

(19)



(11)

**EP 1 366 280 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:  
**26.12.2007 Bulletin 2007/52**

(51) Int Cl.:  
**F02G 1/043 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **02711979.1**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/FR2002/000173**

(22) Date de dépôt: **17.01.2002**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 2002/057612 (25.07.2002 Gazette 2002/30)**

(54) **GROUPE ELECTROGENE A MOUVEMENT LINEAIRE ALTERNATIF A BASE DE MOTEUR STIRLING, ET PROCEDE MIS EN OEUVRE DANS CE GROUPE ELECTROGENE**

ANTRIEBSEINHEIT MIT LINEARER HUBBEWEGUNG AUF GRUNDLAGE EINES STIRLINGMOTORS UND BEI DEM ANTRIEBSSYSTEM VERWENDETES VERFAHREN

POWER UNIT WITH RECIPROCATING LINEAR MOVEMENT BASED ON STIRLING MOTOR, AND METHOD USED IN SAID POWER PLANT

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

- **PREVOND, Laurent**  
**F-77270 Villeparisis (FR)**
- **DESCOMBES, Georges**  
**F-91800 Brunoy (FR)**

(30) Priorité: **17.01.2001 FR 0100574**

(74) Mandataire: **Callon de Lamarck, Jean-Robert et al**  
**Cabinet Régimbeau**  
**20, rue de Chazelles**  
**75847 Paris cedex 17 (FR)**

(43) Date de publication de la demande:  
**03.12.2003 Bulletin 2003/49**

(73) Titulaire: **CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS**  
**75003 Paris (FR)**

(56) Documents cités:

<b>EP-A- 0 505 039</b>	<b>FR-A- 1 407 682</b>
<b>FR-A- 2 510 181</b>	<b>GB-A- 2 290 351</b>
<b>US-A- 3 552 120</b>	<b>US-A- 4 183 214</b>
<b>US-A- 4 723 410</b>	<b>US-A- 4 888 951</b>

(72) Inventeurs:  
• **FRANCOIS, Pierre**  
**F-92120 Montrouge (FR)**

**EP 1 366 280 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

**[0001]** La présente invention concerne un groupe électrogène à mouvement linéaire alternatif à base de moteur Stirling. Elle concerne également un procédé mis en oeuvre dans ce groupe électrogène.

**[0002]** D'une façon générale, le moteur Stirling comporte un ensemble piston cylindre renfermant un fluide de travail. Alternativement, le fluide est mis en contact avec une source chaude et une source froide. Lors du réchauffement du fluide, la pression augmente en poussant le piston moteur, puis un déplaceur transfère le fluide vers la source froide de sorte que la pression baisse. Comme la pression baisse, le piston moteur comprime le fluide. Le cycle peut alors recommencer. On peut alors utiliser le mouvement linéaire alternatif opéré par le piston pour produire de l'électricité en mode autonome.

**[0003]** Dans l'état de la technique, le document US4649283 décrit le principe d'un générateur composé d'un moteur Stirling sur lequel sont disposés des éléments électromagnétiques créant de l'énergie électrique par déplacement linéaire alternatif de deux pistons reliés entre eux et avec la chambre du moteur Stirling au moyen de ressorts.

**[0004]** Le document FR2510181 décrit un groupe électrogène comprenant un moteur Stirling composé d'un piston et d'un déplaceur. Une extrémité du piston est connectée à la chambre close du moteur au moyen d'un élément ressort. Les éléments électromagnétiques sont disposés sur le piston et à l'intérieur de la chambre. Ce document divulgue également un moteur Stirling composé de deux pistons en opposition et enfermés dans une première chambre, et un déplaceur enfermé dans une seconde chambre, les deux chambres communiquant au moyen d'un conduit qui permet l'écoulement du fluide de travail entre ces deux chambres. Le dispositif enseigné dans ce document ne permet pas un fonctionnement proche du cycle de Stirling. En outre, les éléments ressorts utilisés pour solidariser les pistons viennent fragiliser le dispositif, et les têtes des pistons doivent être munies d'amortisseurs afin d'éviter une collision entre elles. Par ailleurs, la régulation de régime est particulièrement complexe puisqu'elle se fait par des moyens mécaniques accessibles de l'extérieur du groupe et par un système électronique.

**[0005]** La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients précités en proposant un groupe électrogène dans lequel l'élément moteur est composé d'un moteur thermique de type Stirling et l'élément générateur d'un ensemble électromagnétique dont la partie en mouvement est constituée par le piston et le déplaceur du moteur Stirling.

**[0006]** Un but de la présente invention est la réalisation d'un groupe électrogène autonome apte à être embarqué dans un véhicule électrique par exemple tout en garantissant une économie d'énergie par rapport aux systèmes électriques actuels, une robustesse et une propriété certaine.

**[0007]** Un autre but de l'invention est la réalisation d'un groupe électrogène apte à produire une large gamme de puissances, de quelques watts à quelques milliers de kilowatts.

5 **[0008]** On connaît déjà par le document FR 1407682 une machine thermique de type Stirling qui est utilisée pour la génération d'énergie électrique et qui comprend au moins un piston en mouvement linéaire alternatif pour produire de l'énergie électrique par couplage électromagnétique avec des éléments magnétiques fixes. Cette machine comprend en outre au moins deux déplaceurs disposés dans une chambre commune au piston de sorte que l'ensemble déplaceurs-piston constitue deux moteurs de type Stirling fonctionnant en opposition.

10 **[0009]** Avec un tel dispositif, la partie thermique est constituée du piston et des déplaceurs travaillant en opposition. Le temps "moteur" de l'un correspond au temps "résistant" de l'autre. On obtient l'équivalent de deux moteurs Stirling en opposition. Il en résulte une capacité de production d'une large gamme de puissances allant de quelques watts à quelques milliers de kilowatts. En outre, le fait de regrouper dans une seule chambre le piston et les déplaceurs augmente la robustesse du dispositif.

15 **[0010]** Cette machine, comme celle décrite dans GB 2.290.351, est à piston à aimants permanents.

20 **[0011]** L'invention propose quant à elle un groupe électrogène pour convertir de l'énergie thermique en énergie électrique à base d'un moteur thermique fonctionnant selon un cycle de Stirling, comprenant au moins un piston en mouvement linéaire alternatif pour produire de l'énergie électrique par couplage électromagnétique avec des éléments magnétiques fixes, comprenant en outre au moins deux déplaceurs disposés dans une chambre commune au dit piston de sorte que l'ensemble déplaceurs-piston constitue deux moteurs de type Stirling fonctionnant en opposition, caractérisé en ce que l'ensemble composé du piston et des éléments magnétiques fixes constitue un générateur asynchrone, et en ce que le piston est en un matériau amagnétique conducteur, l'excitation du générateur créant dans celui-ci des courants induits assurant la sustentation magnétique. Une telle structure a l'avantage de permettre des frottements limités.

