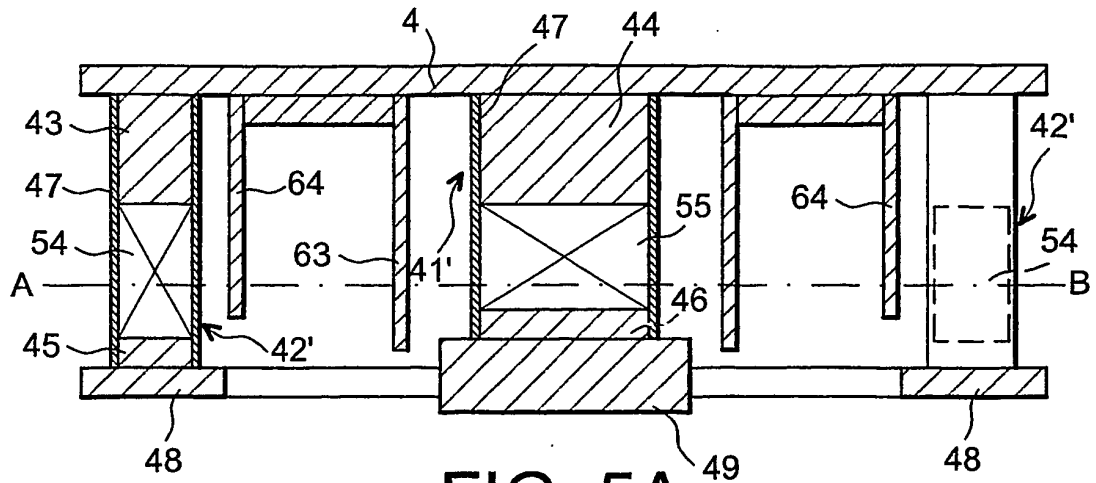


FIG. 5A

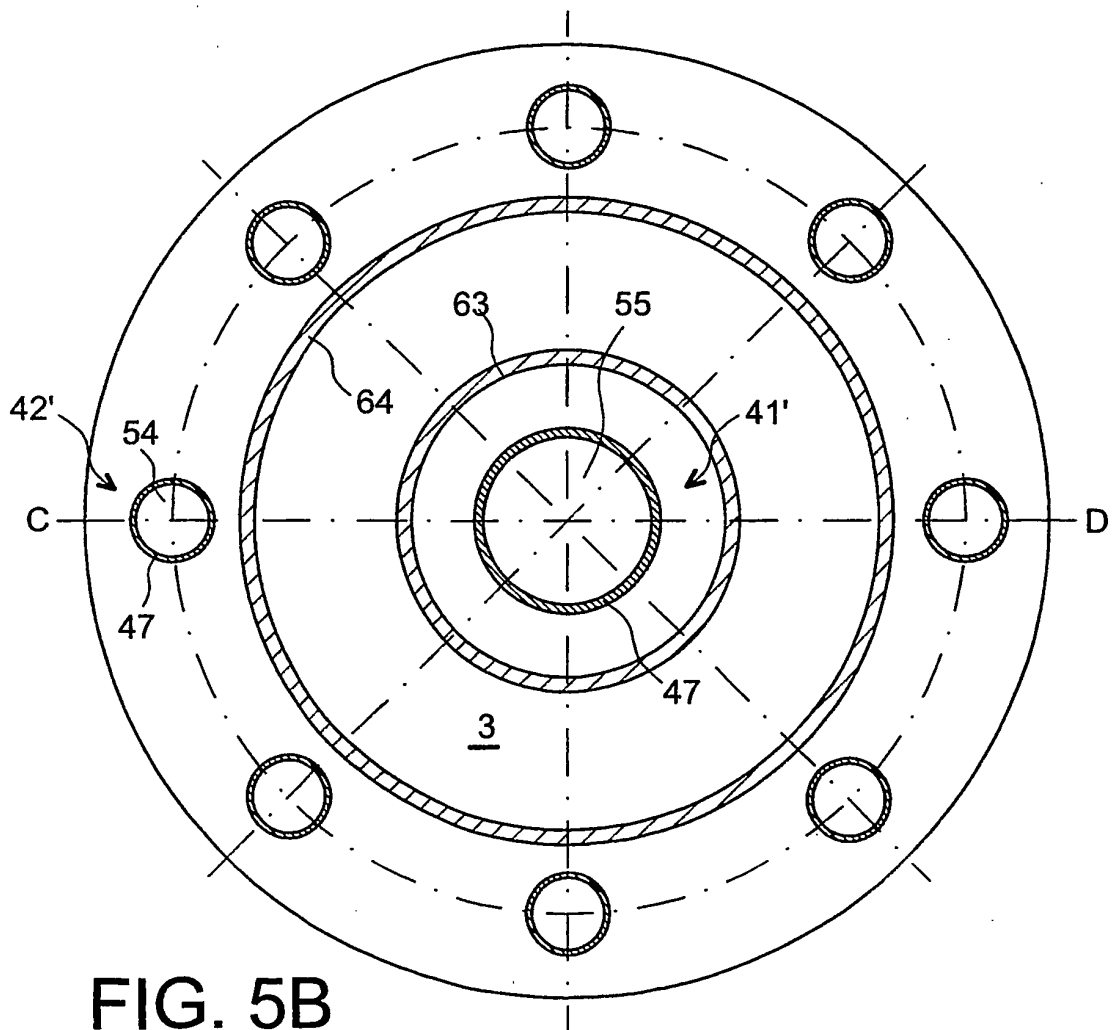


FIG. 5B

**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**

- US 6281622 A [0003]
- US 5359258 A [0003]
- US 6281622 B [0007]
- US 5838120 A [0011]
- US 5763989 A [0012]