

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 81 17940**

(54)

Pompe à pistons multicorps à débit constant.

(51)

Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). F 04 B 1/04, 49/08.

(22)

Date de dépôt..... 23 septembre 1981.

(33) (32) (31)

Priorité revendiquée : RFA, 23 septembre 1980, n° P 30 35 770.1.

(41)

Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 12 du 26-3-1982.

(71)

Déposant : Société dite : BRUKER-ANALYTISCHE MESSTECHNIK GMBH, résidant en RFA.

(72)

Invention de : Dieter Koch et Tonio Gianotti.

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire : Cabinet Beau de Loménie,  
55, rue d'Amsterdam, 75008 Paris.

La présente invention concerne une pompe à pistons multicorps à débit constant pour chromatographes en phase liquide, dont l'entraînement comprend un moteur et un système de régulation réagissant à la pression du liquide refoulé pour faire varier la vitesse de rotation du moteur et par suite le débit en fonction de la pression du liquide.

Pour la chromatographie en phase liquide, il est nécessaire de produire un courant liquide qui circule sous pression élevée dans la colonne de séparation, avec une stabilité maximale. Les pressions requises sont de l'ordre de quelques centaines de bars pour un débit maximal de 10 ml/mn. Une pression de l'ordre de quelques centaines de bars produit déjà une compression notable du liquide.

La demande de brevet de la République fédérale d'Allemagne publiée sous le n° 23 11 016 décrit une pompe à pistons multicorps du type précité, qui comprend deux unités à piston et cylindre qu'un moteur entraîne, par l'intermédiaire d'un réducteur comportant des roues dentées elliptiques et excentrées, de façon que la somme des translations instantanées des pistons des deux cylindres dans le sens de compression soit une constante, la pompe à pistons présentant ainsi un débit constant par suite de sa constitution mécanique. Le système de régulation réagissant à la pression du liquide refoulé fait varier la vitesse de rotation du moteur dans le cas d'une variation de pression, de façon à compenser les variations de débit dues à la compression du liquide et à maintenir le débit constant même dans le cas de variations de pression.

Comme précédemment indiqué, le débit constant de la pompe à pistons connue dépend de sa constitution mécanique. Cette dernière doit être réalisée avec une précision extrêmement élevée pour garantir une valeur constante des faibles débits considérés. La production et le montage de roues dentées elliptiques et excentrées présentent en outre des difficultés importantes.

L'invention a pour objet une pompe à pistons multicorps à débit constant, présentant une constitution mécanique considérablement simplifiée et n'exigeant en particulier aucun réducteur à roues dentées elliptiques et excentrées.

Selon une caractéristique essentielle de l'invention, la pompe à pistons comporte au moins trois unités à piston et cylindre, dont les pistons sont entraînés par le moteur avec un déphasage relatif de  $360^\circ/n$ ,  $n$  étant le nombre d'unités; et le système de régulation faisant varier la vitesse de rotation du moteur pendant chaque période de déplacement des pistons est ajusté de façon que la pression du liquide refoulé soit au moins sensiblement constante pendant chaque période.

Un débit constant n'est donc pas obtenu par la constitution mécanique, comme dans le cas de la pompe à pistons connue, mais par une régulation de la vitesse de rotation du moteur d'entraînement de la pompe à pistons. En cas d'emploi de trois unités à piston et cylindre, fonctionnant avec un déphasage relatif de  $360^\circ/3 = 120^\circ$ , les courants liquides refoulés par les trois unités s'additionnent pour former un courant total, dont les fluctuations sont d'environ 13 % en l'absence de mesures supplémentaires. Un chromatographe en phase liquide fonctionnant avec une résistance à l'écoulement élevée, qui impose la pression de refoulement élevée, ces fluctuations du débit se traduisent par une fluctuation correspondante de la pression du liquide refoulé, qui selon l'invention est utilisée pour faire varier la vitesse de rotation du moteur pendant chaque période du déplacement des pistons, de façon à compenser les fluctuations du débit apparaissant pour une vitesse de rotation constante du moteur. L'invention permet par suite, en utilisant des opérations de régulation simples, de réaliser une pompe à pistons multicorps à débit constant, sans mesures mécaniques complexes et coûteuses.

Il va de soi qu'une pompe à pistons multicorps selon l'invention pourrait aussi comporter plus de trois unités à cylindre et piston. L'utilisation d'unités supplémentaires n'influence pas de façon sensible la constitution d'une boucle de régulation et chaque unité supplémentaire entraîne des coûts, de sorte qu'une pompe à trois unités est actuellement jugée optimale.

