

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 614 059 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
16.12.1998 Bulletin 1998/51

(51) Int Cl.⁶: **F25B 9/14**

(21) Numéro de dépôt: **94400432.4**

(22) Date de dépôt: **01.03.1994**

(54) **Refroidisseur muni d'un doigt froid du type tube pulsé**

Kühler mit einem Schwingrohrkaltkopf

Cooler with a cold finger of pulse tube type

(84) Etats contractants désignés:
DE FR GB

(30) Priorité: **02.03.1993 FR 9302376**

(43) Date de publication de la demande:
07.09.1994 Bulletin 1994/36

(73) Titulaire: **CRYOTECHNOLOGIES**
F-75008 Paris (FR)

(72) Inventeur: **Feger, Damien**
F-92402 Courbevoie Cedex (FR)

(74) Mandataire: **Guérin, Michel et al**
Thomson-CSF Propriété Intellectuelle,
13, Avenue du Président Salvador Allende
94117 Arcueil Cédex (FR)

(56) Documents cités:

DE-A- 4 234 678	GB-A- 1 202 203
US-A- 2 824 430	US-A- 3 188 818
US-A- 3 877 239	US-A- 3 906 739
US-A- 4 412 423	US-A- 4 713 939
US-A- 5 113 662	

- **CRYOGENICS, vol.28, no.8, Août 1988 pages 516**
- 520 R. N. RICHARDSON 'DEVELOPMENT OF A
PRACTICAL PULSE TUBE REFRIGERATOR:
CO-AXIAL DESIGNS AND THE INFLUENCE OF
VISCOSITY'

EP 0 614 059 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

La présente invention est relative aux refroidisseurs basés sur le cycle de Stirling. Ces refroidisseurs permettent d'atteindre des températures cryogéniques.

Ils sont notamment utilisés pour refroidir des composants électroniques tels que des détecteurs infrarouges qui fonctionnent à ces températures.

Ces refroidisseurs comprennent un oscillateur électromécanique qui génère, dans une enceinte active contenant un fluide, une onde de pression. L'enceinte comporte une partie munie d'un régénérateur mobile ou déplacéur qui utilise les cycles de détente et de compression du fluide pour réaliser un cycle de Stirling.

Le fluide utilisé est généralement de l'hélium, sous une pression moyenne de plusieurs centaines de kilopascals. L'oscillateur peut être rotatif ou linéaire.

La partie froide a généralement, pour limiter les pertes thermiques par conduction et faciliter sa fabrication, la forme d'un cylindre très allongé ce qui lui vaut l'appellation de "doigt froid". L'extrémité libre du doigt froid fournit de la puissance frigorifique créée par la détente du fluide. La base du doigt froid reliée à l'oscillateur, évacue de la chaleur créée par la compression du fluide. Le doigt froid est généralement plongé dans un cryostat, tel qu'un vase de Dewar par exemple, qui contient le dispositif à refroidir. L'intérieur du cryostat est généralement soumis au vide pour limiter les entrées de chaleur.

On distingue deux familles de refroidisseurs: les refroidisseurs monoblocs et les refroidisseurs "séparés".

Dans un refroidisseur monobloc, l'oscillateur et le doigt froid constituent une seule pièce. Le mouvement du régénérateur est généralement assuré, dans le cas d'un oscillateur rotatif, par le piston de l'oscillateur. Cette configuration est très compacte, elle limite les pertes de charge entre l'oscillateur et le doigt froid. Mais les vibrations induites par l'oscillateur se transmettent au dispositif à refroidir.

Dans un refroidisseur "séparé", l'oscillateur et le doigt froid sont éloignés mais reliés par un conduit pneumatique qui assure le transfert de l'onde de pression entre l'oscillateur et le doigt froid. Le mouvement du régénérateur peut être assuré par un moteur spécifique ou par les effets pneumatiques générés par l'onde de pression. La première configuration est généralement utilisée dans des applications spatiales. Ces deux configurations permettent d'éloigner l'oscillateur et l'équipement à refroidir ce qui facilite l'intégration du refroidisseur dans l'environnement du dispositif à refroidir. De plus, ces deux configurations permettent de réduire considérablement les vibrations au niveau du dispositif à refroidir.

Les refroidisseurs à régénérateur mobile ont un coût relativement élevé à cause des tolérances d'usinage requises pour réaliser le régénérateur et le doigt froid qui sont en mouvement l'un par rapport à l'autre.

Des refroidisseurs à doigt froid du type tube pulsé

sont aussi connus. Le doigt froid au lieu de contenir un régénérateur mobile contient un régénérateur fixe et un tube pulsé.

Les avantages de ce genre de refroidisseurs sont nombreux. La durée de vie du doigt froid est quasi-illimitée car la suppression du mouvement réduit l'usure. Les vibrations induites dans le doigt froid sont beaucoup plus faibles que celles induites dans les doigts froids à régénérateur mobile. Les coûts sont aussi beaucoup plus faibles du fait d'un fonctionnement moins sensible aux tolérances géométriques de fabrication. Le régénérateur fixe permet de réduire les pertes de rendement liées à l'effet navette et aux fuites de fluide entre la paroi extérieure du doigt froid et le régénérateur. Ces refroidisseurs, dans la mesure où ils utilisent un tube pulsé à double orifice, ont un rendement sensiblement équivalent à celui d'un refroidisseur à doigt froid muni d'un régénérateur mobile. Un refroidisseur à tube pulsé à double orifice est décrit ultérieurement à la figure 1.

L'inconvénient majeur de ce type de refroidisseur est lié à la forme de U du doigt froid. L'une des branches du U est réalisée par le régénérateur et l'autre par le tube pulsé. La base du U qui est aussi l'extrémité libre du doigt froid est formée d'une pièce d'extrémité solidaire d'un côté du régénérateur et de l'autre du tube pulsé.

Ce doigt froid impose un cryostat spécifique et donc empêche son implantation dans un cryostat prévu pour un doigt froid à régénérateur mobile ou de type Joule-Thomson. La maintenance « sur le terrain » du doigt froid à tube pulsé n'est pas possible alors que l'intervention sur un doigt froid à régénérateur mobile est aisée. En effet, il faudrait casser le vide du cryostat pour démonter le tube pulsé ou le régénérateur.

Le brevet GB-A-1 202 203 et l'article CRYOGENICS 1988, Vol. 28 August montrent des refroidisseurs de type à tube pulsé dans lesquels le régénérateur est tubulaire et est monté coaxialement autour du tube pulsé.

La présente invention vise à remédier à ces inconvénients. Elle propose un refroidisseur basé sur le cycle de Stirling, muni d'un doigt froid de type à tube pulsé. Ce refroidisseur peut être implanté dans un cryostat classique et il possède de bonnes performances thermodynamiques.

Plus précisément, le refroidisseur selon l'invention comporte des moyens pour générer une onde de pression dans un fluide et la transmettre à un doigt froid de type à tube pulsé. Le doigt froid comporte un régénérateur relié pneumatiquement au tube pulsé, ce régénérateur est tubulaire et est monté coaxialement autour du tube pulsé. Le régénérateur est contenu dans un tube externe, la surface intérieure du régénérateur servant de tube pulsé.

