

Titre de l'invention : Commande de distributeur hydraulique par moteur pas à pas

Description de l'invention

Domaine technique

[1] L'invention concerne le domaine de la technologie des machines hydrauliques. Une installation hydraulique typique comporte au moins trois catégories de composants.

[2] La première catégorie a pour objectif de fournir un débit de fluide hydraulique sous pression. On parle de centrale hydraulique ou de groupe hydraulique. Il s'agit au minimum d'une pompe hydraulique entraînée par un moteur électrique ou thermique, et d'un réservoir d'où est prélevé le fluide hydraulique envoyé sous pression vers l'installation et vers lequel est renvoyé le fluide après utilisation.

[3] La seconde catégorie a pour objectif d'ouvrir à la demande le passage du fluide sous pression vers les dispositifs utilisateurs (actionneurs). S'il n'est pas utilisé, le débit de fluide est simplement renvoyé au réservoir.

La présente invention concerne cette catégorie, où on trouve les distributeurs commandés manuellement ou électriquement.

[Fig 1] illustre ces deux types de distributeurs.

[4] La troisième catégorie a pour objectif de transformer le débit de fluide sous pression en puissance mécanique directement utilisable par une machine. Il s'agit de la catégorie des actionneurs, typiquement des vérins hydrauliques et des moteurs hydrauliques.

L'objet du présent brevet porte sur la seconde catégorie et plus précisément sur des distributeurs commandés électriquement.

Technique antérieure

[5] Un distributeur hydraulique fonctionne typiquement en déplaçant un tiroir qui ouvre et ferme des passages de fluide.

Ce tiroir est rappelé en position neutre (en général, position centrale dans laquelle toute circulation de fluide est bloquée) par un ou plusieurs ressorts de

rappel intégrés au distributeur.

Une application typique est la commande des vérins d'une pelle mécanique, qui permet des mouvements d'approche lents et précis aussi bien que des mouvements rapides et puissants.

[Fig 2] montre, à titre d'illustration, le schéma d'un distributeur à trois positions qui permet de faire fonctionner un vérin ou un moteur hydraulique dans les deux sens, en envoyant le fluide sous pression présent sur l'entrée P soit vers A et le fluide revient alors par B à destination du réservoir T, soit vers B et le fluide revient alors par A à destination du réservoir T. Au neutre, A et B sont bloqués, interdisant toute circulation de fluide dans l'actionneur.

[Fig 3] montre en coupe un distributeur à trois positions conforme au schéma précédent. Les deux ressorts de rappel installés aux extrémités du tiroir ramènent ce dernier au neutre en absence d'effort de commande.

[Fig 4] schématise ce distributeur au repos, les orifices A et B sont obturés, interdisant toute circulation à travers l'actionneur.

[Fig 5] présente la configuration qui correspond à un faible déplacement du tiroir dans un sens. Une section réduite permet à un débit limité de fluide de circuler de l'alimentation P vers l'orifice A, et le retour depuis l'orifice B vers le réservoir T.

[Fig 6] présente la configuration grande ouverte dans le même sens, les sections de passage sont maximales, permettant à un maximum de débit de traverser l'actionneur.

[6] La commande de ce tiroir peut être manuelle, c'est à dire que le tiroir est déplacé par une personne agissant sur un levier ou elle peut être électrique.

[7] Dans le cas d'une commande électrique, celle-ci est aujourd'hui typiquement réalisée par deux bobines axiales montées aux extrémités du tiroir, une pour chaque direction. Chaque bobine, traversée par un courant électrique, applique un effort électromagnétique sur un élément mobile en fer doux qui tend à maximiser la perméabilité magnétique globale de la boucle de flux magnétique en refermant un circuit en fer doux. Le circuit magnétique peut se refermer soit par le mouvement d'un linguet mobile en fer doux à la manière d'un électroaimant, ou par le déplacement axial d'un noyau coulissant en fer doux.