Comme précédemment indiqué, une régulation de la vitesse de rotation du moteur est effectuée dans la pompe à pistons multicorps selon l'invention, de façon que la pression du liquide refoulé

demeure constante. Cette pression ne dépend toutefois pas uniquement du débit, mais aussi de la viscosité du liquide refoulé. Lorsque la viscosité du liquide refoulé augmente, la pression du liquide refoulé croît à débit constant. Une variation de la viscosité du liquide  
5 refoulé entraîne par suite une variation du débit, la pression étant maintenue constante. La chromatographie en phase liquide utilise souvent des mélanges de solvants dont la composition varie au cours d'une analyse, de sorte que la viscosité du liquide refoulé varie aussi pendant l'analyse. Afin de maintenir le débit constant même  
10 dans ce cas, et selon une autre caractéristique de l'invention, le système de régulation comprend un dispositif indépendant de la pression pour surveiller et maintenir constante la vitesse de rotation moyenne du moteur. La vitesse de rotation du moteur des pompes à pistons étant une mesure directe du débit, ce dernier demeure également  
15 constant quand la vitesse de rotation moyenne est maintenue constante. La régulation en fonction de la pression vise alors uniquement à fixer la variation de la vitesse de rotation du moteur, qui est déterminée par la surveillance de la vitesse de rotation moyenne.

Comme précédemment indiqué, le débit dépend dans une certaine  
20 mesure de la compression subie par le liquide sous la pression de refoulement. Selon une autre caractéristique de l'invention, le système de régulation comprend un dispositif de variation de la vitesse de rotation du moteur en fonction de la pression moyenne du liquide refoulé, de sorte que le débit demeure constant par compensation de  
25 la compression du liquide en fonction de la pression.

Ce dispositif de variation de la vitesse de rotation peut être réalisé selon le principe décrit dans la demande précitée de brevet de la République fédérale d'Allemagne publiée sous le  
n° 23 11 016. Il est toutefois plus avantageux, selon une autre caractéristique de l'invention, que le dispositif de variation de la  
30 vitesse de rotation comprenne un capteur, qui réagit à la pression régnant dans au moins une unité à cylindre et piston, et fait varier la vitesse de rotation du moteur en fonction de la course effectuée par le piston entre son point mort bas et l'établissement de la  
35 pression de service. La pression dans l'unité à piston et cylindre

doit s'élever de la pression du liquide aspiré jusqu'à la pression de refoulement, puis demeure constante jusqu'à la fin de la course de compression. Le passage de l'élévation de pression à la pression constante peut être déterminé par mesure, de sorte qu'il est possible de  
5 déterminer la course du piston jusqu'à l'établissement de la pression de service et de compenser le débit de la pompe en fonction de cette course, sans qu'il soit nécessaire de connaître les valeurs de la compressibilité de divers liquides en fonction de la pression de service.

10 Dans une forme de réalisation préférentielle de l'invention, le moteur d'entraînement de la pompe à pistons est un moteur pas à pas, alimenté par des impulsions de courant dont la fréquence détermine la vitesse de rotation du moteur. Le système de régulation est alors réalisé de façon à influencer la fréquence des impulsions de  
15 courant. Dans les moteurs pas à pas, un tour est divisé en un nombre très élevé de pas, de sorte que la variation de la fréquence des impulsions et par suite de la séquence temporelle des divers pas permet une régulation très fine de la vitesse de rotation du moteur pendant chaque période du déplacement des pistons. L'influence sur  
20 la fréquence des impulsions de courant est particulièrement simple quand ces dernières sont délivrées au moteur par un pilote réagissant à des impulsions de commande; une source d'impulsions délivre les impulsions de commande à une fréquence supérieure à la fréquence correspondant à la vitesse de consigne du moteur; et un diviseur  
25 de fréquence commandé, branché entre la source d'impulsions et le pilote, reçoit un signal de commande fonction de la pression, qui ajuste son rapport de division à des valeurs telles que les impulsions de commande transmises au pilote présentent des fréquences alternativement supérieures et inférieures à la fréquence corres-  
30 pondant à la vitesse de consigne. Il va de soi que ces écarts de fréquence peuvent être quelconques, différents et variables dans le temps. Dans une forme de réalisation préférentielle de l'invention, la fréquence correspondant à la vitesse de consigne est égale aux deux tiers de la fréquence des impulsions de commande délivrées  
35 par la source d'impulsions; et le rapport du diviseur de fréquence

est ajustable à 1/1 ou 1/2. Un système de régulation fonctionnant dans ces conditions est réalisable avec un appareillage extrêmement réduit.

5 Dans le cas d'une transmission directe au pilote des impulsions de commande délivrées par le diviseur de fréquence, la fréquence des impulsions de courant délivrées par le pilote et par suite le rapport de rotation du moteur pas à pas fluctueraient aussi dans un rapport de 1/2. Un lissage de ces fluctuations peut être obtenu en branchant un second diviseur de fréquence à rapport fixe entre le diviseur de  
10 fréquence commandé et le pilote. La pratique montre qu'un second diviseur de fréquence à rapport de 1/8 convient particulièrement bien. Il va de soi qu'en cas d'utilisation d'un tel second diviseur de fréquence, les fréquences des impulsions de commande et le rapport dudit diviseur doivent être supérieurs aux valeurs qui seraient nécessaires si les impulsions de commande étaient transmises directement  
15 par le diviseur de fréquence au pilote.

