

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication:

0 247 935
B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication du fascicule du brevet:
25.04.90

(51) Int. Cl.4: **F25B 9/02**

(21) Numéro de dépôt: **87401167.9**

(22) Date de dépôt: **25.05.87**

(54) **Procédé d'alimentation d'un refroidisseur Joule-Thomson et appareil de refroidissement pour sa mise en oeuvre.**

(30) Priorité: **26.05.86 FR 8607449**

(43) Date de publication de la demande:
02.12.87 Bulletin 87/49

(45) Mention de la délivrance du brevet:
25.04.90 Bulletin 90/17

(84) Etats contractants désignés:
BE CH DE ES FR GB IT LI

(56) Documents cités:

EP-A- 0 020 111
EP-A- 0 084 308
FR-A- 2 095 319
FR-A- 2 176 544
FR-A- 2 322 337
FR-A- 2 417 733
GB-A- 2 085 139
US-A- 2 991 633
US-A- 3 095 711
US-A- 3 320 755
US-A- 3 413 819
US-A- 3 415 078
US-A- 3 714 796
US-A- 3 942 010

(73) Titulaire: **L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE, 75, Quai d'Orsay, F-75321 Paris Cédex 07(FR)**

(72) Inventeur: **Faure, Alain, Le Moulin Mont-Bonnot, F-38330 Saint-Ismier(FR)**
Inventeur: **Reale, Serge, 12, rue Hyppolyte Muller, F-38100 Grenoble(FR)**

(74) Mandataire: **Sadones Laurent, Renée et al, L'AIR LIQUIDE 75, quai d'Orsay, F-75321 Paris Cédex 07(FR)**

EP 0 247 935 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 à un procédé d'alimentation d'un refroidisseur Joule-Thomson comprenant une conduite haute pression qui se termine par un orifice de détente, et un circuit d'évacuation basse pression en relation d'échange thermique avec la conduite haute pression et dans lequel débouche l'orifice de détente, et plus particulièrement à un procédé du type dans lequel on alimente successivement la conduite haute pression avec un fluide de démarrage puis avec un fluide de travail.

De façon générale, on cherche à réduire le temps de mise en froid ainsi que la température froide limite des refroidisseurs Joule-Thomson. La température limite que l'on peut atteindre est la température d'ébullition du fluide détendu, tandis que la vitesse de refroidissement dépend de l'effet Joule-Thomson de ce fluide, c'est-à-dire de la puissance frigorifique procurée par sa détente. Pour concilier ces deux objectifs, on a proposé des procédés du type précité (brevet FR 2 322 337), mais, avec ces procédés connus, il n'a pas été possible d'obtenir en un temps très court des températures suffisamment basses pour certaines applications, par exemple une température d'environ 80 K, avec comme fluide de démarrage et de travail, respectivement, l'argon et l'azote.

Dans l'US-A 3 095 711, on a également proposé d'alimenter un cryostat d'abord au cours d'une étape de mise en froid, par un fort débit de gaz, puis une fois la température basse atteinte par un faible débit de gaz de maintien de la température ainsi atteinte. En outre il convient de signaler la demande de brevet européen 0 245 164 qui décrit un refroidisseur Joule-Thomson avec des moyens d'étranglement pour réduire brusquement le débit s'écoulant dans une conduite haute pression avec un obturateur à faible jeu, mobile d'une première position où l'orifice de détente est libre à une seconde position où cet orifice de détente est masqué par une surface de l'obturateur laissant subsister à la périphérie de l'orifice un passage de fuite, ainsi que des moyens pour faire passer instantanément l'obturateur de sa première position à sa seconde position.

L'invention a pour but de permettre d'obtenir en un temps très court des températures plus basses qu'il n'était possible d'atteindre jusqu'à présent.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé du type dans lequel on alimente successivement la conduite haute pression avec un fluide de démarrage puis avec un fluide de travail et est caractérisée en ce qu'on passe du fluide de démarrage au fluide de travail lorsque la vitesse du refroidissement assurée par le premier fluide devient inférieure à la vitesse du refroidissement assurée par le second fluide, et en ce qu'on utilise le fluide de travail d'abord à fort débit, puis on réduit brusquement son débit pour terminer la phase de mise en froid du refroidisseur.

Le procédé selon l'invention comprend donc trois étapes distinctes, successives, qui forment ensemble la phase de mise en froid du refroidisseur: (1) fluide de démarrage, (2) fluide de travail à fort dé-

bit, et (3) fluide de travail à faible débit, alors que les documents antérieurs décrivent soit une mise en froid par les étapes (1) et (2), soit l'utilisation seule des étapes (2) et (3).

