

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

**2 729 718**

②1 N° d'enregistrement national : **96 00477**

⑤1 Int Cl<sup>6</sup> : F 04 B 37/08

①2

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 17.01.96.

③0 Priorité : 18.01.95 US 374140.

④3 Date de la mise à disposition du public de la demande : 26.07.96 Bulletin 96/30.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : **HELIX TECHNOLOGY CORPORATION — US.**

⑦2 Inventeur(s) : **ANDEEN BRUCE R, FORTIER GERALD J, BARTLETT ALLEN J, EACOBACCI MICHAEL J et LESSARD PHILIP C.**

⑦3 Titulaire(s) :

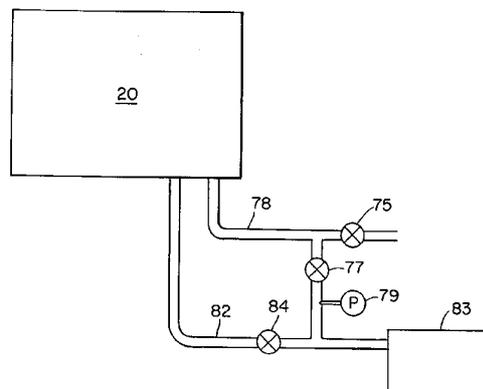
⑦4 Mandataire : **CABINET SIMONNOT.**

⑤4 **PROCEDE DE REGENERATION D'UNE POMPE CRYOGENIQUE, ET POMPE CRYOGENIQUE POUR SA MISE EN OEUVRE.**

⑤7 L'invention concerne un procédé de régénération d'une pompe cryogénique.

Elle se rapporte à un procédé qui comprend le réchauffement de la pompe afin que des gaz soient dégagés, l'ouverture d'une soupape de décharge (77) de la pompe cryogénique pour la mise d'une pompe primaire (83) à un premier niveau de pression inférieur à une pression maximale, le maintien de la soupape de décharge (77) à l'état ouvert jusqu'à ce que la pompe cryogénique soit suffisamment débarrassée des gaz dégagés, la fermeture de la soupape de décharge (77) lorsque la pression tombe au-dessous d'un second niveau de pression de pompe cryogénique, et l'ouverture d'une soupape de vide primaire (84) entre la pompe cryogénique et la pompe primaire (83) après la fermeture de la soupape de décharge.

Application aux pompes cryogéniques.



FR 2 729 718 - A1



La présente invention concerne un procédé de régénération d'une pompe cryogénique, ainsi qu'une pompe cryogénique mettant en oeuvre ce procédé.

Les pompes cryogéniques à vide, parfois appelées "cryopompes", actuellement disponibles, ont en général un principe commun de réalisation. Un arrangement à basse température, travaillant habituellement entre 4 et 25 K, constitue la surface principale de pompage. Cette surface est entourée d'un écran de protection contre le rayonnement à température plus élevée, assurant la protection contre le rayonnement de l'arrangement à température plus basse. L'écran de protection contre le rayonnement comprend de façon générale un boîtier qui est fermé sauf au niveau d'un arrangement frontal placé entre la surface principale de pompage et une chambre de travail qui doit être évacuée.

Pendant le fonctionnement, les gaz à température élevée d'ébullition, par exemple de la vapeur d'eau, se condensent sur l'arrangement frontal. Les gaz à plus faible température d'ébullition s'écoulent dans l'arrangement et pénètrent dans le volume compris à l'intérieur de l'écran de protection contre le rayonnement et se condensent sur l'arrangement à plus basse température. Une surface revêtue d'un adsorbant, par exemple du charbon actif ou un tamis moléculaire, travaillant à une température inférieure ou égale à celle de l'arrangement relativement froid, peut aussi être incorporée à ce volume pour l'extraction des gaz à très basse température d'ébullition, par exemple l'hydrogène. Lorsque les gaz sont ainsi condensés et/ou adsorbés sur les surfaces de pompage, un vide est créé dans la chambre de travail.

Dans les circuits refroidis par des organes de refroidissement à cycle fermé, l'organe de refroidissement est habituellement un réfrigérateur à deux étages ayant un doigt refroidi qui passe par l'arrière ou le côté de l'écran de protection. L'hélium réfrigérant à température élevée est en général transmis à l'organe de refroidissement cryogénique par des conduites à haute pression, à partir d'un ensemble compresseur. L'énergie électrique transmise à un

moteur d'entraînement d'organe de déplacement incorporé à l'organe de refroidissement est aussi habituellement transmise par le compresseur ou un ensemble comprenant un organe de commande.

5 L'extrémité froide du second étage, qui est l'élément le plus froid de l'organe de refroidissement cryogénique, se trouve à l'extrémité du doigt refroidi. La surface principale de pompage, ou panneau cryogénique, est raccordée à un radiateur à l'extrémité la plus froide du second étage du  
10 doigt refroidi. Ce panneau cryogénique peut être une simple cuvette ou plaque métallique, ou un arrangement de déflecteurs métalliques placés autour du radiateur du second étage et raccordés à celui-ci. Ce panneau cryogénique du second étage supporte aussi l'adsorbant travaillant à basse température.  
15

L'écran de protection contre le rayonnement est raccordé à un radiateur ou poste thermique, à l'extrémité la plus froide du premier étage du réfrigérateur. L'écran entoure le panneau cryogénique du second étage de manière  
20 qu'il le protège contre la chaleur rayonnante. L'arrangement frontal est refroidi par le radiateur du premier étage par fixation à l'écran de protection contre le rayonnement ou, comme décrit dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 4 356 810, par des barres thermiques.

25 Après quelques jours ou semaines d'utilisation, les gaz qui se sont condensés sur les panneaux cryogéniques, et en particulier ceux qui ont été adsorbés, commencent à saturer la pompe cryogénique. Une opération de régénération doit donc être entreprise afin que la pompe cryogénique soit  
30 réchauffée et dégage ainsi les gaz qui peuvent être retirés du circuit. Lorsque les gaz s'évaporent, la pression dans la pompe cryogénique augmente, et les gaz sont évacués par une soupape de décharge. Au cours de la régénération, la pompe cryogénique est souvent purgée par de l'azote gazeux tiède.  
35 L'azote gazeux accélère le réchauffement des panneaux cryogéniques et a aussi pour rôle d'évacuer l'eau et les autres vapeurs de la pompe cryogénique. L'azote est le gaz

de purge habituel car il est relativement inerte, et il est disponible sous forme dépourvue de vapeur d'eau. Il est habituellement fourni par une bouteille de stockage d'azote par une conduite de transport et une soupape de purge  
5 couplée à la pompe cryogénique.

Après la purge de la pompe cryogénique, celle-ci doit subir un pompage primaire destiné à créer, autour des surfaces de pompage cryogénique et du doigt refroidi, un vide qui réduit le transfert de chaleur par conduction par  
10 les gaz et permet ainsi à l'organe cryogénique de refroidissement de se refroidir aux températures normales de fonctionnement. La pompe primaire est en général une pompe mécanique couplée par une conduite de fluide à une soupape de vide primaire montée sur la pompe cryogénique.