[8] Les brevets CN213017011U, DE19948379A1, DE202007017894U1, FR2547664A1, US4503888A1I et US5036886A1I présentent des innovations

qui associent un distributeur hydraulique et un moteur pas-à-pas, ce qui les rapproche du présent brevet :

- [9] Le brevet CN213017011U remplace les électroaimants traditionnels d'un distributeur hydraulique par un moteur pas à pas entraînant directement le tiroir via une vis. L'objectif est d'augmenter l'effort disponible, de réduire l'échauffement et d'améliorer la précision de commutation.
- [10] Le brevet DE19948379A1 introduit un module d'actionnement interchangeable permettant d'équiper le même distributeur soit d'une commande manuelle, soit d'une commande électrique à moteur pas à pas. L'accent est mis sur la modularité industrielle et la conversion facile d'un système à l'autre.
- [11] Le brevet DE202007017894U1 propose de commander plusieurs distributeurs hydrauliques avec un moteur électrique unique à rotor multipolaire. L'objectif est de réduire l'encombrement, le poids et le coût des blocs hydrauliques multi-fonctions.
- [12] Le brevet FR2547664A1 utilise un moteur numérique (notamment pas à pas) pour commander un distributeur hydraulique. L'invention vise à obtenir une relation précise et reproductible entre la commande électrique et le débit hydraulique délivré.
- [13] Le brevet US4503888 introduit un système vis-écrou préchargé hydrauliquement pour supprimer le jeu mécanique (backlash) entre le moteur pas à pas et le tiroir de servovalve. L'objectif principal est l'amélioration de la précision et de la stabilité du positionnement.
- [14] Le brevet US5036886 décrit une servovalve numérique en boucle fermée, associant moteur pas à pas, capteur de position et microprocesseur. L'innovation porte sur l'asservissement numérique complet du tiroir et non sur le seul entraînement mécanique.

Problème technique

- [15] S'agissant de vannes commandées électriquement, la bonne pratique, rappelée par la réglementation machine européenne, impose qu'une absence inopinée d'énergie électrique ou son établissement ne doivent pas pouvoir conduire à des mouvements possiblement dangereux. Une coupure électrique doit conduire à un arrêt de tout mouvement. Pour une machine hydraulique, ceci se traduit par le blocage de toute circulation de fluide à travers les actionneurs.

Le rétablissement de l'alimentation électrique doit conduire à un redémarrage tous mouvements arrêtés.

- [16] Pratiquement, ceci se traduit au niveau du distributeur par le retour du tiroir à la position neutre sous l'action d'un ou plusieurs ressorts de rappel. Si un dispositif de type électroaimant n'empêche pas mécaniquement le retour en position neutre du tiroir en cas de coupure d'alimentation, la question se pose pour un tiroir mu par un moteur électrique, essentiellement du fait de la démultiplication qui doit être réversible (le ressort de rappel doit pouvoir ramener le tiroir en position neutre sans être empêché par le motoréducteur).
- [17] La difficulté liée à l'utilisation d'un dispositif de type électroaimant est d'assurer la précision du déplacement du tiroir. En effet la position du tiroir est la conséquence directe du courant qui traverse la bobine et de l'effort électromagnétique résultant.
- [18] La difficulté liée à l'utilisation d'un motoréducteur est de garantir qu'avec une démultiplication réversible, il soit capable d'entraîner le tiroir dans les deux sens, en poussant les ressorts de rappel ou au contraire en freinant leur action, et de maintenir la position atteinte. Pour rappel, une transmission est réversible si elle n'empêche pas l'entraînement du moteur par la charge.

Solution technique

- [19] L'utilisation d'un moteur électrique est pertinente dans la mesure où celui-ci permet de générer un déplacement continu (linéaire ou angulaire) sans changement significatif des caractéristiques de couple ou d'effort le long de ce déplacement, ce qui permet la mise en œuvre aisée d'une démultiplication propre à réduire la puissance nécessaire.
- [20] Le choix d'un moteur pas-à-pas permet un contrôle précis de la vitesse et du positionnement du tiroir en boucle ouverte (par opposition à un fonctionnement en boucle fermée qui met en œuvre un asservissement basé sur une mesure de déplacement). Il permet également de maintenir sa position angulaire en maintenant l'alimentation électrique.
- [Fig 7] est un schéma pédagogique qui montre le principe de fonctionnement d'un moteur pas-à-pas bipolaire à 4 pas par tour. Chacune des deux bobines fixes A et B (stator du moteur) peut être alimentée en faisant circuler le courant

dans un sens ou dans l'autre, formant deux électroaimants capables chacun de générer un nord d'un côté et un sud de l'autre. L'aimant permanent du rotor s'aligne alors sur le champ magnétique ainsi créé. En alimentant successivement les bobines avec des polarités adaptées, on peut faire tourner l'aimant dans un sens ou dans l'autre à la vitesse choisie. On peut également figer sa position angulaire en maintenant une bobine sous tension. La position angulaire attendue du moteur est connue en comptant les pas dans chaque sens.