25 **[0012]** Avec une telle structure, le matériau du piston est avantageusement de l'aluminium ou un alliage.

30 **[0013]** De préférence, la chambre est une enceinte complètement close sans joint. Le fluide de travail, tel que l'hélium, renfermé dans cette chambre peut donc subir des pressions importantes, favorables au rendement global du groupe électrogène et à sa puissance massique. Avantageusement, l'enveloppe de cette chambre est perméable au champ magnétique, elle supporte des fortes pressions, par exemple 80 bars, ainsi que des températures maximum du moteur pouvant atteindre les 650°C. La conception de ce moteur est telle qu'elle permet un fonctionnement sans maintenance périodique, les seuls éléments mobiles, pistons et déplaceurs pouvant être graissés à vie.

**[0014]** Le document FR2510181 de l'art antérieur décrit un groupe électrogène dont les pistons ne travaillent pas en opposition. Les pistons de l'art antérieur ont le même temps "moteur" et sont rappelés par un dispositif à ressorts.

**[0015]** L'ensemble composé du piston et des éléments magnétiques fixes constitue un générateur asynchrone. Cependant, l'homme du métier comprendra aisément que tout type de générateur électrique synchrone ou asynchrone, à réluctance variable, à aimants permanents ou à commutation de flux, peut être utilisé. Selon l'invention, la partie électrique est complètement intégrée à la partie thermique. Les éléments magnétiques peuvent être disposés le long de la chambre de sorte que le mouvement linéaire alternatif des déplaceurs contribue également à la production de l'énergie électrique. Le piston et les déplaceurs sont les rotors du générateur électrique.

**[0016]** Les deux déplaceurs peuvent être liés de façon rigide. Mais, de préférence, ils sont indépendants l'un par rapport à l'autre, cela permet de faire fonctionner le moteur selon le cycle théorique de Stirling.

**[0017]** Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, les deux déplaceurs sont libres en mouvement vis-à-vis de la chambre, contrairement aux systèmes de l'art antérieur dans lesquels on utilise des ressorts de rappel.

**[0018]** Le groupe électrogène selon l'invention peut en outre comprendre des moyens électromagnétiques solidaires de la chambre pour piloter le mouvement des déplaceurs par couplage électromagnétique. Les déplaceurs étant ainsi pilotés comme des actionneurs, on peut engendrer un cycle thermique très proche du cycle Stirling théorique. Lorsque les deux déplaceurs sont liés, le pilotage peut se faire par moitié de course sur chacun des déplaceurs, dans le cas contraire, le pilotage se fait sur toute la course de chacun d'eux.

**[0019]** Les moyens électromagnétiques peuvent être disposés à l'intérieur ou à l'extérieur de la chambre.

**[0020]** Selon un mode de mise en oeuvre de l'invention, le groupe électrogène comprend en outre un second piston, les deux pistons ainsi obtenus étant reliés de façon rigide et disposés de part et d'autre des deux déplaceurs. Cette disposition permet de disposer d'un double générateur électrique disposé vers les extrémités du moteur, par exemple en forme de cylindre, dans des zones faciles à refroidir. Par ailleurs, des moyens de chauffage pour apporter de la chaleur au moteur Stirling sont disposés sur une zone centrale du cylindre. Selon une variante avantageuse de l'invention, toujours dans le cadre de deux pistons reliés par un moyen rigide, chaque piston peut comprendre une pluralité de cylindres creux concentriques reliés entre eux par une extrémité. Ces cylindres sont destinés à coulisser dans d'autres cylindres creux concentriques dotés d'éléments magnétiques fixes et disposés à l'intérieur de la chambre.

**[0021]** Selon un autre mode de mise en oeuvre de l'invention, le groupe électrogène peut comprendre un mo-

teur thermique Stirling, par exemple en forme de cylindre, tel que des moyens de chauffage pour apporter de la chaleur à ce moteur sont disposés sur les bases du cylindre, aux extrémités. Dans ce cas, des moyens de refroidissement peuvent être disposés à l'extérieur de la chambre ou alors consister en une circulation d'un fluide dans des tubes traversant cette chambre.

**[0022]** Selon une caractéristique de l'invention, la course des déplaceurs est sensiblement le double de la course du piston. Cependant d'autres rapports plus importants peuvent être envisagés.

**[0023]** Suivant un autre aspect de l'invention, il est proposé un procédé pour convertir de l'énergie thermique en énergie électrique au moyen d'un groupe électrogène. Pour ce faire, on pilote deux déplaceurs disposés dans une chambre formant moteur thermique Stirling et comprenant au moins un piston de sorte que l'ensemble déplaceurs-piston fonctionne comme deux moteurs Stirling en opposition. Avantageusement, on peut introduire un déphasage sensiblement égal à quarante cinq degrés dans le mouvement relatif entre les déplaceurs et le piston.

**[0024]** De préférence, les déplaceurs sont aptes à régénérer le fluide de travail contenu dans la chambre afin de permettre l'échange de chaleur. Le corps même des déplaceurs joue le rôle de régénérateur. Cependant, on peut convenablement envisager la réalisation de régénérateurs extérieurs sous forme de conduit de déviation.

**[0025]** D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée d'un mode de mise en oeuvre nullement limitatif, et des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe structurale d'un groupe électrogène selon l'invention réalisé selon une structure de type A dans laquelle l'apport de chaleur se fait aux extrémités du moteur et les déplaceurs sont de chaque côté du piston;
- la figure 2 est une vue en coupe structurale d'un groupe électrogène selon l'invention réalisé selon une structure de type B dans laquelle l'apport de chaleur se fait au centre d'un moteur à deux pistons;
- la figure 3 est une vue en coupe structurale d'un groupe électrogène selon l'invention réalisé selon une structure de type C dans laquelle le moteur comporte deux enveloppes concentriques, le piston étant en forme de I;
- la figure 4 est une vue en coupe structurale d'un groupe électrogène selon l'invention réalisé selon une structure de type D dans laquelle le moteur comporte deux cylindres concentriques;
- la figure 5 est une vue en coupe structurale d'un groupe électrogène selon l'invention réalisé selon une structure de type E avec apport de chaleur au centre du moteur;
- la figure 6 est une vue en coupe structurale d'un groupe électrogène selon la structure E;
- la figure 7 est une vue en coupe détaillée d'un piston

- pour une structure de type E; et
- la figure 8 est une vue en coupe radiale au niveau des pistons de la structure représentée sur la figure 7.

