

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



WIPO | PCT



(10) Numéro de publication internationale
WO 2014/128375 A2

(43) Date de la publication internationale
28 août 2014 (28.08.2014)

(51) Classification internationale des brevets : Non classée

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2014/050164

(22) Date de dépôt international :
30 janvier 2014 (30.01.2014)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1351562 22 février 2013 (22.02.2013) FR

(71) Déposant : PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA
[FR/FR]; Route de Gisy, F-78140 Velizy Villacoublay
(FR).

(72) Inventeurs : LEMEE, Guillaume; 79 bld Charles de
Gaulle, F-92700 Colombes (FR). PACILLY, Christophe;
74 rue Raymond Patenotre, F-78120 Rambouillet (FR).

(74) Mandataire : BOURGUIGNON, Eric; Peugeot Citroën
Automobiles SA, Propriété Industrielle, 18 rue des Fau-
velles, F-92250 La Garenne Colombes (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD FOR DETERMINING THE DIFFERENTIAL PRESSURE EXERTED ON THE CONTROL ROD OF AN ELECTRO-PNEUMATIC ACTUATOR AND METHOD FOR DETERMINING THE POSITION OF SAID ROD

(54) Titre : PROCEDE DE DETERMINATION DE LA PRESSION DIFFERENTIELLE EXERCEE SUR LA TIGE DE COMMANDE D'UN ACTIONNEUR ELECTROPNEUMATIQUE ET PROCEDE DE DETERMINATION DE LA POSITION DE LA-DITE TIGE

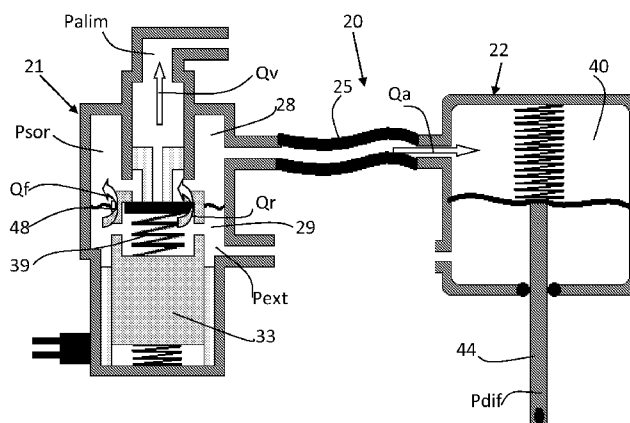


Figure 4

(57) Abstract : The invention concerns a method for determining the differential pressure P_{dif} exerted on the control rod (44) of an actuator (20) comprising a pneumatic solenoid valve (21) controlling the movement of said rod on the basis of a control signal and a capsule (22) provided with the rod (44). According to the invention, air flow Q_a in the outlet chamber (28) of the actuator is determined on the basis of outside pressure P_{ext} , said control and a balance control that characterises the position of the magnetic core (33) of said valve; and, on the basis of air flow Q_a , outside pressure P_{ext} and the volume of the outlet chamber (28), said differential pressure P_{dif} is determined. The invention also concerns a method for determining the position Pos of the control rod of said actuator.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2014/128375 A2

**Déclarations en vertu de la règle 4.17 :**

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)*

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g)*

L'invention concerne un procédé de détermination de la pression différentielle P_{dif} exercée sur la tige de commande (44) d'un actionneur (20) comprenant une électrovanne pneumatique (21) commandant le déplacement de ladite tige en fonction d'un signal de commande et une capsule (22) munie de la tige (44). Selon l'invention, on détermine le débit d'air Q_a dans la chambre de sortie (28) de l'actionneur, en fonction de la pression extérieure P_{ext} , de ladite commande et d'une commande d'équilibre qui caractérise la position du noyau magnétique (33) de ladite vanne; et, en fonction du débit d'air Q_a , de la pression extérieure P_{ext} et du volume de la chambre de sortie (28), on détermine ladite pression différentielle P_{dif} . L'invention concerne également un procédé de détermination de la position Pos de la tige de commande dudit actionneur.

**PROCEDE DE DETERMINATION DE LA PRESSION DIFFERENTIELLE
EXERCEE SUR LA TIGE DE COMMANDE D'UN ACTIONNEUR
ELECTROPNEUMATIQUE ET PROCEDE DE DETERMINATION DE LA
POSITION DE LADITE TIGE.**

5

[0001] La présente invention concerne un procédé de détermination de la pression différentielle exercée sur la tige de commande d'un actionneur électropneumatique. L'invention concerne aussi un procédé de détermination de la position de ladite tige.

10 [0002] Les actionneurs électropneumatiques concernés sont généralement composés d'une électrovanne pneumatique (qui peut être proportionnelle, c'est-à-dire fournissant une pression de sortie proportionnelle à un signal de commande) et d'une capsule pneumatique, munie d'une tige de commande et d'un ressort de rappel, l'actionneur
15 permettant de transformer la pression de sortie de la vanne en mouvement de translation de ladite tige de commande. Ladite capsule peut être reliée à l'électrovanne par une conduite ou intégrée à l'électrovanne pour former un ensemble compact. Des actionneurs de ce type sont couramment utilisés dans l'industrie automobile pour actionner par exemple des
20 turbocompresseurs, des vannes EGR et des doseurs d'air dans des boucles de régulation de pression ou de débit d'air. Un capteur de position est parfois ajouté à la tige de l'actionneur afin de réaliser une régulation de pression ou de débit d'air.

[0003] Le type d'électrovanne concerné par la présente invention est
25 par exemple décrit dans la demande de brevet FR2890431 ou DE4205565.

[0004] Au lieu d'utiliser des capteurs, par exemple un capteur de pression pour mesurer la pression différentielle en sortie de l'actionneur ou un capteur de position pour mesurer la position de la tige de l'actionneur, il est plus économique de modéliser le comportement de l'actionneur en
30 fonction du signal de commande appliqué à l'actionneur. Cependant, la modélisation est complexe car la physique du système fait appel à de nombreuses équations et est fortement non linéaire, en particulier pour

l'électrovanne. De plus, il est difficile de recalibrer un modèle complet qui demande des actionneurs prototypes instrumentés coûteux (en particulier pour la mesure de la position du noyau magnétique mobile de l'électrovanne). Dans le cas des boucles de régulation qui utilisent ce type d'actionneur, une bonne connaissance du modèle d'actionnement permet un gain de temps de mise au point, de meilleures performances (gain en temps de réponse et en robustesse) et éventuellement la suppression du capteur de mesure de position.

[0005] La présente invention propose un procédé permettant de déterminer la pression différentielle exercée sur la tige de commande d'un actionneur électropneumatique, ainsi que la position de ladite tige, à partir d'un nouveau modèle comportemental simplifié de l'actionneur. La pression différentielle est définie comme la différence entre la pression extérieure à l'actionneur – voisine ou égale à la pression atmosphérique – et la pression de sortie de la vanne. Le modèle simplifié utilise la pression extérieure, le signal de commande de l'électrovanne, la pression d'alimentation de l'électrovanne et l'effort extérieur appliqué à la tige de commande.

[0006] De façon plus précise, l'invention concerne un procédé de détermination de la pression différentielle P_{dif} exercée sur la tige de commande d'un actionneur comprenant une électrovanne pneumatique commandant le déplacement de ladite tige de commande en fonction d'un signal de commande U , ladite électrovanne comportant un circuit magnétique permettant de déplacer un noyau mobile en appliquant ledit signal de commande U audit circuit magnétique, une chambre à la pression extérieure P_{ext} dans laquelle peut se déplacer ledit noyau, une chambre de sortie à la pression de sortie P_{sor} , une chambre à vide dans laquelle règne une pression P_{alim} , un clapet permettant d'établir un débit d'air de remplissage Q_r de ladite chambre à la pression extérieure vers ladite chambre à la pression de sortie, un gicleur permettant d'établir un débit d'air de vidange Q_v entre ladite chambre à la pression extérieure et ladite chambre à vide, un passage entre ladite chambre à la pression extérieure et ladite chambre à la pression de sortie permettant un débit d'air de fuite Q_f , la pression

différentielle P_{dif} étant égale à la pression extérieure P_{ext} moins la pression de sortie P_{sor} ,

[0007] Selon l'invention:

- on détermine le débit d'air Q_a dans ladite chambre de sortie en fonction de ladite pression P_{ext} , de ladite commande U et d'une commande d'équilibre qui caractérise la position dudit noyau pour laquelle le débit d'air Q_a est nul;

- en fonction dudit débit d'air Q_a , de ladite pression extérieure P_{ext} et du volume de ladite chambre de sortie, on détermine ladite pression différentielle P_{dif} .