[21] L'objet de cette invention est de commander le tiroir avec un moteur pas-à-pas par l'intermédiaire d'une cinématique déterministe et réversible.

L'adjectif « déterministe » exprime ici que la loi qui lie de manière déterministe la position linéaire « x » du tiroir à la position angulaire « a » du rotor du moteur pas-à-pas (la position angulaire s'entend ici au sens des équations mécaniques, avec des valeurs angulaires possiblement très supérieures à 360°, typiquement plusieurs tours) est bijective dans le domaine d'utilisation : à chaque position du tiroir correspond une et une seule position angulaire du rotor du moteur, et à chaque position angulaire du rotor du moteur correspond une et une seule position du tiroir.

Une telle transmission mécanique dite déterministe (dans le domaine d'utilisation) peut lier la position du tiroir et la position angulaire du rotor du moteur suivant une loi linéaire (comme par exemple une transmission par train d'engrenages, par courroie crantée ou par chaîne, par opposition à la courroie lisse qui peut patiner) ou suivant une loi non linéaire (comme par exemple une transmission de mouvement par un système de cames ou de leviers).

L'adjectif « réversible » exprime que la transmission peut fonctionner dans les deux sens du point de vue de la transmission du mouvement, par opposition par exemple à certains systèmes roue et vis sans fin qui permettent l'entraînement de la roue dentée par la vis mais pas l'entraînement de la vis par la roue dentée. Dans cette invention, le moteur pas-à-pas alimenté électriquement génère un couple suffisant pour écarter le tiroir du distributeur de sa position neutre jusqu'en fin de course malgré la résistance opposée par le (les) ressort(s) de rappel.

Dans cette invention, le couple de freinage généré par le moteur pas-à-pas alimenté électriquement est suffisant pour retenir sur toute sa course le tiroir du distributeur, malgré l'effort d'entraînement appliqué par le (les) ressort(s) de

rappel, lorsque le tiroir est rapproché de sa position neutre.

Aussi longtemps que l'électronique de commande maintient sous tension au moins l'une des bobines du moteur pas-à-pas, le contrôle de la position angulaire de son rotor est maîtrisée avec une précision d'un pas.

Dans cette invention, la résistance qu'oppose (par l'intermédiaire de la cinématique de transmission) le moteur pas-à-pas non alimenté électriquement au déplacement du tiroir est suffisamment faible pour permettre le retour en position neutre du tiroir du distributeur sous la seule action du (des) ressort(s) de rappel.

[22] Les caractéristiques majeures du moteur pas-à-pas sont rappelées ci-dessous.

[23] Sa fiabilité et sa répétabilité sont largement démontrées sur les imprimantes papier et les imprimantes 3D, qui peuvent fonctionner pendant des heures sans perte de pas.

[24] Il est simple à mettre en œuvre grâce à sa capacité à fonctionner en boucle ouverte. Il n'y a pas de nécessité d'implanter ni un capteur de déplacement ni un dispositif d'asservissement de la position en fonction de l'écart entre une consigne et la mesure. Avec le moteur pas-à-pas, chaque pas commandé, dans un sens ou dans l'autre, est supposé exécuté (ceci ne fonctionne qu'en absence de blocage mécanique).

[25] Son mode de fonctionnement est tel qu'en cas de blocage mécanique, les pas sont simplement sautés sans dommage mécanique ou électrique, ni sur le moteur, ni sur sa commande.

[26] Il présente typiquement une résolution de 200 pas par tour, ce qui permet une bonne précision de positionnement.