Dans une forme de réalisation préférentielle de l'invention, le système de régulation comprend un convertisseur électrique de pression, qui réagit à la pression du liquide refoulé et dont le  
20 signal de sortie est transmis, par un filtre passe-haut et un étage additionneur dans lequel le signal de sortie est superposé à une tension continue de référence, à un discriminateur à seuil, dont le signal de sortie commande l'ajustement du diviseur de fréquence. Dans ce cas, la tension continue de référence fixe la vitesse de rotation moyenne du signal, tandis que par suite de l'emploi d'un filtre passe-  
25 haut, seules sont prises en considération les composantes du signal délivré par le convertisseur électrique de pression, qui résultent de fluctuations rapides de la pression et servent par suite à faire varier la vitesse de rotation du moteur pendant chaque période du déplacement des pistons. Cette disposition présente l'avantage particulier suivant : la tension continue de référence peut être une tension de commande dérivée de la vitesse de rotation du moteur. Cette tension de commande peut, d'une façon extrêmement simple, être caractéristique de la différence entre la fréquence correspondant à  
30 la vitesse de consigne et la fréquence moyenne des impulsions de  
35

commande transmises au pilote, et produire une diminution de cette différence.

Pour produire cette tension de commande d'une façon particulièrement simple, et selon une autre caractéristique de l'invention, un premier signal impulsionnel, caractéristique de la fréquence correspondant à la vitesse de consigne, est transmis à une entrée et un second signal impulsionnel, caractéristique de la fréquence instantanée des impulsions de commande transmises au pilote, est transmis à la seconde entrée d'un compteur-décompteur dont l'indication est ainsi toujours égale à la différence des impulsions transmises par les deux signaux. La tension de commande utilisée comme tension continue de référence peut alors être une tension analogique dérivée de l'indication instantanée du compteur.

Quand, comme précédemment indiqué, la fréquence correspondant à la vitesse de consigne est égale aux deux tiers de la fréquence des impulsions délivrées par la source d'impulsions et le diviseur de fréquence est ajustable aux rapports de 1/1 et 1/2, le premier signal impulsionnel est avantageusement constitué par un train d'impulsions identiques, dont la fréquence est égale au tiers de la fréquence des impulsions de commande délivrées par la source d'impulsions, et le diviseur de fréquence ajusté au rapport de 1/2 transmet une impulsion de commande sur deux non pas au pilote, mais au compteur sous forme de second signal impulsionnel.

Le dispositif précité de variation de la vitesse de rotation en fonction de la pression, qui compense la compression du liquide, peut d'une façon particulièrement simple faire varier, en fonction de la pression, la fréquence des impulsions de commande délivrées par la source d'impulsions.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à l'aide de la description détaillée ci-dessous d'un exemple de réalisation et des dessins annexés sur lesquels : la figure 1 est l'élévation d'une pompe à pistons multicorps selon l'invention; la figure 2 est l'élévation de la pompe selon figure 1, dans le sens de la flèche II;

la figure 3 est la coupe suivant l'axe III-III de la figure 2; et la figure 4 représente le schéma synoptique du système de régulation de la pompe décrite.

La pompe à pistons représentée aux figures 1-3 comprend trois unités à piston et cylindre 1 à 3, montées par bride sur l'enveloppe d'un carter cylindrique. Les trois unités 1 à 3 sont identiques et sont constituées chacune, comme le montre la figure 3 pour l'unité 1, par un bloc-cylindre 5 et un poussoir 6, dont l'extrémité antérieure, de diamètre réduit, forme le piston 7. Ce dernier pénètre dans un fin alésage 8 du bloc-cylindre 5 et l'étanchéité de son extrémité postérieure par rapport audit bloc est assurée par un joint 9. Un alésage radial 10, relié à la canalisation d'alimentation 11, débouche dans l'alésage 8. Un clapet de non-retour 12, disposé entre la canalisation d'alimentation 11 et l'alésage radial 10, isole la canalisation 11 pendant la course de refoulement du piston. La canalisation 14 de refoulement du fluide est reliée à un second alésage radial 13. Un clapet de non-retour 15, disposé entre l'alésage radial 13 et la canalisation de refoulement 14, isole cette dernière pendant la course d'aspiration de la pompe. A l'extrémité de l'alésage 8 du cylindre se trouve un capteur 16, qui délivre un signal électrique, proportionnel à la pression régnant dans le cylindre, et le transmet par une ligne 17 au microprocesseur 18 du système de régulation (figure 4).

Un moteur pas à pas 23, fixé sur une paroi frontale du carter 4, entraîne le poussoir 6 de l'unité à piston et cylindre 1, ainsi que les poussoirs 21 et 22 des unités 2 et 3. Son arbre moteur 24 pénètre dans le carter 4 et porte une roue dentée 25, engrenée avec une roue dentée 26 de diamètre supérieur, montée dans le carter 4. L'extrémité des poussoirs 6, 21, 22 s'applique sur la circonférence d'un excentrique 28, fixé sur le même arbre 27 que la roue dentée 26. Pour réduire le frottement, une bague 29, montée en rotation sur la circonférence de l'excentrique 28, peut être disposée entre ce dernier et les extrémités des poussoirs 6, 21 et 22. Chaque poussoir 6, 21, 22 est chargé par un ressort à boudin de compression 30, 31, 32, qui prend appui d'un côté sur l'enveloppe du carter 4 et de l'autre