**[0026]** On va maintenant décrire différentes structures de groupes électrogènes selon l'invention.

**[0027]** La structure de type A illustrée sur la figure 1 comprend une chambre de travail 9 en forme cylindrique de section circulaire ou carrée. L'élément moteur du groupe électrogène est composé d'une part d'un piston 1 de forme cylindrique et troué en son centre, et d'une autre part de deux déplaceurs 2 et 3 en forme cylindrique reliés entre eux par un moyen rigide 11. Ce moyen est apte à coulisser dans le trou du piston 1. Ainsi, les déplaceurs 2 et 3 sont disposés de part et d'autre du piston 1. Le piston et les déplaceurs sont enfermés dans la chambre 9 de telle sorte le volume restant dans cette chambre est rempli par un fluide 8 tel que l'hélium. L'élément moteur est équivalent à deux moteurs Stirling en opposition dont les apports de chaleur 10 se font sur les extrémités. Ces apports de chaleur, par exemple provenant d'une chaudière à gaz, permettent d'atteindre une température de l'ordre de 650°C. Des moyens de refroidissement 7 tels que des radiateurs permettent de maintenir une température entre 80 et 100°C sur deux zones proches du centre du moteur. Les apports de chaleur et les radiateurs de refroidissement sont situés à l'extérieur de la chambre. L'intérieur de la chambre cylindrique ne renferme que le piston 1, les déplaceurs 2 et 3 et le fluide de travail 8.

**[0028]** La zone centrale extérieure de la chambre est munie d'un ensemble d'éléments magnétiques 6 tels que des enroulements formant la partie statorique du générateur électrique dont le rotor est constitué par le piston. Les enroulements 6 sont intégrés dans une culasse 12 fixées à la zone centrale de la chambre. Les enroulements sont connectés à des moyens électriques non représentés pour produire de l'énergie électrique.

**[0029]** Pour piloter les déplaceurs 2 et 3 comme des actionneurs et contrôler la fréquence de fonctionnement du moteur, on dispose des moyens électromagnétiques 5 tels que des enroulements sur les zones latérales de la chambre proche des extrémités. Ces enroulements 5 sont intégrés dans des blocs 4 en forme de couronne. Le pilotage des déplaceurs se fait par moitié de course sur chacun des déplaceurs. On maîtrise la totalité de la course des déplaceurs puisqu'ils sont liés de façon rigide.

**[0030]** Dans cette structure de type A, on peut envisager de supprimer la liaison 11, dans ce cas le moteur peut fonctionner selon le cycle théorique de Stirling. Et pour améliorer le pilotage des déplaceurs, on peut prolonger les moyens électromagnétiques 5 et 4 de façon à remplacer les radiateurs 7, le pilotage des déplaceurs se faisant alors sur toute la course de chacun d'eux. Dans ces conditions, le refroidissement est réalisé par circulation d'un liquide au sein de la culasse.

**[0031]** Sur la figure 2 est représentée une structure de

type B dans laquelle la chambre 23 comprend une couronne 24 creusée dans la zone centrale afin de disposer des moyens de chauffage 13. Le moteur comprend deux pistons 14 et 15 liés de façon rigide par une liaison 16.

5 Ces pistons sont disposés de part et d'autre de deux déplaceurs 20 et 21 également liés de façon rigide au moyen de la liaison 22. L'ensemble déplaceurs-liaison 20, 21 et 22 comprend un canal central dans lequel coulisser le moyen de liaison 16 des pistons. Dans cette structure, les éléments magnétiques 17a et 17b formant stator du générateur électrique sont constitués par deux couronnes disposées aux extrémités de la chambre en couplage avec les pistons 14 et 15. Les moyens électromagnétiques 18a et 18b de pilotage des déplaceurs sont constitués par deux couronnes disposées de part et d'autre des moyens de chauffage 13. Les radiateurs 19a et 19b constituent également deux couronnes disposées entre les éléments magnétiques 17a et 17b et les moyens électromagnétiques de pilotage 18a et 18b.

20 **[0032]** Cette structure permet de disposer de deux générateurs électriques (14, 17a; 15, 17b) proche des zones faciles à refroidir. Cette structure peut également se décliner en plusieurs variantes dans lesquelles on supprime la liaison rigide 22, on agrandit les moyens électromagnétiques de pilotage 18a et 18b, sur la course complète des déplaceurs et on peut remplacer les radiateurs 19a et 19b par une circulation de liquide dans la culasse.

30 **[0033]** La structure de type C sur la figure 3 comprend une chambre 25 en forme de cylindre de section carrée. Cette chambre comprend deux cylindres de section carrée, ouverts et concentriques 26 et 27. Ces cylindres sont disposés à l'intérieur de la chambre 25 et fixés chacun à une base de cette chambre. Les parois latérales de ces deux cylindres comprennent des moyens électromagnétiques 36 et 37 de pilotage de deux déplaceurs 32 et 33 coulissant à l'intérieur des deux cylindres. Les moyens de chauffage 28 et 29 sont disposés à chaque extrémité de la chambre 25. Le refroidissement se fait par circulation d'un liquide dans des tubes 34 et 35 traversant la chambre 25. Le piston 30 est en forme d'un grand "H" couché dont le trait de liaison est disposé entre les cylindres 26 et 27. Avantagusement, la partie statorique du générateur électrique est constituée par des enroulements magnétiques 31 disposés tout le long de deux parois latérales de la chambre 25.

40 **[0034]** La figure 4 illustre une structure de type D comprenant deux cylindres concentriques 38 et 39. Le cylindre intérieur 39 comprend tous les composants électromagnétiques 45, 46 et 47 servant respectivement de stator pour le générateur électrique et de moyens de commande pour les déplaceurs 41 et 42. D'autres enroulements 51 servant de stator sont disposés à l'extérieur du cylindre externe 38 sur une zone centrale. Le piston 40 et les deux déplaceurs se déplacent dans le cylindre externe 38 servant de chambre de travail. Les deux déplaceurs 41 et 42 sont liés par plusieurs moyens de liaison rigides 43, 44 coulissant dans des canaux à l'intérieur du

piston 40. Des radiateurs 49 et 50 sont disposés à l'extérieur de la chambre de travail 38 de part et d'autre des enroulements 51. Des moyens de chauffage sont placés aux extrémités de la chambre de travail 38.

**[0035]** La structure de type E illustrée sur la figure 5 s'apparente à la structure de type D, mais avec des moyens de chauffage 52 prévus au centre du moteur. On dispose également de deux pistons 53 et 54 liés au moyen des éléments 55a, 55b, 55c et 55d et placés de part et d'autre de deux déplaceurs 56 et 57. Les moyens de liaison 55a, 55b, 55c et 55d coulissent à l'intérieur d'un moyen de liaison 58 des deux déplaceurs. Les enroulements statoriques 59, 60, 61 et 62 sont prévus proches des extrémités du moteur, ce qui facilite le refroidissement et augmente l'efficacité du générateur électrique. Comme pour la structure de type B, les pistons ont leur course amortie par un matelas d'air. Sur la figure 6 sont représentées deux coupes radiales de la structure de type E. La coupe A est réalisée suivant un plan traversant le piston 53. La coupe B est réalisée suivant un plan traversant le déplaceur 57. On distingue les quatre moyens rigides 55a, 55b, 55c et 55d coulissant à travers le déplaceur 57.