On peut aussi envisager que lorsque le doigt froid est plongé dans un cryostat, le tube externe serve de paroi intérieure au cryostat. Cette configuration qui supprime la paroi intérieure du cryostat permet d'améliorer les performances du refroidissement en réduisant les

pertes par conduction.

Les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante, donnée à titre d'exemples et illustrée par les figures annexées qui représentent:

- la figure 1: un refroidisseur connu, muni d'un doigt froid de type tube pulsé ;
- la figure 2 : un refroidisseur à régénérateur tubulaire connu monté coaxialement autour du tube pulsé ;
- la figure 3 : des courbes des températures du tube pulsé et du fluide qu'il contient en fonction de la position le long du tube ;
- les figures 4, 5 et 7 : des variantes d'un refroidisseur à régénérateur tubulaire connu monté coaxialement autour du tube pulsé ;
- la figure 6 : un refroidisseur selon l'invention.

Sur ces figures les mêmes éléments portent les mêmes références. Dans un souci de clarté, les côtes ne sont pas respectées.

La figure 1 représente un refroidisseur basé sur le cycle de Stirling muni d'un doigt froid 1 de type tube pulsé 5, selon l'art connu. Le doigt froid 1 est relié à un oscillateur 2 de pression à travers une embase 3. L'embase 3 assure l'interface mécanique et l'étanchéité entre le doigt froid 1 et le cryostat dans lequel on plonge généralement le doigt froid 1. L'embase 3 forme la base du doigt froid 1. Le cryostat n'est pas représenté pour des raisons de clarté.

L'oscillateur 2 de pression génère une onde de pression dans un fluide et le fluide est successivement comprimé et détendu.

Le doigt froid 1 comporte un régénérateur 4 fixe contenu dans un tube 7 et un tube pulsé 5 qui forment les deux branches d'un U. Le régénérateur 4 a la forme d'un cylindre plein. La base du U est réalisée par une pièce d'extrémité 6 froide qui relie pneumatiquement le régénérateur 4 et le tube pulsé 5.

Le tube 7 contenant le régénérateur a une extrémité chaude fixée à l'embase 3 et une extrémité froide fixée à la pièce d'extrémité 6. La pièce d'extrémité 6 constitue l'extrémité libre du doigt froid 1. C'est le point le plus froid du refroidisseur. Elle sert aussi à transmettre au dispositif à refroidir, placé à proximité, les frigorifiques disponibles par la détente du fluide.

Le régénérateur 4 fixe fonctionne de la même façon qu'un régénérateur mobile. Il est réalisé dans un matériau poreux perméable au fluide. Le régénérateur 4 est relié pneumatiquement à l'oscillateur 2.

Le régénérateur a pour fonction de capter du froid au fluide lorsque ce dernier est aspiré par l'oscillateur 2 durant la phase de détente et d'évacuer de la chaleur vers ce fluide lorsqu'il est refoulé durant la phase de compression.

Le tube pulsé 5 est simplement constitué d'un tube sensiblement parallèle au tube 7 contenant le régénérateur 4. Il est solidaire à une extrémité froide de la pièce

d'extrémité 6 et à l'autre extrémité chaude de l'embase 3.

Un circuit pneumatique 8 sert à relier l'oscillateur 2 de pression au régénérateur 4 et au tube pulsé 5. Un réservoir tampon 9 est aussi prévu et relié au circuit pneumatique 8. Il a un volume suffisant pour que le fluide qu'il contient reste à une pression sensiblement constante quelle que soit la phase de l'oscillateur de pression 2. Lorsque l'oscillateur aspire le fluide, le fluide du réservoir tampon 9 alimente le tube pulsé 5 et lorsque l'oscillateur 2 refoule, le fluide refoulé remplit le réservoir tampon 9.

Le circuit pneumatique comporte un premier conduit 81 reliant le régénérateur 4 à l'oscillateur 2, un deuxième conduit 82 reliant l'extrémité chaude du tube pulsé 5 au réservoir tampon 9 et un troisième conduit 83 reliant l'extrémité chaude du tube pulsé à l'oscillateur de pression 2. Le tube pulsé est relié à la fois à l'oscillateur et au réservoir tampon.

Le fluide traverse un échangeur de chaleur 10 chaud entre l'extrémité chaude du tube pulsé 5 et l'oscillateur 2 et/ou le réservoir tampon 9. Cet échangeur chaud 10 peut être logé dans l'embase 3.

Sur la figure 1, le troisième conduit 83 est disposé entre le premier conduit 81 et le deuxième conduit 82 et il atteint le deuxième conduit 82 entre le réservoir tampon 9 et l'échangeur de chaleur chaud 10.

L'échangeur de chaleur chaud 10 assure le captage de la chaleur de compression du fluide sortant du tube pulsé et son évacuation, via l'embase 3, vers l'extérieur du refroidisseur.

Le mouvement du fluide dans le doigt froid est déphasé par rapport à l'onde de pression générée par l'oscillateur 2. Le déphasage et les débits aux extrémités chaudes du tube pulsé 5 et du tube 7 contenant le régénérateur 4 sont fonction de l'impédance pneumatique des conduits 81, 82 et 83 et du volume du réservoir tampon 9. Le réglage de l'impédance pneumatique des conduits peut se faire par un choix adéquat de leur section, de leur longueur. Les conduits peuvent aussi comporter de simples pincements ou des orifices 11 calibrés comme sur la figure 1 ou même des vannes.

Le comportement du fluide dans le tube pulsé est le suivant : considérons un volume A de fluide qui transite entre l'extrémité froide du tube pulsé 5 et la pièce d'extrémité 6. Du fait du déphasage du mouvement du fluide dans le doigt froid avec les phases de détente et de compression de l'oscillateur 2, ce fluide lorsqu'il se détend transite vers la pièce d'extrémité 6 en la refroidissant et lorsqu'il se comprime, pénètre dans le tube pulsé 5 où il s'échauffe de manière quasi-adiabatique.

Considérons maintenant un volume B de fluide qui transite entre l'extrémité chaude du tube pulsé 5 et l'échangeur chaud 10. Du fait du déphasage du mouvement du fluide dans le doigt froid avec les phases de détente et de compression de l'oscillateur 2, ce fluide lorsqu'il se comprime transite vers l'échangeur chaud en lui cédant sa chaleur et lorsqu'il se détend pénètre

dans le tube pulsé où il se refroidit de manière quasi-adiabatique.

Considérons un volume C de fluide qui reste en permanence dans le tube pulsé 5. Ce volume joue un rôle de volume tampon entre les deux volumes précédents. Il a le même effet navette que le déplaceur mobile des refroidisseurs classiques. Il subit des cycles de compression et de détente adiabatiques et réversibles. Il participe aux échanges thermiques essentiellement via la paroi du tube pulsé 5.

Le refroidisseur de la figure 2 est comparable à celui de la figure 1. La principale différence se situe au niveau du doigt froid 21 qui au lieu de comporter un régénérateur et un tube pulsé configurés en U comporte un régénérateur 24 tubulaire monté coaxialement autour du tube pulsé 25. Le doigt froid 21 est toujours relié à un oscillateur 2 à travers une embase 3. L'embase 3 joue le même rôle que sur la figure 1.

L'extrémité libre du doigt froid se termine toujours par une pièce d'extrémité 26. C'est toujours la partie la plus froide du refroidisseur.