sur une bride ou un collet 33, 34, 35 du poussoir. Les trois poussoirs 6, 21 et 22 sont montés radialement par rapport à l'arbre 27 qui porte l'excentrique 28, avec un décalage angulaire de  $120^\circ$ , et interagissent avec le même excentrique 28; ils effectuent par suite des mouvements commandés par ce dernier, avec un déphasage relatif de  $120^\circ$ . Dans ce montage, la position des pistons est en outre une fonction directe de la position de la roue dentée 26 entraînant l'excentrique 28. La denture de cette roue est donc utilisable simultanément comme émetteur numérique pour la détection de sa position angulaire et par suite la détermination de la position des pistons. La denture peut être explorée par des moyens optiques ou électriques appropriés, tels qu'un capteur inductif 36, indiqué schématiquement sur la figure 3. Les signaux délivrés par le capteur 36 sont également transmis au microprocesseur 18 (figure 4), par une ligne 37 sortant du carter 4. Les canalisations d'alimentation 11 des trois unités à cylindre et piston 1 à 3 aboutissent à un répartiteur 38, qu'une canalisation 39 relie au liquide à débiter. Les canalisations de refoulement 14 sont de même reliées à un répartiteur 40, qu'une canalisation sous haute pression 41 commune relie à la colonne d'un chromatographe en phase liquide. Un convertisseur de pression 42 est raccordé à ce répartiteur 40 et délivre, par une ligne 43, un signal caractéristique de la pression à un filtre passe-haut 44 du système de régulation. Le convertisseur de pression 42 peut, comme le capteur 16, être un composant piezoélectrique. Il ne délivre toutefois pas, comme le capteur 16, un signal caractéristique de la pression variable dans un seul cylindre, mais un signal caractéristique de la pression dans le courant total, qui résulte de l'addition dans le répartiteur 40 des courants refoulés par les trois unités à piston et cylindre. Cette pression est sensiblement proportionnelle au débit total instantané du liquide, qui est transmis à la colonne de séparation présentant une très grande résistance à l'écoulement. La superposition des débits liquides, délivrés par trois unités à piston et cylindre fonctionnant avec un déphasage relatif de  $120^\circ$ , donne un courant dont le débit fluctue d'environ 13 %. Cette fluctuation est compensée dans la pompe selon l'invention par un système de régulation, qui réagit aux fluctuations de pression

résultant des fluctuations du débit et fait par suite varier la vitesse de rotation du moteur pas à pas pendant chaque période du mouvement des pistons.

5 La vitesse de rotation du moteur pas à pas 23 est fixée par la fréquence des impulsions de courant qui l'alimentent, car chacune de ces impulsions fait tourner pas à pas le rotor d'un angle déterminé. Un tour du moteur peut par exemple être divisé en 500 pas.

10 Dans l'exemple de réalisation dont la figure 4 représente le schéma synoptique, les impulsions de courant nécessaires au fonctionnement du moteur pas à pas sont délivrées par un pilote 60, qui réagit à des impulsions de commande et comporte, outre les amplificateurs de puissance nécessaires, un décodeur ou une mémoire morte (non représenté), qui à la réception d'une impulsion de commande, 15 déclenche un train de par exemple 5 impulsions de courant déphasées pour l'entraînement du moteur pas à pas. Les impulsions de commande sont délivrées par une source d'impulsions 51, qui comprend un oscillateur 52 et un diviseur 53, dont le rapport de  $1/n$  est variable par faibles bonds. Le rapport de division est déterminé par le signal de sortie d'un microprocesseur 18, dans lequel un ajusteur 55 intro- 20 duit la vitesse de rotation souhaitée du moteur pas à pas 23 ou le débit souhaité de la pompe 54. Le microprocesseur détermine alors, à l'aide des données mémorisées, le rapport  $1/n$  du diviseur 53, qui fixe à son tour la fréquence des impulsions de commande transmises au pilote 60.

25 Les impulsions de commande de fréquence  $f$ , ainsi délivrées par la source d'impulsions 51, sont transmises par la ligne 56 à un diviseur 57, dont un organe de commutation 58 permet d'ajuster le rapport à  $1/1$  ou  $1/2$ . Le signal de sortie du diviseur 57 est transmis à un autre diviseur 59, qui réduit de nouveau la fréquence 30 des impulsions de commande dans un rapport de  $1/8$  avant de les transmettre au pilote 60, qui alimente le moteur pas à pas 23.