De plus, l'invention prévoit que l'on passe du fluide de démarrage au fluide de travail lorsque la vitesse du refroidissement assuré par le premier fluide devient inférieure à la vitesse du refroidissement assurée par le second fluide. Ainsi, le début de l'intervention du fluide de travail correspond à une accélération du refroidissement, grâce au choix particulier de l'instant de la commutation d'un fluide à l'autre.

Suivant des caractéristiques préférées:

- on assure la réduction du débit en masquant l'orifice de détente par une surface laissant subsister à la périphérie de l'orifice un passage de fuite;

- on réduit le débit du fluide de travail dans un rapport au moins égal à 10;

- on passe du fluide de démarrage au fluide de travail lorsque la vitesse du refroidissement assurée par le premier devient inférieure à la vitesse du refroidissement assurée par le second.

L'invention a également pour objet un appareil de refroidissement destiné à mettre en œuvre le procédé défini ci-dessus. Cet appareil, du type comprenant une première source de fluide de démarrage sous une première haute pression, une seconde source de fluide de travail sous une seconde haute pression, un refroidisseur Joule-Thomson comprenant une conduite haute pression qui se termine par un orifice de détente et un circuit d'évacuation basse pression en relation d'échange thermique avec la conduite haute pression et dans lequel débouche l'orifice de détente, et des moyens de commutation pour relier la conduite haute pression d'abord à la première source puis à la seconde source, est caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'étranglement pour réduire brusquement le débit s'écoulant dans la conduite haute pression, avec un obturateur à faible jeu, mobile d'une première position où l'orifice de détente est libre à une seconde position où cet orifice de détente est masqué par une surface de l'obturateur laissant subsister à la périphérie de l'orifice un passage de fuite, ainsi que des moyens pour faire passer instantanément l'obturateur de sa première position à sa seconde position.

Un exemple de mise en œuvre de l'invention va maintenant être décrit en regard des dessins annexés, sur lesquels:

- la figure 1 représente en coupe longitudinale un réservoir de gaz sous haute pression d'un appareil suivant l'invention;

- la figure 2 est une vue en coupe longitudinale d'un refroidisseur Joule-Thomson associé au réservoir de la figure 1;

- la figure 3 est une vue analogue à la figure 2 qui montre le refroidisseur dans une autre phase de son fonctionnement; et

- la figure 4 est un diagramme montrant l'évolution de la température du refroidisseur en fonction

du temps lorsque le procédé suivant l'invention est mis en œuvre.

Le réservoir 1 représenté à la figure 1 est divisé en deux chambres inégales par une cloison transversale 2: une chambre auxiliaire aval 3 contenant un fluide de démarrage à effet Joule-Thomson important mais relativement peu volatil, par exemple de l'argon, sous une première haute pression qui peut être de l'ordre de 700 bars, et une chambre principale amont 4 contenant un fluide de travail plus volatil et à effet Joule-Thomson moindre, par exemple de l'azote, sous une seconde haute pression au plus égale à la première haute pression, par exemple de l'ordre de 400 bars.

La cloison 2 est percée d'un orifice 5 masqué par un morceau de clinquant 6 appliqué sur la face avant de la cloison. Une conduite 7 de remplissage en azote, pourvue d'une vanne d'arrêt 8, débouche dans la chambre amont 4 du réservoir. De la chambre aval 3 part une conduite de sortie 9 pourvue d'une vanne d'arrêt 10 et sur laquelle se pique, en amont de la vanne 10, une conduite 11 de remplissage en argon elle-même pourvue d'une vanne d'arrêt 12.

Le refroidisseur représenté aux figures 2 et 3 est de révolution autour d'un axe X-X, supposé vertical pour la commodité de la description, et comprend un noyau intérieur tubulaire 13 et une double enveloppe extérieure 14 insolée sous vide et formant Dewar. Une tête supérieure 15 en forme de coupelle inversée obture l'extrémité supérieure du noyau 13 et de l'espace annulaire 16 compris entre le noyau 13 et l'enveloppe 14; l'espace 16 communique toutefois avec l'atmosphère environnante par une série de trous 17 traversant la tête 15. Les diamètres intérieurs du noyau 13 de l'enveloppe 14 sont respectivement de 2,5 mm et de 5 mm environ.

