

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 27.06.13.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 02.01.15 Bulletin 15/01.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES C N E S Etablissement public — FR, ASSOCIATION SUPELEC Association loi de 1901 — FR, CONCEPTION DE SYSTEMES ET TECHNOLOGIE MECANIQUE (CSTM) Société à responsabilité limitée — FR et JEANBLANC GERARD — FR.

72 Inventeur(s) : TATIOSSIAN PASCAL, DUGUE FRANCOIS, JEANBLANC GERARD, PONS MICHEL et SIGUERDIDJANE HOURIA.

73 Titulaire(s) : CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES C N E S, ASSOCIATION SUPELEC Association loi de 1901, CONCEPTION DE SYSTEMES ET TECHNOLOGIE MECANIQUE (CSTM), JEANBLANC GERARD.

74 Mandataire(s) : CABINET BARRE LAFORGUE ET ASSOCIES.

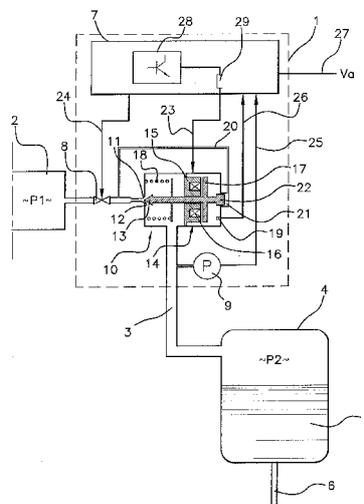
54 DETENDEUR A COMMANDE ELECTRONIQUE.

57 L'invention concerne un détendeur (1) à commande électronique, comportant une vanne (10) commandée, insérée entre une source (2) de fluide à une première pression (P1) et une sortie (3) de fluide à une seconde pression (P2), comprenant une restriction (11) continument variable de la section de passage du fluide et un actionneur (14), un capteur de pression (9) pour mesurer la seconde pression et un calculateur (7) de commande adapté pour :

déterminer une section de passage de consigne en fonction d'un écart entre la seconde pression (P2) et la pression de consigne,

commander une variation continue de la section de passage si la section de passage de consigne appartient à une première plage de valeurs de section de passage, ou

commander une variation alternée de la section de passage entre une section de passage maximale prédéterminée et une section de passage minimale prédéterminée, à une fréquence et selon un rapport cyclique propres à générer une perte de charge moyenne équivalente à la perte de charge qui aurait été générée par la section de passage de consigne, si celle-ci appartient à une seconde plage de valeurs de section de passage, inférieure à la première plage.



DÉTENDEUR À COMMANDE ÉLECTRONIQUE

L'invention concerne un détendeur à commande électronique, et plus particulièrement un tel détendeur adapté pour réguler la pression d'un fluide en aval du détendeur. En particulier, le détendeur de l'invention comporte une
5 commande électronique et est adapté pour fonctionner à bord d'engins spatiaux.

Les satellites et autres engins spatiaux comportent pour la plupart des moteurs destinés à corriger leur position sur l'orbite et à effectuer certains mouvements requis par le contrôle au sol. Ces moteurs sont généralement alimentés par des mélanges de carburant / comburant liquides contenus dans des
10 réservoirs pressurisés à une pression sensiblement constante, dans une gamme de 2 à 5 MPa (20 à 50 bar) afin de maîtriser le débit des injecteurs des moteurs. Afin de maintenir cette pression constante malgré la variation de quantité de liquide dans le réservoir, on prévoit en général une source de fluide, en général de l'hélium, sous une pression beaucoup plus élevée que celle des réservoirs pressurisés, par exemple
15 de l'ordre de 40 MPa (400 bar), cette source étant reliée au(x) réservoir(s) par l'intermédiaire d'un (ou plusieurs) détendeur(s) adapté(s) pour ramener la pression de la source de fluide à la pression désirée dans le réservoir pressurisé et réguler cette dernière.

A noter qu'à bord des engins spatiaux, la source de pression
20 élevée est également un réservoir de volume fini et la pression à l'intérieur varie au cours de la durée d'exploitation de l'engin jusqu'à une pression en fin de vie de l'ordre de 7,5 MPa (75 bar).

On a utilisé jusqu'à présent des détendeurs mécaniques calibrés avec soin pour réaliser cette régulation de pression dans les réservoirs de
25 carburant / comburant. Cependant, ces détendeurs mécaniques nécessitent des usinages précis (donc coûteux) et utilisent des pièces telles que des soufflets dont la fiabilité, la précision et la reproductibilité sont limitées dans le temps.

De plus, les différentes conditions d'exploitation sont variables en fonction des différents engins sur lesquels le système de pressurisation est monté ainsi qu'en fonction des différents profils de mission pour lesquels ils
30 sont prévus, entraînant pour chacune de ces conditions un besoin pour un nouveau

détendeur. En outre, au cours de l'élaboration d'un même engin, des modifications peuvent apparaître qui entraînent alors nécessairement des modifications de calibration et des délais de mise au point.

5 Par ailleurs, ces détendeurs mécaniques sont susceptibles de se colmater lorsqu'ils fonctionnent à faible débit / forte perte de charge, soit à cause du givre généré par la détente du fluide, soit encore en présence de poussières solides qui peuvent obturer la faible section de passage du fluide.

10 On a donc pensé à améliorer l'adaptabilité des détendeurs en utilisant des détendeurs à commande électronique, comme par exemple un détendeur du type du régulateur de gaz connu du document US 6,003,543 utilisé pour réguler le débit massique d'un gaz combustible alimentant un moteur à combustion interne. Dans ce régulateur à commande électronique, un calculateur détermine une pression de consigne en aval du régulateur à partir des conditions de fonctionnement du moteur et commande une vanne à solénoïde entre un état
15 pleinement ouvert et un état complètement fermé selon un signal à modulation de largeur d'impulsion de manière à asservir la pression mesurée en aval de la vanne à la pression de consigne calculée.

Cependant, si un tel régulateur peut donner satisfaction pour une application en milieu automobile avec des pressions inférieures d'un ordre de
20 grandeur aux pressions utilisées dans les engins spatiaux, il ne peut convenir à l'application spatiale où les pressions et donc les efforts de commande de la vanne sont bien supérieurs, où l'absence de maintenance ne permet pas le remplacement d'une vanne usée par les chocs répétés à la fermeture et où les vibrations et les oscillations de pression générées par ce type de commande de la vanne sont
25 susceptibles d'entraîner des défaillances dans les équipements voisins et / ou associés.

L'invention vise donc un détendeur à commande électronique adapté pour pouvoir fonctionner dans les conditions régnant à bord d'engins spatiaux, qui soit susceptible d'être aisément et rapidement ajusté et/ou modifié
30 dans ses caractéristiques de fonctionnement, tant au cours de sa fabrication ou de

son installation que, le cas échéant, pendant sa durée de service et qui présente une fiabilité et une durabilité compatibles avec les missions des engins qu'il équipe.

L'invention vise également un détendeur à commande électronique dont la partie mécanique ne nécessite pas d'usinage très précis et qui
5 puisse couvrir une large gamme de besoins.