[0008] Ledit débit d'air Q_a dans ladite chambre de sortie est déterminé en calculant:

- le débit de vidange Q_v ,
- le débit de remplissage Q_r , et
- le débit de fuite Q_f .

[0009] *Détermination de Q_v :

Ledit débit de vidange Q_v est calculé en déterminant l'écart D_{cde} entre ladite commande U et ladite commande d'équilibre et

- si ledit écart D_{cde} est ≤ 0 alors $Q_v=0$ et
- si ledit écart D_{cde} est supérieur à 0, Q_v est déterminé en prenant la valeur la plus faible entre Q_{vmax} et une valeur dépendant dudit écart D_{cde} et d'une valeur dépendante de ladite pression P_{sor} et de ladite pression P_{alim} .

Si D_{cde} est supérieur à 0, Q_v est déterminé à partir de la relation:

$$Q_v = \text{Min}(D_{cde} \times \text{Cartographie} \left(P_{sor}, \frac{P_{sor}}{P_{alim}} \right), Q_{vMax})$$

[00010] * Détermination de Q_r :

ladite électrovanne comprenant un ressort de rappel en remplissage précontraint, ledit débit de remplissage Q_r est déterminé en comparant l'écart D_{cde} entre ladite commande U et ladite commande d'équilibre avec une valeur (-Seuil) qui caractérise la précontrainte dudit ressort, et

- si D_{cde} est supérieur à (-Seuil), alors $Q_r = 0$ et

- si Dcde est inférieur à (-Seuil), alors Qr est déterminé à l'aide de la relation:

$$Q_r = \text{Min}([D_{cde} + \text{Seuil}] \times \text{Cartographie} \left(P_{\text{ext}}, \frac{P_{\text{sor}}}{P_{\text{ext}}} \right), Q_{r\text{Max}})$$

[00011] * Détermination de Qf:

5 ledit débit de fuite Qf est déterminé à l'aide d'une cartographie fonction de ladite pression extérieure Pext et du rapport de ladite pression de sortie Psor à ladite pression extérieure Pext.

[00012] L'invention concerne également un procédé de détermination de la position Pos de ladite tige de commande dudit actionneur, c'est-à-dire
 10 d'une tige de commande d'un actionneur comprenant une électrovanne pneumatique commandant le déplacement de ladite tige de commande en fonction d'un signal de commande U, ladite vanne comportant un circuit magnétique permettant de déplacer un noyau mobile en appliquant ledit signal de commande U audit circuit, une chambre à la pression extérieure
 15 Pext dans laquelle peut se déplacer ledit noyau, une chambre de sortie à la pression Psor, une chambre à vide dans laquelle règne une pression Palim, un clapet permettant d'établir un débit d'air de remplissage Qr de ladite chambre à la pression extérieure vers ladite chambre à la pression de sortie, un gicleur permettant d'établir un débit d'air de vidange Qv entre ladite
 20 chambre à la pression extérieure et ladite chambre à vide, un passage entre ladite chambre à la pression extérieure et ladite chambre à la pression de sortie permettant un débit d'air de fuite Qf,

[00013] . Selon ledit procédé:

- on détermine ladite pression différentielle Pdif exercée sur ladite tige de
 25 commande comme indiqué précédemment,
 - on détermine la position dudit actionneur à l'aide d'une cartographie fonction de ladite pression différentielle Pdif et de l'effort Fext exercé sur ladite tige de commande, et
 -on recalcule la position de ladite tige en prenant en compte la variation du
 30 volume de ladite chambre de sortie pour la détermination dudit débit d'air Qa.

[00014] Ladite position obtenue à l'aide de ladite cartographie est filtrée par un filtre passe-bas du premier ordre afin de tenir compte de la dynamique dudit actionneur.

[00015] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention
5 apparaîtront au cours de la description qui suit d'un mode de réalisation de l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, en référence aux dessins annexés et sur lesquels :

- la figure 1 montre, schématiquement et en coupe, un actionneur composé d'une électrovanne électropneumatique et d'une capsule
10 pneumatique;

- la figure 2 montre l'évolution de la pression de sortie (en mbar) P_{sor} de l'électrovanne en fonction de la tension de commande U appliquée à l'électrovanne;

- la figure 3 représente schématiquement les différentes forces dans
15 la vanne;

- la figure 4 montre les différents débits d'air dans l'actionneur;

- la figure 5 montre la réponse caractéristique de la pression de sortie P_{sor} en réponse à un signal de commande U en forme d'échelon;

- la figure 6 représente, schématiquement et sous forme de blocs, les
20 procédés de l'invention;

- la figure 7 représente schématiquement le principe du calcul du débit d'air Q_a vers la capsule;

- les figures 8, 9 et 10 représentent schématiquement le principe du calcul, respectivement, du débit de vidange Q_v , du débit de remplissage Q_r
25 et du débit de fuite Q_f ;

- la figure 11 représente schématiquement le principe du calcul de la pression différentielle P_{dif} dans l'actionneur;

- la figure 12 représente schématiquement le principe du calcul de la position P_{os} de la tige de commande de l'actionneur;

- la figure 13 représente schématiquement le principe du calcul du volume de la capsule;

- la figure 14 représente schématiquement le principe du calcul de la commande d'équilibre; et

5 - la figure 15 représente schématiquement l'ensemble des différentes étapes des procédés de l'invention.

[00016] L'actionneur électropneumatique 20, représenté schématiquement et en coupe sur la figure 1, est composé d'une électrovanne pneumatique 21 et d'une capsule pneumatique de commande
10 22, la sortie 23 de l'électrovanne étant reliée à l'entrée 24 de la capsule par une canalisation 25. L'électrovanne est de préférence du type proportionnel en pression. L'électrovanne 21 comporte une chambre à vide 26 à la pression d'alimentation P_{alim} et dont l'entrée 27 est destinée à être connectée à une pompe à vide (non représentée), une chambre de sortie 28
15 à la pression P_{sor} avec la sortie 23, une chambre 29 placée à la pression extérieure P_{ext} grâce à une entrée 30 débouchant à l'extérieur de la vanne et un circuit magnétique 31 comprenant un solénoïde 32 entourant un noyau magnétique mobile 33 et une connexion électrique 34 destinée à recevoir un signal électrique de commande sous forme d'une tension de niveau U . La
20 paroi extérieure 35 de la vanne délimite en partie les différentes chambres. Un clapet 36 et une membrane 37 séparent entre elles les différentes chambres: la chambre 29 à la pression extérieure P_{ext} , la chambre de sortie 28 à la pression P_{sor} et la chambre à vide 26 à la pression d'alimentation P_{alim} . De plus, un gicleur 38 sépare la chambre à vide 26 de la chambre de
25 sortie 28.

[00017] Un ressort de rappel de vidange 49 est interposé entre la paroi 35 de la vanne et le noyau 33. A l'opposé du ressort 49, un ressort de rappel en remplissage 39 est interposé entre le clapet 36 et le noyau 33. Le ressort 39 est précontraint.

30 [00018] Un passage 48 est réalisé à la partie supérieure du noyau 33 de façon à permettre un débit d'air, permanent, entre la chambre 29 à

pression extérieure P_{ext} et la chambre de sortie 28 à la pression P_{sor} , cette dernière étant toujours inférieure à P_{ext} . Le passage 48 est relativement étroit, de sorte que le débit entre lesdites chambres peut être qualifié de "débit de fuite", désigné par Q_f , et le passage 48 peut être appelé "passage de fuite".

[00019] La capsule 22 est composée de deux chambres: une chambre de sortie 40 communiquant avec la chambre de sortie 28 de la vanne par la canalisation 25 et une chambre 41 ayant une entrée 42 communiquant avec l'extérieur de l'actionneur. La chambre 40 est donc à la pression de sortie P_{sor} et la chambre 41 est à la pression extérieure P_{ext} (qui est voisine de la pression atmosphérique ou égale à cette pression). Les deux chambres 40 et 41 sont séparées par une membrane souple 43. Une tige de commande 44 (tige de commande de l'actionneur) a une extrémité 45 solidaire de la membrane 43, son autre extrémité 46 pouvant être reliée à un appareil, par exemple un turbocompresseur ou une vanne EGR. Un ressort 47 de rappel de l'actionneur tend à déplacer la tige de commande 44 vers le bas.