Un fourreau 18 est partiellement enfilé et fixé dans l'extrémité inférieure du noyau 13. Une conduite haute pression 19, constituée d'un tube portant une ailette hélicoïdale, est bobinée en hélice sur toute la longueur du noyau 13, en contact avec celui-ci et avec la paroi intérieure de l'enveloppe 14; son extrémité supérieure traverse la tête 15 et est reliée à la conduite de sortie 9 du réservoir 1, et son extrémité inférieure 20 est fixée dans un perçage incliné vers le bas qui est prévu dans la paroi du fourreau 18 et dont la partie intérieure, de diamètre réduit, forme un orifice de détente 21.

La paroi intérieure de l'enveloppe 14 porte à son extrémité inférieure un fond 22 sur lequel se fixe en contact d'échange thermique un élément 23 à refroidir, qui peut être par exemple un détecteur infrarouge et qui est situé dans l'espace sous vide du Dewar. Au-dessus du fond 22 est ainsi délimitée une chambre de refroidissement 24 qui constitue la partie la plus froide du dispositif.

Une tige 25 est montée coulissante à l'intérieur du noyau 13. Cette tige porte à son extrémité inférieure une aiguille obturatrice 26 et, à son extrémité supérieure, un plongeur d'électro-aimant 27. L'aiguille 26 coulisse à ajustement étroit dans le fourreau 19, c'est-à-dire avec un jeu qui, compte tenu des coefficients de dilatation, est, sur le diamètre, de l'ordre de quelques microns pour la température froide de

fonctionnement du refroidisseur. Par exemple, si l'aiguille est en acier 100 C 6 et le fourreau en bronze-béryllium, on prévoira un jeu, sur le diamètre, de 5 à 6 microns à la température ambiante, ce qui correspond à un jeu, sur le diamètre, de 2 à 3 microns à une température froide de l'ordre de 80 à 90 K.

Le plongeur 27 coulisse dans la tête 15. Autour de celle-ci est disposé un bobinage d'électro-aimant 28 dont les bornes 29, 30 sont adaptées pour être reliées aux bornes d'une source de courant continu (non représentée). Un ressort 31 est comprimé axialement entre le fond de la tête 15 et le plongeur 27. Le guidage de la tige 25 est assuré d'une part par l'aiguille 26, d'autre part par le plongeur 27. Une butée 32 pour le plongeur 27 est prévue au débouché de la tête 15.

Au repos, le refroidisseur est dans l'état représenté à la figure 3: l'électro-aimant n'est pas alimenté en courant électrique, de sorte que le ressort 31 est détendu et repousse vers le bas la tige 27 jusqu'à une position de butée où l'aiguille 26 obture l'orifice 21 au petit jeu de coulisement près (5 à 6 microns sur le diamètre puisque le dispositif est à température ambiante).

Lors de la mise en froid, le bobinage 28 est mis sous tension et fait remonter le plongeur 27, la tige 25 et l'aiguille 26 à l'encontre du ressort 31 jusqu'à la position de la figure 2, où l'aiguille 26 dégage complètement l'orifice 21. Ce dernier peut alors être considéré comme débouchant librement dans la chambre 24.

Dans cette position, on ouvre la vanne 10 de la conduite 9, de sorte que l'argon sous haute pression est envoyé dans la conduite 19 et est détendu à fort débit (par exemple 1000 à 1500 NI/h) au passage de l'orifice 21. L'argon détendu et, par suite, refroidi remonte entre les spires de la conduite 19 jusqu'à être évacué dans l'atmosphère environnante par les orifices 17, en refroidissant l'argon haute pression. Ainsi, la température régnant dans la chambre 24 diminue de plus en plus.

Simultanément, la pression baisse dans la chambre 3 du réservoir. A un instant t_1 qui sera précisé plus loin, la pression de la chambre 3 est suffisamment inférieure à celle de la chambre 4 (400 bars dans cet exemple) pour provoquer la rupture du clinquant 6. L'azote contenu dans la chambre 4 chasse alors quasi instantanément du réservoir le reliquat d'argon, puis s'écoule à fort débit (par exemple 600 à 800 NI/h) dans la conduite 19 pour se détendre au passage de l'orifice 21.

Ainsi, la température continue à baisser dans la chambre 24, pour la même raison que précédemment.

A un second instant t_2 qui sera précisé plus loin, on coupe l'alimentation électrique du bobinage 28, par exemple au moyen d'un temporisateur, de sorte que le ressort 31 ramène instantanément la tige 25 à sa position initiale de la figure 3: l'aiguille 26 obture l'orifice 21 et, étant repoussée latéralement par le jet de gaz sortant de cet orifice, se trouve à une distance j de celui-ci égale au jeu diamétral à basse température, soit 2 à 3 microns avec les valeurs numériques indiquées plus haut. Le débit est ainsi réduit brusquement à une valeur faible, de préféren-

ce au moins dix fois inférieure à sa valeur précédente; la perte de charge du circuit basse pression, qui était de l'ordre de quelques bars, est réduite d'autant, ce qui permet d'obtenir dans la chambre 24 de l'azote liquide à une température voisine du point d'ébullition de l'azote à la pression atmosphérique, c'est-à-dire d'environ 80 K.