L'invention vise également un détendeur à commande électronique dont la commande puisse être effectuée par un calculateur ne nécessitant pas l'usage de microprocesseurs susceptibles d'être perturbés en environnement spatial.

10 L'invention vise aussi un détendeur à commande électronique dans lequel la perte de charge générée entraîne aussi peu d'oscillation de pression ou de débit que possible.

L'invention vise encore un tel détendeur qui soit continument réglable dans une large plage de pression (respectivement de perte de charge).

15 L'invention vise en outre un tel détendeur qui soit tolérant aux éventuelles pollutions susceptibles d'être présentes dans les fluides considérés et entraînés par eux.

L'invention vise encore un tel détendeur qui puisse être alimenté en énergie électrique par un réseau de bord non régulé sans affecter
20 sensiblement sa précision.

Dans le texte qui suit, on emploie le terme « continu » par opposition à l'expression « en tout ou rien ». On définit ainsi une variation continue d'un paramètre (position, section, surface, etc.) comme résultant de l'ajout (ou du retrait) d'un incrément du paramètre lui-même par opposition à la variation de la
25 valeur moyenne du paramètre résultant d'une modification du rapport cyclique de l'alternance du paramètre lui-même entre deux valeurs minimale et maximale discrètes, même si le passage d'une valeur à l'autre peut être considéré comme « continu » au sens mathématique du terme.

L'invention concerne donc un détendeur à commande
30 électronique, du type comportant une vanne commandée insérée entre une source de fluide à une première pression et une sortie de fluide à une seconde pression, la

seconde pression étant inférieure à la première pression, un capteur de pression adapté pour mesurer la seconde pression et un calculateur de commande adapté pour commander la vanne de telle sorte que la vanne génère une perte de charge entre la source de fluide et la sortie permettant d'asservir la seconde pression à une
5 pression de consigne, caractérisé en ce que :

- la vanne commandée comprend un actionneur adapté pour entraîner un organe de restriction d'une section de passage du fluide de manière à faire varier ladite section de passage de façon continue,

- le calculateur de commande est adapté pour :

10 • déterminer une section de passage de consigne en fonction d'un écart entre la seconde pression et la pression de consigne,

• commander une variation continue de la section de passage en direction de la section de passage de consigne lorsque celle-ci appartient à une première plage de valeurs de section de passage, ou

15 • commander une variation alternée de la section de passage entre une section de passage maximale prédéterminée et une section de passage minimale prédéterminée, à une fréquence et selon un rapport cyclique propres à générer une perte de charge moyenne équivalente à la perte de charge qui aurait été générée par la section de passage de consigne, lorsque celle-ci appartient à une seconde plage de
20 valeurs de section de passage, inférieure à la première plage.

Grace à une première boucle d'asservissement de la section de passage en fonction de l'écart de pression relevé entre la pression de consigne et la pression mesurée, le détendeur selon l'invention s'affranchit des tolérances affectant les pièces mécaniques telles que les variations dimensionnelles des
25 organes de restriction (pointeau et siège par exemple) ou les variations de raideur des ressorts ou des soufflets, etc.

En outre, l'utilisation combinée d'une vanne commandée capable d'une variation continue de sa section de passage, et d'une commande de cette variation en mode continu lorsque l'écart entre la pression mesurée et la
30 pression de consigne est important et nécessite un fort débit (ou respectivement une

faible perte de charge) pour compenser cet écart, permet d'éviter des oscillations de pression prononcées qui seraient occasionnées par une commande en tout ou rien.

Par contre, dès que l'écart de pression diminue et que, pour augmenter la perte de charge dans le détendeur, la section de passage doit être
5 réduite au point de risquer d'être obstruée par des poussières et/ou du givre causé par la forte détente du fluide, cette section de passage oscille entre une valeur maximale et une valeur minimale avec une fréquence et un rapport cyclique permettant de régler la perte de charge moyenne à la valeur désirée sans risquer le colmatage de la section de passage.

10 On note que si le terme « section de passage » se réfère à l'aire de la zone de passage du fluide au travers de l'organe de restriction, il doit également être compris en relation avec la dimension de la plus petite distance entre les différentes parties de l'organe de restriction déterminant le passage du fluide lorsque l'on évoque le risque d'obstruction de ce passage. Ainsi, par exemple la
15 section de passage est déterminée au moins en partie par la distance minimale entre les parois d'un pointeau et d'un siège pour un organe de restriction du type pointeau/siège, ou encore par le diamètre du cercle inscrit dans l'ouverture d'un diaphragme pour un organe de restriction en forme de diaphragme réglable, etc. C'est cette distance minimale qui fixe la limite entre les plages de valeurs de la
20 section de passage en fonction de la qualité du fluide, en particulier de ses caractéristiques thermodynamiques (pour le givrage éventuel), de sa teneur en particules et de la dimension desdites particules.

Avantageusement et selon l'invention, l'organe de restriction comprend un orifice de passage du fluide et un organe obturateur placé dans l'axe
25 de l'orifice et agencé pour qu'un déplacement axial de l'organe obturateur entraîne une variation de la section de passage du fluide. Le choix d'une restriction variable du type axial, comme par exemple un organe de restriction du type pointeau conique venant en regard d'un siège circulaire ou conique, permet d'associer cette restriction avec un actionneur à déplacement axial et ainsi de faciliter le calcul et la
30 commande de la section de passage du fluide.

Avantageusement et selon l'invention, le détendeur comporte un capteur de position de l'organe obturateur et le calculateur de commande est adapté pour déterminer la section de passage de fluide en fonction de la position axiale de l'organe obturateur mesurée par le capteur de position. Dès lors, il n'est plus nécessaire de réaliser un asservissement en fonction de la section de passage du fluide et il est possible de simplifier le calculateur pour réaliser un asservissement en fonction de la position de l'organe obturateur qui peut être directement mesurée.

Avantageusement et selon l'invention, l'actionneur est un actionneur électromagnétique à réluctance variable comprenant une armature ferromagnétique fixe, un bobinage d'aimantation solidaire de cette armature et un équipage mobile en translations alternatives, solidaire de l'organe obturateur, l'actionneur étant agencé pour qu'un déplacement de l'équipage mobile entraîne un déplacement axial de l'organe obturateur par rapport à l'orifice de passage du fluide. L'actionneur utilisé présente l'avantage d'offrir une meilleure compacité et une masse plus réduite, à puissance équivalente, que d'autres types d'actionneurs linéaires tels que les actionneurs piézo-électriques ou électrodynamiques à aimants permanents.

Avantageusement et selon l'invention, le détendeur comporte en outre un dispositif élastique adapté pour rappeler l'organe obturateur dans une position telle que l'équipage mobile est distant de l'armature ferromagnétique fixe. De cette manière, la position par défaut du détendeur en l'absence d'alimentation peut être déterminée soit en position ouverte soit en position fermée en fonction de l'utilisation envisagée de manière à minimiser les conséquences d'une éventuelle défaillance de commande.