Le régénérateur 24 joue le même rôle que dans l'art connu. Au lieu d'avoir la forme d'un cylindre plein il a maintenant la forme d'un tube. Le régénérateur 24 est contenu entre un tube externe 27 et un tube interne 28. Le tube externe 27 cylindrique a une extrémité chaude fixée de manière étanche à l'embase 3 et une extrémité froide fixée de manière étanche à la pièce d'extrémité 26. Il forme la surface extérieure du doigt froid 21. Ce tube externe 27 a de préférence une épaisseur aussi fine que possible pour limiter les entrées thermiques le long du doigt froid. Il est réalisé, de préférence, dans un matériau ayant une conductivité thermique aussi faible que possible, par exemple de l'acier inoxydable. Ce tube externe 27 ainsi que ses fixations à l'embase 3 et à la pièce d'extrémité 26 doivent assurer l'étanchéité de l'intérieur du doigt froid vis-à-vis du milieu extérieur. Le doigt froid est généralement plongé dans un cryostat soumis au vide. Ce cryostat est représenté avec la référence 30 sur la figure 4 sous la forme d'un vase de Dewar.

Le tube interne 28 sert à la fois de tube pulsé et de paroi intérieure au régénérateur 24 tubulaire. Il est disposé coaxialement dans le tube externe 27 et a une extrémité chaude fixée à l'embase 3. Son autre extrémité qui est froide débouche dans la pièce d'extrémité 26. Ce tube interne 28 n'est pas soumis comme le tube externe 27 à des différences de pression importantes. Il n'est pas nécessaire qu'il soit strictement étanche comme le tube externe. Il évite un passage direct du fluide du régénérateur 24 au tube pulsé 25 sans passer par la pièce d'extrémité 26. La conception de ce tube interne 28 vis-à-vis du choix du matériau le constituant, de son mode de fixation, et son épaisseur pourra être plus facilement optimisée. Selon l'invention on supprime physiquement le tube interne 28, la surface interne du régénérateur 24 étant étanche. Dans ce cas, c'est la surface intérieure du régénérateur qui sert de tube pulsé.

La pièce d'extrémité 26 ressemble aux pièces d'extrémité des doigts froids à régénérateur mobile. Le régénérateur et le tube pulsé communiquent pneumatiquement grâce à elle. Pour faciliter l'échange thermique entre le fluide et le dispositif à refroidir disposé à proximité de la pièce d'extrémité 26, l'épaisseur de la pièce d'extrémité 26 sera la plus faible possible. Elle sera réalisée dans un matériau ayant une conductivité thermique aussi élevée que possible : du cuivre par exemple. On peut envisager que la pièce d'extrémité contienne un échangeur froid 29 formé par exemple de grilles de cuivre brasées à leur périphérie. Cet échangeur froid 29 améliore l'échange thermique entre le fluide et la pièce d'extrémité 26.

Le matériau de la pièce d'extrémité 26 aura, de préférence, un coefficient de dilatation aussi faible que possible lorsque le doigt froid 21 sera employé pour refroidir un dispositif posé directement sur la pièce d'extrémité 26 (technique connue sous la dénomination anglo-saxonne d' Integrated Dewar Cooler Assembly).

La pièce d'extrémité 26 pourra, par exemple, être pourvue d'un dispositif tranquilliseur pour assurer un niveau de turbulences le plus faible possible dans le tube pulsé 25. Il est en effet souhaitable de maintenir un gradient thermique important entre les deux extrémités chaudes et froides du tube pulsé. Ce dispositif tranquilliseur peut être réalisé par une pièce en nid d'abeille ou par l'échangeur froid 29. Les autres éléments du refroidisseur à savoir l'oscillateur 2, le circuit pneumatique 8, le réservoir tampon 9 et l'échangeur chaud 10 sont comparables à ceux de la figure 1.

L'échangeur chaud 10 s'il est configuré avec des grilles ou un matériau en nid d'abeille a aussi un rôle de tranquilliseur.

Le réglage optimal du déphasage et de l'amplitude des débits de fluide dans le régénérateur 24 et le tube pulsé 25 dépendra du volume du réservoir tampon 9 et des caractéristiques des conduits 81, 82, 83 comme précédemment.

Le fait d'avoir placé le tube pulsé 25 à l'extérieur du régénérateur 24 permet de réaliser un refroidisseur dont le rendement est du même ordre que celui du refroidisseur de la figure 1. Lorsqu'on a analysé le comportement du fluide dans le tube pulsé, on a vu que le fluide qui reste en permanence dans le tube pulsé participe aux échanges thermiques essentiellement via la paroi du tube pulsé. L'exemple numérique qui suit, illustré par la figure 3, montre qu'on a intérêt à limiter au maximum cet échange thermique car il a une action néfaste sur le rendement du refroidisseur.

On suppose que le tube pulsé a une longueur de 70 mm et qu'en fonctionnement ses températures extrêmes sont de 80° K à l'extrémité froide et 300° K à l'extrémité chaude. On suppose que le gradient thermique est linéaire dans la paroi du tube pulsé, que la pression moyenne dans le tube pulsé est de 35.10⁵Pa et qu'elle varie de plus ou moins 10⁶Pa, à cause de l'onde de pression. On considère une tranche fine de fluide si-

tuée au milieu du tube pulsé. Lors des cycles de compression et de détente, son déplacement entre la position a1 et la position a2 aura une amplitude de plus ou moins 10 mm par rapport à sa position a0 au repos. Ces données physiques sont typiques d'un refroidisseur de détecteur infrarouge.

La tranche de fluide aura une température moyenne de 190°K mais au cours des cycles de détente et de compression, elle verra sa température osciller entre 166°K et 210°K (courbe C1). Cette tranche de fluide sera en vis-à-vis avec un tronçon de tube pulsé dont les températures seront comprises entre 158°K et 221°K (courbe C2) à cause du gradient thermique linéaire.

En phase de détente, le fluide sera en contact avec une portion de tube pulsé plus froide que lui et aura tendance à lui céder de la chaleur. De manière symétrique, en phase de compression, le fluide sera en contact avec une portion de tube pulsé plus chaude que lui et aura tendance à en extraire de la chaleur. Cet effet de pompage de chaleur de l'extrémité chaude du tube pulsé vers l'extrémité froide est néfaste pour le rendement du refroidisseur. Ces échanges thermiques avec les parois ne concernent qu'une partie du fluide : la couche limite thermique qui est suffisamment proche de la paroi pour avoir le temps d'échanger, principalement par conduction gazeuse, de la chaleur durant un cycle de compression-détente. Un tel refroidisseur permet de réduire les échanges entre le fluide et la paroi du tube pulsé en plaçant le tube pulsé à l'intérieur du régénérateur et non autour.

Si le doigt froid est formé de deux tubes (d'épaisseur nulle pour simplifier) coaxiaux de diamètres 5mm et 3,5mm, dans le cas d'une épaisseur de couche limite thermique de 0,2 mm, on peut estimer que seulement 20 % de fluide participe à l'échange thermique avec la paroi du tube pulsé, si le tube pulsé est placé à l'intérieur du régénérateur, alors que plus de 50 de fluide participe à l'échange thermique avec les parois externes et internes du tube pulsé, si le régénérateur est placé à l'intérieur du tube pulsé.