[00020] L'électrovanne 21 est avantageusement du type proportionnel en pression (au moins sur une certaine plage du signal de commande U). Elle se comporte comme un système asservi en pression, la pression de sortie P_{sor} étant proportionnelle au niveau U de tension appliqué à la connexion 34. C'est ce qu'illustre la figure 2 qui montre l'évolution, en statique, de la pression P_{sor} (en mbar) en fonction de U (en Volt), (pour une pression d'alimentation P_{alim} de 200 mbar et une pression extérieure P_{ext} de 1000 mbar), sauf qu'au démarrage pour des faibles tensions U l'électrovanne n'est pas proportionnelle. Ceci est dû au fait que le ressort de rappel en remplissage 39 est précontraint. Pour des niveaux de tension variant de 0 à environ 2 Volts, on a une zone morte 50, suivie par un zone de linéarité 51.

[00021] Sur la figure 3 sont illustrées les différentes forces dans l'électrovanne 21. Sont représentés le noyau magnétique 33, le gicleur 38, le

clapet 36, la membrane 37, le ressort de rappel en remplissage 39 et le ressort de rappel en vidange 49. La tension U de commande crée une force électromagnétique F_u qui tend à abaisser le noyau 33, le ressort 49 donnant lieu à une force de rappel F_{Rv} en sens opposé à F_u . La pression d'alimentation P_{alim} crée sur le gicleur 38 une force d'alimentation F_{alim} qui est égale à $P_{alim} \times \text{surface du gicleur}$. La membrane 37 est soumise à deux forces opposées: une force F_{Psor} , sur la surface supérieure de la membrane, égale à $P_{sor} \times \text{surface membrane supérieure}$ et une force F_{Pext} , sur la surface inférieure de la membrane, égale à $P_{ext} \times \text{surface membrane inférieure}$. Le ressort de rappel en remplissage donne lieu à une force F_{Rr} . La position x du noyau 33 est repérée selon l'axe 52 à partir de la position représentée par la ligne en pointillés 53 (pour $x=0$), position qui correspond à l'état initial de la vanne.

[00022] En faisant le bilan statique des forces, on peut montrer que:

15 - si x est positif:

$$x = \frac{\alpha \cdot U - S \cdot (P_{ext} - P_{sor})}{K_v}$$

Avec : $F_u = \alpha U$;

K_v étant la raideur du ressort de rappel de vidange; et

20 S la surface de la membrane inférieure ou supérieure (les deux surfaces étant égales).

Le déplacement du noyau est donc proportionnel à l'écart d'équilibre entre la force électromagnétique $\alpha \cdot U$ et la différence de pression $(P_{ext} - P_{sor})$ appliquée sur les deux faces de la membrane.

- si x est négatif, on peut montrer que:

$$x = \frac{\alpha \cdot U - S \cdot (P_{ext} - P_{sor})}{K_v + K_r} - \frac{F_0}{K_v + K_r}$$

25

F0 étant la force due à la précontrainte du ressort de rappel en remplissage et Kr étant la raideur du ressort de rappel en remplissage.

Le déplacement du noyau est donc proportionnel à l'écart d'équilibre entre la force électromagnétique et la différence de pression aux bornes de la membrane si la précontrainte du ressort de rappel en remplissage est franchie.

[00023] En fonctionnement, si U augmente, Fu augmente ce qui fait descendre le noyau et débouche le gicleur 38. Il en résulte que Psor diminue ce qui tend à faire remonter le noyau et fermer le gicleur. Ce fonctionnement est linéaire. Si U diminue, le noyau monte, le gicleur appuie sur le clapet ce qui comprime le ressort de rappel en remplissage 39. Cependant, du fait de l'existence du passage de fuite 48 entre la chambre à pression extérieure 29 et la chambre à pression de sortie 28, la pression Psor augmente et donc la différence ($P_{ext} - P_{sor}$) diminue: il en résulte que le noyau redescend et ferme le clapet. Lorsque U diminue, le noyau ne remonte que si la force due à la précontrainte du ressort de rappel en remplissage est contrebalancée par un niveau de commande U prédéterminé: il y a donc un effet de seuil.

[00024] Sur la figure 4 sont représentés les différents débits d'air qui peuvent se produire dans l'actionneur:

- le débit de fuite Qf: à l'équilibre, la pression de sortie Psor est égale à la pression de consigne (proportionnelle à U). Il n'y a pas de débit d'air qui entre ou qui sort de l'actionneur. Cependant, étant donné l'existence du passage de fuite 48, un débit de fuite Qf se produit entre la chambre à la pression extérieure Pext et la chambre de sortie à la pression Psor. Le débit de fuite Qf est fonction de la section du passage de fuite 48 et de la différence de pression ($P_{ext} - P_{sor}$).

- le débit de vidange Qv: pour un niveau élevé U du signal de commande, le noyau magnétique 33 descend ce qui ouvre le gicleur et met en communication la chambre de sortie 28 (et la chambre 40 de la capsule) avec la chambre à vide 26. L'air présent dans la chambre 28 et la chambre 40 est aspiré, ce qui vide lesdites chambres avec un débit Qv. La pression

de sortie P_{sor} diminue, ce qui provoque la remontée du noyau jusqu'à la fermeture du gicleur (équilibre atteint).

- le débit de remplissage Q_r : si le niveau U du signal de commande diminue, le noyau magnétique 33 monte; le gicleur appuie alors sur le clapet et
5 comprime le ressort de rappel en remplissage 39. Le clapet s'ouvre et un débit d'air de remplissage Q_r s'établit entre la chambre à pression extérieure P_{ext} 29 et la chambre à pression de sortie P_{sor} 28 ce qui augmente la pression P_{sor} et diminue l'écart ($P_{ext} - P_{sor}$). Le noyau 33 peut alors descendre et le clapet se ferme. Il faut que le niveau U diminue suffisamment
10 pour vaincre la force due à la précontrainte du ressort de rappel en remplissage 39. Si ce n'est pas le cas, on se trouve alors dans la zone morte 50 de la figure 2, zone pendant laquelle le clapet reste fermé alors que P_{sor} n'est pas en équilibre avec P_{ext} . Lorsque le niveau U diminue suffisamment pour vaincre la force due à la précontrainte du ressort de rappel en
15 remplissage 39, le fonctionnement de l'actionneur est proportionnel, c'est-à-dire que le déplacement de la tige de commande 44 est proportionnel au niveau U du signal de commande.

- le débit d'air Q_a : c'est le débit d'air dans la canalisation 25, de la chambre de sortie 28 vers la chambre 40 de la capsule.

20 [00025] La figure 5 illustre la réponse caractéristique, en fonction du temps t , de la pression de sortie P_{sor} à un signal de commande U en forme d'échelon 54. La courbe 55 en pointillés est la consigne de pression différentielle P_{dif} qui est égale à la pression extérieure P_{ext} moins la pression de sortie P_{sor} , c'est-à-dire $P_{dif} = (P_{ext} - P_{sor})$. La courbe 56 en
25 trait plein représente la pression P_{dif} obtenue.

[00026] Si la commande U augmente, P_{dif} augmente rapidement vers la consigne (réponse proche d'un premier ordre, ou proche d'un second ordre avec un amortissement > 0.7). Si la commande U diminue brutalement, la pression de sortie évolue en deux temps: rapidement durant la première
30 phase 57 (remplissage via la section de passage en remplissage) puis lentement (58) avec une vitesse quasi constante (remplissage via le passage de fuite). Si la commande U diminue faiblement, la première phase 57 peut

être très rapide. Le temps de convergence vers la valeur finale est beaucoup plus long en remplissage qu'en vidange

[00027] Les procédés de l'invention sont représentés schématiquement sur la figure 6. Le cadre 60 délimite les étapes du procédé pour déterminer la
 5 pression différentielle P_{dif} et le cadre 66 délimite les étapes du procédé pour déterminer la position Pos de la tige de commande.

