



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
29.09.2021 Bulletin 2021/39

(51) Int Cl.:
F25B 9/00 ^(2006.01) **F25B 9/08** ^(2006.01)
F25B 23/00 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **21164132.9**

(22) Date de dépôt: **23.03.2021**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
 Etats d'extension désignés:
BA ME
 Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(71) Demandeur: **Absolut System**
38170 Seyssinet-Pariset (FR)

(72) Inventeurs:
 • **TANCHON, Julien**
38180 SEYSSINS (FR)
 • **LACAPERRE, Jerome**
38960 ST ETIENNE DE CROSSEY (FR)

(30) Priorité: **25.03.2020 FR 2002909**

(74) Mandataire: **Regimbeau**
20, rue de Chazelles
75847 Paris Cedex 17 (FR)

(54) **SYSTEME DE REGULATION DE LA TEMPERATURE D'UN FLUIDE CRYOGENIQUE**

(57) L'invention concerne un système de régulation de la température d'un fluide cryogénique, comprenant une conduite (1) de circulation du fluide cryogénique (A), comprenant une branche principale (12) dans laquelle une partie (A2) du fluide cryogénique circule à une température initiale (Ti) et une branche de dérivation (11) dans laquelle une autre partie (A1) du fluide cryogénique est refroidie à une température finale (Tf) inférieure à la température initiale (Ti), de sorte à former un mélange desdites parties (A1, A2) du fluide cryogénique à une

température (Tm) comprise entre la température finale (Tf) et la température initiale (Ti), ledit système étant caractérisé en ce que la branche principale (12) comprend une canalisation (8) comprenant successivement une partie convergente (8a), un col (8b) de section inférieure à celle de la conduite (1) et une partie divergente (8c) et en ce que la branche de dérivation (11) est raccordée à ladite canalisation (8) par un raccord amont (80) situé en amont de la partie convergente (8a) et par un raccord aval (81) situé au niveau du col (8b).

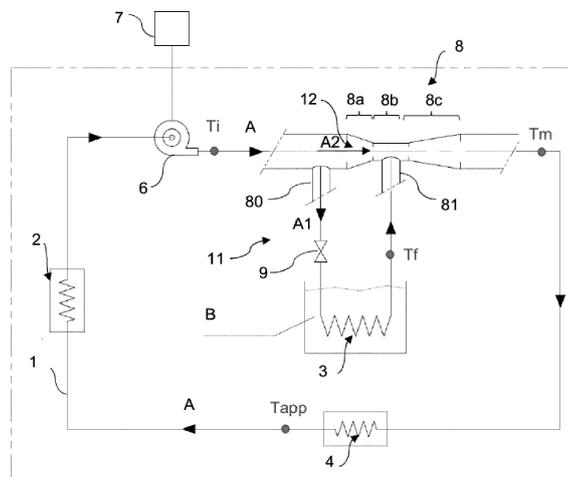


FIGURE 3

Description

Domaine technique

[0001] L'invention concerne un système de régulation de la température d'un fluide cryogénique.

Arrière-plan technologique

[0002] Il existe différentes techniques pour réguler la température d'un fluide cryogénique gazeux ou liquide destiné à refroidir un dispositif à une température T_{app} définie.

[0003] En l'absence d'une machine cryogénique ou lorsqu'on souhaite se passer d'une telle machine pour des raisons pratiques et/ou économiques, un système de régulation est représenté sur la figure 1.

[0004] Un premier fluide cryogénique (désigné par le repère A) à une température T_i est en circulation dans une conduite 1, mais doit être refroidi à une température précise T_{app} afin de refroidir un dispositif 2 (avec une incertitude dépendant des applications).

[0005] Un second fluide cryogénique (désigné par le repère B) à une température T_f inférieure à T_i est utilisé comme source froide pour refroidir le fluide A en circulation. En général, le fluide B utilisé est de l'azote liquide dont la température est connue en fonction de la pression.

[0006] Le fluide A passe dans un échangeur 3 plongé dans un bain liquide contenant le fluide B.

[0007] Le fluide A ressort de l'échangeur à la température T_f ou à une température proche de T_f

[0008] Or la température d'application T_{app} est comprise entre T_f et T_i .

[0009] Il faut alors réchauffer le fluide cryogénique A de la température T_f jusqu'à la température T_{app} grâce à un réchauffeur 4, tel qu'une résistance chauffante, qui peut être régulée. La régulation du réchauffeur permet d'ajuster la puissance en fonction du débit massique du fluide A.