On a représenté à la figure 4 la variation de la température dans la chambre 24 en fonction du temps.

Dans la première phase de la mise en froid, le refroidissement résulte uniquement de la détente de l'argon à fort débit. Comme ce gaz présente un effet Joule-Thomson important, ce refroidissement est très rapide.

Cependant, il est limité d'une part par la volatilité relativement faible de l'argon, d'autre part par l'importante perte de charge, de l'ordre de quelques bars, créée par le fort débit dans le circuit basse pression, et c'est pourquoi la vitesse de descente en température diminue: si l'on poursuivait le refroidissement avec de l'argon à fort débit, on suivrait la courbe C1 de la figure 4. On choisit donc l'instant t1 au début du ralentissement du refroidissement provoqué par l'argon, comme illustré en A à la figure 4. A la température correspondante, en effet, l'azote à fort débit assure un refroidissement plus rapide que l'argon, comme le montre la courbe C2 de la figure 4, qui correspond à l'utilisation d'azote à fort débit pour assurer la totalité de la mise en froid. Comme on le comprend, c'est par le choix de la haute pression de l'argon et du volume de la chambre 3 que l'on peut déterminer l'instant t1 où le clinquant 6 se brisera.

Ainsi, à partir de l'instant t1, la température décroît parallèlement à la courbe C2, c'est-à-dire moins vite qu'avant cet instant, puisque l'effet Joule-Thomson de l'azote est moins fort que celui de l'argon, mais plus rapidement que si l'on continue à utiliser de l'argon. Puis, de nouveau, du fait de la proximité du point d'ébullition de l'azote et de la forte perte de charge du circuit basse pression, la vitesse de refroidissement décroît, à partir du point B de la figure 4.

On peut choisir cet instant pour diminuer brusquement le débit d'azote (instant t2). On obtient alors la courbe finale C3 de la figure 4, qui est parallèle à la courbe C4 correspondant au cas où l'ensemble de la mise en froid serait effectuée avec de l'azote à faible débit.

Cette courbe C3 est très satisfaisante si l'on souhaite atteindre une température finale comprise entre 85 et 90 K. Mais pour descendre plus bas en température, il est préférable de laisser l'azote s'écouler à fort débit jusqu'à un instant t3, postérieur à t2, où certaine quantité d'azote sous quelques bars s'est formée dans la chambre 24 (point D de la figure 4). Dans ce cas, la réduction du débit d'azote provoque la vaporisation très rapide d'une partie de ce liquide (effet de flash), dont la température tombe quasi-instantanément au voisinage de 80 K. On obtient alors la courbe finale C5 de la figure 4.

Avec les valeurs de pressions indiquées plus haut, on peut de cette manière atteindre en deux se-

condes environ une température de 80 K dans la chambre 24. De plus, grâce à l'utilisation d'un petit débit de fuite de travail, on peut conserver cette température pendant une longue période, de sorte que l'appareil possède une grande autonomie de fonctionnement.

Revendications

1. Procédé d'alimentation d'un refroidisseur Joule-Thomson comprenant une conduite haute pression (19) qui se termine par un orifice de détente (21), et un circuit d'évacuation basse pression (9,16,24) en relation d'échange thermique avec la conduite haute pression et dans lequel débouche l'orifice de détente, ce procédé étant du type dans lequel on alimente successivement la conduite haute pression (19) avec un fluide de démarrage puis avec un fluide de travail et étant caractérisé en ce qu'on utilise le fluide de travail d'abord à fort débit, puis on réduit brusquement son débit pour terminer la phase de mise en froid du refroidisseur.

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'on assure la réduction du débit en masquant l'orifice de détente (21) par une surface (26) laissant subsister à la périphérie de l'orifice un passage de fuite.

3. Procédé suivant l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'on réduit le débit du fluide de travail dans un rapport au moins égal à 10.

4. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'on réduit le débit du fluide de travail lorsque la vitesse du refroidissement assuré par ce fluide commence à décroître.

5. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'on maintient le fort débit du fluide de travail jusqu'à formation dans le circuit basse pression d'une certaine quantité de liquide, puis on procède à la réduction du débit de ce fluide.

6. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'on passe du fluide de démarrage au fluide de travail lorsque la vitesse du refroidissement assuré par le premier devient inférieure à la vitesse du refroidissement assuré par le second.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Versorgen eines Joule-Thompson-Kühlers mit einer Hochdruckleitung (19), die in einer Entspannungsöffnung (21) mündet, und einem Entleerungskreislauf unter Niederdruck (24-16-17) im Wärmeaustausch mit der Hochdruckleitung (19) und in welchem die Entspannungsöffnung (21) mündet, wobei das Verfahren vom Typ ist, in welchem man allmählich die Hochdruckleitung (19) mit einem Startfluid und dann mit einem Arbeitsfluid versorgt, dadurch gekennzeichnet, daß man das Startfluid zum Arbeitsfluid führt, wenn die Kühlgeschwindigkeit, die durch das erste Fluid sichergestellt ist, geringer wird als die Kühlgeschwindigkeit, welche durch das zweite Fluid sichergestellt wird, und daß man das Arbeitsfluid erst mit starkem Durchsatz verwendet und dann plötzlich seinen Durchsatz

verringert, um die Phase zu beenden, in welcher der Kühler in Kältezustand versetzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man die Verringerung des Durchsatzes dadurch sicherstellt, daß die Entspannungsöffnung (21) durch eine Oberfläche einer verschließenden Nadel (26) abgedeckt wird, welche am Umfang der Entspannungsöffnung (21) einen Durchgang zum Entweichen bestehen läßt.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß man den Durchsatz des Arbeitsfluids in einem Verhältnis von mindestens gleich 10 verringert.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß man den Durchsatz des Arbeitsfluids verringert, wenn die Kühlgeschwindigkeit, welche durch dieses Fluid sichergestellt ist, abzunehmen beginnt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß man den starken Durchsatz des Arbeitsfluids bis zur Bildung einer gewissen Menge Flüssigkeit in dem Niederdruckkreislauf aufrechterhält und man dann mit der Verringerung des Durchsatzes dieses Fluids fortschreitet.

6. Kühlvorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, mit einer ersten Quelle (3) für das Startfluid unter einem ersten hohen Druck, einer zweiten Quelle (4) für das Arbeitsfluid unter einem zweiten hohen Druck, einem Joule-Thompson-Kühler mit einer Hochdruckleitung (19), die in einer Entspannungsöffnung (21) mündet, und einem Entleerungskreislauf unter niedrigem Druck (24-16-17) im Wärmeaustausch mit der Hochdruckleitung (19) und in welchem die Entspannungsöffnung (21) mündet und mit Umschaltmitteln (6), um die Hochdruckleitung (19) zu Anfang mit der ersten Quelle (3) und dann mit der zweiten Quelle (4) zu verbinden, dadurch gekennzeichnet, daß sie Drosselungsmittel aufweist, um plötzlich den Durchsatz zu verringern, der in der Hochdruckleitung (19) fließt, mit einer Verschlussvorrichtung mit geringem Spiel (26), beweglich von einer ersten Position, wo die Entspannungsöffnung (21) frei ist, zu einer zweiten Position, wo diese Entspannungsöffnung (21) durch eine Oberfläche der Verschlussvorrichtung abgedeckt ist, welche am Umfang der Öffnung einen Durchgang zum Entweichen bestehen läßt, und Mittel (27-28-31) aufweist, um plötzlich die Verschlussvorrichtung (26) von ihrer ersten Position in ihre zweite Position gehen zu lassen.

Claims

1. A method of supplying a Joule-Thompson cooler comprising a high-pressure conduit (19) which terminates in an high-pressure orifice (21), and a low-pressure draining circuit (24-16-17) in a heat exchange relationship with the high-pressure conduit (19) and into which the expansion orifice (21) opens, this method being of the type in which the high-pressure conduit (19) is supplied successively with a priming fluid and then with a working fluid, characterised in that the change from the priming fluid to the working fluid occurs when the cooling rate pro-

vided by the first fluid falls below the cooling rate provided by the second fluid and in that the working fluid is initially used at a high rate of flow, after which its rate of flow is abruptly reduced to end the cooling stage of the cooler.

2. A method according to claim 1, characterised in that the flow rate reduction is obtained by obstructing the expansion orifice (21) by means of a plugging needle (26) surface allowing a leak passage to remain in being at the periphery of the expansion orifice (21).

3. A method according to one of claims 1 and 2, characterised in that the rate of flow of the working fluid is reduce in a ratio equal to at least 10.