15 Le procédé habituel de régénération nécessite plusieurs heures pendant lesquelles le procédé de fabrication ou autre pour lequel la pompe cryogénique crée le vide est en suspens. Dans la plupart des installations, seul le second étage nécessite une régénération. En conséquence, on a  
20 utilisé des opérations de régénération partielle dans lesquelles le second étage est réchauffé afin qu'il dégage des gaz uniquement à partir de cet étage lorsque le réfrigérateur continue à travailler afin que les gaz du premier étage ne soient pas dégagés. Il est primordial que des gaz  
25 ne soient pas dégagés par le premier étage car ils contamineraient le second étage relativement chaud, et cette contamination nécessiterait un cycle complet de régénération de la pompe cryogénique. Comme le réfrigérateur continue à fonctionner, les panneaux cryogéniques restent à des tempé-  
30 ratures relativement basses, le temps de refroidissement après l'opération de régénération partielle est nettement inférieur à celui d'une régénération complète.

Le réglage de l'opération de régénération est facilité par des capteurs de température couplés aux postes ther-  
35 miques à doigt refroidi. Des jauges de pression à thermocouple ont aussi été utilisées avec des pompes cryogéniques. Bien que la régénération puisse être commandée par mise

manuelle de l'organe de refroidissement cryogénique en circuit ou hors circuit et par commande manuelle des soupapes de purge et de vide primaire, on utilise un organe séparé de commande de régénération dans des installations plus élaborées. Des fils provenant de l'organe de commande sont couplés à chacun des capteurs, au moteur de l'organe de refroidissement cryogénique et aux soupapes qui doivent être commandées. Une pompe cryogénique ayant un organe électronique de commande intégrée est représentée dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 4 918 930.

Dans certaines application des pompes cryogéniques, il est souhaitable de maintenir une pression inférieure à la pression atmosphérique dans la pompe cryogénique en cours de régénération. Par exemple, certains types de soupapes d'isolement pour vide poussé, par exemple des soupapes à clapet, s'ouvrent pendant la période d'une opération habituelle de régénération dans laquelle la pression est positive, lorsque les gaz sont évacués par une soupape de décharge. Une ouverture intempestive de la soupape d'isolement est potentiellement nuisible à l'application du procédé à cause de la contamination de l'espace de travail par les gaz régénérés.

La présente invention concerne un procédé de régénération d'une pompe cryogénique et en particulier de régénération à une pression inférieure à la pression atmosphérique, et un circuit électronique de commande de cette opération de régénération.

L'invention concerne, dans un aspect, le raccordement d'une soupape de décharge à pression inférieure à la pression atmosphérique et d'une soupape de vide primaire en parallèle avec une pompe primaire courante pour la régénération d'une pompe cryogénique à une pression inférieure à la pression atmosphérique. La soupape de décharge et la soupape de vide primaire sont couplées chacune à la pompe cryogénique.

Dans un autre aspect, l'invention concerne le contrôle de la fermeture de la soupape de décharge à une pression inférieure à la pression atmosphérique pour la commande de

l'ouverture de la soupape de vide primaire reliée à la pompe primaire. Selon l'invention, la pression dans une conduite comprise entre la soupape de décharge et la pompe primaire est contrôlée. Après que la pression dans la conduite a  
5 suffisamment diminué pour indiquer que la soupape de décharge s'est fermée, la soupape de vide primaire peut être ouverte.

Dans le procédé préféré de régénération selon l'invention, la pompe cryogénique est réchauffée afin que les gaz  
10 des panneaux cryogéniques soient dégagés. Dans une régénération complète, la pompe cryogénique peut être réchauffée par chauffage du premier et du second étage et par application d'un gaz de purge à la chambre de la pompe cryogénique. Dans une régénération partielle, seul le second  
15 étage est chauffé. Lorsque la pression de la pompe cryogénique augmente, une soupape de décharge s'ouvre afin qu'elle couple la chambre de la pompe cryogénique à une pompe primaire. La soupape s'ouvre à un premier niveau de pression de la pompe cryogénique inférieur à une pression maximale  
20 prédéterminée qui est inférieure à la pression atmosphérique, de préférence comprise entre environ 520 et 600 torr. La soupape de décharge est de préférence une soupape de décharge sensible à la pression qui est maintenue ouverte jusqu'à ce que la pompe cryogénique soit suffisamment  
25 débarrassée des gaz dégagés par la pompe primaire. Lorsque la pression de la pompe cryogénique est abaissée au-dessous d'un second niveau de pression de pompe cryogénique, la soupape de décharge se ferme. La soupape de décharge peut être déterminée comme étant fermée par contrôle de la  
30 pression dans la conduite comprise entre la soupape de décharge et la pompe primaire et par détection du moment où la pression dans la conduite tombe à environ 1 torr.

Lorsque la soupape de décharge a été déterminée comme étant fermée dans l'étape précédente, indiquant que la pompe  
35 cryogénique est suffisamment débarrassée des gaz dégagés, la soupape de vide primaire est ouverte afin qu'elle raccorde la pompe primaire et réduise la pression de la pompe

cryogénique au niveau de la pression de base. Lorsque la soupape de vide primaire est ouverte, le réchauffement de la pompe cryogénique peut être interrompu.

5 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre d'exemples de réalisation, faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

la figure 1 est une vue en élévation latérale d'une pompe cryogénique selon la présente invention ;

10 la figure 2 est une coupe de la pompe cryogénique de la figure 1, après enlèvement du module électronique et du boîtier ;

la figure 3 est une vue en plan de la pompe cryogénique de la figure 1 ;

15 la figure 4 est une représentation schématique de la pompe cryogénique de la figure 1, représentant une soupape de décharge à une pression inférieure à la pression atmosphérique et une soupape de vide primaire raccordée à une pompe primaire ;

20 la figure 5 est un ordinogramme illustrant une opération de régénération à pression inférieure à la pression atmosphérique, programmée dans le module électronique ; et

la figure 6 est un graphique représentant la variation de la pression de la pompe cryogénique et de la pression de la conduite pendant un cycle de régénération.

La figure 1 est une représentation d'une pompe cryogénique selon la présente invention. La pompe cryogénique comporte le réservoir habituel sous vide 20 qui a une bride 22 pour le montage de la pompe sur une installation destinée à être évacuée. Selon la présente invention, la pompe cryogénique possède un module électronique 24 placé dans un boîtier 26 à une première extrémité du réservoir 20. Un panneau 28 de commande est monté de manière articulée sur 30 une première extrémité du boîtier 26. Comme indiqué par les traits interrompus 30, le panneau de commande peut pivoter 35 autour d'un axe 32 afin qu'il puisse être observé

commodément. Le support 34 du panneau a des trous supplémentaires 36 à ses extrémités opposées afin que le panneau de commande puisse être retourné lorsque la pompe cryogénique doit être montée en position inversée par rapport à celle qui est représentée sur la figure 1. En outre, un pied élastomère 38 est placé à la surface supérieure plate du boîtier électronique 26 pour le support de la pompe lorsqu'elle est inversée.