Avantageusement et selon l'invention, le calculateur est adapté pour commander la position de l'organe obturateur en alimentant l'actionneur par un signal de tension en modulation de largeur d'impulsion de fréquence suffisamment élevée pour entraîner un déplacement continu de l'organe obturateur et de rapport cyclique déterminé en fonction d'une position de consigne correspondant à la section de passage de consigne. De cette manière, compte tenu de l'inertie de l'équipage mobile, le détendeur selon l'invention présente l'avantage

d'un déplacement continu de l'organe obturateur tout en conservant la facilité de commande par commutation du signal d'alimentation, qui réduit ainsi la dissipation thermique dans le calculateur de commande.

Avantageusement et selon l'invention, le calculateur comporte
5 une boucle d'asservissement par retour d'état adaptée pour déterminer le rapport cyclique du signal de tension en fonction d'une erreur de position entre la position mesurée et la position de consigne, d'une dérivée temporelle de ladite erreur et d'une mesure de l'intensité du courant circulant dans le bobinage d'aimantation. Grâce à cette commande par retour d'état, le détendeur peut être piloté avec
10 précision et de manière immune à la plupart des perturbations externes. En particulier, l'adjonction d'une variable d'état représentant le courant dans l'actionneur permet de s'affranchir des problèmes que génère un réseau d'alimentation non régulé.

Avantageusement et selon l'invention, la boucle
15 d'asservissement par retour d'état est complétée par un correcteur PID parallèle à ladite boucle. L'utilisation d'un correcteur proportionnel, intégral et dérivé permet de compenser efficacement les erreurs de modélisation de l'actionneur et de simplifier ainsi le modèle utilisé par la commande par retour d'état sans détériorer la précision et la robustesse de l'asservissement.

Avantageusement et selon l'invention, lorsque la section de
20 passage de consigne appartient à la seconde plage de valeurs, le calculateur est adapté pour :

- élaborer une première position de consigne secondaire, dite
consigne d'ouverture, correspondant à la section de passage maximale
25 prédéterminée,

- élaborer une seconde position de consigne secondaire, dite
consigne de fermeture, correspondant à la section de passage minimale
prédéterminée,

- faire alterner lesdites positions de consignes secondaires à une
30 fréquence suffisamment faible pour permettre le suivi des consignes par l'actionneur et avec un rapport cyclique, dit rapport cyclique des consignes, propre

à générer une perte de charge moyenne équivalente à la perte de charge qui aurait été générée par la section de passage de consigne.

De cette manière, pour les faibles débits / fortes pertes de charge dans le détendeur, c'est-à-dire lorsque la section de passage de consigne est faible et susceptible d'être obstruée, ce risque est évité en commandant périodiquement un déplacement de l'organe d'obturation entre deux positions de consigne extrêmes.

Avantageusement et selon l'invention, les consignes d'ouverture et de fermeture sont déterminées de manière à éviter le contact en butée de l'organe obturateur et de l'équipage mobile. Grâce au déplacement continu de l'organe obturateur qui suit les consignes de position secondaires, il est possible de choisir ces positions de manière à éviter que l'organe obturateur ne vienne en contact en butée contre le bord de l'orifice de passage et ne risque de causer une usure ou une déformation permanente de ces pièces.

Avantageusement et selon l'invention, la consigne d'ouverture est déterminée de manière à réduire au moins en partie la section de passage maximale prédéterminée afin d'augmenter le rapport cyclique des consignes. En réduisant la section de passage maximale, on augmente la perte de charge dans le détendeur pendant la partie du cycle où cette consigne est suivie et à rapport cyclique égal, on augmente la perte de charge moyenne ou bien, pour une perte de charge moyenne prédéterminée, on augmente le rapport cyclique des consignes, facilitant ainsi le suivi de celles-ci par l'actionneur.

Avantageusement et selon l'invention, dans une variante alternative du mode de commande, lorsque la section de passage de consigne appartient à la seconde plage de valeurs, le calculateur est adapté pour alimenter l'actionneur par un signal de tension rectangulaire, de fréquence adaptée pour permettre le déplacement de l'équipage mobile entre ses positions extrêmes et avec un rapport cyclique propre à générer une perte de charge moyenne équivalente à la perte de charge qui aurait été générée par la section de passage de consigne. Dans cette variante, la commande est très simplifiée, cependant l'équipage mobile est

déplacé alternativement en butée contre l'orifice de passage d'une part et en butée du dispositif élastique de rappel d'autre part.

Avantageusement et selon l'invention, le détendeur comporte un dispositif de compensation au moins partielle des efforts exercés par la pression du fluide sur l'organe obturateur. En ramenant la pression amont du détendeur dans un dispositif de compensation par exemple formé d'un cylindre dans lequel un piston solidaire de l'équipage mobile est poussé dans une direction opposée à l'effort exercé par la pression sur l'organe obturateur, la force à fournir est minimisée et la taille de l'actionneur peut être réduite. De même, la commande de l'actionneur peut s'affranchir au moins en partie de ces efforts et en est donc facilitée.

Avantageusement et selon l'invention, le détendeur comporte en outre une électrovanne insérée en série entre la source de fluide et l'organe de restriction, ladite électrovanne étant adaptée pour être commandée par le calculateur de commande pour fermer de manière étanche le passage de fluide au travers du détendeur. Cette électrovanne permet d'assurer une étanchéité supérieure à celle qui pourrait être réalisée par l'organe obturateur seul, et permet d'utiliser un organe de restriction présentant une position ouverte par défaut sans affecter la fiabilité de l'ensemble.

D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au vu de la description qui va suivre et des dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement un détendeur selon l'invention dans une application de pressurisation d'un réservoir,
- la figure 2 est un schéma-bloc de la commande du détendeur,
- les figures 3a et 3b sont des graphes permettant d'explicitier deux modes de commande du détendeur à faible débit.

Le détendeur 1 à commande électronique représenté à la figure 1 est placé en série entre une source 2 de fluide sous une première pression P1, par exemple un réservoir d'hélium sous une pression de 40 MPa (400 bar) et une sortie 3 de fluide connectée à un réservoir 4 contenant un liquide 5, par exemple un

carburant ou un comburant liquide, susceptible d'alimenter un moteur via une conduite de sortie 6. Le réservoir 4 est pressurisé à la pression P2.

Le détendeur 1 comprend une vanne 10 commandée comportant un organe 11 de restriction placé en série avec l'entrée du fluide dans la vanne 10 en provenance de la source 2 de fluide. Dans l'exemple représenté, l'organe 11 de restriction se présente sous la forme d'un organe obturateur, en l'occurrence un pointeau 13 conique se déplaçant dans l'axe d'un orifice 12 qui peut être conique ou cylindrique. Le pointeau 13 est solidaire d'un équipage 17 mobile formant partie d'un actionneur 14 à reluctance variable qui comprend également une armature 15 ferromagnétique fixe (par rapport au corps de la vanne 10) à l'intérieur de laquelle est fixé un bobinage 16 d'aimantation en fils de cuivre par exemple. Un tel actionneur est par exemple décrit plus en détail dans la demande de brevet FR 2 916 103 de la demanderesse, à laquelle on pourra se reporter pour plus de détails. Lorsqu'un courant électrique circule dans le bobinage 16, l'équipage 17 mobile est attiré par l'armature 15, entraînant le pointeau 13 en direction de l'orifice 12 et réduisant ainsi la section de passage du fluide issu de la source 2. Lorsque le courant cesse de circuler, un dispositif de rappel, constitué ici par un ressort 18 placé entre le corps de la vanne 10 et une collerette formée sur l'axe du pointeau 13, rappelle l'équipage 17 mobile à distance de l'armature 15 fixe et le pointeau 13 s'éloigne de l'orifice 12, agrandissant ainsi la section de passage du fluide.