La fréquence  $f$  des impulsions de commande délivrées par la source d'impulsions 51 est choisie de façon que le moteur pas à pas 23 tourne à la vitesse requise et la pompe présente le débit requis 35 quand la valeur de cette fréquence est de  $2f/3$ . Le moteur pas à pas

23 tourne donc trop vite, quand le diviseur 57 ne réduit pas la fréquence des impulsions de commande (rapport de division de 1/1) et trop lentement, quand le diviseur 57 délivre les impulsions de commande à la fréquence  $f/2$ . Il en résulte une élévation ou une diminution de la pression du liquide refoulé par la pompe 54, à laquelle le convertisseur de pression réagit en délivrant un signal électrique que la ligne 43 transmet au filtre passe-haut 44. L'emploi du filtre passe-haut 44 fait que son signal de sortie est caractéristique uniquement des fluctuations temporelles de la pression et ne présente aucune composante caractéristique de la pression moyenne. Le signal de sortie du filtre passe-haut peut donc, dans un étage sommateur 61 en aval, être superposé à une tension continue de référence, qui est adaptée au seuil de réponse d'une bascule de Schmitt 62, de façon à déclencher cette dernière dans la zone des segments positifs du signal transmis par le filtre passe-haut. Pendant le temps de déclenchement de la bascule de Schmitt 62 par le signal de régulation transmis par le filtre passe-haut 44, le signal de sortie de l'organe de commutation 58 commute le diviseur 57 sur le rapport de 1/2, de sorte que la vitesse de rotation du moteur pas à pas 23 et par suite le débit de la pompe 54 sont diminués. Le fonctionnement de la pompe à débit réduit dure jusqu'à ce que le signal délivré par le convertisseur de pression 42 soit de nouveau inférieur au seuil de la bascule de Schmitt 62, dont le signal de sortie varie en conséquence et conduit l'organe de commutation 58 à ramener le diviseur 57 sur le rapport de 1/1. Le moteur pas à pas 23 fonctionne ensuite de nouveau à vitesse élevée, de sorte que le débit de la pompe 54 et par suite aussi la pression du liquide refoulé augmentent de nouveau, jusqu'à ce qu'un dépassement du seuil de la bascule de Schmitt 62 provoque de nouveau une commutation du diviseur 57 sur le rapport de 1/2.

La boucle de régulation décrite présente une constitution très simple, car seul le rapport d'un diviseur doit être commuté de 1/1 sur 1/2. La réalisation la plus simple d'un tel montage est obtenue quand une sur deux des impulsions de commande est supprimée dans le diviseur. Les discontinuités de vitesse de rotation sont

toutefois très grandes en cas d'emploi d'un tel diviseur. L'utilisation d'un autre diviseur  $1/8$  produit toutefois la formation d'une moyenne, notamment quand le rapport de division varie souvent, de sorte que les variations effectives de la vitesse de rotation ne s'effectuent pas dans le rapport de  $1/2$  ou  $2/1$ , mais dans le rapport de  $(8 + k_1)/8 + k_2$ ,  $k_1$  et  $k_2$  étant chacun un nombre entier de 0 à 8, qui indique le nombre d'impulsions de commande à la fréquence  $f$  que le diviseur 57 a supprimé pendant des intervalles successifs du diviseur 59, par suite de la commutation sur le rapport de  $1/2$ .

Lorsqu'une tension continue de référence est transmise à l'étage sommateur 61 par une seule source de tension 63, elle représente une pression moyenne déterminée du liquide refoulé par la pompe 54. Le maintien d'une telle pression peut néanmoins être utile tant que le liquide à refouler présente une viscosité constante. La pression de refoulement à débit constant varie toutefois quand la viscosité du liquide refoulé varie par suite de variations à long terme de la température ou d'une variation de composition de ce liquide. Une augmentation de la viscosité à débit constant entraîne aussi une augmentation de la pression, et inversement. Le maintien d'une pression constante malgré de telles variations de viscosité ne peut donc être obtenu que par une variation correspondante du débit, ce qui n'est toutefois pas souhaité. C'est pourquoi le système de régulation selon figure 4 comprend aussi des éléments de stabilisation du débit. Il s'agit d'un diviseur 71, relié à la source d'impulsions 51 et qui divise dans un rapport de  $1/3$  la fréquence  $f$  des impulsions de commande, et d'un compteur-décompteur 72, auquel sont appliqués un premier signal impulsionnel, constitué par le signal de sortie du diviseur 71, et un second signal impulsionnel, constitué par les impulsions que le diviseur 57 supprime pendant sa commutation sur le rapport de  $1/2$ . Le signal de sortie du diviseur  $1/3$  est appliqué à l'entrée de décomptage et le signal de sortie du diviseur  $1/2$  (57) à l'entrée de comptage du compteur 72. Lorsque le moteur pas à pas tourne à la vitesse requise, la fréquence moyenne des impulsions de commande délivrées par le diviseur 57 doit être de  $2f/3$ . Il en est ainsi quand le diviseur 57 supprime en moyenne une sur trois

des impulsions de commande à la fréquence  $f$ , de sorte que ces impulsions supprimées forment un train d'impulsions de fréquence moyenne  $f/3$ . Le second signal impulsif a donc également une fréquence  $f/3$  et le compteur s'immobilise sur une indication prédéterminée quand le diviseur 57 transmet au pilote 60 des impulsions dont la fréquence se traduit par la vitesse de rotation requise du moteur pas à pas. L'indication du compteur 72 varie par contre quand la fréquence moyenne des impulsions de commande délivrées par le diviseur 57 diffère de la valeur  $2f/3$  et par suite le second signal impulsif diffère de la fréquence moyenne  $f/3$ , car le convertisseur de pression 42 signale une variation de pression dans le même sens. Un convertisseur numérique-analogique 73 dérive de l'indication du compteur 72 une tension continue, qui est transmise à l'étage sommateur 61 et décale le signal délivré par le filtre passe-haut 44 par rapport au seuil de la bascule de Schmitt 62, de façon à réduire l'écart par rapport à la valeur de consigne, enregistré par le compteur 72. Il est ainsi possible, à l'aide de la boucle de régulation comprenant le convertisseur de pression 42, de compenser les fluctuations de pression rapides dans le courant de liquide refoulé et par suite les brèves fluctuations du débit, tout en maintenant constants la vitesse de rotation moyenne du moteur pas à pas 23 et par suite le débit moyen de la pompe 54, indépendamment de longues fluctuations de pression, qui peuvent résulter en particulier de variations de viscosité.