Comme représenté sur la figure 2, la plus grande partie de la pompe cryogénique est classique. Sur la figure 2, le boîtier 26 est retiré afin que le moteur 40 d'entraînement et une tête de transmission 42 soient exposés. La tête de transmission transforme le mouvement de rotation du moteur 40 en un mouvement alternatif de déplacement d'un organe de déplacement placé à l'intérieur du doigt refroidi 44 à deux étages. A chaque cycle, de l'hélium gazeux introduit dans le doigt refroidi sous pression par la conduite 46 se détend et se refroidit ainsi afin que le doigt refroidi reste à des températures cryogéniques. L'hélium alors réchauffé par la matière d'échange de chaleur de l'organe de déplacement est évacué par la conduite 48.

Un poste thermique 50 d'un premier étage est monté à l'extrémité froide du premier étage 52 du réfrigérateur. De même, le poste thermique 54 est monté à l'extrémité froide du second étage 56. Des éléments capteurs de température 58 et 60 de type convenable sont montés à l'arrière des postes thermiques 50 et 54.

La surface de pompage primaire est un arrangement à panneau cryogénique 62 monté sur le radiateur 54. Cet arrangement comprend plusieurs disques tels que représentés dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 4 555 907. Un adsorbant à basse température est monté sur des surfaces protégées de l'arrangement 62 afin qu'il adsorbe les gaz incondensables.

Un capot 64 en forme de cuvette de protection contre le rayonnement est monté sur le poste thermique 50 du premier étage. Le second étage du doigt refroidi passe par

une ouverture formée dans le capot. Ce capot 64 entoure l'arrangement à panneau cryogénique primaire vers l'arrière et les côtés afin qu'il réduise au minimum la chauffe-  
5 ment. La température du capot de protection contre le rayonnement peut être comprise entre une valeur aussi faible que 40 K au niveau du radiateur 50 et une valeur aussi élevée que 130 K près de l'ouverture 68 de la chambre évacuée.

10 Un arrangement frontal 70 à panneau cryogénique est utilisé à la fois comme capot de protection contre le rayonnement de l'arrangement à panneau cryogénique primaire et comme surface de pompage cryogénique des gaz à tempé-  
15 d'ebullition plus élevée, par exemple de la vapeur d'eau. Ce panneau comporte un arrangement circulaire à déflecteur concentrique en chevrons 72 raccordé par une plaque 74 analogue à des rayons. La configuration de ce panneau cryogénique 70 n'est pas obligatoirement formée  
20 d'éléments concentriques circulaires, mais elle peut être telle qu'elle forme un capot rayonnant et un panneau de pompage cryogénique à température relativement élevée tout en formant un trajet de passage des gaz à température relativement faible d'ébullition vers le panneau cryogénique  
primaire.

25 La figure 2 représente un ensemble 69 à organe de chauffage qui comporte un tube qui enferme hermétiquement des éléments de chauffage électriques. Les éléments de chauffage chauffent le premier étage par l'intermédiaire d'une monture 71 d'élément de chauffage et un second étage  
30 par l'intermédiaire d'une autre monture 73.

Comme représenté sur les figures 1 et 3, un ensemble 76 à soupapes de décharge de pression est couplé au réservoir 20 de vide par un coude 78. L'ensemble 76 à  
35 soupapes de décharge de pression comporte une soupape normale de décharge 75 à pression atmosphérique placée en parallèle avec une soupape de décharge 77 à pression inférieure à la pression atmosphérique. Selon la présente

invention, la soupape 77 est reliée à une pompe primaire 83 par une conduite 81 (comme indiqué sur la figure 4). Un capteur 79 de pression est couplé à l'intérieur de la conduite 81. Une soupape électrique ou électrovanne 80 de purge montée sur le boîtier 20 par un tube vertical 82 est placée de l'autre côté du moteur et du boîtier électronique 26 comme indiqué sur la figure 3. Une jauge manométrique à vide 86 à thermocouple est couplée à l'intérieur de la chambre 20 par le tube 82. Une soupape électrique ou électrovanne 84 de vide primaire est aussi couplée au boîtier 20 par le tube 82. La soupape 84 de vide primaire est aussi raccordée à la pompe primaire à laquelle est raccordée la soupape 77. La figure 4 représente schématiquement le conduit de la soupape 77 de décharge à la pression inférieure à la pression atmosphérique et de la soupape de vide primaire 84 raccordé à la pompe primaire commune 83.

Le moteur 40 de réfrigérateur, l'ensemble 69 à éléments de chauffage du panneau cryogénique, la soupape de purge 80 et la soupape de vide primaire 84 sont tous commandés par le module électronique. En outre, le module contrôle la température détectée par les capteurs 58 et 60 et les pressions détectées par la jauge manométrique 86 et le capteur 79 de pression.

Lors de la commande de l'opération de régénération à une pression inférieure à la pression atmosphérique, le module électronique est programmé comme indiqué sur la figure 5. La figure 6 représente la pression résultante de la pompe cryogénique ( $P_1$ ) et la pression ( $P_2$ ) de la conduite entre la soupape 77 de décharge et la pompe primaire 83 pendant le cycle de régénération. Initialement, la pompe cryogénique travaille normalement à un état 100, la température du second étage étant comprise entre 10 et 20 K. Lorsque l'opération de régénération au-dessous de la pression atmosphérique doit commencer, le circuit ouvre en 102 (temps  $t_1$ ) sur la figure 6 la soupape de purge 80 pour introduire de l'azote gazeux tiède de purge et peut mettre

en fonctionnement les éléments de chauffage du premier et du second étage. Au cours d'une régénération partielle, seul le second étage est chauffé. Le réfrigérateur cryogénique continue à fonctionner, mais son effet de refroidissement est partiellement compensé par la chaleur appliquée. Ce courant de purge est maintenu pendant une période initiale de 2 min par exemple.

Le premier étage est chauffé et maintenu à 110 K environ afin que la collecte des gaz liquéfiés sur cet étage soit minimale après que les gaz ont été dégagés par le second étage. Dans une régénération partielle, la température du premier étage est maintenue à une valeur suffisamment faible pour éviter le dégagement de vapeur d'eau. La valeur de consigne de la température du second étage est réglée entre 175 et 200 K. Le second étage est chauffé à une valeur supérieure à 175 K afin que la contamination de l'adsorbant par des gaz, tel que l'azote et l'argon, soit minimale. Le second étage est maintenu à moins de 200 K de manière que le temps de refroidissement soit raccourci. Un point de consigne de température préférée est égal à 190 K.

Lorsque les gaz commencent à se dégager et à la suite de l'introduction du gaz de purge dans la chambre de la pompe cryogénique, la différence de pression entre la pression  $P_1$  de la pompe cryogénique et la pression  $P_2$  dans le tube 81 rejoignant la pompe primaire 83 s'élève suffisamment pour ouvrir la soupape de décharge 77 (temps  $t_2$ ). Dans une mise en oeuvre du procédé de régénération à la pression inférieure à la pression atmosphérique, la soupape de décharge 77 s'ouvre pour une différence de pression d'environ 380 torr. La pression dans la pompe cryogénique continue à augmenter lorsque les gaz sont dégagés et sont retirés par la pompe primaire, et la pression se stabilise à une pression maximale inférieure à la pression atmosphérique, comprise entre environ 520 et 600 torr. L'ensemble attend en 104 pendant 2 min par exemple, et, en 106, la soupape de purge 80 est alors fermée.