[00028] Selon l'invention, on commence par déterminer P_{dif} . Pour cela on détermine le débit d'air Q_a (opération 61: "calcul du débit d'air dans l'actionneur"), puis la pression P_{dif} (opération 62: "calcul de la pression dans
 10 l'actionneur"), puis la commande d'équilibre à partir de la caractéristique statique de l'électrovanne (opération 63). La commande d'équilibre peut être vu comme la commande où l'électrovanne ne réalise plus d'action de vidange ou de remplissage de l'actionneur, c'est-à-dire la commande pour laquelle la position du noyau est dite à l'équilibre, donc telle que $Q_a = 0$.

15 [00029] Le calcul du débit Q_a de la chambre 28 de la vanne vers la chambre 40 de la capsule (opération 61 de la figure 6) est représenté schématiquement sur la figure 7. Sur cette figure, on détermine:

- l'écart D_{cde} (référence 70) entre le niveau U de commande et le niveau de commande d'équilibre, le niveau de commande d'équilibre étant l'image de la
 20 position du noyau, et donc l'image des sections de passage de l'air dans l'actionneur.

- le rapport des pressions entre la pression de sortie P_{sor} et la pression d'alimentation P_{alim} (référence 71).

25 - le rapport des pressions entre la pression extérieur P_{ext} et la pression de sortie P_{sor} (référence 72).

- le débit de vidange Q_v (référence 73; calcul illustré par la figure 8), le débit de remplissage Q_r (référence 74; calcul illustré par la figure 9), et le débit de fuite Q_f (référence 75; calcul illustré par la figure 10),

30 - le bilan Q_a (référence 76) des sources de débits d'air arrivant à l'actionneur, bilan défini par $Q_a = Q_f - Q_r - Q_v$

[00030] Le calcul du débit de vidange Q_v est illustré sur la figure 8:

- si l'écart de commande D_{cde} est ≤ 0 , alors $Q_v = 0$

- si l'écart de commande Dcde est supérieur à 0, on choisit la valeur la plus faible entre (Dcde * cartographie (Psor,Psor/Palim) et une constante Qvmax qui dépend de la section de passage du gicleur, ce qui peut s'écrire:

$$Q_v = \text{Min}(D_{cde} \times \text{Cartographie} \left(P_{sor}, \frac{P_{sor}}{P_{alim}} \right), Q_{vMax})$$

- 5 L'élément 80 sélectionne entre ses deux entrées 81 et 82: si Dcde est supérieur à 0 alors l'entrée 81 est sélectionnée pour le résultat de Qv et si Dcde ≤ 0 alors l'entrée 82 est sélectionnée (Qv = 0).

La calibration de la cartographie 83 de (Psor, Psor/Palim) peut être calculée à partir des équations de la norme ISO 6358. Cette cartographie peut être
10 recalée à partir de données obtenues avec un actionneur instrumenté.

[00031] La figure 9 représente schématiquement le principe du calcul du débit de remplissage Qr. Si l'écart de commande Dcde est supérieur à une valeur de (-Seuil), alors le système 90 choisit son entrée 91, c'est-à-dire Qr = 0. La valeur de Seuil caractérise la précontrainte du ressort de rappel
15 en remplissage 39. Si l'écart Dcde est inférieur à la valeur de (-Seuil), (c'est-à-dire si la précontrainte du ressort de rappel en remplissage 39 est dépassée), alors l'élément 90 choisit la valeur présente sur son entrée 92 qui est donnée par l'équation suivante:

$$Q_r = \text{Min}([D_{cde} + \text{Seuil}] \times \text{Cartographie} \left(P_{ext}, \frac{P_{sor}}{P_{ext}} \right), Q_{rMax})$$

- 20 La calibration de la cartographie 93 de (Pext, Psor/Pext) peut être calculée à partir des équations de la norme ISO 6358. Cette cartographie peut être recalée à partir de données obtenues avec un actionneur instrumenté.

[00032] La figure 10 illustre le principe du calcul du débit de fuite Qf, qui est obtenu à l'aide de la cartographie (Pext,Psor/Pext) (référence 100) ce
25 qui peut s'écrire:

$$Q_f = \text{Cartographie} \left(P_{ext}, \frac{P_{sor}}{P_{ext}} \right)$$

La calibration de la cartographie 100 de (Pext, Psor/Pext) peut être calculée à partir des équations de la norme ISO 6358. Cette cartographie peut être recalée à partir de données obtenues avec un actionneur instrumenté

Le calcul de la pression dans l'actionneur (calcul 62 sur la figure 6) est représenté schématiquement par la figure 11. Ce calcul, qui permet d'obtenir Pdif, est effectué à partir du débit d'air Qa entrant dans la capsule et le volume V de la capsule. Ce volume est la somme des volumes de la
 5 chambre de sortie 28 (figure 1), de la canalisation 25 et de la chambre 40 de la capsule 22. Selon la loi des gaz parfaits:

$$PV = nRT$$

$$\Leftrightarrow P = \frac{nRT}{V}$$

$$\Leftrightarrow \frac{dP}{dt} = \frac{RT}{V} \frac{dn}{dt} + nRT \frac{d}{dt} \frac{1}{V} \text{ car transformation supposée adiabatique}$$

On néglige la dynamique de variation de volume durant le déplacement de la
 10 tige de l'actionneur, car la variation de volume est beaucoup plus lente que la variation de pression:

$$\Leftrightarrow \frac{dP}{dt} \approx \frac{RT}{V} \frac{dn}{dt}$$

$$\Leftrightarrow P = \frac{K}{V} \int Q_{air}$$

La pression Pdif est donc égale à:

$$Pdif = K/V \int Qa$$

[00033] Le calcul de la position de la tige de l'actionneur Pos (64 sur la
 15 figure 6) est représenté schématiquement sur la figure 12. Ce calcul est effectué à partir de Pdif, de la force extérieure Fext exercée sur la tige de l'actionneur et d'une cartographie 120 à deux dimensions Pdif et Fext, en prenant en compte la dynamique de l'actionneur dans un filtre 121 passe-bas du premier ordre, avec une constante de temps de filtrage Taud (on fait
 20 l'hypothèse que le système masse-ressort, constitué par le noyau magnétique et le ressort de rappel en remplissage, est bien amorti). La cartographie de la position statique de l'actionneur et la constante de temps Taud peuvent être calibrées à partir d'essais [balayages (Pdif, Fext)].

[00034] Le calcul du volume V (65 sur la figure 6) est effectué (figure
 25 13) à l'aide de la position Pos calculée de la tige de l'actionneur via une cartographie 130 à une dimension. Cette cartographie peut être déterminée à

partir des données de la géométrie de la capsule en fonction de la position Pos de la tige.

[00035] La détermination de la "caractéristique statique de l'électrovanne" (étape 63 sur la figure 6) est schématisée sur la figure 14. A
5 partir de P_{ext} et P_{dif} , on obtient la commande d'équilibre associée à une cartographie 140 à deux dimensions. La cartographie 140 peut être déterminée à partir des données du fournisseur de l'électrovanne ou par des essais (balayage P_{ext} , P_{dif}).

[00036] La figure 15 illustre l'ensemble des étapes qui ont été
10 précédemment exposées. Ces étapes sont encadrées en pointillés et chaque cadre correspond à une figure (la référence de chaque figure est indiquée sur la figure 15). La figure 15 représente en détails les étapes de la figure 6.

[00037] Selon l'invention, on calcule d'abord la pression différentielle P_{dif} qui s'exerce sur la tige de l'actionneur, en négligeant les éventuelles
15 variations de volume V . Ensuite, on peut calculer la position Pos de la tige de l'actionneur ce qui conduit à une nouvelle valeur du volume V qui est utilisée pour les pas de calculs suivants.