Une proportionnalité rigoureuse entre la vitesse de rotation du moteur pas à pas 23 et le débit de la pompe 54 existe uniquement tant que le liquide refoulé peut être considéré comme incompressible. Les pompes pour chromatographes fonctionnent toutefois sous des pressions pouvant atteindre 300 bars ou plus. Même les liquides sont plus ou moins compressibles sous de telles pressions, de sorte qu'il n'y a plus de proportionnalité rigoureuse entre la vitesse de rotation du moteur pas à pas 23 et le débit de la pompe 54. La pression régnant dans le cylindre de pompe est mesurée par le capteur 16, afin de garantir l'obtention du débit requis malgré une compression du liquide refoulé. Cette pression croît entre celle du liquide

aspiré, c'est-à-dire généralement la pression atmosphérique, au début de la course de refoulement et la pression régnant dans le liquide refoulé, avant que ce dernier puisse être évacué hors du cylindre en ouvrant le clapet de non-retour disposé en amont de la canalisation de sortie. Lorsque la pression de refoulement est atteinte, la pression dans le cylindre demeure constante. Le signal de sortie du capteur 16 est transmis à un microprocesseur 18, qui réagit à l'instant où la pression passe de la partie croissante à la partie constante, et détermine la valeur de la course du piston jusqu'à l'établissement de la pression de refoulement, à partir du signal délivré par le capteur 36 sur la ligne 37.

A l'aide de ces données, le microprocesseur 18 fait varier le rapport  $n$  du diviseur 53, afin d'augmenter la fréquence  $f$  des impulsions de commande délivrées par la source d'impulsions 51 de façon à compenser la diminution du volume débité, due à la compression, par une augmentation de la vitesse de rotation du moteur pas à pas 23.

Il va de soi que l'invention ne se limite pas à l'exemple de réalisation décrit, mais que des modifications sont possibles sans sortir du cadre de l'invention. De telles modifications peuvent porter sur la constitution mécanique de la pompe, et en particulier sur le nombre de cylindres employés, bien qu'une augmentation de ce nombre ne semble pas judicieuse, car d'une part tout cylindre supplémentaire représente un appareillage mécanique plus important, qui n'exerce aucune influence sur la constitution du système de régulation, et d'autre part une augmentation du nombre de cylindres doit entraîner une diminution de la cylindrée et/ou de la vitesse de rotation du moteur quand le même débit doit être atteint. Les deux conséquences semblent toutefois défavorables. De même, il va de soi qu'il est possible de réaliser différemment le système de régulation, par exemple en utilisant davantage de composants analogiques ou numériques, ou en renonçant à la compensation de la compression du liquide sous des pressions élevées. Dans ce cas, le microprocesseur 18 pourrait aussi être supprimé et l'ajusteur 55 être relié directement au diviseur  $1/n$  (53).

## Revendications

1. Pompe à pistons multicorps à débit constant pour chromatographes en phase liquide, dont l'entraînement comprend un moteur et un moteur et un système de régulation réagissant à la pression du liquide refoulé pour faire varier la vitesse de rotation du moteur et par suite le débit en fonction de la pression du liquide, ladite pompe étant caractérisée en ce qu'elle comporte au moins trois unités à piston et cylindre (1, 2, 3), dont les pistons (7) sont entraînés par le moteur (23) avec un déphasage relatif de  $360^\circ/n$ ,  $n$  étant le nombre d'unités; et le système de régulation de variation de la vitesse de rotation du moteur (23) pendant chaque période de déplacement des pistons est ajusté de façon que la pression du liquide refoulé soit au moins sensiblement constante pendant chaque période.
2. Pompe à pistons multicorps selon revendication 1, caractérisée en ce que le système de régulation comprend un dispositif (57, 71, 72, 73) indépendant de la pression pour surveiller et maintenir constante la vitesse de rotation moyenne du moteur (23).
3. Pompe à pistons multicorps selon une des revendications 1 et 2, caractérisée en ce que le système de régulation comprend un dispositif (16, 18) de variation de la vitesse de rotation du moteur (23) en fonction de la pression moyenne du liquide refoulé, de sorte que le débit demeure constant par compensation de la compression du liquide, fonction de la pression.
4. Pompe à pistons multicorps selon revendication 3, caractérisée en ce que le dispositif de variation de la vitesse de rotation comprend un capteur (16), qui réagit à la pression régnant dans au moins une unité à cylindre et piston (1), et fait varier la vitesse de rotation du moteur (23) en fonction de la course effectuée par le piston (7) entre son point mort bas et l'établissement de la pression de service.
5. Pompe à pistons multicorps selon une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que le moteur (23) d'entraînement de la pompe à pistons (54) est réalisé sous forme d'un moteur pas à pas, qui est alimenté par des impulsions de courant dont la fréquence détermine la vitesse de rotation du moteur; et le système de régula-

tion influence la fréquence des impulsions de courant.