La soupape de décharge 77 reste ouverte afin qu'elle ventile les gaz dégagés vers la pompe primaire 83. Lorsque la pompe cryogénique est suffisamment débarrassée des gaz dégagés, sa pression diminue et la soupape 77 de décharge se ferme ( $t_3$ ). Pour déterminer le moment où la soupape de décharge 77, sensible à la pression, se ferme, l'ensemble vérifie en 108 la réduction dans le tube 81. Lorsque la pression dans le tube 81 diminue suffisamment, la soupape de décharge 77 est déterminée comme étant fermée (temps  $t_4$ ). L'ensemble ouvre alors la soupape de vide primaire 84 pour la raccorder à la pompe primaire 83 en 110 (temps  $t_5$ ). La chaleur continue à être transmise au second étage afin que la température de celui-ci soit maintenue à 190 K. Cette phase de remise en état de l'opération de régénération partielle se poursuit jusqu'à ce que le second étage soit chauffé à 190 K et la pression soit réduite à 0,5 torr, comme indiqué par la vérification effectuée en 112. Lorsque ces limites ont été atteintes, les éléments de chauffage cessent de fonctionner en 114, la soupape 84 de vide primaire restant ouverte.

Lorsque, en 116, la pression de la pompe cryogénique est tombée à un niveau de base tel que  $5 \cdot 10^{-4}$  torr, la soupape 84 de vide primaire est fermée en 118 (temps  $t_6$ ). La pression de base à laquelle la soupape de vide primaire 84 est fermée est déterminée par l'installation particulière et est de préférence comprise entre  $2,5 \cdot 10^{-2}$  et  $2,5 \cdot 10^{-1}$  torr. En général, la pression est réduite à une valeur aussi faible que possible, mais sans risque de contamination de l'adsorbant par retour d'huile de la pompe primaire 83.

La température du second étage peut être maintenue à 180 K jusqu'à ce que la pression soit réduite à la pression de base, mais cette solution augmente le temps de refroidissement et donc la durée de l'opération de régénération globale. On a constaté qu'une réduction à 0,5 torr seulement avant l'arrêt des éléments de chauffage constituait un bon compromis.

Etant donné le dégazage interne constant, la pression interne de la pompe cryogénique s'élève même lorsque la pompe continue à se refroidir. Cette pression ralentit le refroidissement et peut être suffisamment importante pour empêcher le nouveau refroidissement de la pompe cryogénique. Pour que cette augmentation de pression due au dégagement des gaz soit évitée, la soupape 84 de vide primaire travaille de manière cyclique entre des limites proches de la pression de base en 10. Ainsi, lorsque la pression dépasse la pression de base de  $1.10^{-2}$  torr, la soupape 84 de vide primaire s'ouvre pour ramener la pression à la pression de base. De cette manière, la pression garde une valeur acceptable et permet aussi la mise en condition de l'adsorbant par extraction des gaz supplémentaires. Cette solution de commande cyclique de la soupape de vide primaire peut aussi être appliquée au pompage primaire après une régénération totale.

Lorsque la température du second étage a atteint 17 K, l'opération de régénération est terminée en 122.

Il est bien entendu que l'invention n'a été décrite et représentée qu'à titre d'exemple préférentiel et qu'on pourra apporter toute équivalence technique dans ses éléments constitutifs sans pour autant sortir de son cadre.

13

LEGENDES DES FIGURESFIGURE 5

- A : soupape de décharge ouverte
- B : soupape de décharge fermée
- 100 : pompe cryogénique en fonctionnement, 10 à 20 K
- 102 : purge en cours, éléments de chauffage en fonctionnement
- 104 : attente
- 106 : arrêt de la purge
- 108 : dégazage terminé ?  $P_2 < 1$  torr
- 110 : soupape de vide primaire ouverte
- 112 :  $T_2 \geq 190$  k et  $P_1 \leq 0,5$  torr ?
- 114 : arrêt des éléments de chauffage, début du refroidissement
- 116 :  $P \leq$  pression de base ?
- 118 : fermer soupape de vide primaire
- 120 : maintenir  $P_1$  au-dessous de la pression de base augmentée de  $1.10^{-2}$  torr
- 122 : fin de régénération (17 K)

14

REVENDICATIONS

1. Procédé de régénération d'une pompe cryogénique, caractérisé en ce qu'il comprend :

le réchauffement de la pompe cryogénique afin que des gaz soient dégagés de la pompe cryogénique,

l'ouverture d'une soupape de décharge (77) de la pompe cryogénique pour la mise d'une pompe primaire (83) à un premier niveau de pression de pompe cryogénique inférieur à une pression maximale prédéterminée,

le maintien de la soupape de décharge (77) à l'état ouvert jusqu'à ce que la pompe cryogénique soit suffisamment débarrassée des gaz dégagés,

la fermeture de la soupape de décharge (77) lorsque la pression de la pompe cryogénique tombe au-dessous d'un second niveau de pression de pompe cryogénique, et

l'ouverture d'une soupape de vide primaire (84) entre la pompe cryogénique et la pompe primaire (83) après la fermeture de la soupape de décharge.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte en outre le contrôle de la fermeture de la soupape de décharge (77) pour la commande de l'ouverture de la soupape de vide primaire (84) reliée à la pompe primaire (83).

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'étape de contrôle comprend le contrôle de la pression dans une conduite comprise entre la soupape de décharge (77) et la pompe primaire (83) afin que le moment où la pression dans la conduite a suffisamment diminué pour indiquer que la soupape de décharge (77) s'est fermée soit déterminé.

4. Procédé de régénération d'une pompe cryogénique, caractérisé en ce qu'il comprend :

le réchauffement de la pompe cryogénique afin que les gaz soient dégagés de la pompe cryogénique,

l'ouverture d'une soupape de décharge (77) de la pompe cryogénique vers une pompe à vide à un premier niveau de pression de la pompe cryogénique inférieur à une pression maximale prédéterminée,

45

le maintien de la soupape de décharge (77) en position d'ouverture jusqu'à ce que la pompe cryogénique soit suffisamment débarrassée des gaz dégagés,

la fermeture de la soupape de décharge (77) lorsque la  
5 pression de la pompe cryogénique est tombée au-dessous d'un second niveau de pression de pompe cryogénique,

le contrôle de la pression dans une conduite placée entre la soupape de décharge (77) et la pompe à vide, et

l'ouverture d'une soupape de vide primaire (84) placée  
10 entre la pompe cryogénique et une pompe primaire (83) après que la pression dans la conduite a suffisamment diminué pour indiquer la fermeture de la soupape de décharge (77).

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que la pompe à vide est la pompe primaire (83).