4. A method according to any one of claims 1 to 3, characterised in that the rate of flow of the working fluid is reduced when the cooling rate provided by this fluid begins to decrease.

5. A method according to any one of claims 1 to 3, characterised in that the high rate of flow of the working fluid is maintained until a specific quantity of liquid is formed in the low-pressure circuit, after which the reduction of the rate of flow of this fluid is effected.

6. A cooling device for putting into practice the method according to any one of claims 1 to 5, of the type comprising a first source (3) of priming fluid under a first high pressure, a second source (4) of working fluid under a second high pressure, a Joule-Thompson cooler comprising a high-pressure conduit (19) terminating in an expansion orifice (21) and a low-pressure draining circuit (24-16-17) in a heat-exchange relationship with the high-pressure conduit (19) and into which the expansion orifice (21) opens, and switching means (6) for connecting the high-pressure conduit (19) initially to the first source (3) then to the second source (4) characterised in that it comprises throttle means for abrupt reduction of the flow passing through the high-pressure conduit (19), with a small clearance shutter (26) movable from a first position in which the expansion orifice (21) is clear to a second position in which this expansion orifice (21) is shut off by a surface of the shutter allowing a leak passage to remain in being at the periphery of the orifice, as well as means (27-28-31) for causing the shutter (26) to pass instantaneously from its initial position to its second position.