6. Pompe à pistons multicorps selon revendication 5, caractérisée en ce que les impulsions de courant sont délivrées au moteur (23) par un pilote (60) réagissant à des impulsions de commande; une source d'impulsions (51) délivre les impulsions de commande à une fréquence f supérieure à la fréquence correspondant à la vitesse de consigne du moteur (23); et un diviseur de fréquence (57) commandé, branché entre la source d'impulsions (51) et le pilote (60), reçoit un signal de commande fonction de la pression, qui ajuste son rapport de division à des valeurs telles que les impulsions de commande transmises au pilote (60) présentent des fréquences alternativement supérieures et inférieures à la fréquence correspondant à la vitesse de consigne.
7. Pompe à pistons multicorps selon revendication 6, caractérisée en ce que la fréquence correspondant à la vitesse de consigne est égale aux deux tiers de la fréquence des impulsions de commande délivrées par la source d'impulsions (51); et le rapport du diviseur de fréquence (57) est ajustable à 1/1 ou 1/2.
8. Pompe à pistons multicorps selon revendication 7, caractérisée par un second diviseur de fréquence (59) à rapport fixe, branché entre le diviseur de fréquence (57) commandé et le pilote (60).
9. Pompe à pistons multicorps selon une quelconque des revendications 6 à 8, caractérisée en ce que le système de régulation comprend un convertisseur électrique de pression (42), qui réagit à la pression du liquide refoulé et dont le signal de sortie est transmis, par un filtre passe-haut (44) et un étage sommateur (61) dans lequel le signal de sortie est superposé à une tension continue de référence, à un discriminateur à seuil (62), dont le signal de sortie commande l'ajustement du diviseur de fréquence (57).
10. Pompe à pistons multicorps selon revendications 2 et 9, caractérisée en ce que la tension continue de référence est une tension de commande dérivée de la vitesse de rotation du moteur (23).
11. Pompe à pistons multicorps selon revendication 10, caractérisée en ce que la tension de commande est caractéristique de la différence entre la fréquence correspondant à la vitesse de consigne et la fréquence moyenne des impulsions de commande transmises au



pilote (60), et produit une diminution de cette différence.

12. Pompe à pistons multicorps selon revendication 11, caractérisée en ce qu'un premier signal impulsionnel, caractéristique de la fréquence correspondant à la vitesse de consigne, est transmis à une entrée et un second signal impulsionnel, caractéristique de la fréquence instantanée des impulsions de commande transmises au pilote (60), est transmis à la seconde entrée d'un compteur-décompteur (72), dont l'indication est ainsi toujours égale à la différence des impulsions transmises par les deux signaux; et la tension continue de référence est une tension analogique dérivée de l'indication instantanée du compteur-décompteur.

13. Pompe à pistons multicorps selon revendications 7 et 12, caractérisée en ce que le premier signal impulsionnel est constitué par un train d'impulsions identiques, dont la fréquence est égale au tiers de la fréquence des impulsions de commande délivrées par la source d'impulsions (51); et le diviseur de fréquence ajusté au rapport de 1/2 transmet une impulsion de commande sur deux non pas au pilote (60), mais au compteur-décompteur (72), sous forme de second signal impulsionnel.

14. Pompe à pistons multicorps selon revendications 3 et 6, caractérisée en ce que le dispositif de variation de la vitesse de rotation fait varier, en fonction de la pression, la fréquence des impulsions de commande délivrées par la source d'impulsions (51).