**[0036]** Sur la figure 7, on voit en détail, selon une vue en coupe simplifiée, une variante d'un piston de la structure de type E. La chambre est formée par deux cylindres concentriques 63 et 67. Le cylindre concentrique intérieur 67 est creux. Les extrémités de la chambre comprennent sur la face intérieure des saillies 65 régulièrement espacées en forme de cylindres creux concentriques. Ces saillies renferment des éléments magnétiques ou bobines 66 formant stator du générateur asynchrone. La partie rotor est formée par une pluralité de cylindres creux concentriques 64 qui viennent s'imbriquer dans l'espace libre entre les saillies 65. La vue en coupe représente donc deux râteaux imbriqués. Le rotor 64 est en matériau amagnétique conducteur tel que l'aluminium. L'excitation du générateur asynchrone permet de créer des courants induits dans le rotor. Ces courants créent des forces répulsives aboutissant à une sustentation magnétique du rotor 64 dans l'espace libre entre les saillies 65, ce qui réduit sensiblement les frottements lors du mouvement de va-et-vient des pistons. Les surfaces des saillies 65 peuvent comprendre des moyens de centrage et de guidage utile seulement lors du démarrage du générateur.

**[0037]** La figure 8 représente une coupe radiale d'un piston de la structure de type E de la figure 7. Cette coupe radiale fait apparaître les pistons concentriques 64.

**[0038]** Dans la chambre illustrée sur la figure 5, les éléments magnétiques 62 sont disposés sur les flans latéraux, la génération électromagnétique se fait donc dans un plan perpendiculaire au plan de la génération mécanique (ou thermique) qui est parallèle à l'axe de déplacement des pistons. Sachant que l'effort électromagnétique est environ dix fois inférieur à l'effort mécanique, le fait d'éclater le piston en une pluralité de cylindres concentriques, comme on le voit sur la figure 7, permet d'augmenter sensiblement la surface des échanges

électromagnétiques.

**[0039]** La présente invention concerne donc un ensemble équivalent à deux moteurs Stirling travaillant en opposition, agissant sur un même piston ou un piston dédoublé, dans une même chambre de travail. Le déplaceur est géré électromagnétiquement comme un actionneur.

**[0040]** Le groupe électrogène selon l'invention, destiné à la production d'électricité en mode autonome, peut être à poste fixe ou embarqué, en particulier, il est conçu pour pouvoir alimenter en électricité, les véhicules électriques hybrides, mais aussi, pour résoudre tout problème de production d'électricité en mode autonome à poste fixe avec mise en oeuvre de systèmes de co-génération ou tri-génération. Ce dispositif permet également de résoudre le problème de stockage de l'énergie électrique (batteries) et de concevoir des véhicules électriques offrant une réduction de consommation et une réduction des émissions polluantes par rapport aux véhicules à moteurs thermiques conventionnels.

## Revendications

1. Groupe électrogène pour convertir de l'énergie thermique en énergie électrique à base d'un moteur thermique fonctionnant selon un cycle de Stirling, comprenant au moins un piston (1) en mouvement linéaire alternatif pour produire de l'énergie électrique par couplage électromagnétique avec des éléments magnétiques fixes (6), comprenant en outre au moins deux déplaceurs (2, 3) disposés dans une chambre commune (9) au dit piston de sorte que l'ensemble déplaceurs-piston constitue deux moteurs de type Stirling fonctionnant en opposition, **caractérisé en ce que** l'ensemble composé du piston et des éléments magnétiques fixes constitue un générateur asynchrone, et **en ce que** le piston est en un matériau amagnétique conducteur, l'excitation du générateur créant dans celui-ci des courants induits assurant la sustentation magnétique.
2. Groupe électrogène selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le matériau amagnétique conducteur est l'aluminium ou un alliage.
3. Groupe électrogène selon l'une des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce que** les deux déplaceurs sont liés (11) de façon rigide.
4. Groupe électrogène selon l'une des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce que** les deux déplaceurs (32, 33) sont indépendants l'un par rapport à l'autre.
5. Groupe électrogène selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les deux déplaceurs sont libres en mouvement vis-à-vis de la chambre.

6. Groupe électrogène selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre des moyens électromagnétiques (5) solidaires de la chambre pour piloter le mouvement des déplaceurs par couplage électromagnétique. 5
7. Groupe électrogène selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** les moyens électromagnétiques (36) sont disposés à l'intérieur de la chambre. 10
8. Groupe électrogène selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** les moyens électromagnétiques (5) sont disposés à l'extérieur de la chambre. 15
9. Groupe électrogène selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la chambre (9) est une enceinte complètement close. 20
10. Groupe électrogène selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre un second piston, les deux pistons (14, 15) étant reliés (16) de façon rigide et disposés de part et d'autre des deux déplaceurs (20, 21). 25
11. Groupe électrogène selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** chaque piston (53, 54) comprend une pluralité de cylindres creux concentriques (64) reliés entre eux par une extrémité, ces cylindres étant destinés à coulisser dans d'autres cylindres creux concentriques (65) dotés d'éléments magnétiques fixes (66) et disposés à l'intérieur de la chambre (63). 30
12. Groupe électrogène selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** chaque piston (53, 54) comprend un matériau amagnétique conducteur permettant à ce piston d'être en sustentation lors d'un déplacement. 35
13. Groupe électrogène selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, comprenant un moteur thermique Stirling en forme de cylindre, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre des moyens de chauffage (13) pour apporter de la chaleur sur une zone centrale du cylindre. 40
14. Groupe électrogène selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, comprenant un moteur thermique Stirling en forme de cylindre, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre des moyens de chauffage (10) pour apporter de la chaleur sur les bases du cylindre. 45
15. Groupe électrogène selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre des moyens de refroidissement (7) disposés à l'extérieur de la chambre. 50
16. Groupe électrogène selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre des moyens de refroidissement (34, 35) par circulation d'un fluide dans des tubes traversant ladite chambre. 55
17. Groupe électrogène selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la course des déplaceurs est sensiblement le double de la course du piston.
18. Groupe électrogène selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre des éléments magnétiques disposés le long de la chambre de sorte que le mouvement linéaire alternatif des déplaceurs contribue à la production de l'énergie électrique.
19. Procédé pour convertir de l'énergie thermique en énergie électrique au moyen d'un groupe électrogène selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'on** pilote deux déplaceurs (2, 3) disposés dans une chambre (9) formant moteur thermique Stirling et comprenant au moins un piston (1) de sorte que l'ensemble déplaceurs-piston fonctionne comme deux moteurs Stirling en opposition dans lequel on introduit un déphasage sensiblement égale à quarante cinq degrés dans le mouvement relatif entre les déplaceurs et le piston.
20. Procédé selon la revendication 19, **caractérisé en ce que** les déplaceurs (2, 3) sont aptes à régénérer le fluide de travail contenu dans la chambre (9).
21. Procédé selon l'une des revendications 19 et 20, **caractérisé en ce qu'on** apporte de la chaleur aux extrémités du moteur Stirling, et **en ce qu'on** dispose des moyens de refroidissement sur une zone centrale de ce moteur.
22. Procédé selon l'une des revendications 19 et 20, **caractérisé en ce qu'on** apporte de la chaleur sur une zone centrale du moteur Stirling, et **en ce qu'on** dispose des moyens de refroidissement sur les extrémités de ce moteur.