Par exemple, une démultiplication de 5 d'un tel moteur pas-à-pas permet d'atteindre une résolution de 1000 pas par tour, soient presque 3 pas par degré d'angle.

[27] Sa capacité à maintenir sa position angulaire en assurant un couple de maintien électromagnétique (grâce au maintien sous tension de bobines du stator) évite les dérives lorsqu'aucun mouvement n'est commandé.

En corollaire, l'absence d'alimentation électrique du moteur (aucune bobine alimentée) réduit très significativement le couple de maintien, ce qui permet le retour au neutre par la seule action des ressorts de rappel (grâce à une cinématique réversible adaptée).

[28] Sa capacité à permettre l'entraînement d'une charge qui résiste, et aussi le freinage d'une charge qui entraîne.

[29] Son fonctionnement est basé sur l'alimentation alternée de bobines, chaque bobine est excitée ou n'est pas excitée (commande binaire). La précision de positionnement du moteur n'est pas affectée par d'éventuelles variations de tension (dans les limites du domaine de fonctionnement).

Avantages au regard d'une commande de distributeur hydraulique

[30] Le moteur pas-à-pas est capable de générer un couple important au regard de ses dimensions, ce qui permet d'envisager une démultiplication limitée, il peut entraîner ou freiner, il est fiable, il est précis, et sa capacité à fonctionner en boucle ouverte simplifie la commande.

De plus il est capable de maintenir sa position angulaire tant qu'il est alimenté et de résister faiblement lorsqu'il ne l'est plus.

[31] Le moteur lui-même ne garde pas de trace de sa position angulaire courante, le maintien à jour du compteur de pas (image de sa position angulaire) est à la charge de l'électronique de contrôle, qui commande les pas dans un sens ou dans l'autre.

[32] Toutes ces caractéristiques le rendent particulièrement adapté pour la commande d'un distributeur hydraulique :

[33] En l'absence d'alimentation électrique, la position du moteur n'est pas maintenue et le ressort de rappel du distributeur peut assurer le retour et le maintien en position neutre sans être empêché par la motorisation. Dans le même temps, l'électronique de commande n'étant plus alimentée, la valeur du compteur de pas est perdue. Cette dernière sera remise à zéro au prochain démarrage.

[34] Le rétablissement de l'alimentation électrique ne risque donc pas de provoquer une ouverture intempestive du distributeur hydraulique propre à conduire à des mouvements possiblement dangereux : le système se remet sous tension en configuration neutre et stable (distributeur et électronique de commande).

Exemple de mise en œuvre de l'invention

[35] Cet exemple illustre la conversion d'un distributeur manuel en distributeur commandé électriquement par l'ajout d'une motorisation.

[Fig 8] montre une implantation construite avec un motoréducteur pas-à-pas qui

déplace le tiroir du distributeur hydraulique par l'intermédiaire d'une transmission mécanique constituée d'engrenages et de leviers liés par une bielle.

Dans cette configuration, la manette de commande d'un distributeur manuel (6) a été remplacée par le levier (5). Ce dernier est le dernier maillon de la transmission mécanique externe au distributeur qui permet au moteur pas-à-pas (1) d'agir à la place d'une action manuelle. Le réducteur à engrenages (2) implanté en prolongement du moteur pas-à-pas, le levier (3) en bout de réducteur, la bielle (4) et le levier final (5) constituent la transmission déterministe réversible.

[36] En fonctionnement normal, l'ensemble motoréducteur est conçu pour que le couple du moteur soit suffisant pour assurer le déplacement et le maintien du tiroir malgré l'effort opposé par les ressorts de rappel lorsque le tiroir est écarté de sa position neutre, et malgré l'effort d'entraînement appliqué par les ressorts de rappel lorsque le tiroir est rapproché de sa position neutre.

[37] En l'absence d'alimentation électrique, l'ensemble bielles+motoréducteur est conçu pour que la résistance qu'il oppose au déplacement du tiroir soit inférieure à l'effort appliqué par les ressorts de rappel du distributeur.