15 6. Procédé selon l'une des revendications 1 et 4, caractérisé en ce que les étapes d'ouverture et de fermeture de la soupape de décharge (77) sont assurées par une soupape de décharge sensible à la pression.

20 7. Procédé selon l'une des revendications 1 et 4, caractérisé en ce que les étapes sont mises en oeuvre pour une régénération partielle d'une pompe cryogénique.

8. Procédé selon l'une des revendications 1 et 4, caractérisé en ce que la pression maximale prédéterminée est inférieure à la pression atmosphérique.

25 9. Pompe cryogénique, caractérisée en ce qu'elle comprend :

une chambre (20) de pompe cryogénique,

une soupape (80) de purge de gaz tiède destinée à  
30 l'application d'un gaz de purge à la chambre de la pompe cryogénique,

une soupape (84) de vide primaire destinée à coupler la chambre de la pompe cryogénique à une pompe primaire (83),

35 une soupape automatique de décharge (77) destinée à coupler la chambre (20) de la pompe cryogénique à la pompe primaire (83), la soupape de décharge (77) s'ouvrant en communiquant avec la pompe primaire (83) à un premier niveau

de pression de la pompe cryogénique qui est inférieur à une pression maximale prédéterminée, et se fermant lorsque la pression de la pompe cryogénique tombe au-dessous d'un second niveau de pression de la pompe cryogénique, et

5 un organe électronique de commande (24) destiné à commander la soupape (80) de purge et la soupape de vide primaire (84), l'organe de commande étant programmé afin qu'il assure la commande d'une opération de régénération par :

10 réchauffement de la pompe cryogénique afin que les gaz soient dégagés de la pompe cryogénique, et

ouverture de la soupape de vide primaire (84) afin qu'elle soit raccordée à la pompe primaire (83) après la fermeture de la soupape de décharge (77).

15 10. Pompe cryogénique selon la revendication 9, caractérisée en ce que l'organe électronique de commande (24) est en outre programmé afin qu'il commande une opération de régénération par contrôle de la fermeture de la soupape de décharge (77) et commande l'ouverture de la

20 soupape de vide primaire (84) afin qu'elle communique avec la pompe primaire (83).

11. Pompe cryogénique selon la revendication 10, caractérisée en ce qu'elle comporte en outre un capteur (79) de pression destiné à contrôler la pression dans une conduite placée entre la soupape de décharge (77) et la pompe

25 primaire (83) afin que le moment où la pression dans la conduite a suffisamment diminué pour indiquer la fermeture de la soupape de décharge (77) soit déterminé.

12. Pompe cryogénique, caractérisée en ce qu'elle

30 comprend :

une chambre (20) de pompe cryogénique,

une soupape (80) de purge de gaz tiède destinée à appliquer un gaz de purge à la chambre de la pompe cryogénique,

35 une soupape (84) de vide primaire destinée à coupler la chambre de la pompe cryogénique à une pompe primaire (83),

une soupape automatique de décharge (77) destinée à coupler la chambre (20) de la pompe cryogénique à une pompe à vide, la soupape de décharge (77) s'ouvrant pour communiquer avec la pompe à vide à un premier niveau de pression de la pompe cryogénique qui est inférieur à une pression maximale prédéterminée, et se fermant lorsque la pression de la pompe cryogénique tombe au-dessous d'un second niveau de pression de la pompe cryogénique,

un capteur (79) de pression destiné à contrôler la pression dans une conduite placée entre la soupape de décharge (77) et la pompe à vide, et

un organe électronique de commande (24) destiné à commander la soupape (80) de purge et la soupape de vide primaire (84) et à contrôler le capteur (79) de pression, l'organe de commande (24) étant programmé afin qu'il commande une opération de régénération par :

réchauffement de la pompe cryogénique afin que les gaz de la pompe cryogénique soient dégagés,

contrôle de la pression dans une conduite placée entre la soupape de décharge (77) et la pompe à vide, et

ouverture de la soupape de vide primaire (84) afin qu'elle communique avec la pompe primaire (83) après que la pression de la conduite a suffisamment diminué pour indiquer la fermeture de la soupape de décharge (77).

13. Pompe cryogénique selon la revendication 12, caractérisée en ce que la pompe à vide est la pompe primaire (83).

14. Pompe cryogénique selon l'une des revendications 9 et 12, caractérisée en ce que la pression maximale prédéterminée est inférieure à la pression atmosphérique.

15. Pompe cryogénique, caractérisée en ce qu'elle comprend :

au moins un premier et un second étage (52, 56) placés dans une chambre (20) de pompe cryogénique refroidie par un réfrigérateur cryogénique (44),

au moins un premier et un second élément de chauffage (50, 54) destinés à chauffer les étages de la pompe cryogénique,

une soupape (80) de purge par un gaz tiède destinée à appliquer un gaz de purge à la chambre (20) de la pompe  
5 cryogénique,

une soupape de vide primaire (84) destinée à raccorder la chambre (20) de la pompe cryogénique à une pompe primaire (83),

une soupape automatique de décharge (77) destinée à  
10 coupler la chambre (20) de pompe cryogénique à la pompe primaire (83), la soupape de décharge (77) s'ouvrant pour communiquer avec la pompe primaire (83) à un premier niveau de pression de la pompe cryogénique inférieur à une pression maximale prédéterminée, et se fermant lorsque la pression de  
15 la pompe cryogénique tombe au-dessous d'un second niveau de pression de pompe cryogénique,

un capteur de pression (79) destiné à contrôler la pression dans une conduite comprise entre la soupape de décharge (77) et la pompe primaire (83), et

20 un organe électronique de commande (24) destiné à commander les éléments de chauffage (50, 54), la soupape de purge (80) et la soupape de vide primaire (84) et à contrôler le capteur (77) de pression, l'organe de commande (24) étant programmé afin qu'il commande une opération de  
25 régénération par :

réchauffement de la pompe cryogénique afin que les gaz se dégagent de la pompe cryogénique,

30 contrôle de la pression dans une conduite placée entre la soupape de décharge (77) et la pompe primaire (83),  
et

ouverture de la soupape de vide primaire (84) afin qu'elle communique avec la pompe primaire (83) après que la pression dans la conduite a suffisamment diminué pour indiquer que la soupape de décharge (77) s'est fermée.