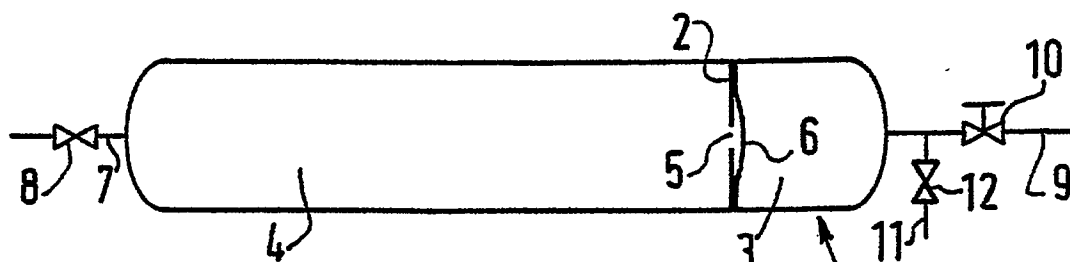


FIG.1

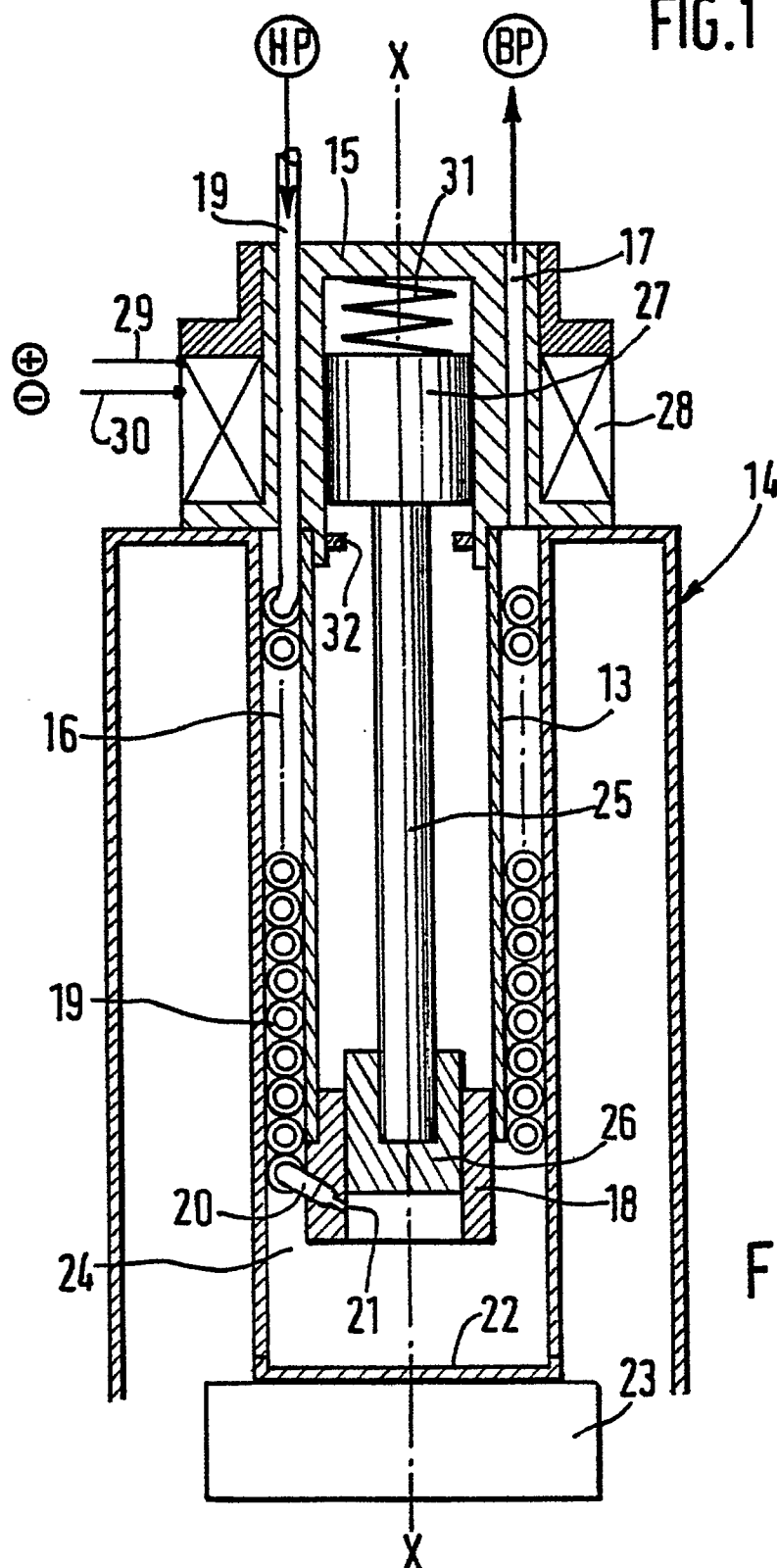


FIG. 2