Bien entendu, cet agencement de la vanne 10 commandée est donné à titre d'exemple d'un mode de réalisation préféré dans lequel la position de repos de la vanne correspond à la pleine ouverture de celle-ci. D'autres agencements peuvent être envisagés, par exemple avec un ressort de rappel pressant le pointeau contre son siège et l'actionneur 14 agissant de manière antagoniste pour ouvrir la vanne 10 pour réaliser une vanne dont la position de repos est normalement fermée. Le dispositif de rappel peut également être constitué d'un autre actionneur identique à l'actionneur 14, placé et commandé en opposition avec celui-ci, permettant ainsi d'obtenir une vanne 10 commandée présentant deux états stables.

Bien d'autres possibilités de réalisation de l'organe 11 de restriction peuvent être employées sans sortir de l'invention, comme par exemple une restriction à tiroir linéaire ou à boisseau rotatif, un diaphragme, un clapet, un papillon, etc. De même, d'autres types d'actionneurs peuvent être envisagés, tels qu'un moteur électrique (pas à pas, à courant continu, etc.), un vérin à vis ou thermique, un actionneur piézoélectrique, un actionneur électrodynamique à aimants permanents, etc.

La vanne 10 commandée comporte également un dispositif de compensation des efforts exercés par la pression du fluide sur le pointeau 13, dispositif constitué par exemple par un cylindre 21 ménagé dans le corps de la vanne 10 selon l'axe du pointeau 13 et recevant un piston 22 solidaire du pointeau 13 et de l'équipage mobile 17, coulissant dans le cylindre 21. Une prise de pression 20 prélève du fluide à la pression P1 en amont de l'organe 11 de restriction et alimente le cylindre 21 de manière à exercer sur le piston 22 une poussée antagoniste à l'effort exercé par la pression d'entrée sur le pointeau 13 en vue de compenser au moins partiellement cet effort.

Le détendeur 1 comporte, outre la vanne 10 commandée, un calculateur 7 adapté pour commander la vanne 10 par l'intermédiaire d'une ligne de commande 23 de l'actionneur 14 contrôlant la circulation du courant dans le bobinage d'aimantation 16. Le calculateur 7 est alimenté par un réseau d'alimentation 27 en courant continu, susceptible de ne pas être régulé et pouvant varier entre des tensions d'alimentation V_a de 45V à 60V. Le calculateur 7 comprend également, outre les moyens de calcul qui seront décrits fonctionnellement par la suite, un hacheur 28, par exemple un pont en H, adapté pour alimenter l'actionneur par un courant haché dont la tension peut varier entre $+V_a$ et $-V_a$. Le calculateur comprend aussi des moyens de mesure 29 de l'intensité du courant circulant dans le bobinage d'aimantation 16.

Le détendeur 1 comprend également une électrovanne 8, placée en série entre la source 2 de fluide et l'entrée de la vanne 10, adaptée pour assurer une fermeture étanche du passage de fluide sous la commande du calculateur 7 via une ligne de commande 24 de l'électrovanne 8. Cette électrovanne

8 permet d'assurer l'étanchéité de la source de fluide lorsque la vanne 10 est au repos en position ouverte.

Le détendeur 1 comprend de plus un capteur de pression 9, adapté pour mesurer la pression P2 en aval de la vanne 10, par exemple par une prise de pression débouchant dans la sortie de fluide 3. Le capteur de pression 9
5 fournit un signal représentatif de la pression P2 au calculateur 7 par l'intermédiaire d'une ligne de mesure 25.

Un capteur de position 19, par exemple fixé sur le corps de la vanne 10, fournit au calculateur 7, via une ligne de mesure 26, un signal
10 représentatif de la position de l'équipage mobile 17 et donc du pointeau 13 par rapport à l'orifice 12, permettant ainsi au calculateur 7 de déterminer la section de passage du fluide dans l'organe 11 de restriction. Le capteur de position 19 peut être de tout type connu, de préférence sans contact, comme un capteur inductif par exemple. La position mesurée est de préférence une position absolue (par rapport au
15 capteur lui-même) mais dans la suite du texte, on utilisera également des termes relatifs tels que déplacement signifiant une variation de la position absolue entre une mesure actuelle et une mesure précédente.

Le détendeur 1 est adapté pour fonctionner de la manière suivante : la pression P2 en sortie du détendeur 1 est comparée avec une pression de
20 consigne Pc dans un sommateur 30 (figure 2). L'erreur de pression est transmise à un bloc 31 de détermination de la position de consigne Xc à appliquer à l'équipage mobile en vue d'obtenir une section de passage de consigne Sc du fluide permettant de compenser cette erreur de pression. Bien entendu, lorsque la relation entre la section de passage S du fluide et la position X de l'équipage mobile est connue et
25 biunivoque, le bloc 31 détermine directement la position de consigne Xc.

Lorsque la position de consigne Xc ainsi déterminée appartient à une première plage de valeurs correspondant à une section de passage suffisamment grande pour qu'il n'y ait pas de risque de colmatage de section de passage, soit par un givrage du fluide dû à une chute de température causée par une
30 trop forte détente, soit par des particules ou des poussières véhiculées par le fluide

ou pour toute autre cause, la position de consigne X_c est transmise sans modification aux étages ultérieurs.

La position de consigne X_c est transmise d'une part à un bloc 34 de commande par retour d'état adapté pour fournir une première commande partielle u_1 à un sommateur 35.

Le bloc 34 de commande par retour d'état reçoit des variables d'état décrivant l'état de l'actionneur 14, en l'occurrence l'intensité du courant i traversant le bobinage d'aimantation 16, mesuré par les moyens de mesure 29 et la position mesurée X de l'équipage mobile 17 telle que mesurée par le capteur de position 19. Une autre variable d'état représentative de la vitesse de déplacement de l'équipage mobile 17 est obtenue à partir de la position mesurée par dérivation par rapport au temps dans le dérivateur 36 du déplacement tiré de la différence entre la position mesurée actuelle et celle mesurée à l'instant précédent.

Le bloc 34 de commande par retour d'état comporte de manière connue en elle-même, un modèle du système comprenant l'actionneur 14, le ressort 18 et le dispositif de compensation des efforts de pression (prise de pression 20, cylindre 21 et piston 22). Cependant, compte tenu de la difficulté de modéliser complètement ce système sur toute la course de l'actionneur 14 et pour limiter la complexité du bloc 34, il a été choisi d'utiliser un modèle de l'actionneur 14 en un seul point de sa course (modèle tangent) et de compléter la commande partielle élaborée par le bloc 34 au moyen d'une boucle de régulation proportionnelle, intégrale et dérivée parallèle réalisée par le correcteur PID 33.