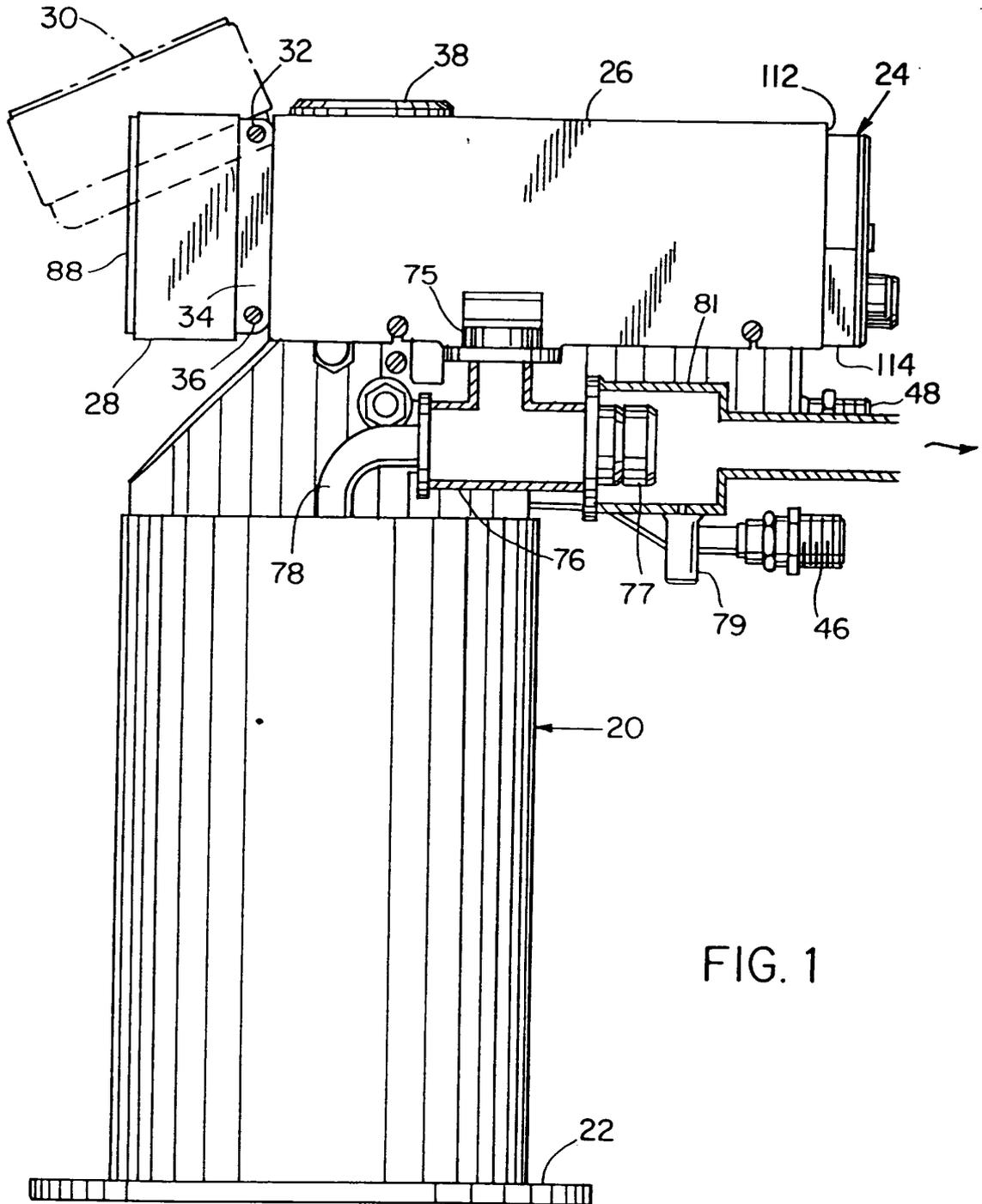


FIG. 1

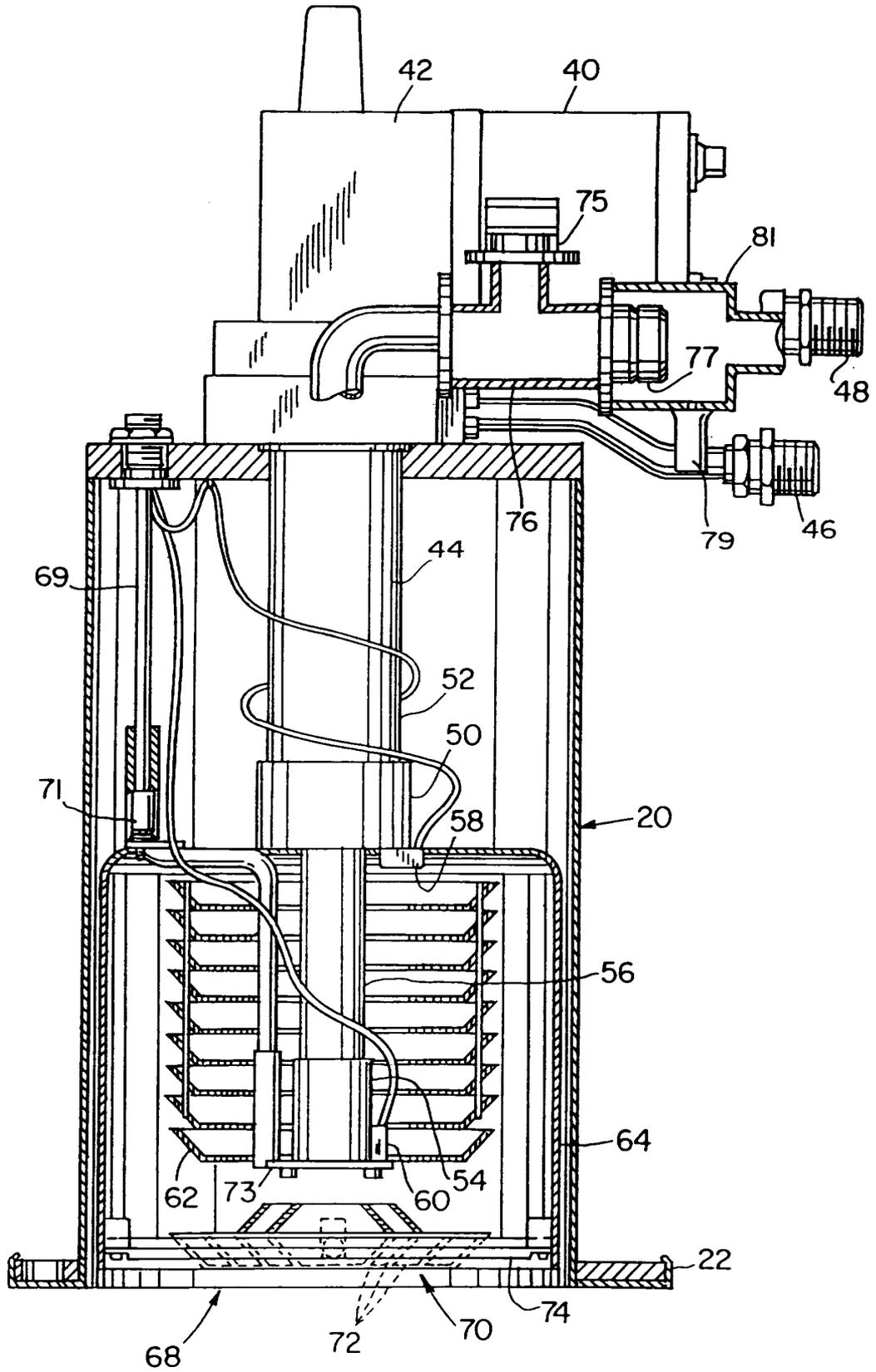


FIG. 2