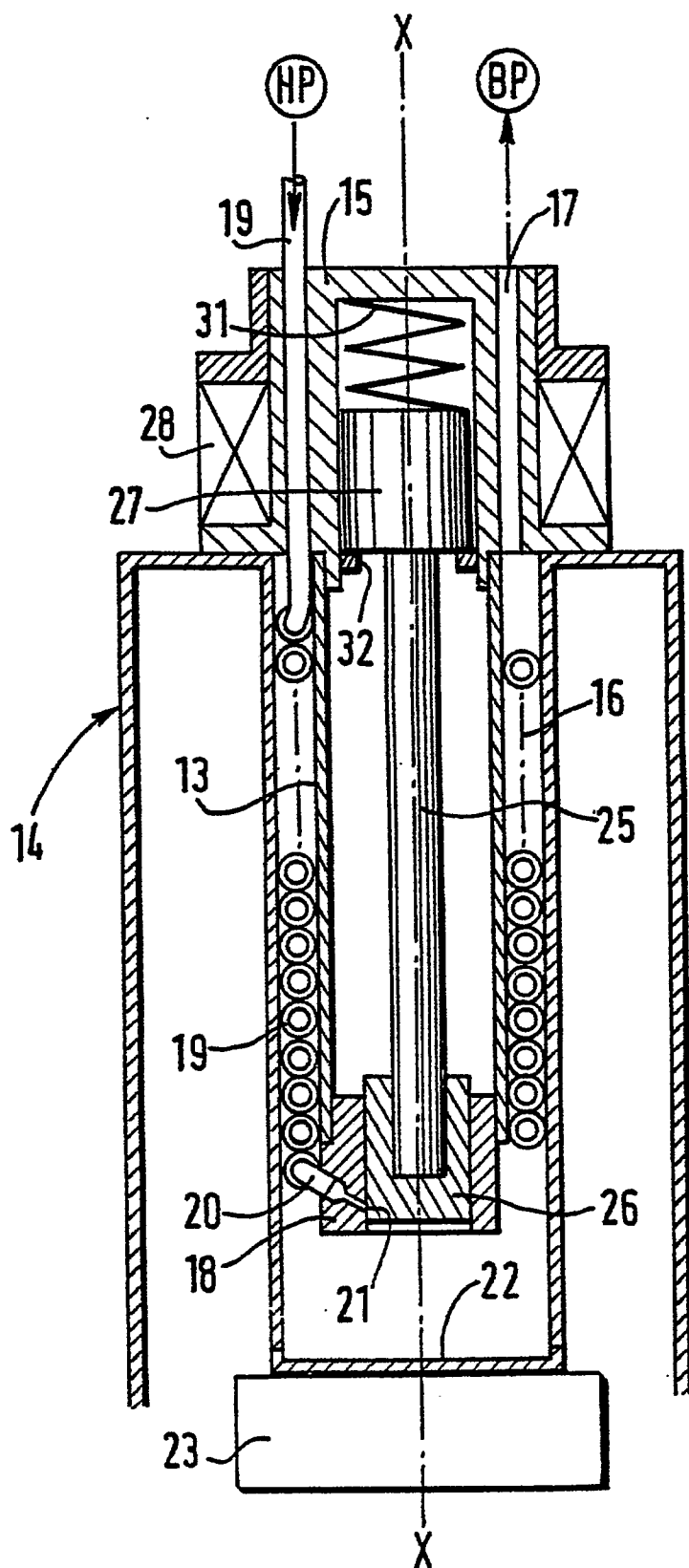


FIG. 3

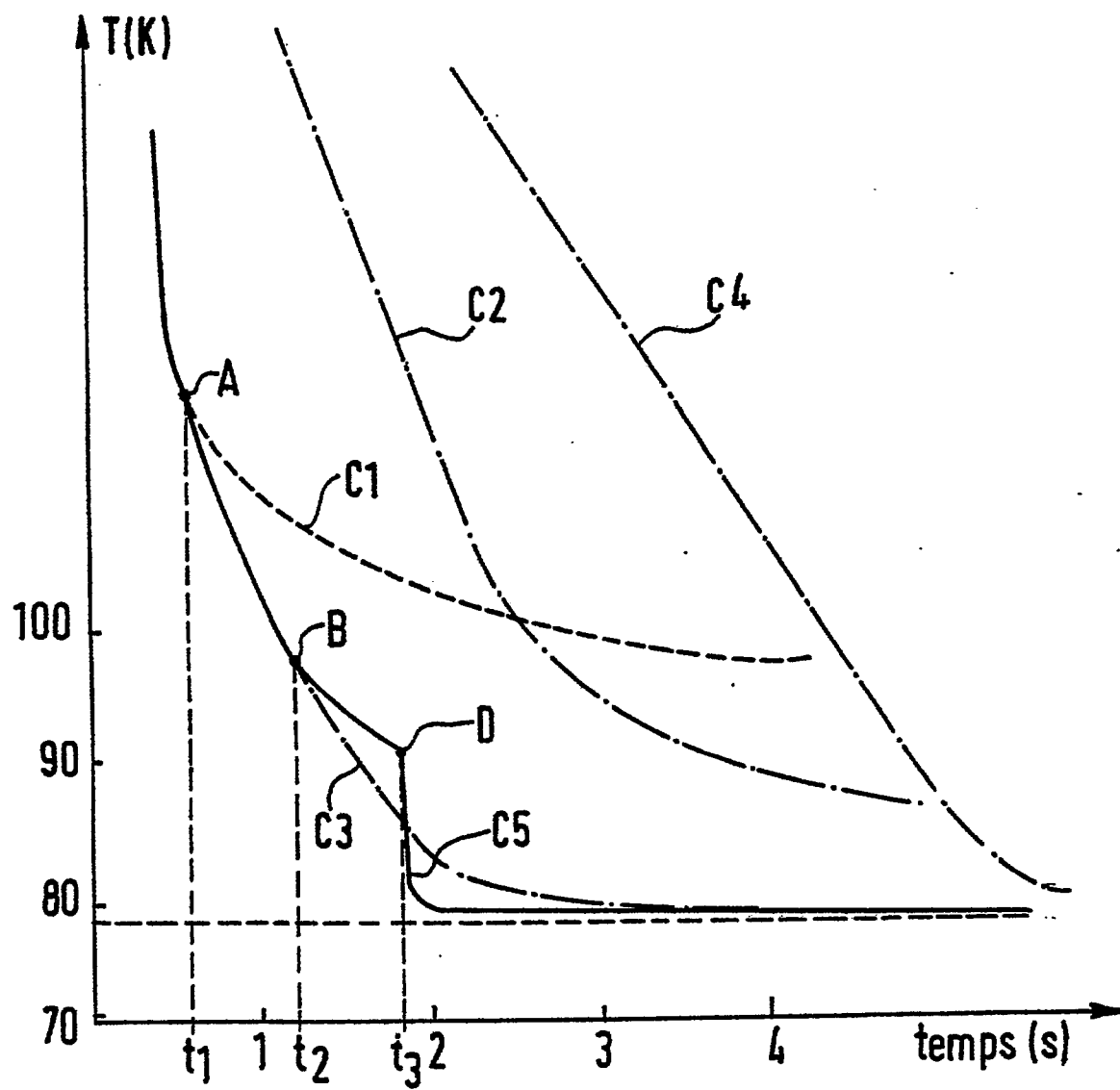


FIG.4