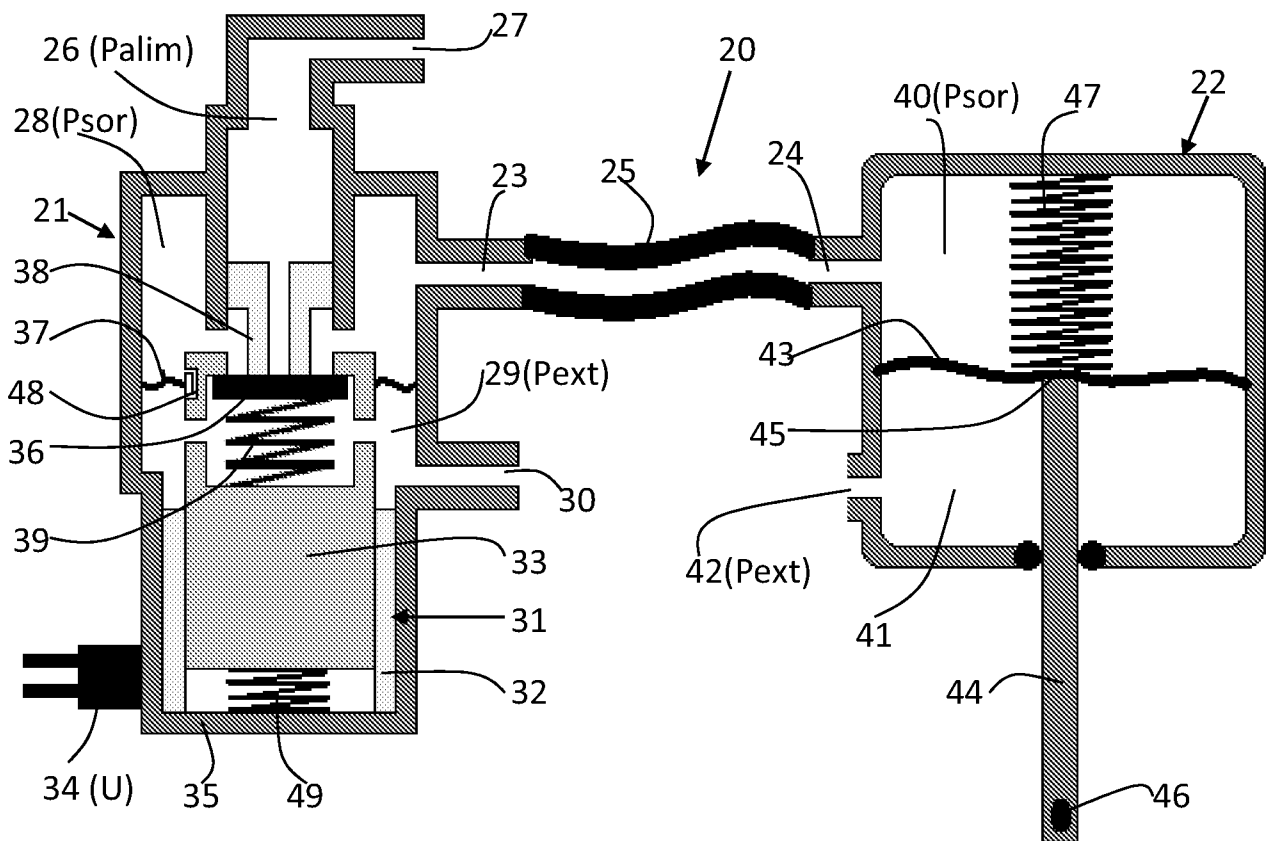
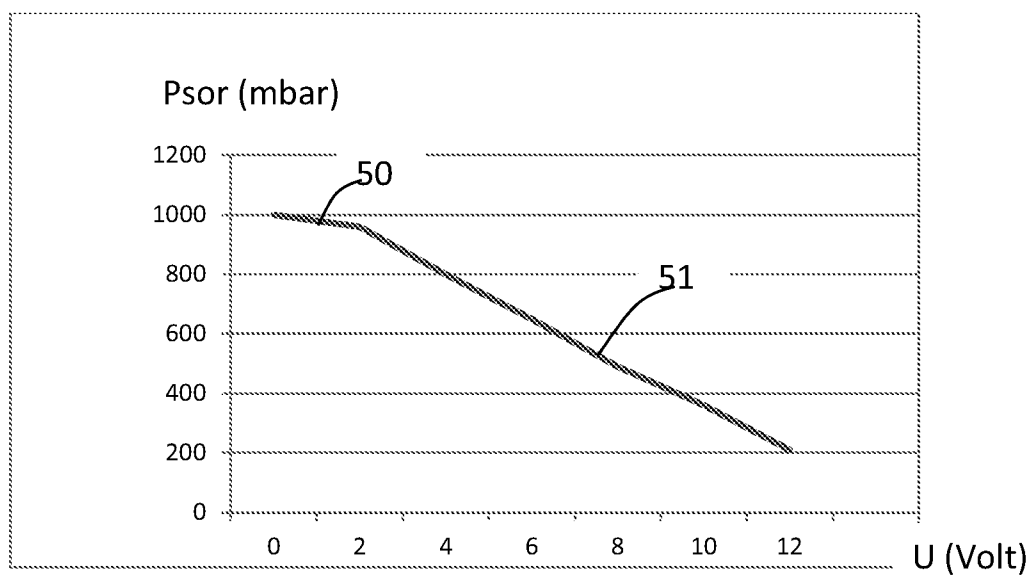
[00038] On remarquera que $P_{dif} = P_{ext} - P_{sor}$ et comme P_{ext} est une constante, la détermination de P_{sor} , à partir de P_{dif} , est quasiment
20 immédiate.

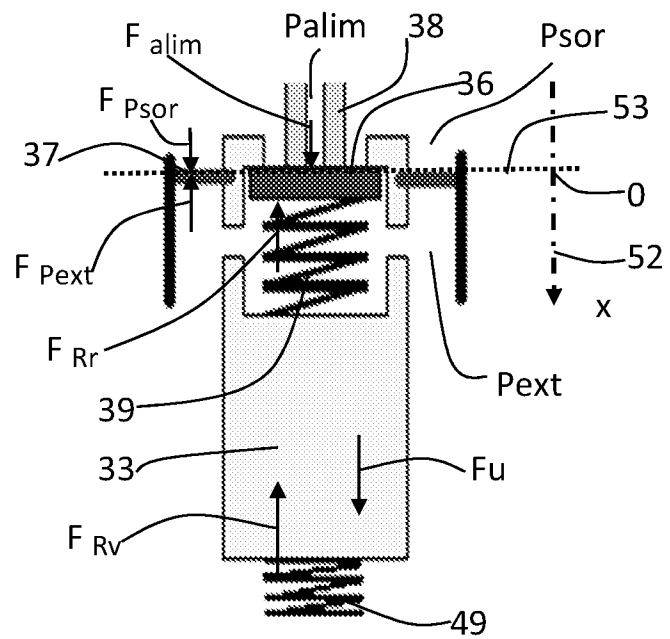
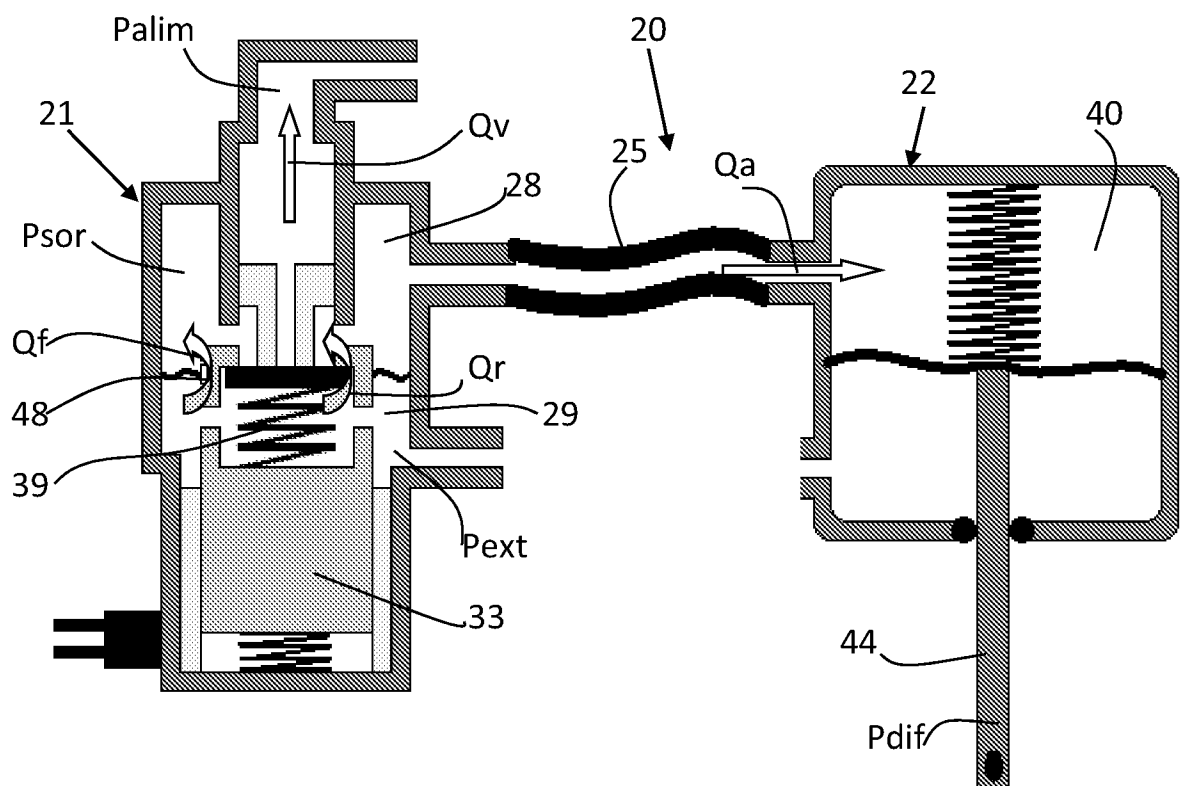
REVENDICATIONS