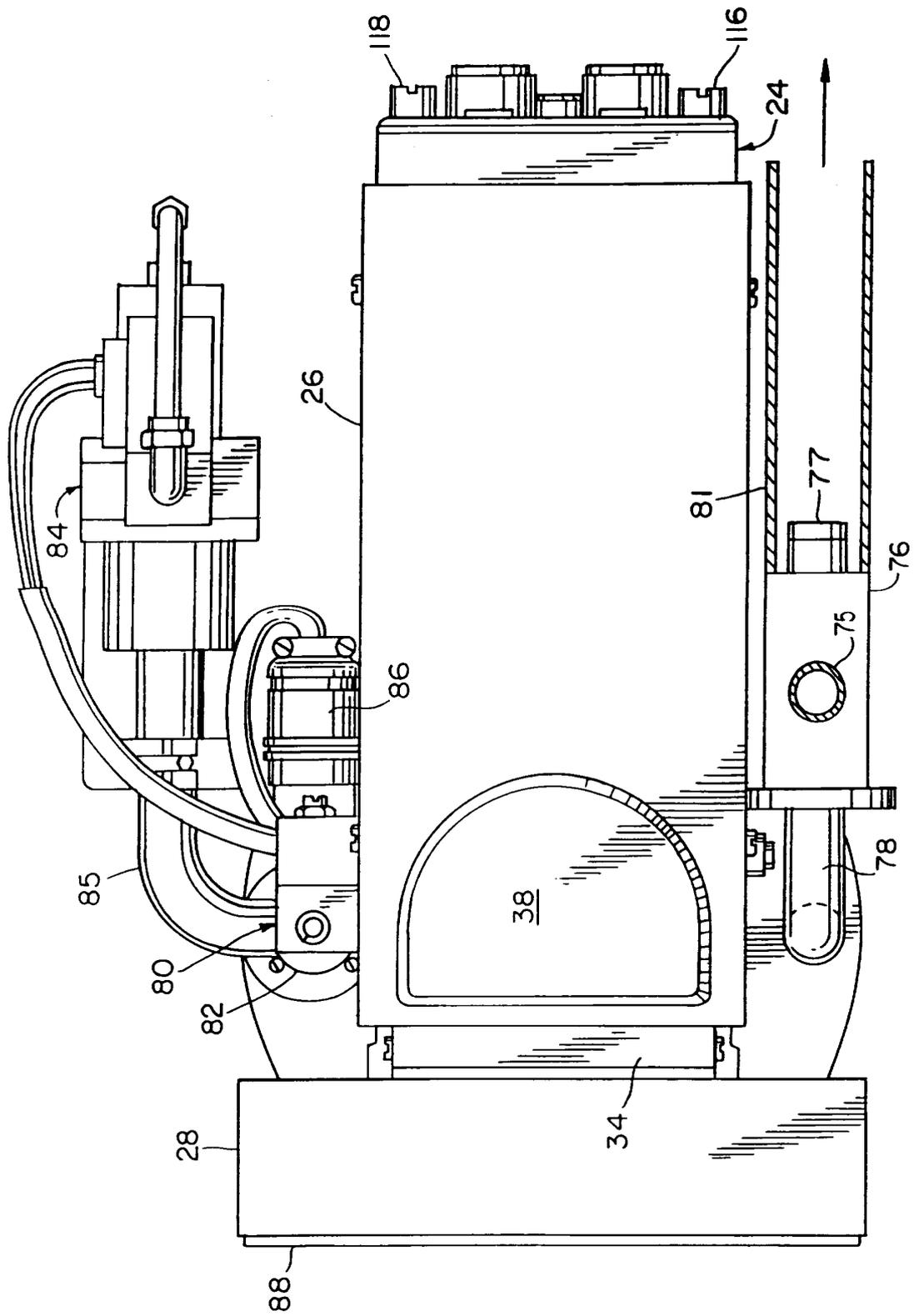


FIG. 3

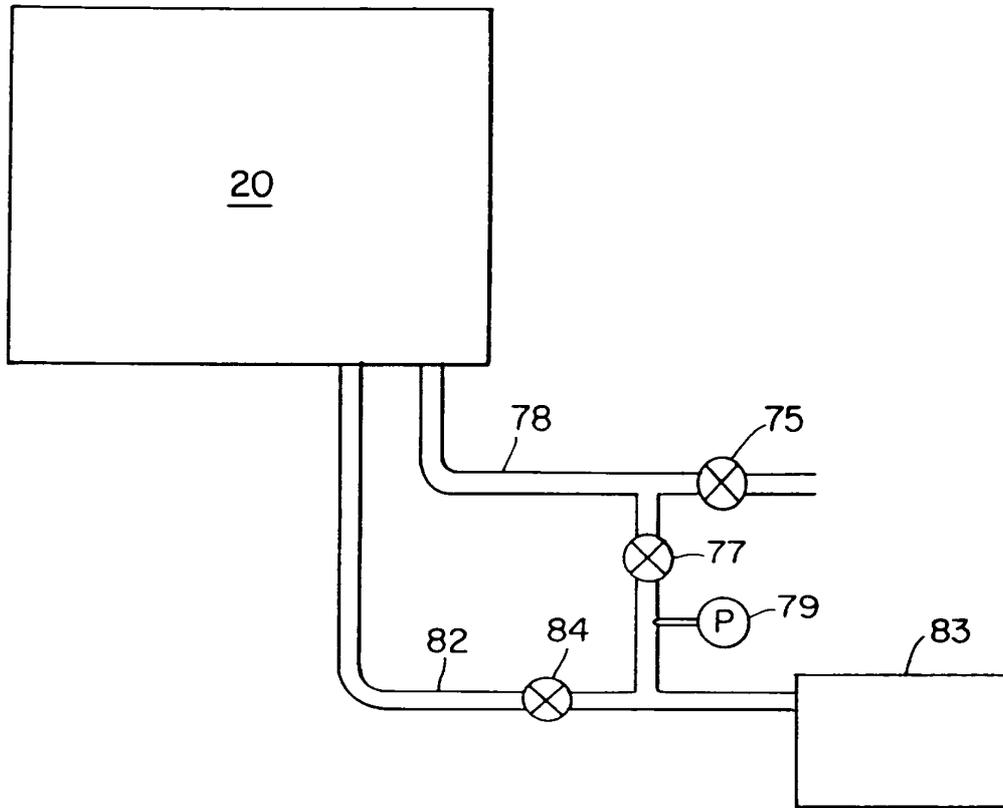


FIG. 4