Le correcteur PID 33 fournit une seconde commande partielle u_2 à partir de l'erreur de position calculée par le sommateur 32 entre la position de consigne X_c et la position mesurée X .

La combinaison des commandes partielles u_1 et u_2 dans le sommateur 35 permet d'obtenir une commande u , déterminant la période T_1 et le rapport cyclique τ de commande du hacheur 28. Le signal de commande élaboré par le hacheur 28 est appliqué à l'actionneur 14 de la vanne 10.

Pour des raisons de simplification, l'actionneur 14 est représenté sur la figure 2 par un premier bloc, dit bloc bobinage 37 représentatif des

aspects électriques et un deuxième bloc, dit bloc actionneur 38 représentatif des aspects mécaniques du système.

En fonction de la période T_1 , du rapport cyclique τ et de la tension d'alimentation V_a , le hacheur 28 fournit un courant moyen i au bobinage
5 16, courant mesuré par les moyens de mesure 29. Grâce au retour d'état de la variable intensité du courant dans le bloc 34 de commande par retour d'état, les éventuelles fluctuations de la tension d'alimentation V_a peuvent être compensées.

Le courant moyen i détermine un effort d'attraction de l'équipage mobile 17 en direction de l'armature 15 fixe. La combinaison des
10 différents efforts générés par l'attraction magnétique, le ressort 18, les frottements éventuels et le dispositif de compensation des efforts de pression déterminent une position X de l'équipage mobile 17, position mesurée par le capteur de position 19 et renvoyée d'une part au sommateur 32 pour former avec la position de consigne X_c l'erreur de position introduite dans le correcteur PID 33 et d'autre part au bloc
15 34 de commande par retour d'état.

La période T_1 du signal de commande issu du hacheur 28 est choisie de telle sorte que la fréquence de la commande soit supérieure à la fréquence de coupure mécanique du système de l'actionneur 14. Ainsi, en raison de l'inertie du système mécanique, le déplacement de celui-ci ne suit pas les variations
20 instantanées de l'effort d'attraction mais suit de manière continue la valeur de la consigne de position X_c . A titre d'exemple, une vanne 10 commandée dans laquelle l'actionneur 14 développe un effort d'attraction de l'ordre de 400 N pour une position de l'équipage mobile 17 à 0,5 mm de l'armature fixe présente une fréquence de coupure de l'ordre de 200 Hz à 1000 Hz. Dès lors, la position
25 instantanée de l'équipage mobile 17 et donc du pointeau 13 en regard de l'orifice 12 ne dépend que du rapport cyclique τ du signal de commande.

Le bloc vanne 39 du schéma de la figure 2 représente l'aspect pneumatique du système de la vanne 10 commandée, dans lequel la position X réelle du pointeau 13 par rapport à l'orifice 12 se traduit en une perte de charge
30 appliquée à la pression P_1 en amont de la vanne 10 pour asservir la pression P_2 en aval de la vanne 10 à la pression de consigne P_c .

On constate ainsi que la commande électronique du détendeur 1 comporte trois boucles de régulation imbriquées : une première boucle externe formant une régulation en pression autour de la pression de consigne P_c , une deuxième boucle de régulation inscrite dans la première, assurant une régulation de la position X de l'équipage mobile autour d'une position de consigne X_c déterminée par la boucle de régulation en pression, et une troisième boucle de régulation, assurant la régulation du courant moyen dans le bobinage 16 en fonction des fluctuations de l'alimentation, au moyen de la commande par retour d'état.

Lorsque la position de consigne X_c appartient à une seconde plage de valeurs correspondant à une section de passage suffisamment faible pour risquer d'être colmatée, le bloc 31 transforme cette position de consigne en une alternance de deux positions de consigne secondaires, une première consigne secondaire dite consigne d'ouverture X_o correspondant à une section de passage maximale prédéterminée et une seconde position de consigne secondaire dite consigne de fermeture X_f correspondant à une section de passage minimale prédéterminée.

L'alternance entre ces deux positions de consigne secondaires s'effectue avec une période T_2 suffisamment longue par rapport à la dynamique du système et de sa régulation pour permettre à la position X mesurée de suivre les variations de la position de consigne X_c , le cas échéant avec un léger retard, comme représenté sur la figure 3a. A titre d'exemple, la fréquence d'alternance des positions de consigne secondaires, pour une vanne 10 commandée telle que décrite précédemment, est de l'ordre de 20 Hz et ne dépasse pas 50 Hz.

L'alternance entre la consigne d'ouverture X_o et la consigne de fermeture X_f s'effectue avec un rapport cyclique τ_c des consignes calculé dans le bloc 31 de manière à ce que la perte de charge moyenne ainsi générée dans l'organe 11 de restriction soit équivalente à la perte de charge qui aurait été obtenue avec une consigne de position X_c statique.

On a ainsi représenté sur la figure 3a un graphe représentant en trait plein épais la position de consigne alternant entre une consigne d'ouverture X_o et une consigne de fermeture X_f et en trait pointillé la position X mesurée de

l'équipage mobile 17. On constate que la position X suit fidèlement la position de consigne avec un léger retard. Ce retard est dépendant de la vitesse de variation de la consigne : il s'accroît lorsque la fréquence d'alternance des positions de consigne s'accroît ou que la raideur des fronts de changement de consigne augmente et il disparaît lorsque la consigne reste constante. On a également représenté en trait fin sur cette figure le signal de commande fourni par le hacheur 28 qui alterne avec une période $T1$ et un rapport cyclique τ dépendant de la consigne secondaire appliquée.

Grace à cette alternance des consignes secondaires, le pointeau 13 s'écarte périodiquement de l'orifice 12 et les éventuelles poussières et particules de givre susceptibles de colmater la section de passage du fluide sont délogées et entraînées par le flux de fluide.

En outre, la position du pointeau 13 étant astreinte à suivre les positions de consigne secondaires, la consigne de fermeture X_f peut être choisie de telle sorte que le pointeau n'entre jamais en contact avec les bords de l'orifice 12 évitant ainsi le contact en butée susceptible de mater ou d'user ces deux pièces.

De même, la consigne d'ouverture X_o est choisie de manière à ne pas laisser l'équipage mobile être repoussé en butée ouverte par le ressort 18. Avantagusement également, la consigne d'ouverture X_o peut être réduite, comme représenté par la courbe en trait mixte épais, de façon à conserver une ouverture suffisante pour évacuer les corps étrangers susceptibles de colmater la vanne 10 tout en générant une perte de charge importante. Dans ce cas, la section de passage maximale prédéterminée est réduite ce qui permet, pour un même rapport cyclique τ_c des consignes, de réaliser une perte de charge moyenne correspondant à une position X_c de consigne plus fermée et donc une section de passage de consigne du fluide plus faible.