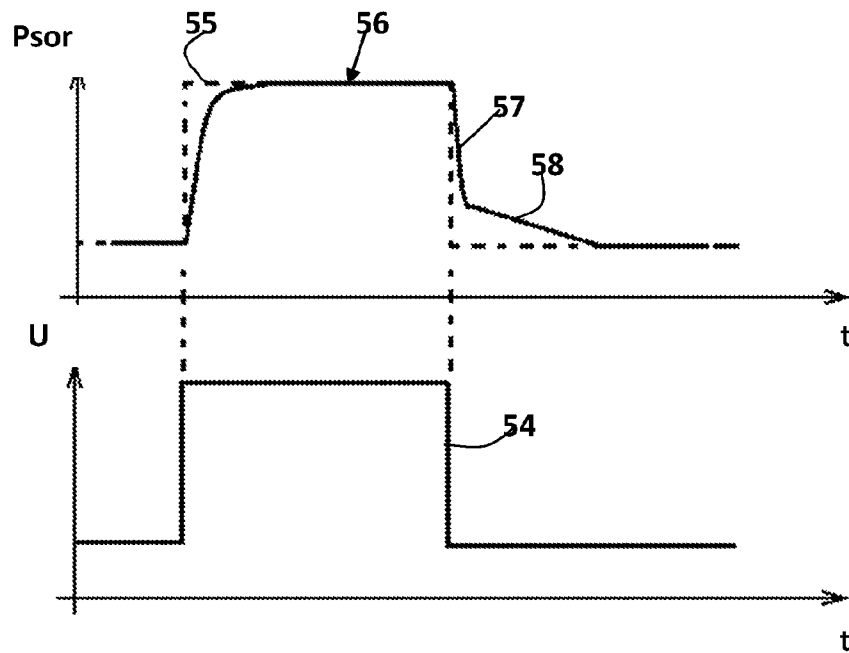
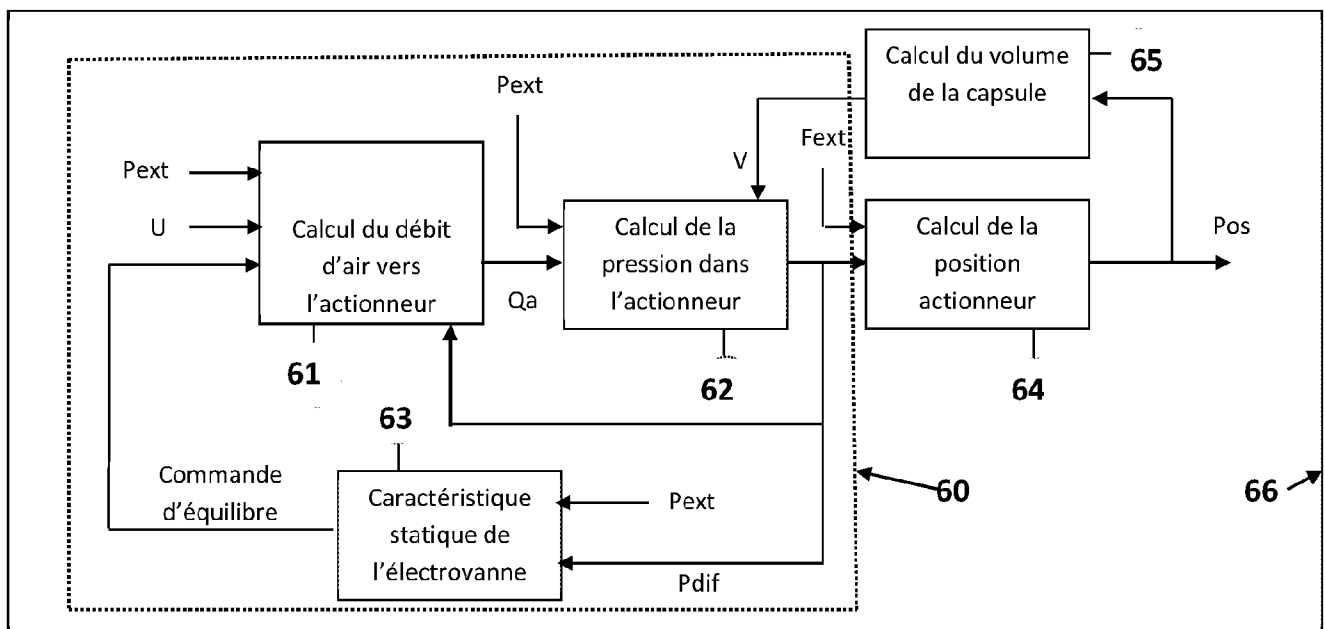
1. Procédé de détermination de la pression différentielle P_{dif} exercée sur la tige de commande (44) d'un actionneur (20) comprenant une électrovanne pneumatique (21) commandant le déplacement de ladite tige de commande en fonction d'un signal de commande U, ladite électrovanne comportant un circuit magnétique (31) permettant de déplacer un noyau mobile (33) en appliquant ledit signal de commande U audit circuit, une chambre (29) à la pression extérieure P_{ext} dans laquelle peut se déplacer ledit noyau, une chambre de sortie (28) à la pression de sortie P_{sor} , une chambre à vide (26) dans laquelle règne une pression P_{lim} , un clapet (36) permettant d'établir un débit d'air de remplissage Q_r de ladite chambre à la pression extérieure vers ladite chambre à la pression de sortie, un gicleur (38) permettant d'établir un débit d'air de vidange Q_v entre ladite chambre à la pression extérieure et ladite chambre à vide, un passage (48) entre ladite chambre à la pression extérieure et ladite chambre à la pression de sortie permettant un débit d'air de fuite Q_f , la pression différentielle P_{dif} étant égale à la pression extérieure P_{ext} moins la pression de sortie P_{sor} , ledit procédé étant caractérisé en ce que:
 - on détermine le débit d'air Q_a dans ladite chambre de sortie (28) en fonction de ladite pression P_{ext} , de ladite commande U et d'une commande d'équilibre qui caractérise la position dudit noyau pour laquelle le débit d'air Q_a est nul;
 - en fonction dudit débit d'air Q_a , de ladite pression extérieure P_{ext} et du volume de ladite chambre de sortie, on détermine ladite pression différentielle P_{dif} .
2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que ledit débit d'air Q_a dans ladite chambre de sortie (28) est déterminé en calculant:
 - ledit débit de vidange Q_v ,
 - ledit débit de remplissage Q_r , et
 - ledit débit de fuite Q_f .