[0010] Ainsi ce système permet de réguler la température du fluide A en circulation dans la conduite 1 de la température T_i à la température T_{app} . Grâce au réchauffeur, la température T_{app} peut être obtenue précisément pour une large gamme de débit massique.

[0011] Ce système peu coûteux à l'installation peut néanmoins engendrer des pertes importantes. En effet, d'une part, tout le débit massique du fluide A est refroidi jusqu'à la température froide T_f puis tout le débit massique dudit fluide A est réchauffé jusqu'à la température souhaitée T_{app} . Cette perte énergétique peut être très importante pour des débits massiques du fluide A élevés et/ou pour des températures T_{app} très éloignées de T_f .

[0012] Par exemple, ces pertes sont élevées pour des températures recherchées autour de 130 K à 180 K. En effet, pour ces températures, le fluide B utilisé peut être de l'azote liquide à une température proche de 80 K. Il faut alors réchauffer le fluide A refroidi de 80 K environ

à au moins 130 K, ce qui engendre une déperdition d'énergie importante, à laquelle s'ajoutent les pertes thermiques de l'azote liquide utilisé pour refroidir intégralement le fluide A de la température initiale à 80 K.

[0013] Une solution permettant de limiter les pertes énergétiques lorsque la température T_{app} est élevée par rapport à la température du bain T_f consiste à utiliser une dérivation (dite « by-pass » en anglais) pour refroidir uniquement une partie du débit du fluide A.

[0014] Un tel système de régulation est représenté schématiquement sur la figure 2.

[0015] Dans ce système, la conduite 1 comprend une branche principale 12 et une branche de dérivation 11 de sorte à diviser le fluide A circulant dans la conduite 1 entre une partie A1 circulant dans la branche de dérivation 11 et une partie A2 qui circule dans la branche principale. La partie A1 circulant dans la branche de dérivation 11 est refroidie à la température T_f en passant dans un échangeur 3 baignant dans le fluide B, comme dans le système de la figure 1, tandis que la partie A2 circulant dans la branche principale reste à la température T_i . Le fluide A1 refroidi est ensuite mélangé au fluide A2 qui est resté à la température T_i . La nouvelle température atteinte pour le fluide A est notée T_m et dépend du débit massique du fluide refroidi à la température T_f . Comme dans le système de la figure 1, un réchauffeur 4 est utilisé afin d'obtenir la température désirée T_{app} .

[0016] On a dans ce cas : $T_f < T_m < T_{app} < T_i$.

[0017] Le débit passant dans la branche de dérivation doit être ajusté précisément en fonction de la température T_{app} et du débit initial du fluide A.

[0018] A cet effet, on utilise deux vannes cryogéniques 91, 92, respectivement dans la branche de dérivation 11 et dans la branche principale 12, pilotées de manière à réguler le débit passant par la branche de dérivation. Les deux vannes cryogéniques sont asservies de manière à équilibrer les pertes de charges dans les deux branches en parallèle.

[0019] L'utilisation d'une seule vanne peut être envisagée sur la branche principale mais engendre des difficultés de mise au point.

[0020] Ainsi l'utilisation de deux vannes cryogéniques pilotées ou d'une seule sur la branche principale peut être problématique pour des questions d'encombrement et/ou de coût, et ce, d'autant plus que le diamètre de la branche principale est important

Brève description de l'invention

[0021] Un but de l'invention est donc de concevoir un système qui permette de réguler la température d'un fluide cryogénique en limitant les pertes énergétiques et en simplifiant la mise en œuvre en minimisant le nombre de vannes nécessaires.

[0022] A cet effet, l'invention propose un système de régulation de la température d'un fluide cryogénique, comprenant une conduite de circulation du fluide cryogénique, comprenant une branche principale dans la-

quelle une partie du fluide cryogénique circule à une température initiale et une branche de dérivation dans laquelle une autre partie du fluide cryogénique est refroidie à une température finale inférieure à la température initiale, de sorte à former un mélange desdites parties du fluide cryogénique à une température comprise entre la température finale et la température initiale, ledit système étant caractérisé en ce que la branche principale comprend une canalisation comprenant successivement une partie convergente, un col de section inférieure à celle de la conduite et une partie divergente et en ce que la branche de dérivation est raccordée à ladite canalisation par un raccord amont situé en amont de la partie convergente et par un raccord aval situé au niveau du col, dans le sens de circulation du fluide cryogénique.

[0023] Dans le présent texte, les termes « amont » et « aval » s'entendent par rapport au sens d'écoulement du fluide dans la canalisation considérée.

[0024] De manière particulièrement avantageuse, la section du col est choisie pour générer par effet Venturi une dépression adaptée pour engendrer un débit déterminé de la partie du fluide dans la branche de dérivation.