Dans une variante du mode de commande de la vanne 10, lorsque la position de consigne X_c appartient à une seconde plage de valeurs correspondant à une section de passage suffisamment faible pour risquer d'être colmatée, le calculateur 7 peut être adapté pour commander l'actionneur 14 de la vanne 10 en tout ou rien, comme représenté à la figure 3b. Dans cette variante, le

hacheur 28 est piloté pour fournir un signal de tension rectangulaire, de fréquence faible au regard de la dynamique du système afin de permettre à l'équipage mobile 17 de se déplacer et d'atteindre ses positions extrêmes. Ainsi l'application d'un signal rectangulaire présentant une période T_2 du même ordre de grandeur que la

5 période d'alternance des positions de consigne secondaires (de 20 à 50 ms soit une fréquence de 20 à 50 Hz) permet d'ouvrir et de fermer complètement la vanne 10. Le calculateur 7 applique ainsi ce signal rectangulaire avec un rapport cyclique τ de commande tel que la perte de charge moyenne générée par l'alternance des ouvertures et fermetures de la vanne 10 soit équivalente à la perte de charge qui

10 aurait été générée par un maintien en position de l'équipage mobile 17 à la position de consigne X_c déterminée par le bloc 31 en fonction de l'erreur entre la pression P_2 et la pression de consigne P_c .

Quoique ce type de commande entraîne le déplacement de l'équipage mobile en butée en position fermée, butée déterminée soit par le contact

15 entre l'équipage mobile 17 contre l'armature fixe 15 soit par le contact du pointeau 13 contre les bords de l'orifice 12, ou en butée du ressort 18 en position ouverte, la durée (ou le nombre de cycles) pendant laquelle ce type de commande est appliquée est relativement réduite par rapport à une commande en tout ou rien de la technique antérieure, et la commande peut être grandement simplifiée tout en conservant une

20 bonne fiabilité de l'ensemble.

Bien entendu, d'autres procédés de commande de l'actionneur 14 peuvent être employés pour autant qu'ils permettent de commander un déplacement continu de l'équipage mobile vers sa position de consigne X_c lorsque celle-ci appartient à la première plage de valeur ou bien un déplacement alternatif

25 de l'équipage mobile entre une première position correspondant à une section de passage maximale du fluide et une seconde position correspondant à une section de passage minimale du fluide, lorsque la position de consigne appartient à la seconde plage de valeurs. A titre d'exemple, le procédé de commande balistique de l'actionneur à réluctance variable faisant l'objet de la demande de brevet

30 FR 2 916 107 de la demanderesse pourrait ainsi être appliqué.

REVENDICATIONS

- 1/ - Détendeur (1) à commande électronique, du type comportant une vanne (10) commandée insérée entre une source (2) de fluide à une première pression (P1) et une sortie (3) de fluide à une seconde pression (P2), la seconde pression étant inférieure à la première pression, un capteur de pression (9) adapté pour mesurer la seconde pression et un calculateur (7) de commande adapté pour commander la vanne de telle sorte que la vanne génère une perte de charge entre la source de fluide et la sortie permettant d'asservir la seconde pression à une pression de consigne (Pc), caractérisé en ce que :
- 10 - la vanne (10) commandée comprend un actionneur (14) adapté pour entraîner un organe (11) de restriction d'une section de passage du fluide de manière à faire varier ladite section de passage de façon continue,
 - le calculateur (7) de commande est adapté pour :
 - 15 • déterminer une section de passage de consigne (Xc) en fonction d'un écart entre la seconde pression (P2) et la pression de consigne (Pc),
 - commander une variation continue de la section de passage (X) en direction de la section de passage de consigne (Xc) lorsque celle-ci appartient à une première plage de valeurs de section de passage, ou
 - commander une variation alternée de la section de passage entre une section de passage maximale prédéterminée et une section de passage minimale prédéterminée, à une fréquence (T2) et selon un rapport cyclique (τ , τ_c) propres à générer une perte de charge moyenne équivalente à la perte de charge qui aurait été générée par la section de passage de consigne, lorsque celle-ci appartient à une seconde plage de valeurs de section de passage, inférieure à la première plage.
- 2/ - Détendeur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'organe (11) de restriction comprend un orifice (12) de passage du fluide et un organe obturateur (13) placé dans l'axe de l'orifice et agencé pour qu'un déplacement axial de l'organe obturateur entraîne une variation de la section de passage du fluide.
- 3/ - Détendeur selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comporte un capteur de position (19) de l'organe obturateur (13) et en ce que

le calculateur (7) de commande est adapté pour déterminer la section de passage de fluide en fonction de la position (X) axiale de l'organe obturateur mesurée par le capteur de position.

4/ - Détendeur selon l'une des revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que l'actionneur (14) est un actionneur électromagnétique à réluctance variable comprenant une armature (15) ferromagnétique fixe, un bobinage (16) d'aimantation solidaire de cette armature et un équipage mobile (17) en translations alternatives, solidaire de l'organe obturateur (13), l'actionneur étant agencé pour qu'un déplacement de l'équipage mobile entraîne un déplacement axial de l'organe obturateur par rapport à l'orifice (12) de passage du fluide.

5/ - Détendeur selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comporte en outre un dispositif élastique (18) adapté pour rappeler l'organe obturateur (13) dans une position telle que l'équipage mobile (17) est distant de l'armature (15) ferromagnétique fixe.

6/ - Détendeur selon l'une des revendications 4 ou 5, caractérisé en ce que le calculateur (7) est adapté pour commander la position (X) de l'organe obturateur en alimentant l'actionneur (14) par un signal de tension en modulation de largeur d'impulsion de fréquence (T1) suffisamment élevée pour entraîner un déplacement continu de l'organe obturateur (13) et de rapport cyclique (τ) déterminé en fonction d'une position de consigne (Xc) correspondant à la section de passage de consigne.

7/ - Détendeur selon la revendication 6, caractérisé en ce que le calculateur (7) comporte une boucle d'asservissement par retour d'état (34) adaptée pour déterminer le rapport cyclique (τ) du signal de tension en fonction d'une erreur de position entre la position (X) mesurée et la position de consigne (Xc), d'une dérivée temporelle de ladite erreur et d'une mesure de l'intensité (i) du courant circulant dans le bobinage (16) d'aimantation.

8/ - Détendeur selon la revendication 7, caractérisé en ce que la boucle d'asservissement par retour d'état (34) est complétée par un correcteur PID (33) parallèle à ladite boucle.

9/ - Détendeur selon l'une des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que lorsque la section de passage de consigne (X_c) appartient à la seconde plage de valeurs, le calculateur (7) est adapté pour :

5 - élaborer une première position de consigne secondaire, dite consigne d'ouverture (X_o), correspondant à la section de passage maximale prédéterminée,

- élaborer une seconde position de consigne secondaire, dite consigne de fermeture (X_f), correspondant à la section de passage minimale prédéterminée,

10 - faire alterner lesdites positions de consignes secondaires à une fréquence (T_2) suffisamment faible pour permettre le suivi des consignes par l'actionneur (14) et avec un rapport cyclique, dit rapport cyclique (τ_c) des consignes, propre à générer une perte de charge moyenne équivalente à la perte de charge qui aurait été générée par la section de passage de consigne.