Les figures 4 et 5 représentent des variantes d'un refroidisseur avec régénérateur tubulaire monté coaxialement autour du tube pulsé. On se réfère à la figure 4.

Le doigt froid est plongé dans un cryostat tel qu'un vase de Dewar 30 comportant deux enceintes 31, 32 insérées l'une dans l'autre et séparées par du vide. L'enceinte interne 32 a la forme d'un puits. Le dispositif à refroidir référencé 33 est disposé entre l'enceinte externe 31 et l'enceinte interne 32. Il est fixé au fond du puits. Un coupleur thermique 34 est inséré entre l'extrémité libre du doigt froid 21 et le fond du puits pour optimiser le refroidissement du dispositif à refroidir 33.

L'oscillateur 2 de pression est rotatif. Le réservoir tampon est constitué par le carter 35 de l'oscillateur ce qui permet de gagner de la place.

Le deuxième conduit 82 et le troisième conduit 83 comportent chacun une vanne 36 au lieu d'un orifice calibré et, de plus, le deuxième conduit 82 est muni d'un

pincement 37 entre la vanne et l'échangeur chaud 10.

On se réfère maintenant à la figure 5. Le doigt froid et l'embase sont représentés par un seul bloc 50 pour simplifier. Maintenant l'oscillateur de pression 51 est un oscillateur linéaire résonnant. Le réservoir tampon 52 est pourvu d'un dispositif de chauffage 54. La température du fluide dans le réservoir tampon 52 est réglable de manière à pouvoir ajuster la pression moyenne dans le refroidisseur et à pouvoir ajuster la fréquence de résonance du refroidisseur. Ceci est particulièrement intéressant dans le cas où le refroidisseur est utilisé dans un satellite où l'on recherche une fréquence réglable pour éviter d'exciter la plateforme ou des instruments à proximité du refroidisseur. Dans cette configuration, l'échangeur chaud est constitué par un dispositif à ailettes 55 ou équivalent. Ce dispositif 55 est disposé sur le deuxième conduit 82 reliant le tube pulsé au réservoir tampon 52. Les autres conduits 81, 83 et le réservoir 52 pourraient aussi participer à l'évacuation de la chaleur de compression du fluide. A cet effet, on les équiperait de dispositifs, à ailettes par exemple, améliorant la dissipation de cette chaleur vers l'extérieur.

Le réservoir tampon 52 est pourvu d'un dispositif tranquilliseur 56 pour assurer un niveau de turbulences aussi bas que possible dans le tube pulsé. Ce dispositif tranquilliseur 56 peut être de même nature que celui décrit dans la pièce d'extrémité 26 de la figure 2.

On se réfère à la figure 6 qui montre un refroidisseur selon l'invention. Le doigt froid 60, plongé dans un cryostat 61, et l'oscillateur de pression 68 rotatif forment un refroidisseur monobloc. Le carter 69 du compresseur constitue le réservoir tampon. Le doigt froid 60 comporte un tube externe 62, un régénérateur tubulaire 63 et un tube pulsé 66. Dans cet exemple, le tube externe 62 sert de paroi intérieure au cryostat. La surface intérieure du régénérateur tubulaire sert de tube pulsé 66. La suppression de la paroi intérieure du cryostat peut bien sur être utilisée dans d'autres configurations.

Le dispositif à refroidir 65 est directement fixé sur la pièce d'extrémité 64 qui relie le tube pulsé et le régénérateur. Le refroidissement est amélioré par rapport à la configuration où le tube externe et la paroi intérieure du cryostat sont distincts. Sur cette figure, on a placé un dispositif de refroidissement 67 à circulation de fluide autour de l'échangeur chaud 10. Ce dispositif de refroidissement est de préférence utilisé lorsque le tube pulsé est soumis à des puissances importantes, par exemple supérieures à quelques watts. Au lieu d'utiliser un dispositif de refroidissement à circulation de fluide on aurait pu utiliser un dispositif de refroidissement à convection naturelle ou forcée avec de l'air par exemple. La configuration représentée est particulièrement compacte, elle limite au maximum les pertes de charge entre l'oscillateur 68 et le doigt froid 60.

On se réfère à la figure 7. Le refroidisseur comporte maintenant plusieurs oscillateurs de pression 70, 71, 72 montés en parallèle. Un commutateur 73 ayant plusieurs voies d'entrée et une voie de sortie permet de

relier le doigt froid à l'un des oscillateurs de pression 71. Avec un doigt froid sans pièce mobile, le seul élément présentant un risque de panne relativement élevé est l'oscillateur de pression qui lui a des pièces mobiles. La commutation d'un oscillateur de pression à un autre peut être commandée par l'utilisateur ou automatiquement lorsque le fonctionnement de l'oscillateur en service n'est plus normal. Cette commutation ne nécessite ni intervention, ni démontage sur le doigt froid et le cryostat, elle peut se réaliser de manière instantanée et à distance.

Le refroidisseur selon l'invention peut refroidir tout dispositif notamment des capteurs ou détecteurs, des composants électroniques, des échantillons, etc

Revendications

1. Refroidisseur basé sur le cycle de Stirling comportant des moyens pour générer une onde de pression dans un fluide et la transmettre à un doigt froid (60) du type tube pulsé (66) comprenant un régénérateur (63) tubulaire relié pneumatiquement au tube pulsé (66), monté coaxialement autour du tube pulsé, disposé à l'intérieur d'un tube externe (62) caractérisé, en ce que la surface intérieure du régénérateur (63) sert de tube pulsé. 20
2. Refroidisseur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le doigt froid est plongé dans un cryostat, le tube externe (62) formant la paroi intérieure du cryostat. 30
3. Refroidisseur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens pour générer l'onde de pression et la transmettre au doigt froid comprennent un oscillateur de pression (68), un réservoir tampon (69) et un circuit pneumatique (8) reliant l'oscillateur de pression (68) et le réservoir tampon (69) à la base du doigt froid (60). 35
4. Refroidisseur selon la revendication 3, caractérisé en ce que le circuit pneumatique (8) comporte un premier conduit (81) entre l'oscillateur (68) de pression et le régénérateur (63), un deuxième conduit (82) entre le réservoir tampon (69) et le tube pulsé (66) et un troisième conduit entre l'oscillateur de pression (68) et le tube pulsé (66). 45
5. Refroidisseur selon l'une des revendications 3 ou 4, caractérisé en ce que l'oscillateur de pression (68) a un carter qui sert de réservoir tampon. 50
6. Refroidisseur selon l'une des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que le fluide traverse un échangeur chaud (10) entre l'oscillateur de pression (68) et/ou le réservoir tampon (69) et le tube pulsé (66). 55