#### Claims

1. Generator set for converting thermal energy into electrical energy based on a heat engine operating according to a Stirling cycle, comprising at least one piston (1) undergoing reciprocating linear motion in order to produce electrical energy by electromagnetic coupling with stationary magnetic elements (6), which furthermore includes at least two displacers (2, 3) placed in a chamber (9) that is common to said

- piston in such a way that the displacers/piston assembly constitutes two engines of the Stirling type operating in opposition, **characterized in that** the assembly consisting of the piston and the stationary magnetic elements constitutes an asynchronous generator and **in that** the piston is made of a non-magnetic conducting material, the excitation of the generator creating induced currents in the latter which provide the magnetic levitation.
2. Generator set according to Claim 1, **characterized in that** the non-magnetic conducting material is aluminium or an alloy.
  3. Generator set according to either of Claims 1 and 2, **characterized in that** the two displacers are linked together (11) in a rigid manner.
  4. Generator set according to either of Claims 1 and 2, **characterized in that** the two displacers (32, 33) are independent of each other.
  5. Generator set according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the two displacers are free to move relative to the chamber.
  6. Generator set according to any one of the preceding claims, **characterized in that** it furthermore includes electromagnetic means (5) fastened to the chamber for controlling the movement of the displacers by electromagnetic coupling.
  7. Generator set according to Claim 6, **characterized in that** the electromagnetic means (36) are placed inside the chamber.
  8. Generator set according to Claim 6, **characterized in that** the electromagnetic means (5) are placed outside the chamber.
  9. Generator set according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the chamber (9) is a completely closed enclosure.
  10. Generator set according to any one of the preceding claims, **characterized in that** it furthermore includes a second piston, the two pistons (14, 15) being rigidly linked (16) and placed on either side of the two displacers (20, 21).
  11. Generator set according to Claim 10, **characterized in that** each piston (53...54) comprises a plurality of concentric hollow cylinders (64) connected together at one end, these cylinders being intended to slide in other concentric hollow cylinders (65) that are provided with stationary magnetic elements (66) and are placed inside the chamber (63).
  12. Generator set according to Claim 11, **characterized in that** each piston (53, 54) comprises a non-magnetic conducting material allowing this piston to be levitated during a displacement.
  13. Generator set according to any one of Claims 10 to 12, comprising a Stirling heat engine in the form of a cylinder, **characterized in that** it furthermore includes heating means (13) for supplying heat to a central region of the cylinder.
  14. Generator set according to any one of Claims 1 to 8, comprising a Stirling heat engine in the form of a cylinder, **characterized in that** it furthermore includes heating means (10) for supplying heat to the bases of the cylinder.
  15. Generator set according to any one of the preceding claims, **characterized in that** it furthermore includes cooling means (7) placed outside the chamber.
  16. Generator set according to any one of the preceding claims, **characterized in that** it furthermore includes cooling means (34, 35) for cooling by the circulation of a fluid in tubes passing through said chamber.
  17. Generator set according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the stroke of the displacers is substantially twice the stroke of the piston.
  18. Generator set according to any one of the preceding claims, **characterized in that** it furthermore includes magnetic elements placed along the chamber in such a way that the reciprocating linear motion of the displacers contributes to the generation of electric power.
  19. Method for converting heat energy into electrical energy by means of a generator set according to any one of the preceding claims, **characterized in that** two displacers (2, 3) placed in a chamber (9) forming a Stirling heat engine and comprising at least one piston (1) are controlled in such a way that the displacers/piston assembly operates as two Stirling engines in opposition, in which a phase shift substantially equal to 45° in the relative movement between the displacers and the piston is introduced.
  20. Method according to Claim 19, **characterized in that** the displacers (2, 3) are capable of regenerating the working fluid contained in the chamber (9).
  21. Method according to either of Claims 19 and 20, **characterized in that** heat is supplied to the ends of the Stirling engine and **in that** cooling means are placed in a central region of this engine.
  22. Method according to either of Claims 19 and 20,

**characterized in that** heat is supplied to a central region of the Stirling engine and **in that** cooling means are placed on the ends of this engine.