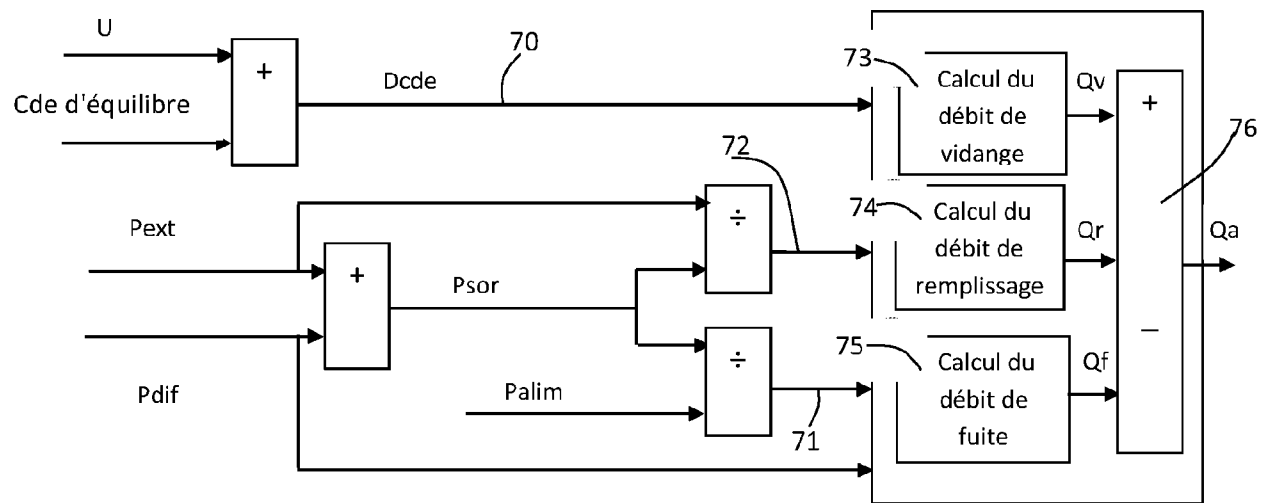
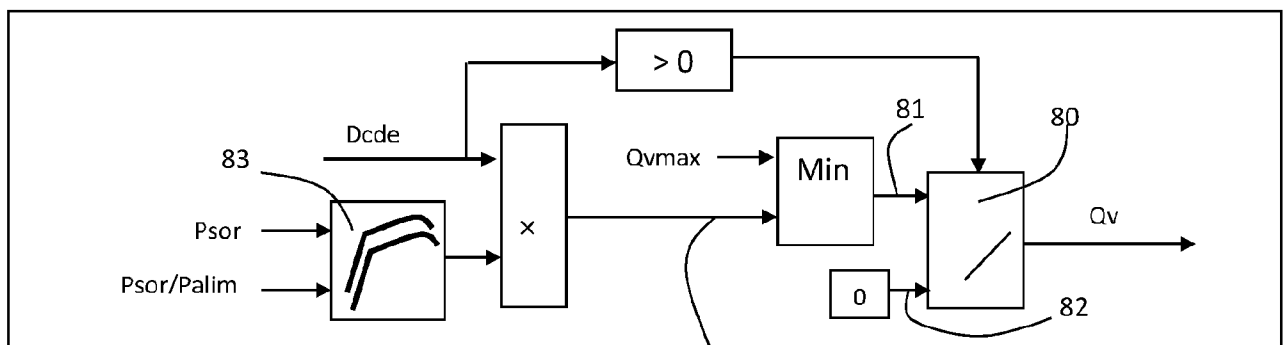
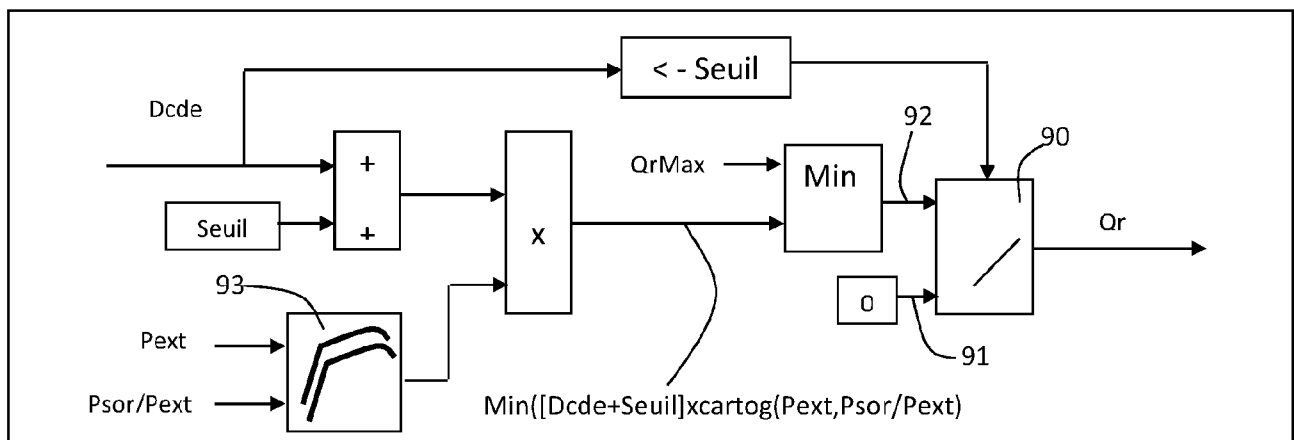
3. Procédé selon la revendication 2 caractérisé en ce que ledit débit de vidange Q_v est calculé en déterminant l'écart D_{cde} entre ladite commande U et ladite commande d'équilibre et
- si ledit écart D_{cde} est ≤ 0 alors $Q_v=0$ et
- 5 - si ledit écart D_{cde} est supérieur à 0, Q_v est déterminé en prenant la valeur la plus faible entre Q_{vmax} et une valeur dépendant dudit écart D_{cde} et d'une valeur dépendante de ladite pression P_{sor} et de ladite pression P_{alim} .
4. Procédé selon la revendication 3 caractérisé en ce que, si D_{cde} est
- 10 supérieur à 0, Q_v est déterminé à partir de la relation:
- $$Q_v = \text{Min}(D_{cde} \times \text{Cartographie} \left(P_{sor}, \frac{P_{sor}}{P_{alim}} \right), Q_{vMax})$$
5. Procédé selon l'une des revendications 2 à 4 caractérisé en ce que, ladite électrovanne comprenant un ressort de rappel en remplissage précontraint (39), ledit débit de remplissage Q_r est déterminé en
- 15 comparant l'écart D_{cde} entre ladite commande U et ladite commande d'équilibre avec une valeur $(-Seuil)$ qui caractérise la précontrainte dudit ressort, et
- si D_{cde} est supérieur à $(-Seuil)$, alors $Q_r = 0$ et
- si D_{cde} est inférieur à $(-Seuil)$, alors Q_r est déterminé à l'aide de la
- 20 relation:
- $$Q_r = \text{Min}([D_{cde} + Seuil] \times \text{Cartographie} \left(P_{ext}, \frac{P_{sor}}{P_{ext}} \right), Q_{rMax})$$
6. Procédé selon l'une des revendications 2 à 5 caractérisé en ce que ledit débit de fuite Q_f est déterminé à l'aide d'une cartographie fonction de ladite pression extérieure P_{ext} et du rapport de ladite pression de
- 25 sortie P_{sor} à ladite pression extérieure P_{ext} .
7. Procédé de détermination de la position Pos d'une tige de commande d'un actionneur (20) comprenant une électrovanne pneumatique (21) commandant le déplacement de ladite tige de commande en fonction d'un signal de commande U , ladite vanne comportant un circuit
- 30 magnétique (31) permettant de déplacer un noyau mobile (33) en

- appliquant ledit signal de commande U audit circuit, une chambre (29) à la pression extérieure P_{ext} dans laquelle peut se déplacer ledit noyau, une chambre de sortie (28) à la pression P_{sor} , une chambre à vide (26) dans laquelle règne une pression P_{lim} , un clapet (36) permettant
- 5 d'établir un débit d'air de remplissage Q_r de ladite chambre à la pression extérieure vers ladite chambre à la pression de sortie, un gicleur (38) permettant d'établir un débit d'air de vidange Q_v entre ladite chambre à la pression extérieure et ladite chambre à vide, un passage
- 10 (48) entre ladite chambre à la pression extérieure et ladite chambre à la pression de sortie permettant un débit d'air de fuite Q_f , ledit procédé de détermination de ladite position étant caractérisé en ce que:
- on détermine ladite pression différentielle P_{dif} exercée sur ladite tige de commande (44) selon l'une des revendications précédentes,
 - on détermine la position de ladite tige dudit actionneur à l'aide d'une
- 15 cartographie (120) fonction de ladite pression différentielle P_{dif} et de l'effort F_{ext} exercé sur ladite tige de commande, et
- on recalcule la position de ladite tige en prenant en compte la variation du volume (65) de ladite chambre de sortie pour la détermination dudit débit d'air Q_a .
- 20 **8.** Procédé selon la revendication 7 caractérisé en ce que ladite position obtenue à l'aide de ladite cartographie est filtrée par un filtre passe-bas du premier ordre afin de tenir compte de la dynamique dudit actionneur.