7. Refroidisseur selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le fluide traverse un échangeur froid entre le régénérateur (63) et le tube pulsé (66) au niveau de l'extrémité libre du doigt froid (60). 5
8. Refroidisseur selon l'une des revendications 3 à 7, dans lequel l'oscillateur (51) de pression est un oscillateur linéaire résonant, caractérisé en ce qu'un dispositif (54) permet de modifier la température du fluide dans le réservoir tampon (52) et donc sa pression de manière à ce que le refroidisseur ait une fréquence de résonance ajustable. 10
9. Refroidisseur selon l'une des revendication 3 à 8, dans lequel existe un déphasage de l'onde de pression entre l'oscillateur de pression (68) et le doigt froid (60), caractérisé en ce que le circuit pneumatique comporte des moyens pour régler ledit déphasage. 15
10. Refroidisseur selon la revendication 9, caractérisé en ce que les moyens pour régler le déphasage consistent à ajuster la longueur et/ou la section des conduits (81, 82, 83). 20
11. Refroidisseur selon l'une des revendications 9 ou 10, caractérisé en ce qu'au moins un des conduits (81, 82, 83) comporte au moins un élément tel qu'un pincement de sa paroi, un orifice calibré, une vanne de manière à ajuster le déphasage de l'onde de pression. 25
12. Refroidisseur selon l'une des revendications 3 à 11, caractérisé en ce qu'il comporte une pluralité d'oscillateurs (70, 71, 72) de pression montés en parallèle, un commutateur (73) permettant de relier le doigt froid à l'un des oscillateurs (71) de pression. 30

Patentansprüche

1. Kühler auf der Basis des Stirlingzyklus mit Mitteln zur Erzeugung einer Druckwelle in ein Fluid und zur Übertragung dieser Druckwelle auf einen kalten Finger (60) vom Typ eines gepulsten Rohrs (66) mit einem rohrförmigen Regenerator (63), der pneumatisch an das gepulste Rohr (66) gekoppelt, coaxial um das gepulste Rohr herum angeordnet ist und in einem äußeren Rohr (62) sitzt, dadurch gekennzeichnet, daß die innere Oberfläche des Regenerators (63) als gepulstes Rohr dient. 40
2. Kühler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der kalte Finger in einen Kryostat eingetaucht ist, wobei das äußere Rohr (62) die Innenwand des Kryostat bildet. 45
3. Kühler nach einem der Ansprüche 1 oder 2, da-

durch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Erzeugung der Druckwelle und zu Übertragung dieser Welle auf den kalten Finger einen Druckoszillator (68), einen Puffertank (69) und eine Pneumatikleitung (8) enthalten, die den Druckoszillator (68) und den Puffertank (69) mit der Basis des kalten Fingers (60) verbindet.

4. Kühler nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Pneumatikleitung (8) einen ersten Leitungsbereich (81) zwischen dem Druckoszillator (68) und dem Regenerator (63), einen zweiten Leitungsbereich (82) zwischen dem Puffertank (69) und dem gepulsten Rohr (66) und einen dritten Leitungsbereich zwischen dem Druckoszillator (68) und dem gepulsten Rohr (66) aufweist. 10
5. Kühler nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Druckoszillator (68) ein als Puffertank wirkendes Gehäuse besitzt. 15
6. Kühler nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid einen warmen Wärmetauscher (10) zwischen dem Druckoszillator (68) und/oder dem Puffertank (69) und dem gepulsten Rohr (66) durchströmt. 20
7. Kühler nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid einen kalten Wärmetauscher zwischen dem Regenerator (63) und dem gepulsten Rohr (66) in Höhe des freien Endes des kalten Fingers (60) durchströmt. 30
8. Kühler nach einem der Ansprüche 3 bis 7, in dem der Druckoszillator (51) ein linear schwingender Oszillator ist, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vorrichtung (54) die Temperatur des Fluids in dem Puffertank (52) und damit dessen Druck zu verändern vermag, sodaß die Resonanzfrequenz des Kühlers einstellbar ist. 35
9. Kühler nach einem der Ansprüche 1 bis 8, in der eine Phasenverschiebung der Druckwelle zwischen dem Druckoszillator (68) und dem kalten Finger (60) existiert, dadurch gekennzeichnet, daß die Pneumatikleitung Mittel zur Einstellung dieser Phasenverschiebung enthält. 40
10. Kühler nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Einstellung der Phasenverschiebung darin bestehen, die Länge und/oder den Querschnitt der Leitungsbereiche (81, 82, 83) zu justieren. 45
11. Kühler nach einem der Ansprüche 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens einer der Leitungsbereiche (81, 82, 83) mindestens ein Element wie eine Engstelle in seiner Wand, einen ge-

eichten Durchlaß oder ein Ventil besitzt, sodaß die Phasenverschiebung der Druckwelle eingestellt werden kann.

- 5 12. Kühler nach einem der Ansprüche 3 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß er mehrere parallel geschaltete Oszillatoren (70, 71, 72) enthält und daß ein Umschalter (73) den kalten Finger mit einem der Druckoszillatoren (71) zu verbinden vermag.

Claims

1. Cooler based on the Stirling cycle, which includes means for generating a pressure wave in a fluid and for transmitting it to a cold finger (60) of the pulsed-tube (66) type, comprising a tubular regenerator (63) pneumatically connected to the pulsed tube (66), mounted coaxially about the pulsed tube and placed inside an external tube (62), characterized in that the inner surface of the regenerator (63) serves as the pulsed tube.
2. Cooler according to Claim 1, characterized in that the cold finger is immersed in a cryostat, the external tube (62) forming the inner wall of the cryostat.
3. Cooler according to either of Claims 1 and 2, characterized in that the means for generating the pressure wave and for transmitting it to the cold finger comprise a pressure oscillator (68), a buffer reservoir (69) and a pneumatic circuit (8) which connects the pressure oscillator (68) and the buffer reservoir (69) to the base of the cold finger (60).
4. Cooler according to Claim 3, characterized in that the pneumatic circuit (8) includes a first duct (81) between the pressure oscillator (68) and the regenerator (63), a second duct (82) between the buffer reservoir (69) and the pulsed tube (66) and a third duct between the pressure oscillator (68) and the pulsed tube (66).
5. Cooler according to either of Claims 3 and 4, characterized in that the pressure oscillator (68) has a casing which serves as the buffer reservoir.
6. Cooler according to one of Claims 3 to 5, characterized in that a fluid passes through a heat exchanger (10) between the pressure oscillator (68) and/or the buffer reservoir (69) and the pulsed tube (66).
7. Cooler according to one of Claims 1 to 6, characterized in that the fluid passes through a cold exchanger between the regenerator (63) and the pulsed tube (66) at the free end of the cold finger (60).