Revendications

[Revendication 1] Dispositif de commande d'un distributeur hydraulique

comportant un tiroir mobile rappelé vers une position neutre par au moins un ressort de rappel, caractérisé en ce qu'il comprend un moteur pas-à-pas relié audit tiroir par une transmission mécanique réversible, l'association du ou des ressorts de rappel, de la transmission et du moteur pas-à-pas étant configurée de manière à :

1- permettre, lorsque le moteur est piloté électriquement, le déplacement et le maintien du tiroir dans toute position de commande contre l'action du (des) ressort(s) de rappel,

2- permettre, lorsque le moteur n'est plus alimenté électriquement, le retour automatique du tiroir vers sa position neutre sous la seule action du (des) ressort(s) de rappel, sans que ce retour soit empêché par le moteur et sa transmission.

Ainsi, la position du tiroir peut être commandée en boucle ouverte par comptage des pas du moteur tout en conservant une fonction de sécurité passive assurant le retour au neutre en cas de perte d'alimentation électrique.

Abrégé

L'invention consiste à commander le sens et l'ouverture d'un distributeur hydraulique avec un moteur pas à pas agissant sur lui par l'intermédiaire d'une transmission réversible, l'ensemble ressort(s) de rappel + transmission réversible + moteur pas à pas étant configuré pour qu'en absence d'alimentation électrique, la motorisation n'empêche pas le retour au neutre du distributeur par le(s) ressort(s) de rappel. Cette solution, économique et fiable, permet un positionnement précis du tiroir du distributeur en fonctionnement normal, et un retour en position neutre sous l'action du (des) ressort(s) de rappel en cas de coupure d'alimentation électrique.

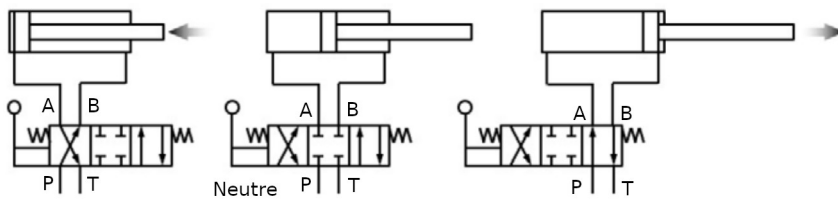
Figure pour l'abrégé : [Fig 8]

Dessins

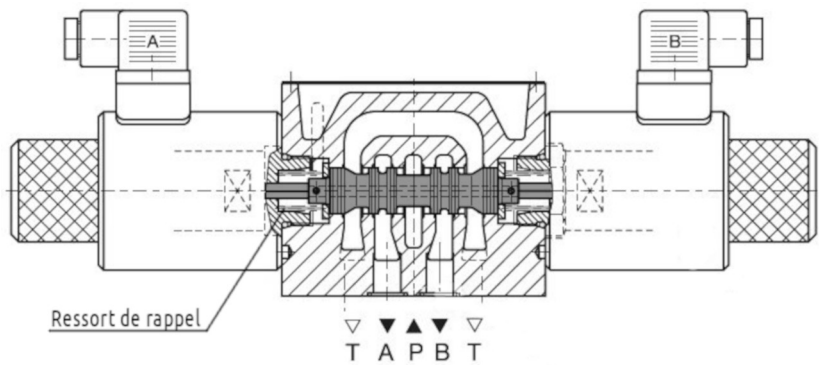
[Fig 1]



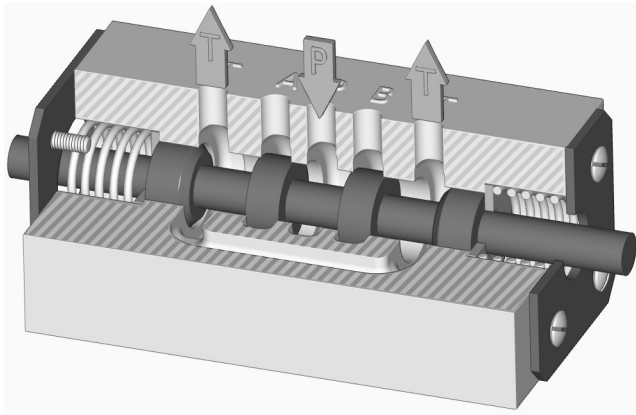
[Fig 2]