[0025] Dans certains modes de réalisation, la branche de dérivation comprend en outre une vanne de contrôle du débit de la partie du fluide dans la branche de dérivation.

[0026] Dans certains modes de réalisation, la branche de dérivation comprend un échangeur thermique adapté pour être immergé dans un bain d'un liquide cryogénique à la température finale.

[0027] Dans d'autres modes de réalisation, la branche de dérivation comprend un échangeur thermique adapté pour être couplé thermiquement à une source froide cryogénique fonctionnant à la température finale.

[0028] Le système peut avantageusement comprendre en outre un réchauffeur adapté pour réchauffer le mélange des parties du fluide cryogénique à une température d'application supérieure à la température dudit mélange.

[0029] De manière particulièrement avantageuse, la branche principale est dépourvue d'une vanne de régulation du débit de fluide.

Breve description des dessins

[0030] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est un schéma de principe d'un système de régulation de la température d'un fluide cryogénique de type connu ;
- la figure 2 est un schéma de principe d'un autre système de régulation de la température d'un fluide cryogénique de type connu ;
- la figure 3 est un schéma de principe d'un système de régulation de la température d'un fluide cryogénique selon un mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 4 est un schéma de principe d'un système de régulation selon un autre mode de réalisation de l'invention.

5 **[0031]** Les signes de référence identiques d'une figure à l'autre désignent des éléments identiques ou remplissant la même fonction.

Description détaillée de modes de réalisation

10 **[0032]** La figure 3 est un schéma de principe d'un système de régulation de la température d'un fluide cryogénique selon un mode de réalisation de l'invention.

15 **[0033]** Le système comprend une conduite 1 alimentée par une source 7 d'un fluide cryogénique A à une température T_i . Une pompe de circulation 6 assure la circulation du fluide cryogénique dans la conduite 1.

[0034] La conduite 1 est agencée de sorte à refroidir un dispositif 2 à une température d'application T_{app} au moyen du fluide cryogénique. Parmi les exemples de dispositifs susceptibles d'être ainsi refroidis on peut citer, de manière non limitative : équipement supraconducteur (moteur, générateur), composants électroniques, amplificateur laser, ...

25 **[0035]** Le fluide cryogénique A peut être liquide ou gazeux. Par exemple, mais de manière non limitative, le fluide cryogénique A peut être choisi parmi : l'azote liquide (LN2), l'hélium liquide (LH2), l'hélium gazeux (GHe), l'azote gazeux (GN2), l'hydrogène gazeux (GH2).

30 **[0036]** La conduite 1 comprend une branche principale 12 et une branche de dérivation 11 permettant de séparer le fluide A en une partie A2 circulant dans la branche principale à la température initiale T_i et une partie A1 refroidie à une température finale T_f inférieure à T_i , puis de mélanger la partie A1 et la partie A2.

35 **[0037]** A cet effet, la branche de dérivation 11 comprend un bain d'un liquide cryogénique B à la température T_f . Le fluide A circulant dans la branche de dérivation 11 passe au travers d'un échangeur 3 immergé dans le bain du fluide B de sorte à être refroidi à une température sensiblement égale à T_f ou supérieure suivant la taille de l'échangeur utilisé. Le fluide B peut être par exemple mais de manière non limitative de l'azote liquide à une température de l'ordre de 80 K.

45 **[0038]** En aval dudit bain, la branche de dérivation 11 se raccorde à la branche principale 12, ce qui permet le mélange des parties A1 et A2 du fluide A, de sorte à procurer au fluide A une température T_m dépendant des températures T_i et T_f et des débits respectifs des parties A1 et A2.

50 **[0039]** A titre purement indicatif et non limitatif, la température d'application T_{app} est de l'ordre de 130 à 180 K, la température initiale T_i du fluide cryogénique est proche de T_{app} , la température finale T_f est de l'ordre de 80 K, la température T_m du mélange est également proche de T_{app} afin de limiter les pertes.

[0040] La liaison fluïdique entre la branche de dérivation et la branche principale est réalisée au moyen d'une

canalisation 8 comprenant successivement, dans le sens de circulation du fluide cryogénique, une portion convergente 8a, un col 8b et une portion divergente 8c.

[0041] La portion convergente 8a présente une section qui se réduit progressivement (généralement linéairement) de la section de la conduite 1 vers une section minimale qui est la section du col 8b ; la portion divergente 8c présente une section qui augmente progressivement (généralement linéairement) de la section du col 8b vers la section de la conduite 1.