### Patentansprüche

1. Stromerzeugungsgruppe zur Umwandlung thermischer Energie in elektrische Energie auf der Basis eines mit einem Stirlingprozess arbeitenden Verbrennungsmotors, die wenigstens einen Kolben (1) mit linearer Hin- und Herbewegung umfasst, um über eine elektromagnetische Kopplung mit feststehenden magnetischen Elementen (6) elektrische Energie zu erzeugen, die außerdem wenigstens zwei Verschiebungskolben (2, 3) umfasst, die in einer gemeinsamen Kammer (9) mit dem Kolben derart angeordnet sind, dass die Verschiebungskolben-Kolben-Einheit zwei Motoren vom Stirlingtyp bildet, die in Opposition zueinander arbeiten, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aus dem Kolben und feststehenden magnetischen Elementen zusammengesetzte Einheit einen Asynchrongenerator bildet und **dadurch**, dass der Kolben aus einem leitenden unmagnetischen Material besteht, wobei die Erregung des Generators in diesem induzierte Ströme erzeugt, die das magnetische Schweben sicherstellen.
2. Stromerzeugungsgruppe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das leitende unmagnetische Material Aluminium oder eine Legierung ist.
3. Stromerzeugungsgruppe nach einem der Ansprüche 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zwei Verschiebungskolben starr miteinander verbunden (11) sind.
4. Stromerzeugungsgruppe nach einem der Ansprüche 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zwei Verschiebungskolben (32, 33) voneinander unabhängig sind.
5. Stromerzeugungsgruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zwei Verschiebungskolben gegenüber der Kammer frei beweglich sind.
6. Stromerzeugungsgruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie außerdem elektromagnetische Mittel (5) umfasst, die fest mit der Kammer verbunden sind, um die Bewegung der Verschiebungskolben durch elektromagnetische Kopplung zu steuern.
7. Stromerzeugungsgruppe nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die elektromagnetischen Mittel (36) innerhalb der Kammer angeordnet sind.
8. Stromerzeugungsgruppe nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die elektromagnetischen Mittel (5) außerhalb der Kammer angeordnet sind.
9. Stromerzeugungsgruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kammer (9) eine vollständig geschlossene Hülle ist.
10. Stromerzeugungsgruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie außerdem einen zweiten Kolben umfasst, wobei die zwei Kolben (14, 15) starr miteinander verbunden (16) sind und sich zu beiden Seiten der zwei Verschiebungskolben (20, 21) befinden.
11. Stromerzeugungsgruppe nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Kolben (53, 54) mehrere konzentrische hohle Zylinder (64) umfasst, die miteinander über ein Ende verbunden sind, wobei diese Zylinder dafür vorgesehen sind, in weiteren konzentrischen hohlen Zylindern (65) zu gleiten, die mit feststehenden magnetischen Elementen (66) versehen und im Inneren der Kammer (63) angeordnet sind.
12. Stromerzeugungsgruppe nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Kolben (53, 54) ein leitendes unmagnetisches Material umfasst, das es diesem Kolben gestattet, bei einer Bewegung im Schwebезustand zu sein.
13. Stromerzeugungsgruppe nach einem der Ansprüche 10 bis 12, die einen Stirling-Verbrennungsmotor mit zylindrischer Form umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie außerdem Heizungsmittel (13) umfasst, um einer zentralen Zone des Zylinders Wärme zuzuführen.
14. Stromerzeugungsgruppe nach einem der Ansprüche 1 bis 8, die einen Stirling-Verbrennungsmotor mit zylindrischer Form umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie außerdem Heizungsmittel (10) umfasst, um den Basisabschnitten des Zylinders Wärme zuzuführen.
15. Stromerzeugungsgruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie außerdem Kühlungsmittel (7) umfasst, die außerhalb der Kammer angeordnet sind.
16. Stromerzeugungsgruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie außerdem Kühlungsmittel (34, 35) umfasst, die durch die Zirkulation eines Fluids in Röhren, die

die Kammer durchziehen, arbeiten.

17. Stromerzeugungsgruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Weg der Verschiebungskolben im wesentlichen das Doppelte des Kolbenwegs beträgt. 5
18. Stromerzeugungsgruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie außerdem magnetische Elemente umfasst, die derart entlang der Kammer angeordnet sind, dass die lineare Hin- und Herbewegung der Verschiebungskolben zur Erzeugung elektrischer Energie beiträgt. 10  
15
19. Verfahren zur Umwandlung thermischer Energie in elektrische Energie mittels einer Stromerzeugungsgruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei Verschiebungskolben (2, 3) gesteuert werden, die in einer Kammer (9) angeordnet sind, die einen Stirling-Verbrennungsmotor bildet und wenigstens einen Kolben (1) umfasst, derart, dass die Verschiebungskolben-Kolben-Einheit wie zwei in Opposition arbeitende Stirling-Motoren arbeitet, in der eine Phasenverschiebung von im wesentlichen fünfundvierzig Grad in der relativen Bewegung zwischen den Verschiebungskolben und dem Kolben eingesetzt wird. 20  
25
20. Verfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verschiebungskolben (2, 3) dazu geeignet sind, das in der Kammer (9) enthaltene Arbeitsfluid zu regenerieren. 30
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 und 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** den Enden des Stirlingmotors Wärme zugeführt wird und **dadurch**, dass an einer zentralen Zone dieses Motors Kühlmittel angeordnet werden. 35  
40
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 und 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** einer zentralen Zone des Stirlingmotors Wärme zugeführt wird und **dadurch**, dass an den Enden dieses Motors Kühlmittel angeordnet werden. 45