8. Cooler according to one of Claims 3 to 7, in which the pressure oscillator (51) is a resonant linear oscillator, characterized in that a device (54) makes it possible to modify the temperature of the fluid in the buffer reservoir (52) and therefore its pressure so that the cooler has an adjustable resonant frequency. 5
9. Cooler according to one of Claims 3 to 8, in which the pressure wave undergoes a phase shift between the pressure oscillator (68) and the cold finger (60), characterized in that the pneumatic circuit includes means for regulating the said phase shift. 10
10. Cooler according to Claim 9, characterized in that the means for regulating the phase shift consist in adjusting the length and/or the cross-section of the ducts (81, 82, 83). 15
11. Cooler according to either of Claims 9 and 10, characterized in that at least one of the ducts (81, 82, 83) includes at least one element such as a means for pinching its wall, a gauged restriction or a valve so as to adjust the phase shift of the pressure wave. 20 25
12. Cooler according to one of Claims 3 to 11, characterized in that it includes a plurality of pressure oscillators (70, 71, 72) mounted in parallel, a switch (73) allowing the cold finger to be connected to one of the pressure oscillators (71). 30

35

40

45

50

55

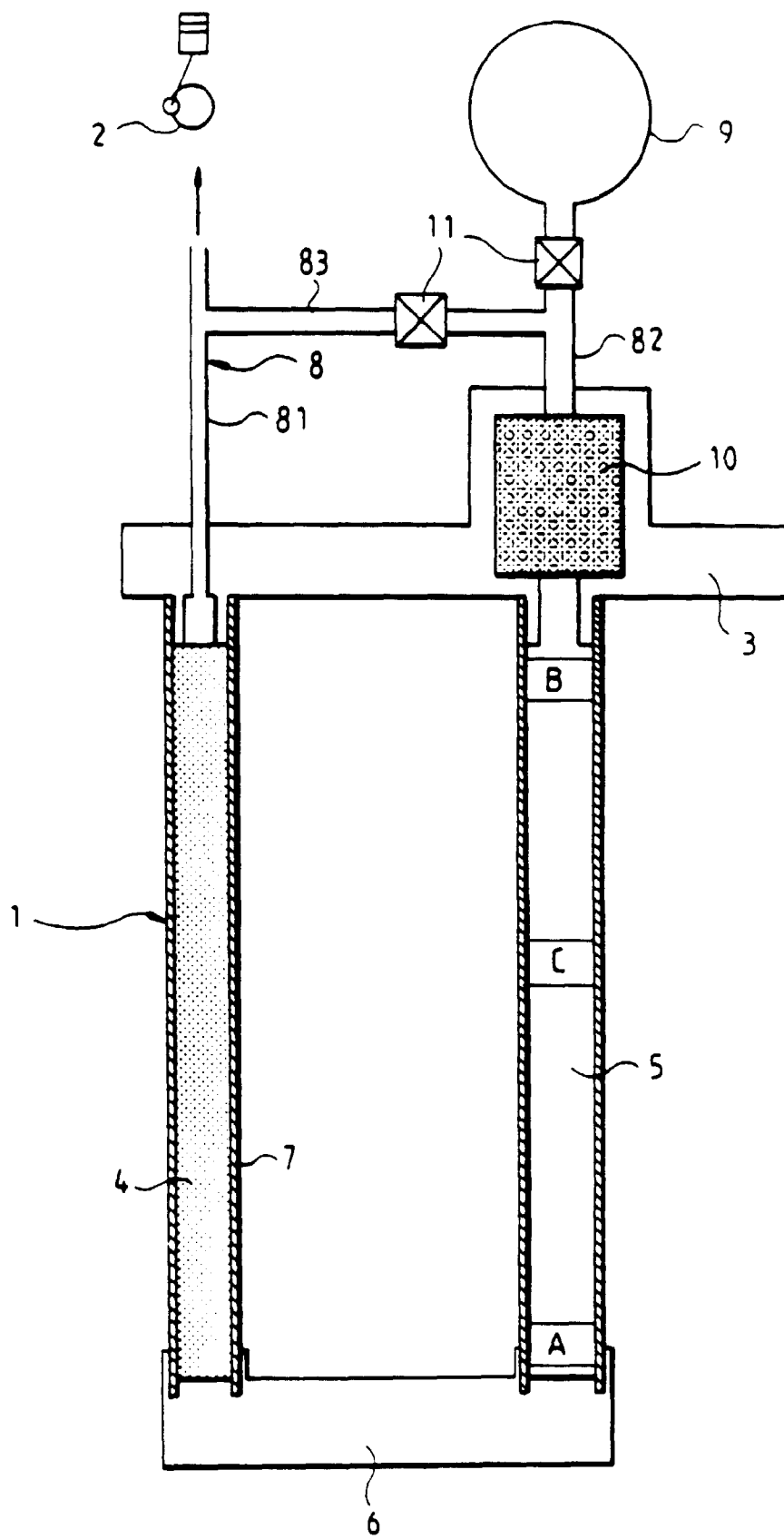


FIG.1

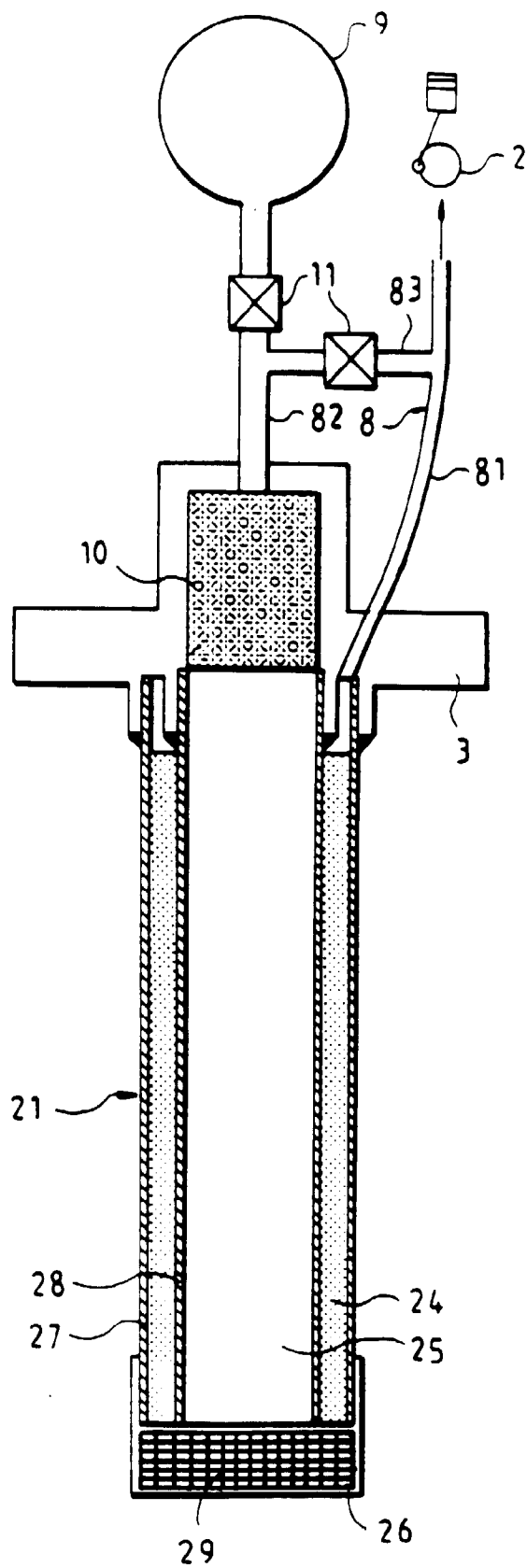


FIG.2

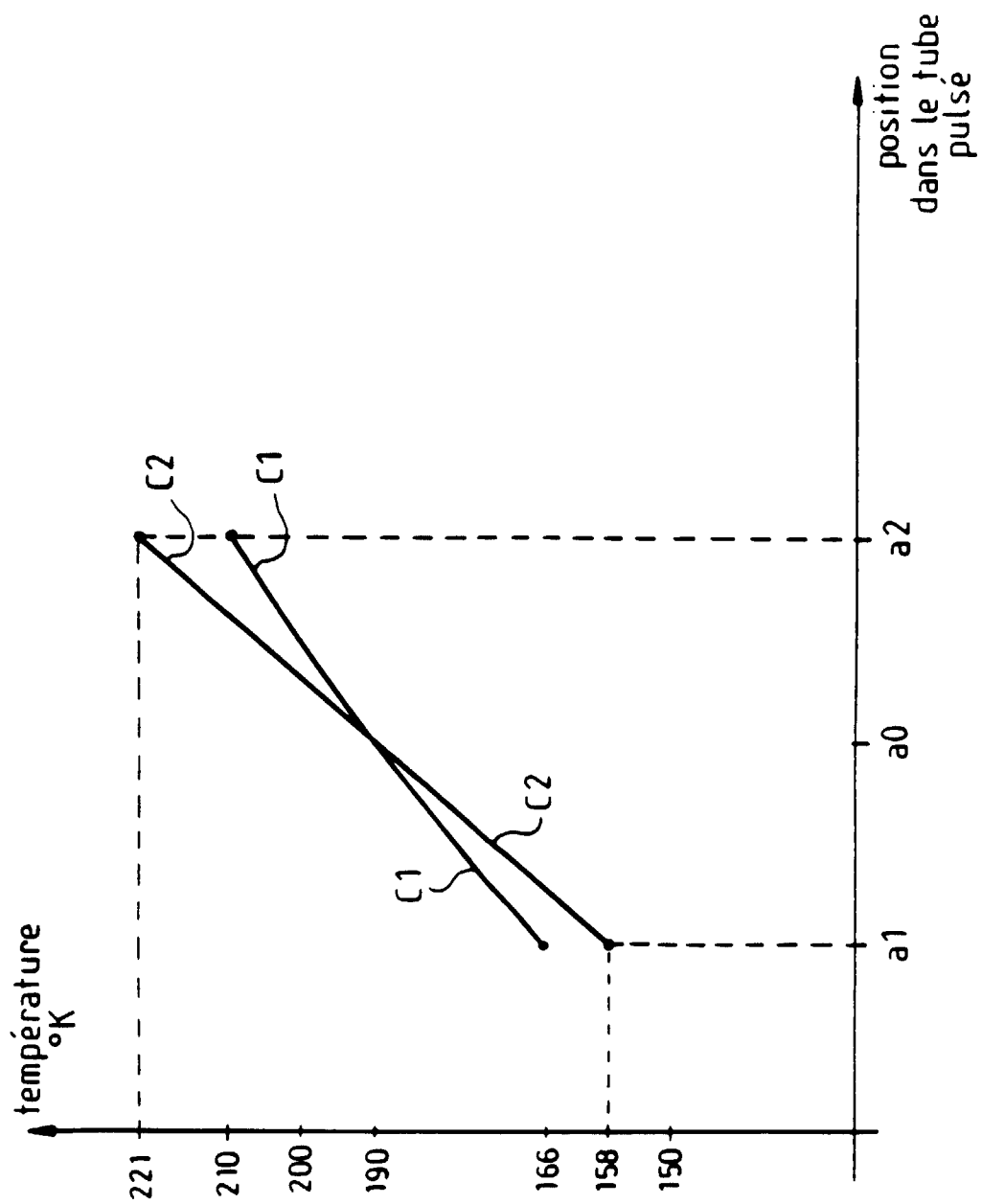
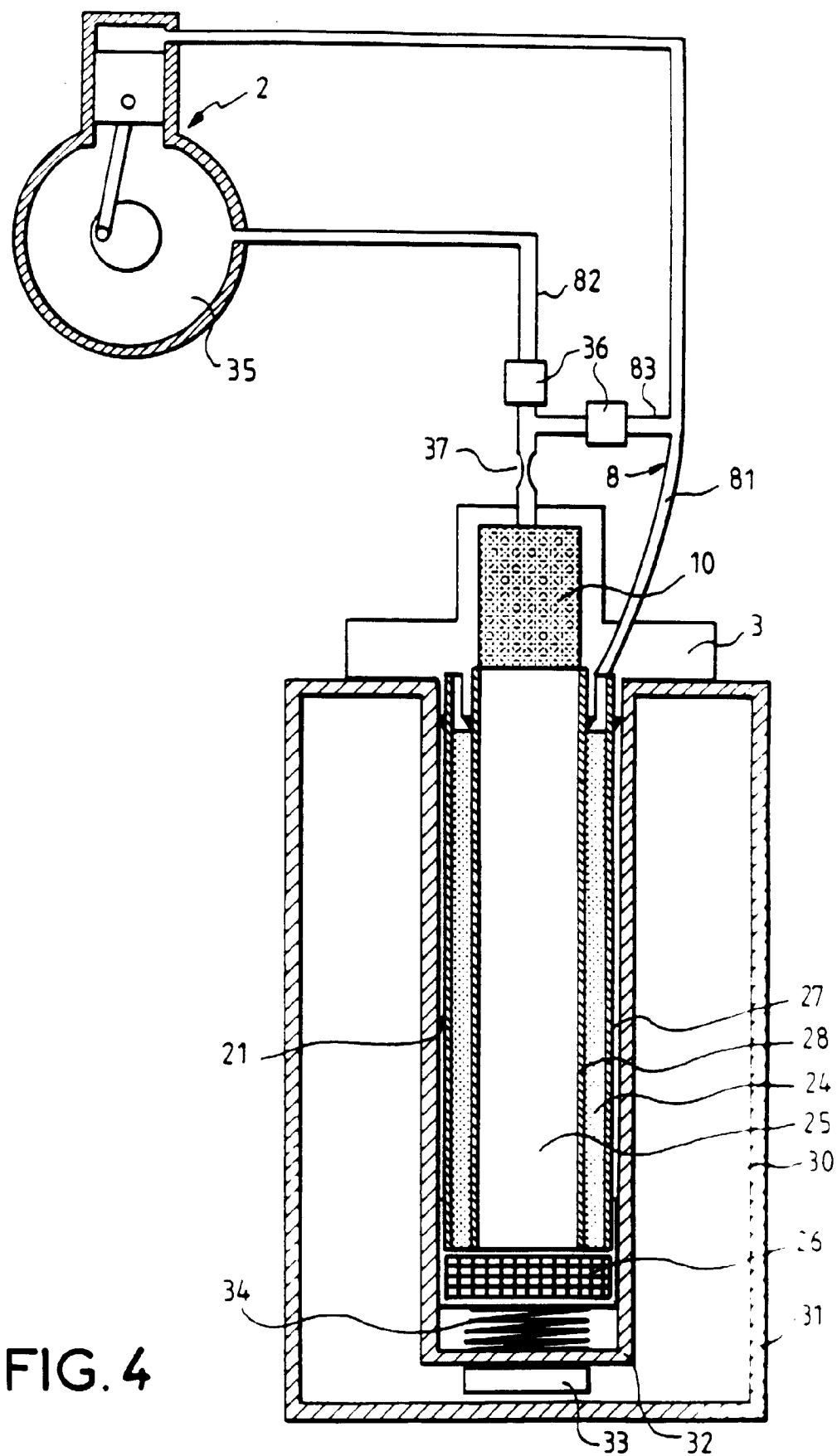
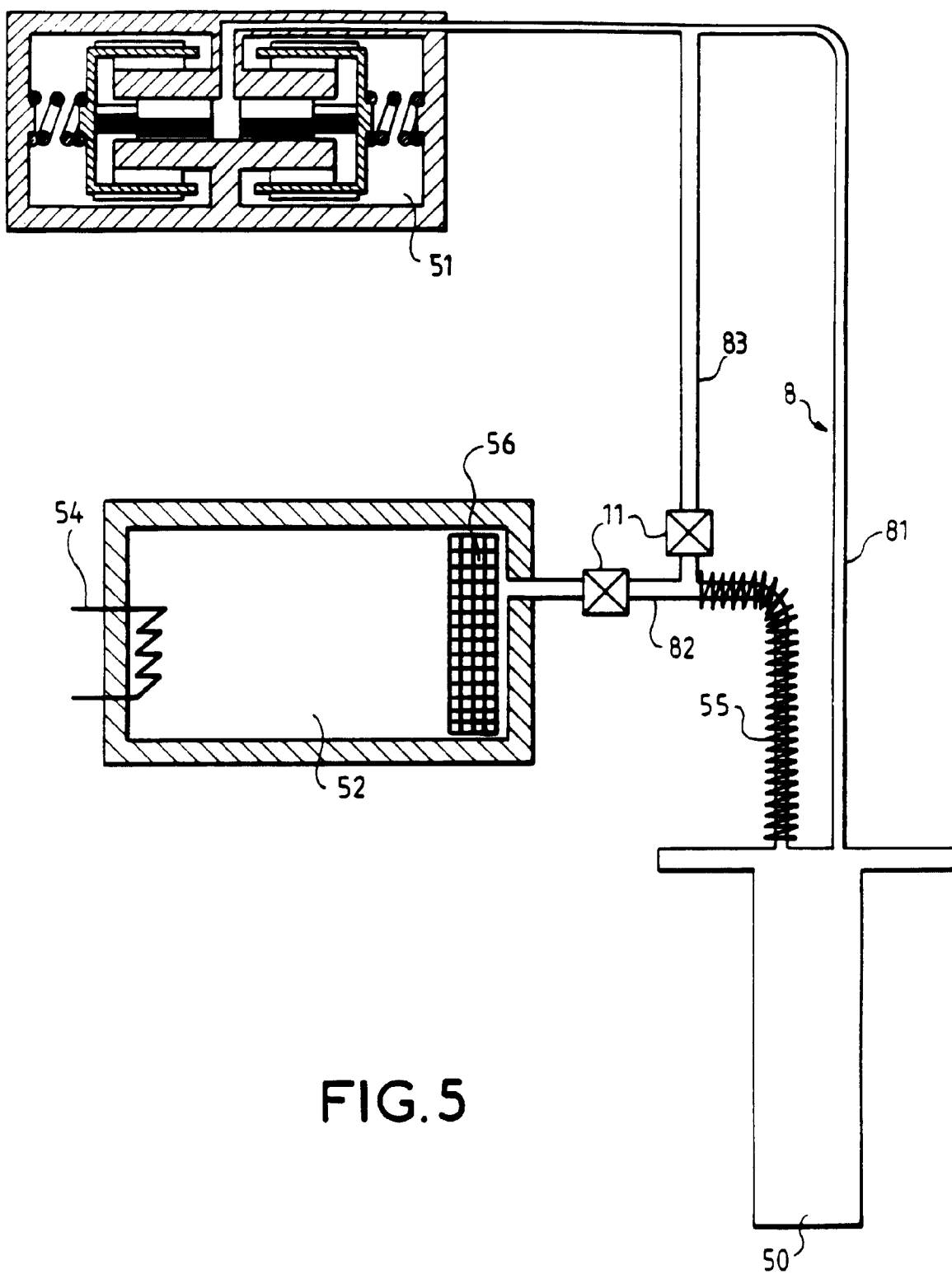