[0042] La branche de dérivation est reliée fluidiquement à la branche principale par un raccord 80 situé en amont de la portion convergente 8a et un raccord 81 situé au niveau du col 8b.

[0043] Le fluide cryogénique A circulant dans la conduite 1 est donc divisé entre une partie A1 qui est prélevé en amont de la portion convergente 8a afin de circuler dans la branche de dérivation 11, et une partie A2 qui circule dans la canalisation 8 qui forme la branche principale 12.

[0044] Dans la canalisation 8, la restriction de section au niveau du col 8b crée une dépression par effet Venturi. La valeur de cette dépression peut être ajustée par la différence de section entre le col 8b et la conduite 1.

[0045] De ce fait, si la perte de charge dans la branche de dérivation 11 est égale à la dépression créée au niveau du col 8b, un écoulement de la partie A1 du fluide cryogénique peut être provoqué.

[0046] La valeur de la dépression est choisie pour que le débit de fluide dans la branche de dérivation soit suffisant pour obtenir une température T_m du mélange des parties A1 et A2 du fluide cryogénique suffisamment basse par rapport à la température T_{app} souhaitée.

[0047] Pour un débit donné, une partie A1 du fluide A est donc prélevée dans la conduite 1 pour passer dans l'échangeur 3 et réinjectée naturellement au niveau du col 8b, sans qu'il soit nécessaire de forcer cet écoulement, par exemple au moyen d'une pompe ou d'une vanne dans la branche principale.

[0048] Pour permettre de faire varier le débit de la partie A1 du fluide cryogénique et/ou la température T_m du mélange des parties A1 et A2, il peut être avantageux de mettre en place une vanne 9 de régulation du débit sur la branche de dérivation 11. Dans la mesure où le débit de dérivation et la section de la branche de dérivation sont relativement faibles, la taille de la vanne 9 utilisée dans la branche de dérivation est plus faible que la vanne utilisée dans la branche principale dans le système représenté sur la figure 2. Toute vanne cryogénique, manuelle ou pilotée, peut être utilisée à cet effet. Ladite vanne peut éventuellement être asservie aux débits et températures souhaitées.

[0049] En revanche, aucune vanne n'est nécessaire dans la branche principale 12.

[0050] Par conséquent, le système permet d'éviter les instabilités liées à l'ouverture et à la fermeture des vannes rencontrées dans le système représenté sur la figure 2.

[0051] De manière alternative au bain du liquide cryogénique B, le refroidissement du fluide circulant dans la branche de dérivation peut être effectué au moyen d'une source froide cryogénique fonctionnant à la température T_f .

[0052] Ce mode de réalisation est illustré sur la figure 4.

[0053] Hormis le moyen de refroidissement, le système de la figure 4 est similaire à celui de la figure 3 et ne sera donc pas décrit à nouveau.

[0054] La branche de dérivation 11 comprend un échangeur thermique 3 qui est couplé thermiquement à une source froide cryogénique 5, telle qu'un cryorefroidisseur, fonctionnant à la température T_f .

[0055] A la sortie de l'échangeur 3, la partie A1 du fluide cryogénique présente une température de l'ordre de T_f .

[0056] Par ailleurs, l'invention permet de découpler physiquement la source froide (bain de liquide cryogénique B ou machine cryogénique) de la boucle de circulation du fluide cryogénique A. Cela permet de découpler le dispositif à refroidir des sources de vibrations comme la machine cryogénique.

[0057] De plus, la source froide n'étant pas directement couplée à la circulation du fluide cryogénique, il est possible de réchauffer rapidement le dispositif en fermant la vanne 9, isolant ainsi l'injection de gaz froid dans la boucle.

Revendications

1. Système de régulation de la température d'un fluide cryogénique, comprenant une conduite (1) de circulation du fluide cryogénique (A), comprenant une branche principale (12) dans laquelle une partie (A2) du fluide cryogénique circule à une température initiale (T_i) et une branche de dérivation (11) dans laquelle une autre partie (A1) du fluide cryogénique est refroidie à une température finale (T_f) inférieure à la température initiale (T_i), de sorte à former un mélange desdites parties (A1, A2) du fluide cryogénique à une température (T_m) comprise entre la température finale (T_f) et la température initiale (T_i), ledit système étant **caractérisé en ce que** la branche principale (12) comprend une canalisation (8) comprenant successivement une partie convergente (8a), un col (8b) de section inférieure à celle de la conduite (1) et une partie divergente (8c) et **en ce que** la branche de dérivation (11) est raccordée à ladite canalisation (8) par un raccord amont (80) situé en amont de la partie convergente (8a) et par un raccord aval (81) situé au niveau du col (8b), dans le sens de circulation du fluide cryogénique.
2. Système selon la revendication 1, dans lequel la section du col (8b) est choisie pour générer par effet Venturi une dépression adaptée pour engendrer un débit déterminé de la partie (A1) du fluide dans la branche de dérivation (11).