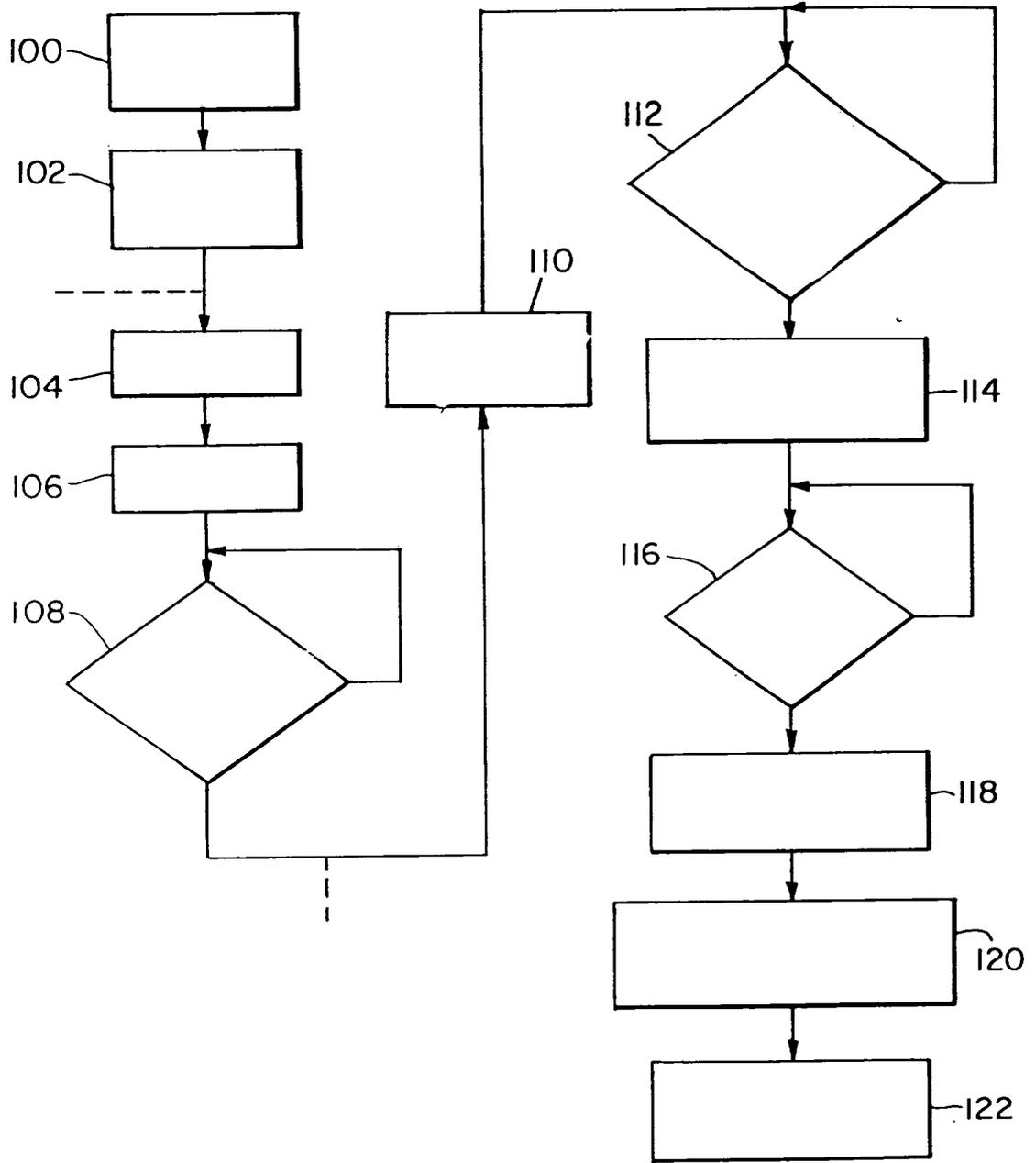


FIG. 5

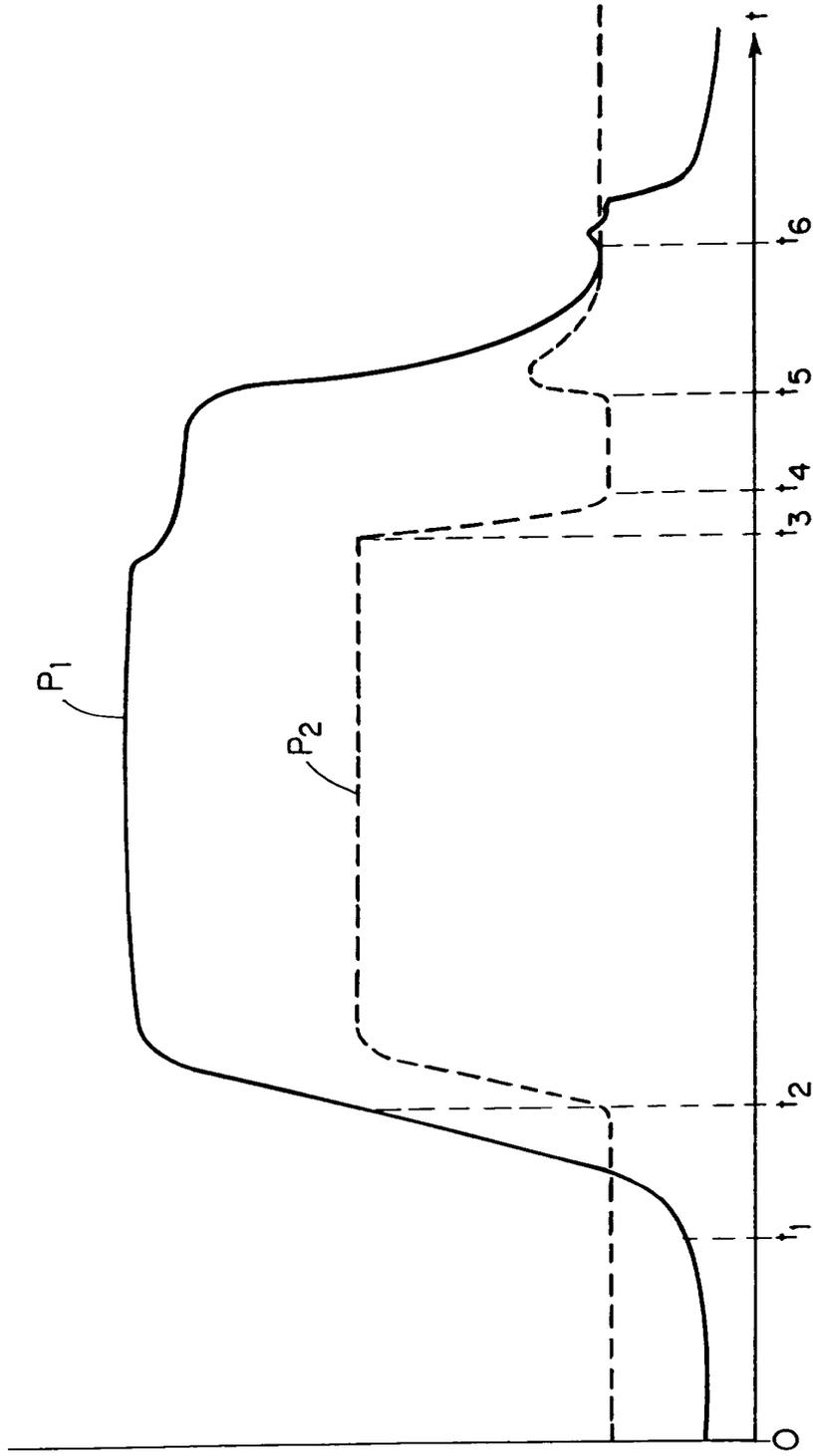


FIG. 6