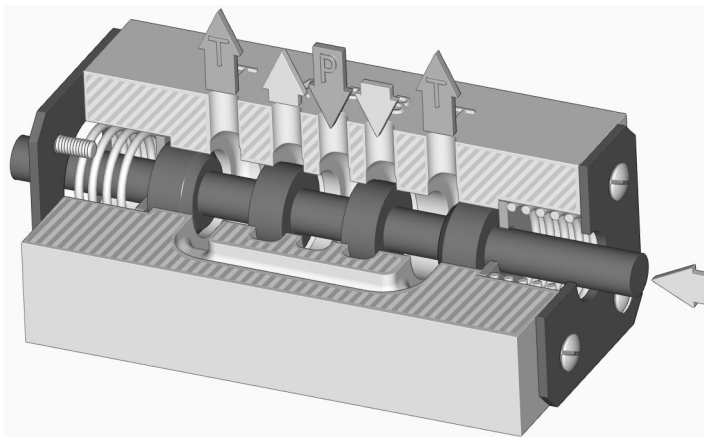
[Fig 3]



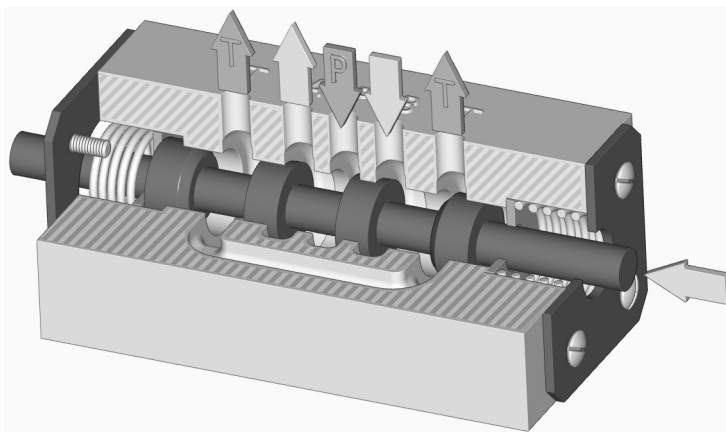
[Fig 4]



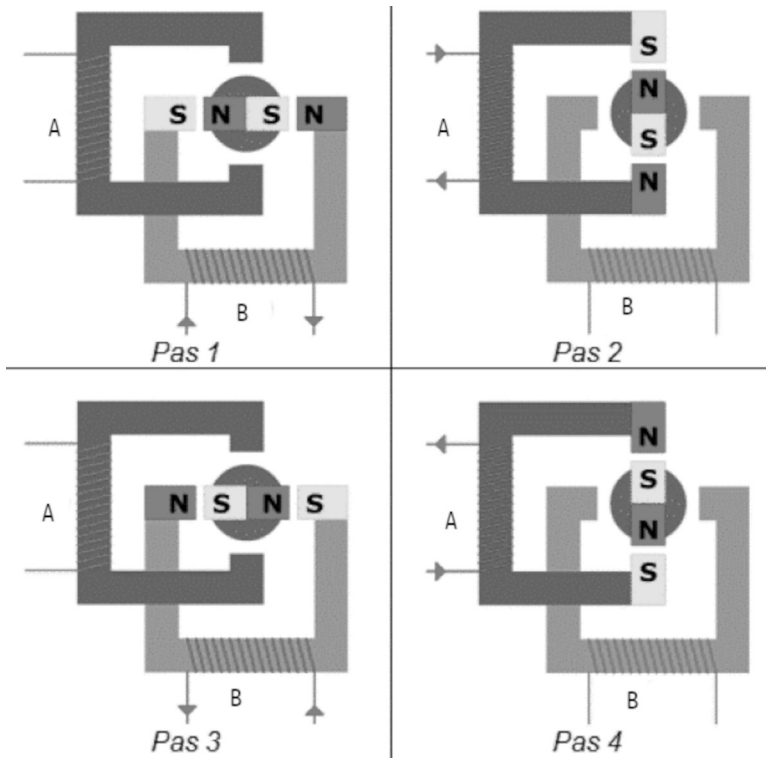
[Fig 5]



[Fig 6]



[Fig 7]



[Fig 8]