**Figure 1****Figure 2**

**Figure 3****Figure 4**

**Figure 5****Figure 6**

**Figure 7****Figure 8** ($Dcde \times \text{cartog}(Psor, Psor/Palim)$)**Figure 9**

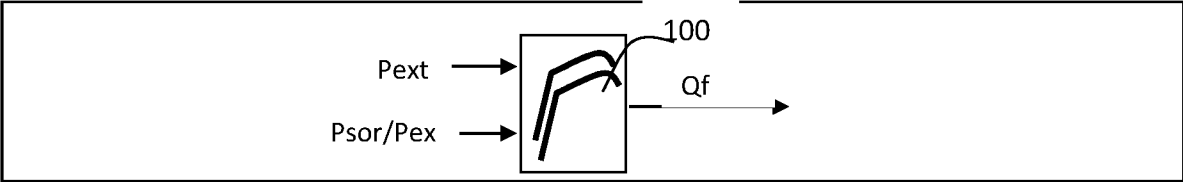


Figure 10

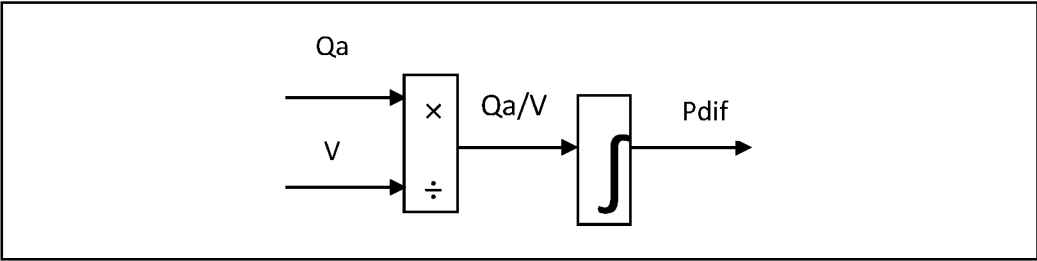


Figure 11

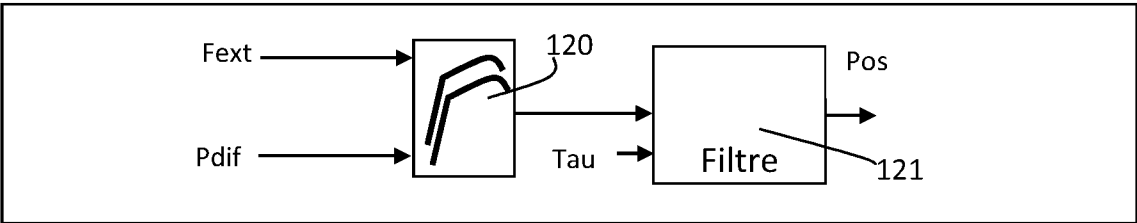


Figure 12

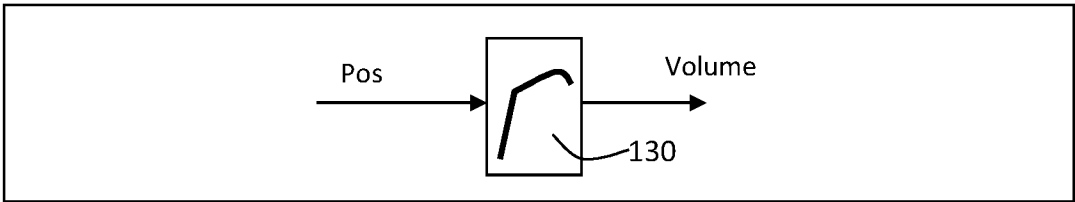


Figure 13

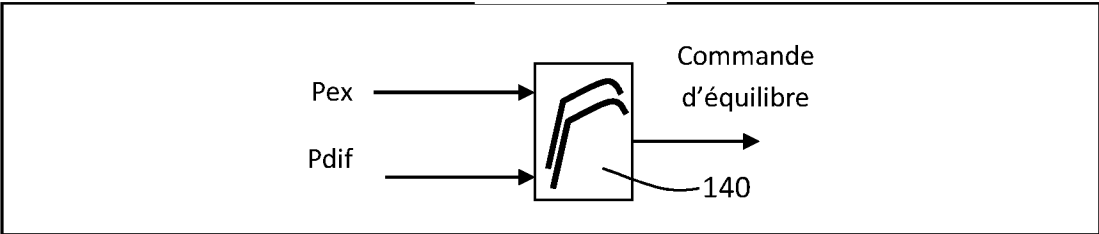


Figure 14

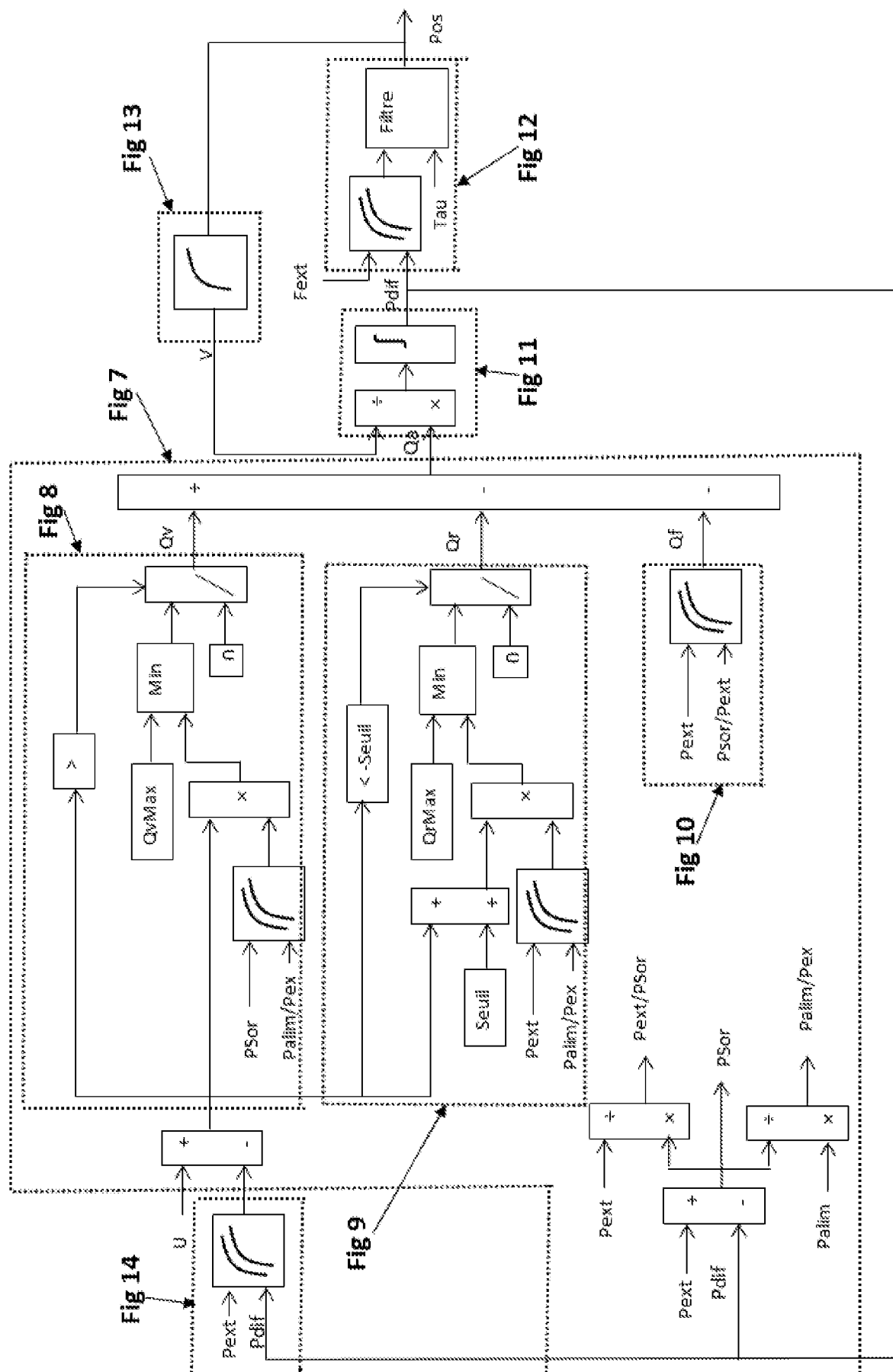


Figure 15