50

55

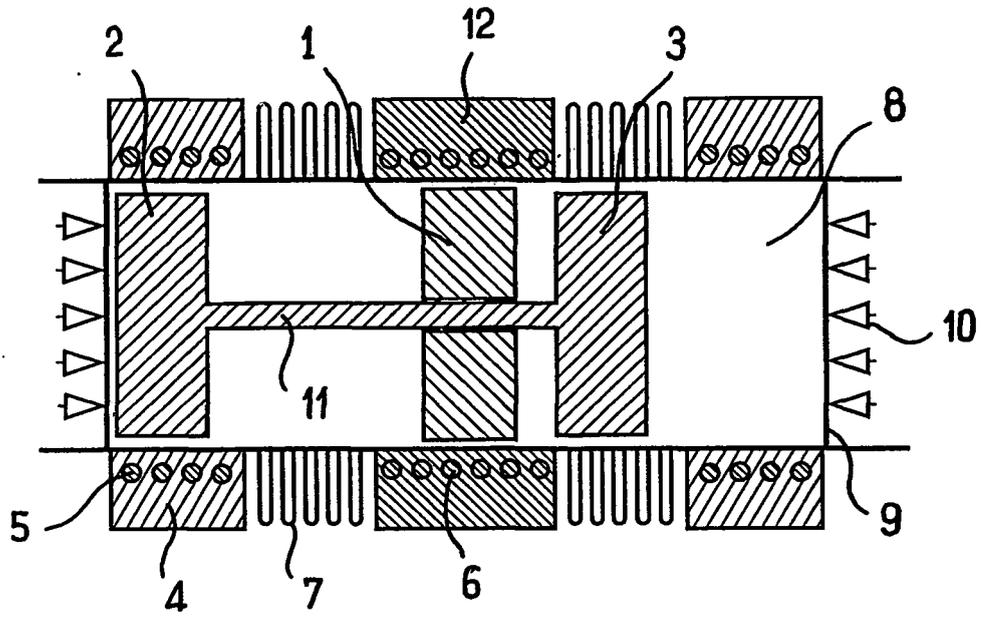


FIG. 1

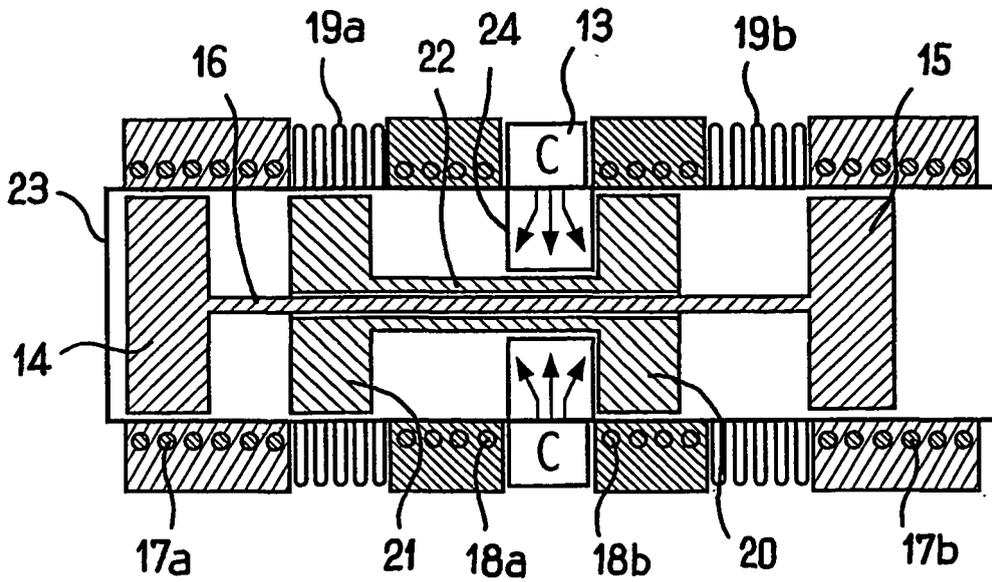


FIG. 2

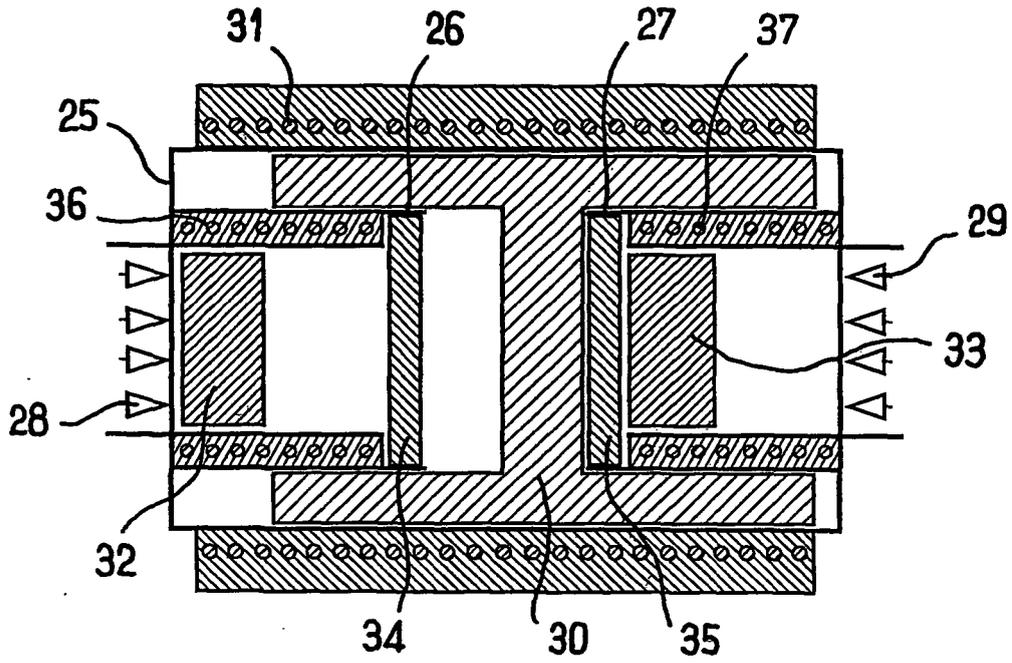


FIG.3

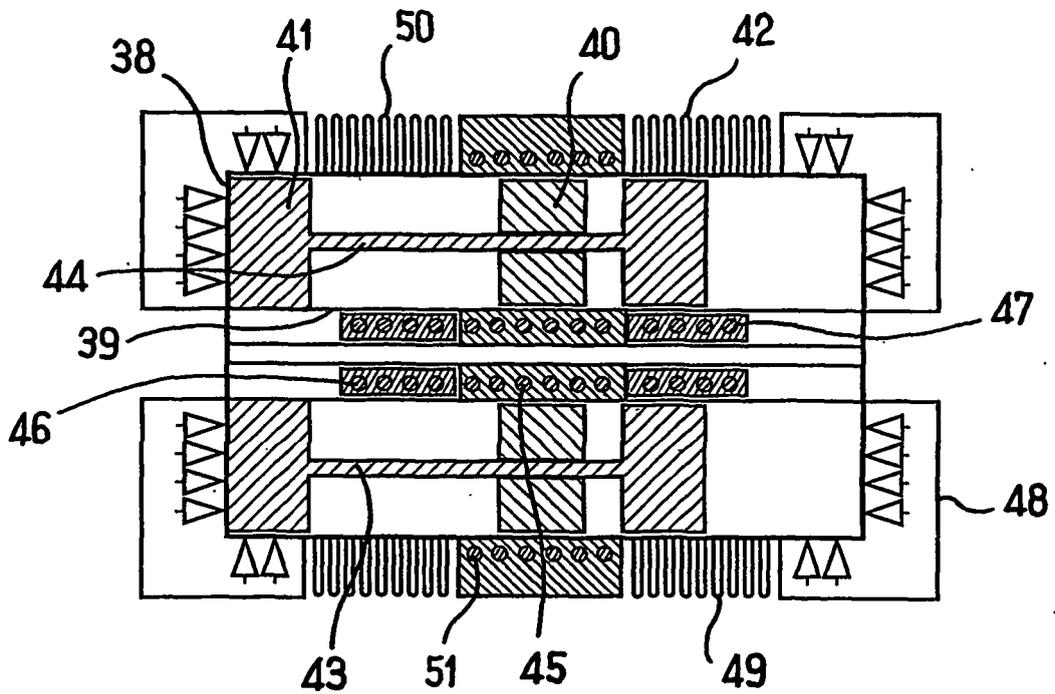


FIG.4

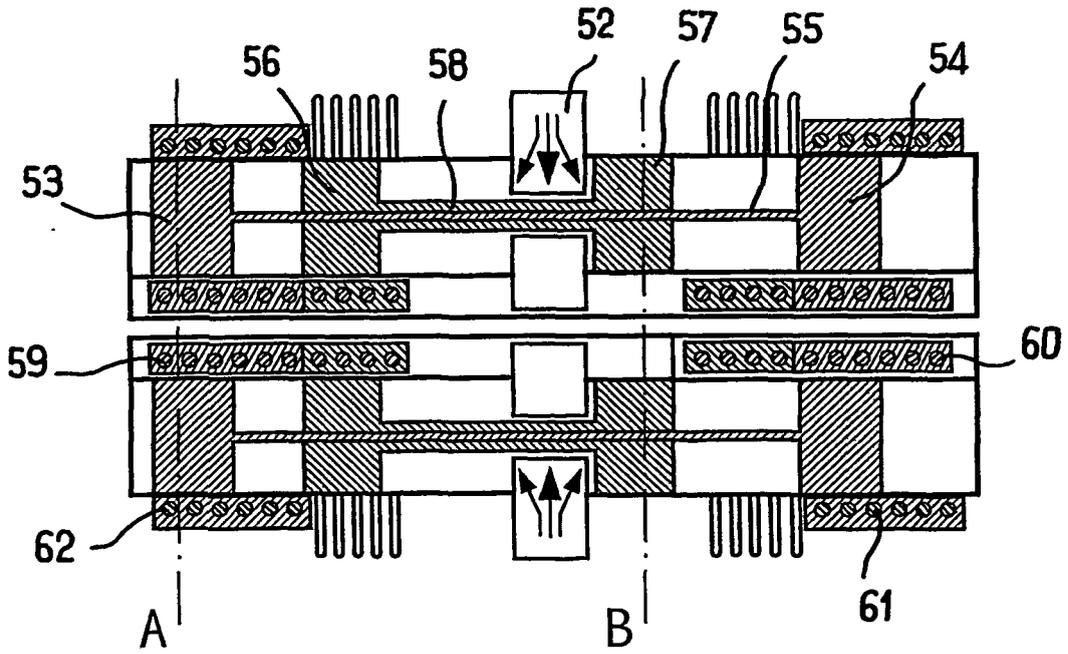
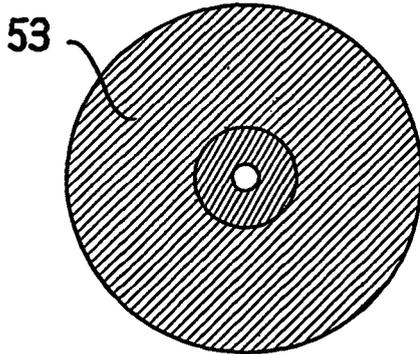


FIG.5

STRUCTURE Type E