3. Système selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel la branche de dérivation (11) comprend en outre une vanne (9) de contrôle du débit de la partie (A1) du fluide dans la branche de dérivation. 5
4. Système selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel la branche de dérivation (11) comprend un échangeur thermique (3) adapté pour être immergé dans un bain d'un liquide cryogénique (B) à la température finale (Tf). 10
5. Système selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel la branche de dérivation (11) comprend un échangeur thermique (3) adapté pour être couplé thermiquement à une source froide cryogénique (5) fonctionnant à la température finale (Tf). 15
6. Système selon l'une des revendications 1 à 5, comprenant en outre un réchauffeur (4) adapté pour réchauffer le mélange des parties (A1, A2) du fluide cryogénique à une température d'application (Tapp) supérieure à la température (Tm) dudit mélange. 20
7. Système selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel la branche principale (12) est dépourvue d'une vanne de régulation du débit de fluide. 25

30

35

40

45

50

55

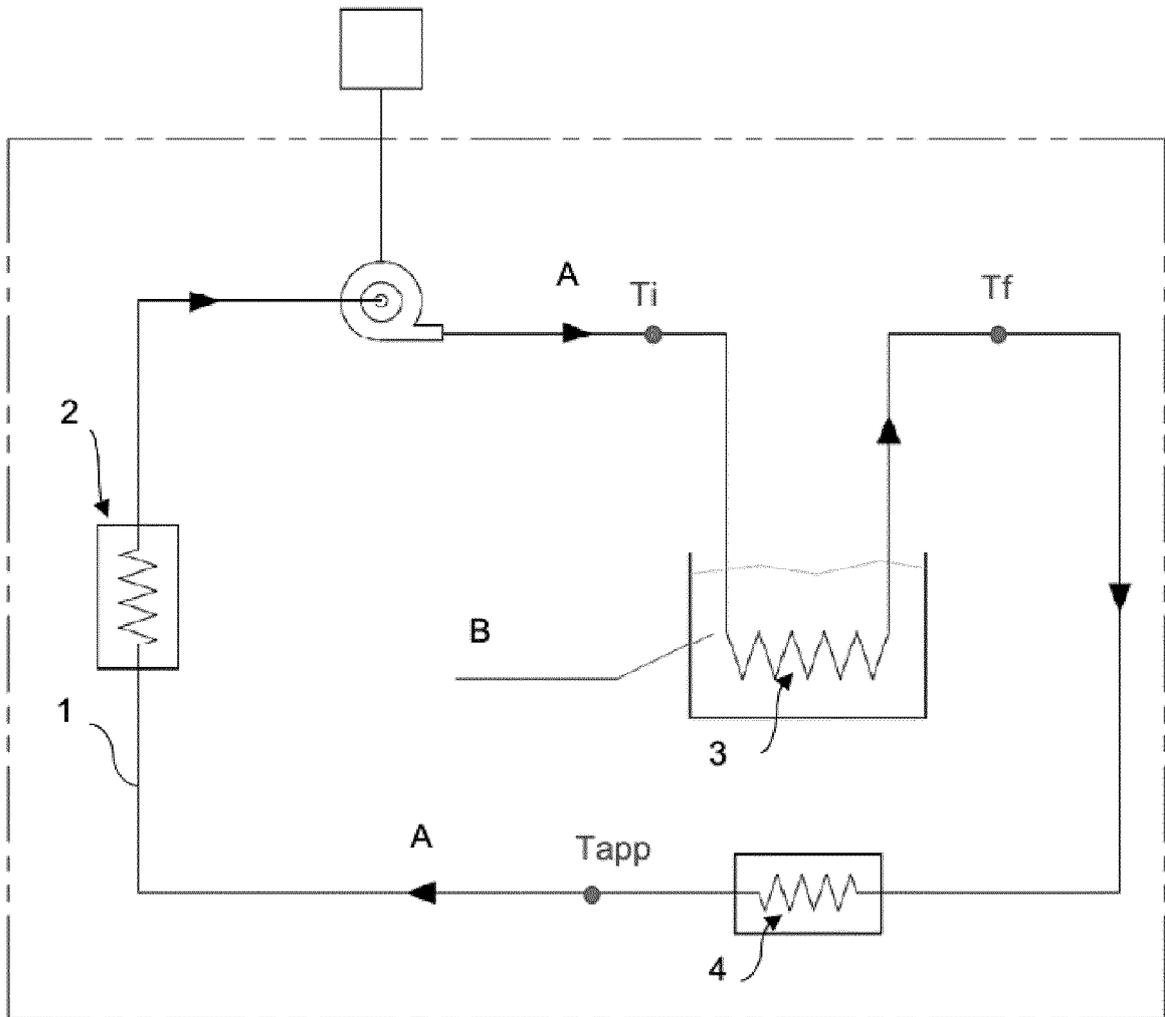


FIGURE 1

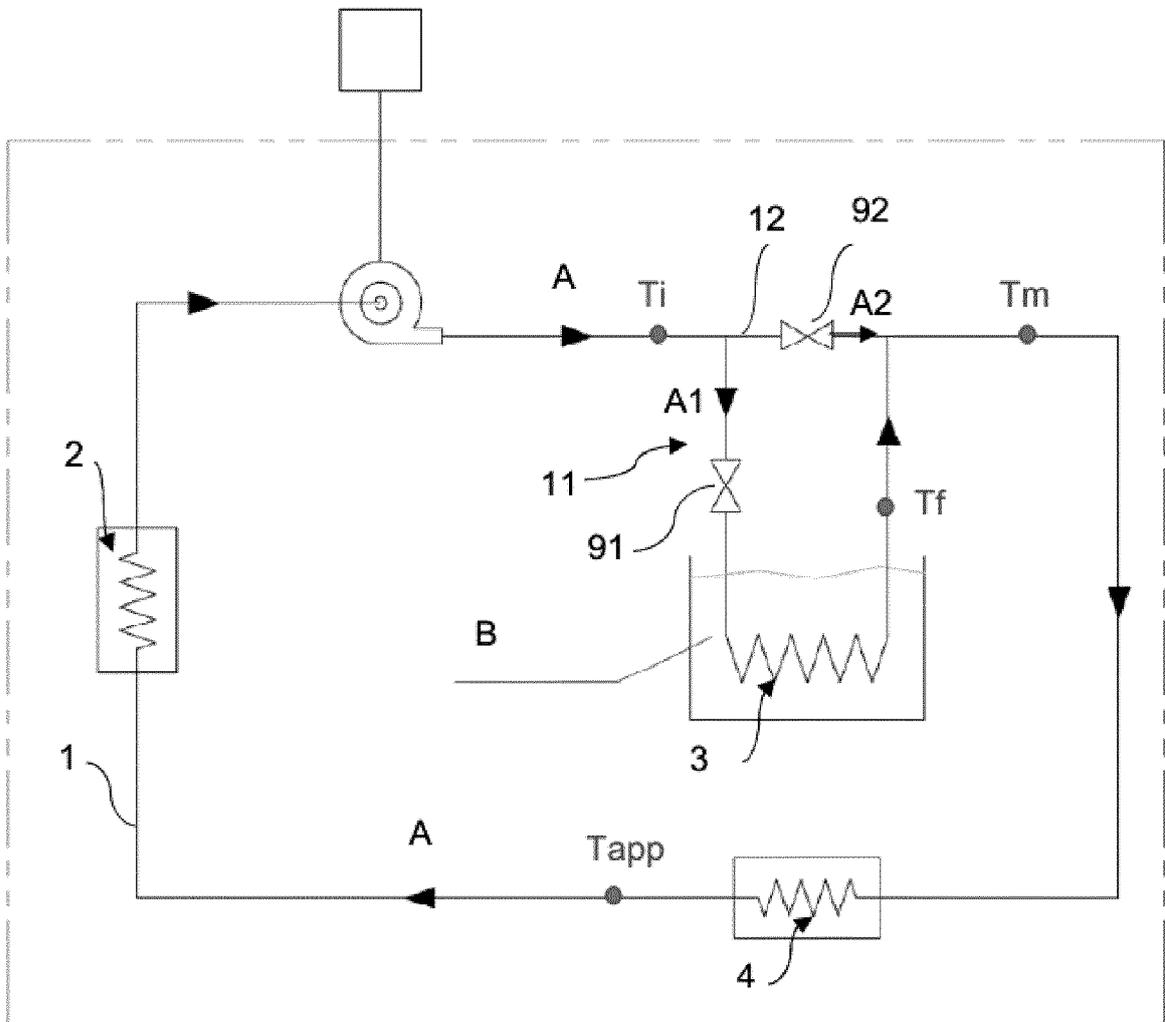


FIGURE 2

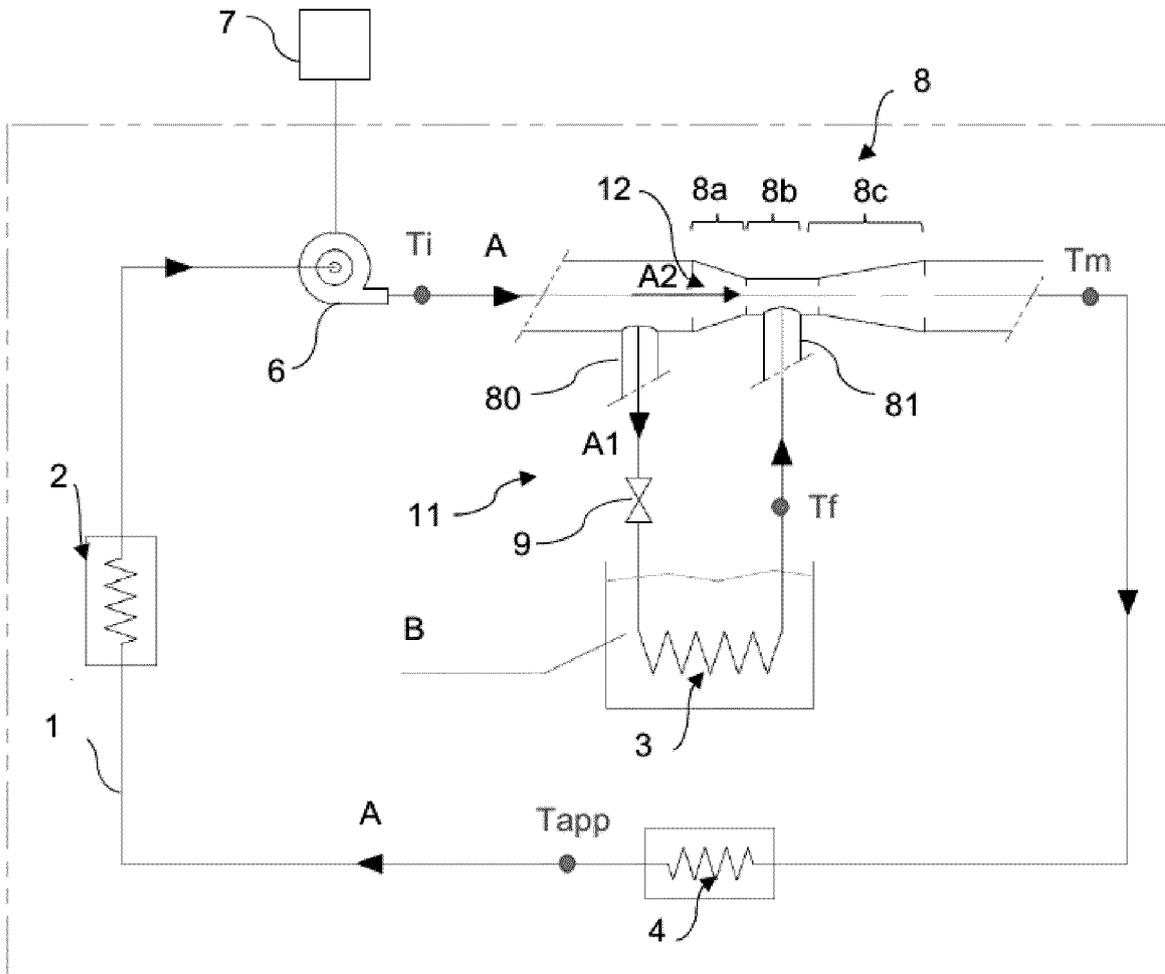


FIGURE 3

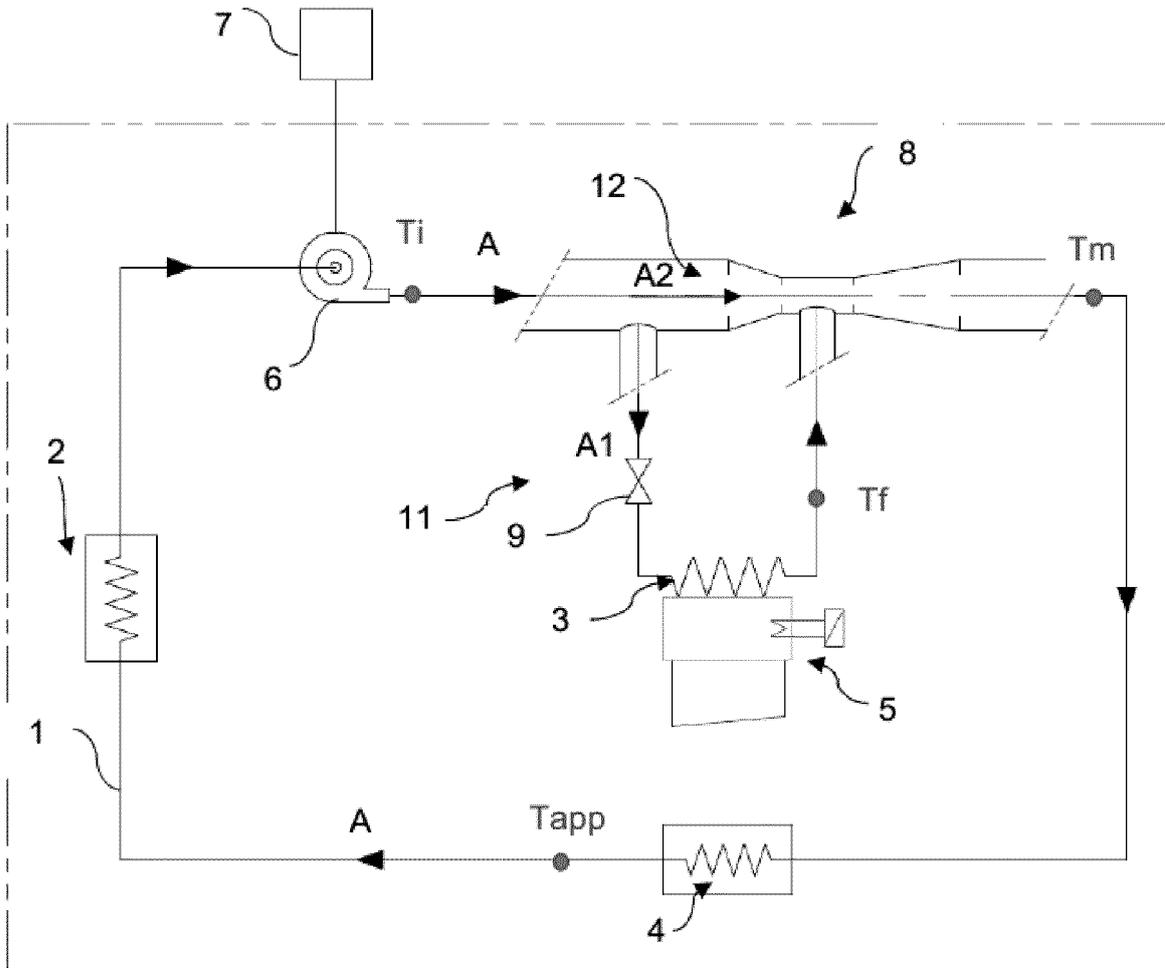


FIGURE 4



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 21 16 4132