15 10/ - Détendeur selon la revendication 9, caractérisé en ce que les consignes d'ouverture (X_o) et de fermeture (X_f) sont déterminées de manière à éviter le contact en butée de l'organe obturateur (13) et de l'équipage mobile (17).

11/ - Détendeur selon l'une des revendications 9 ou 10, caractérisé en ce que la consigne d'ouverture (X_o) est déterminée de manière à
20 réduire au moins en partie la section de passage maximale prédéterminée afin d'augmenter le rapport cyclique (τ_c) des consignes.

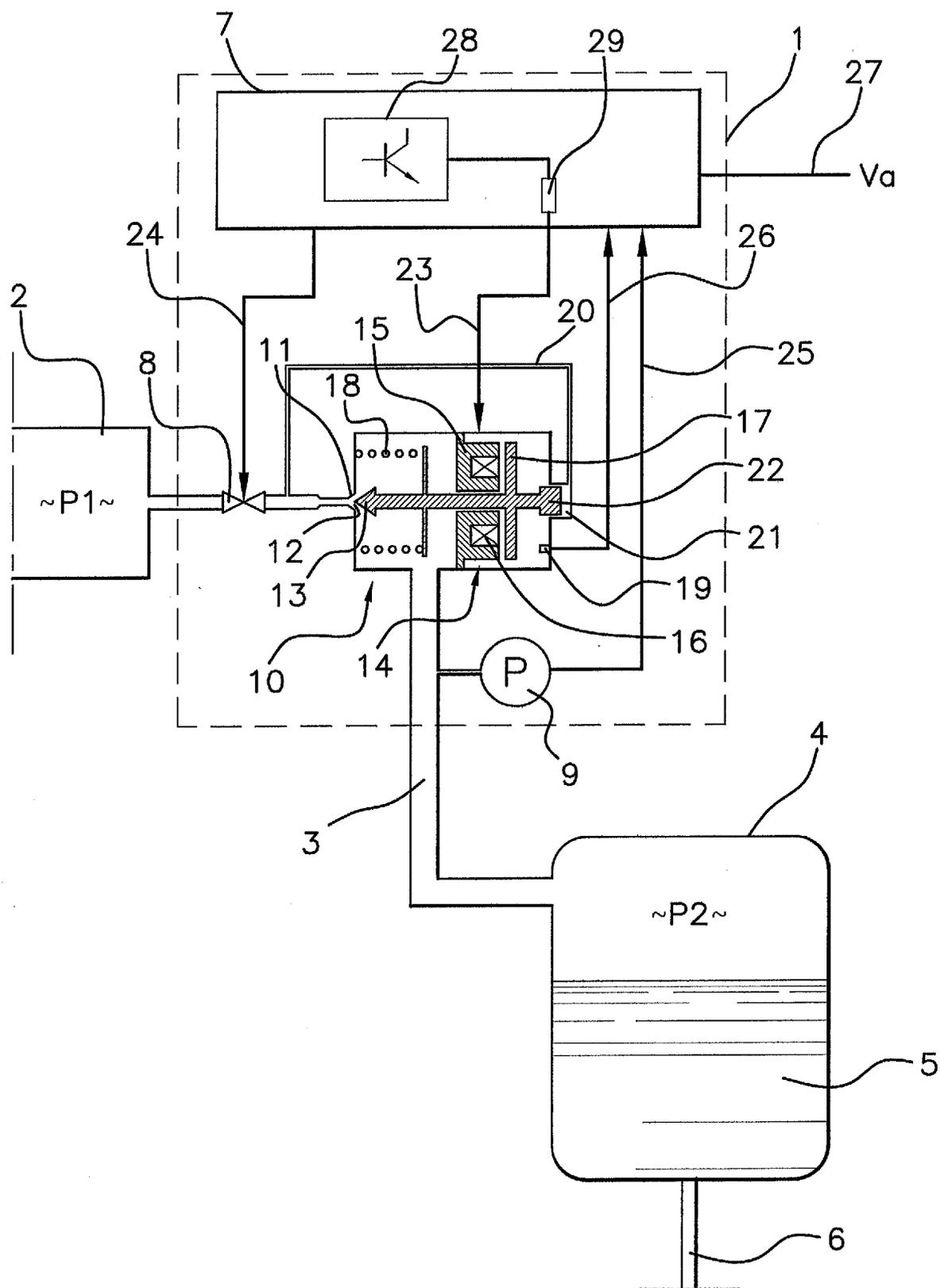
12/ - Détendeur selon l'une des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que lorsque la section de passage de consigne (X_c) appartient à la seconde plage de valeurs, le calculateur (7) est adapté pour alimenter l'actionneur
25 (14) par un signal de tension rectangulaire, de fréquence (T_2) adaptée pour permettre le déplacement de l'équipage mobile (17) entre ses positions extrêmes et avec un rapport cyclique (τ) propre à générer une perte de charge moyenne équivalente à la perte de charge qui aurait été générée par la section de passage de consigne.

13/ - Détendeur selon l'une des revendications 2 à 12, caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif de compensation (20, 21, 22) au moins partielle des efforts exercés par la pression du fluide sur l'organe obturateur (13).

5 14/ - Détendeur selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une électrovanne (8) insérée en série entre la source (2) de fluide et l'organe (11) de restriction, ladite électrovanne étant adaptée pour être commandée par le calculateur (7) de commande pour fermer de manière étanche le passage de fluide au travers du détendeur.