Coupe A



Coupe B

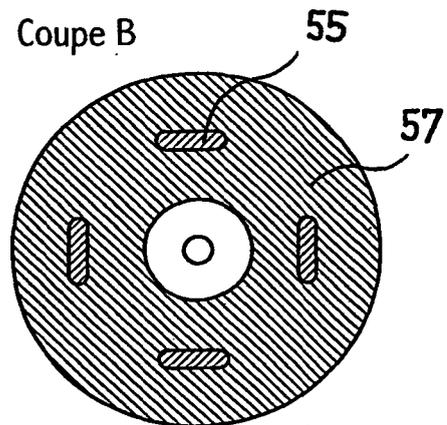


FIG.6

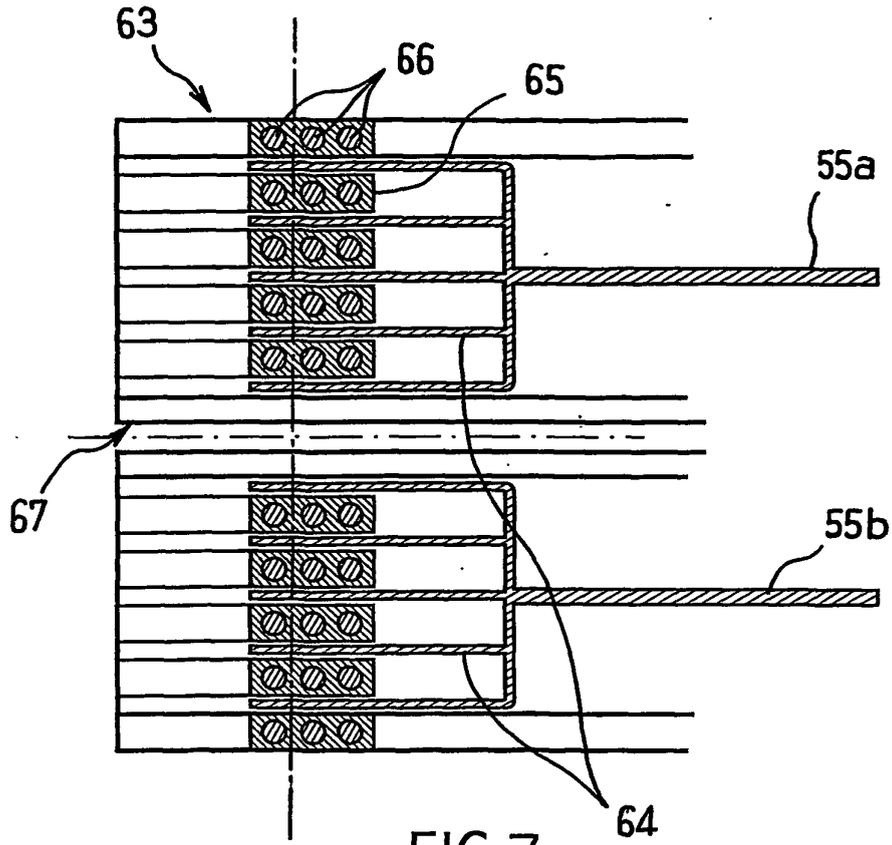


FIG. 7

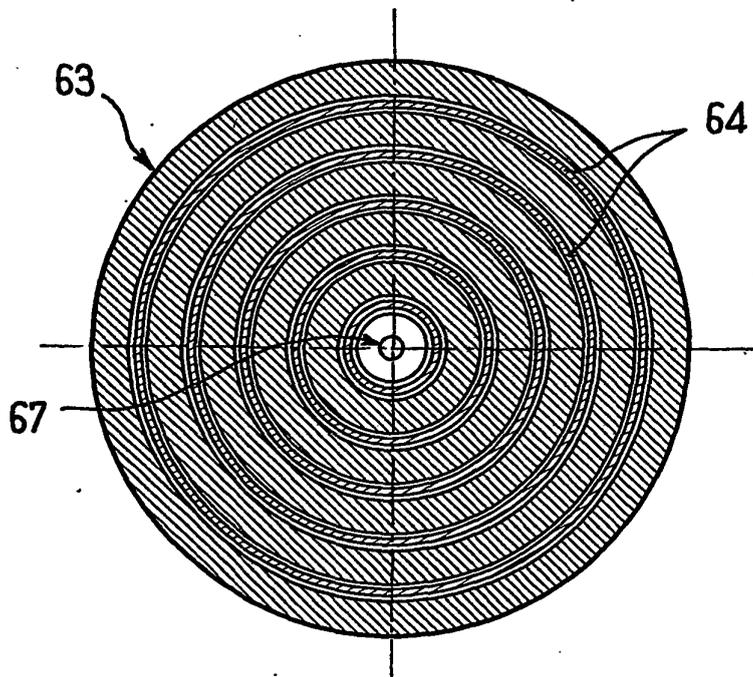


FIG. 8

**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 4649283 A [0003]
- FR 2510181 [0004] [0014]
- FR 1407682 [0008]
- GB 2290351 A [0010]