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	FR 1 573 734 A (N. V. PHILIPS GLOEILAMPENFABRIKEN) 4 juillet 1969 (1969-07-04) * page 4, lignes 1-34; figure 1 * -----	1-7	INV. F25B9/00 F25B9/08 F25B23/00
A	US 3 442 093 A (RIETDIJK JOHAN ANDRIAAN) 6 mai 1969 (1969-05-06) * colonne 3, ligne 41 - colonne 4, ligne 69; figures 1-3 * -----	1-7	
A	US 3 932 158 A (HILDEBRANDT ULLRICH) 13 janvier 1976 (1976-01-13) * colonne 4 - colonne 6; figures 1-15 * -----	1-7	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F25B
1 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 31 mai 2021	Examineur Amous, Moez
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03.82 (F04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 21 16 4132

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

31-05-2021

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 1573734 A	04-07-1969	AT 283291 B	27-07-1970
		BE 718597 A	27-01-1969
		CH 489765 A	30-04-1970
		DE 1751665 A1	05-08-1971
		FR 1573734 A	04-07-1969
		GB 1230419 A	05-05-1971
		NL 6710358 A	29-01-1969
		SE 333385 B	15-03-1971
		US 3557566 A	26-01-1971
US 3442093 A	06-05-1969	BE 700822 A	02-01-1968
		CH 471975 A	30-04-1969
		DE 1551318 A1	19-03-1970
		FR 1543242 A	25-10-1968
		GB 1187457 A	08-04-1970
		NL 6609177 A	02-01-1968
		SE 313321 B	11-08-1969
		US 3442093 A	06-05-1969
US 3932158 A	13-01-1976	DE 2340702 A1	06-03-1975
		JP S5072235 A	14-06-1975
		JP S5511863 B2	28-03-1980
		NL 7410732 A	12-02-1975
		US 3932158 A	13-01-1976

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82