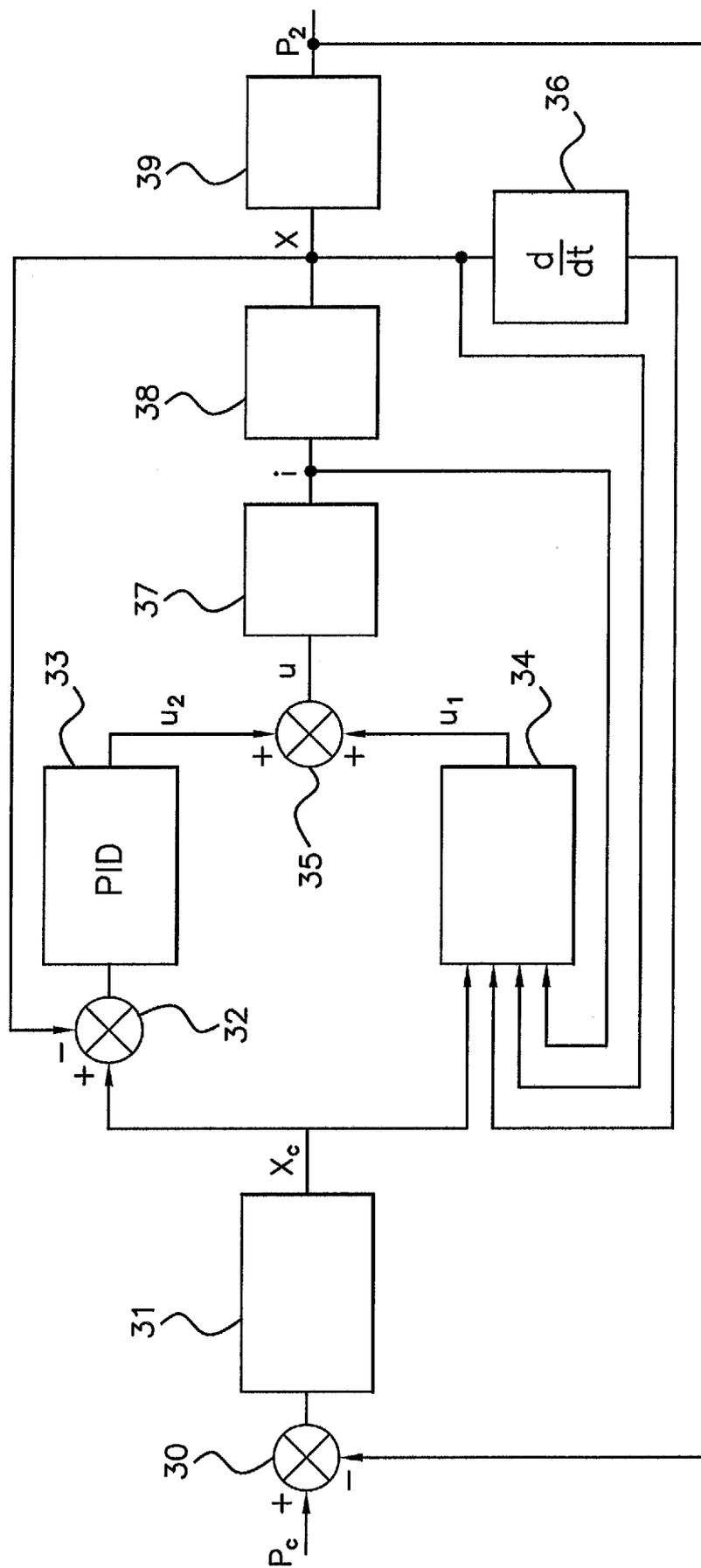
1/3

Fig1



2/3

Fig 2



3/3

Fig 3a

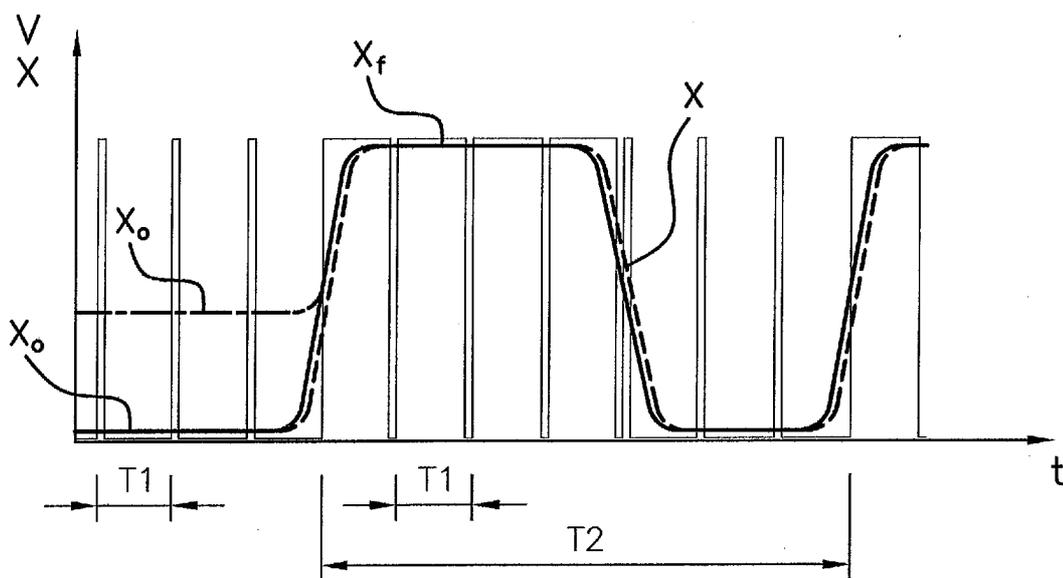
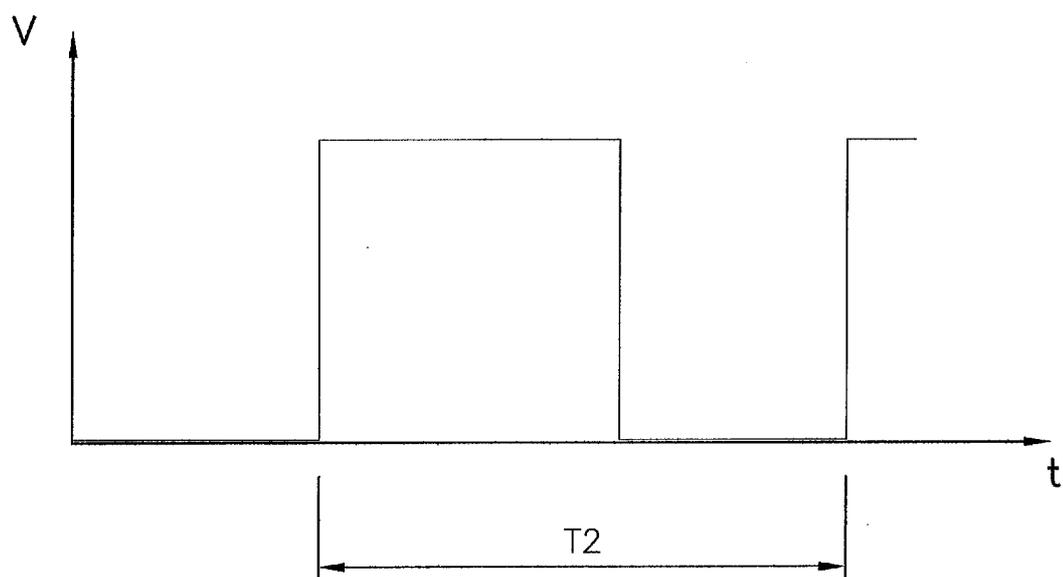


Fig 3b



**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1356233 FA 784577**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **24-03-2014**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 0159537	A1	16-08-2001	AT 484782 T	15-10-2010
			AU 2990801 A	20-08-2001
			CA 2298324 A1	09-08-2001
			EP 1264228 A1	11-12-2002
			JP 2003523008 A	29-07-2003
			US 2003168101 A1	11-09-2003
			WO 0159537 A1	16-08-2001

EP 1909157	A2	09-04-2008	EP 1909157 A2	09-04-2008
			JP 2008215611 A	18-09-2008
			US 2008082242 A1	03-04-2008

EP 1936174	A1	25-06-2008	AT 415552 T	15-12-2008
			AU 2007216905 A1	26-06-2008
			CA 2602598 A1	12-06-2008
			CN 101201027 A	18-06-2008
			EP 1936174 A1	25-06-2008
			ES 2317482 T3	16-04-2009
			US 2008135019 A1	12-06-2008