FIG. 3





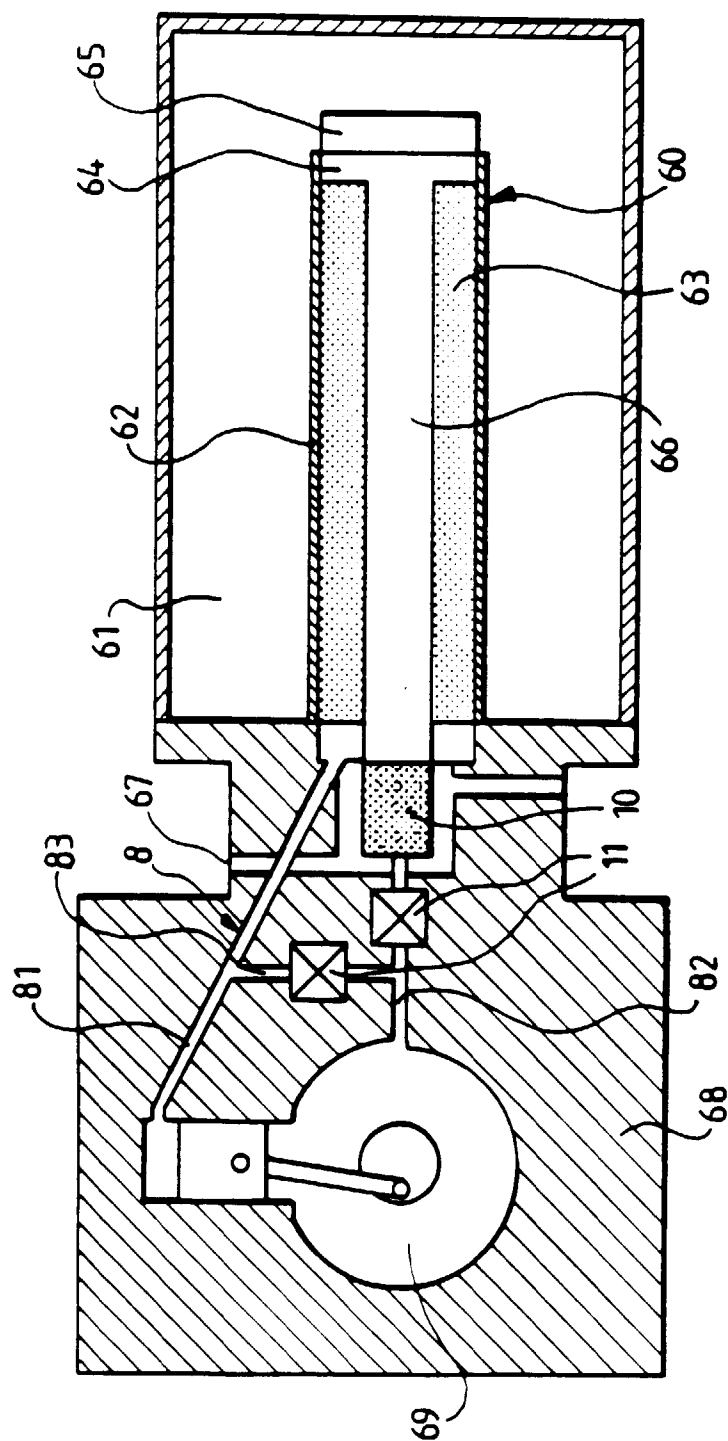


FIG. 6