214

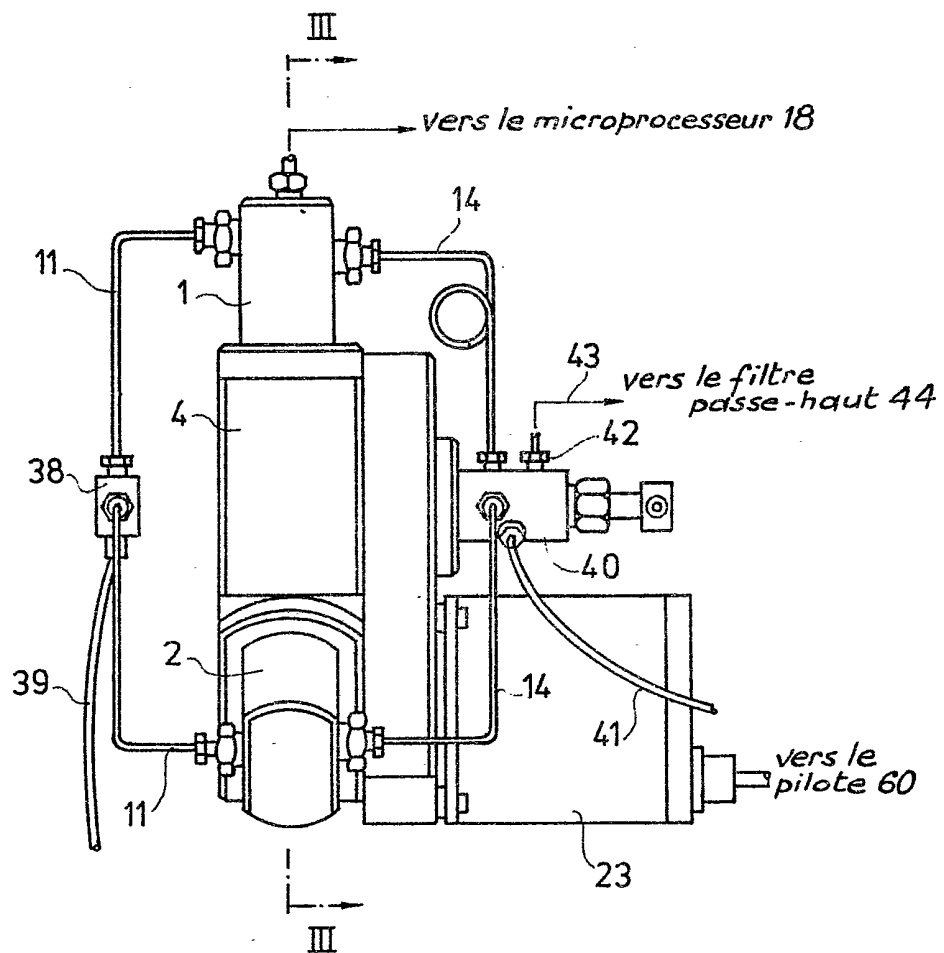


Fig. 2

3/4

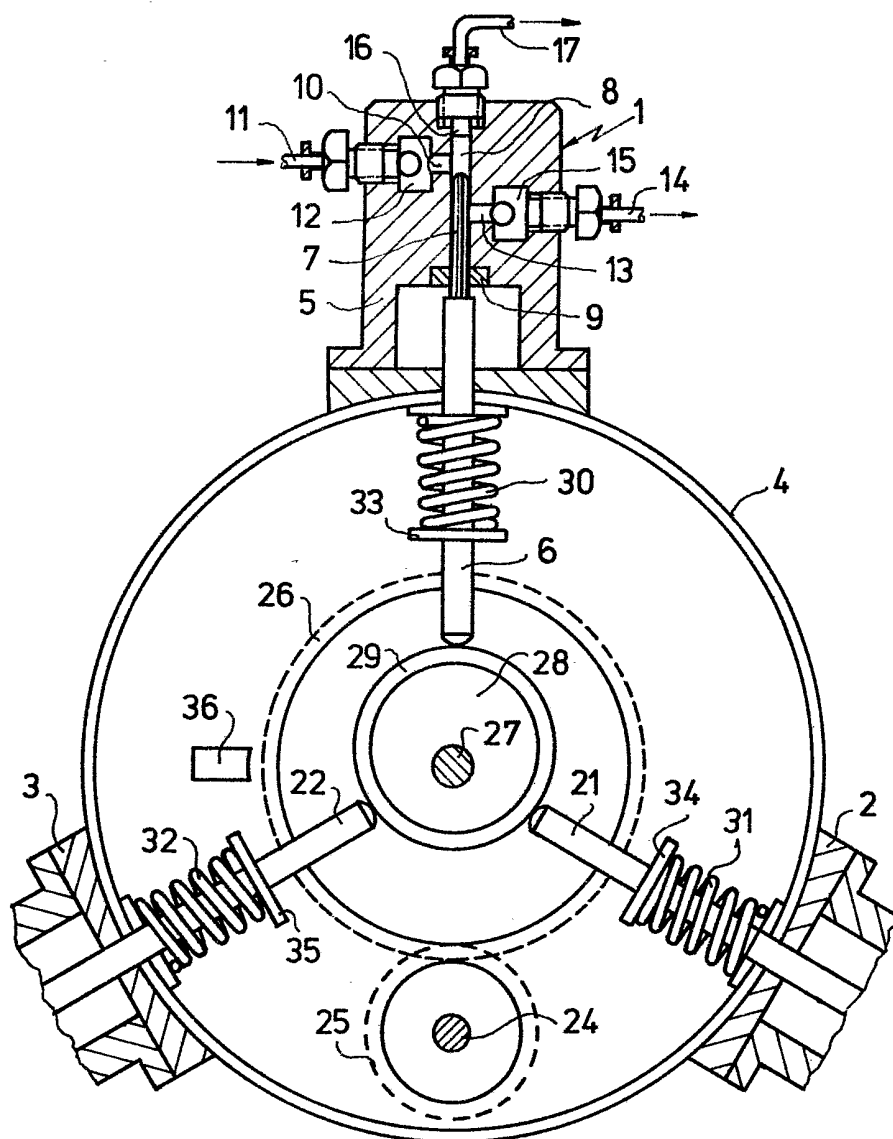


Fig. 3

4/4

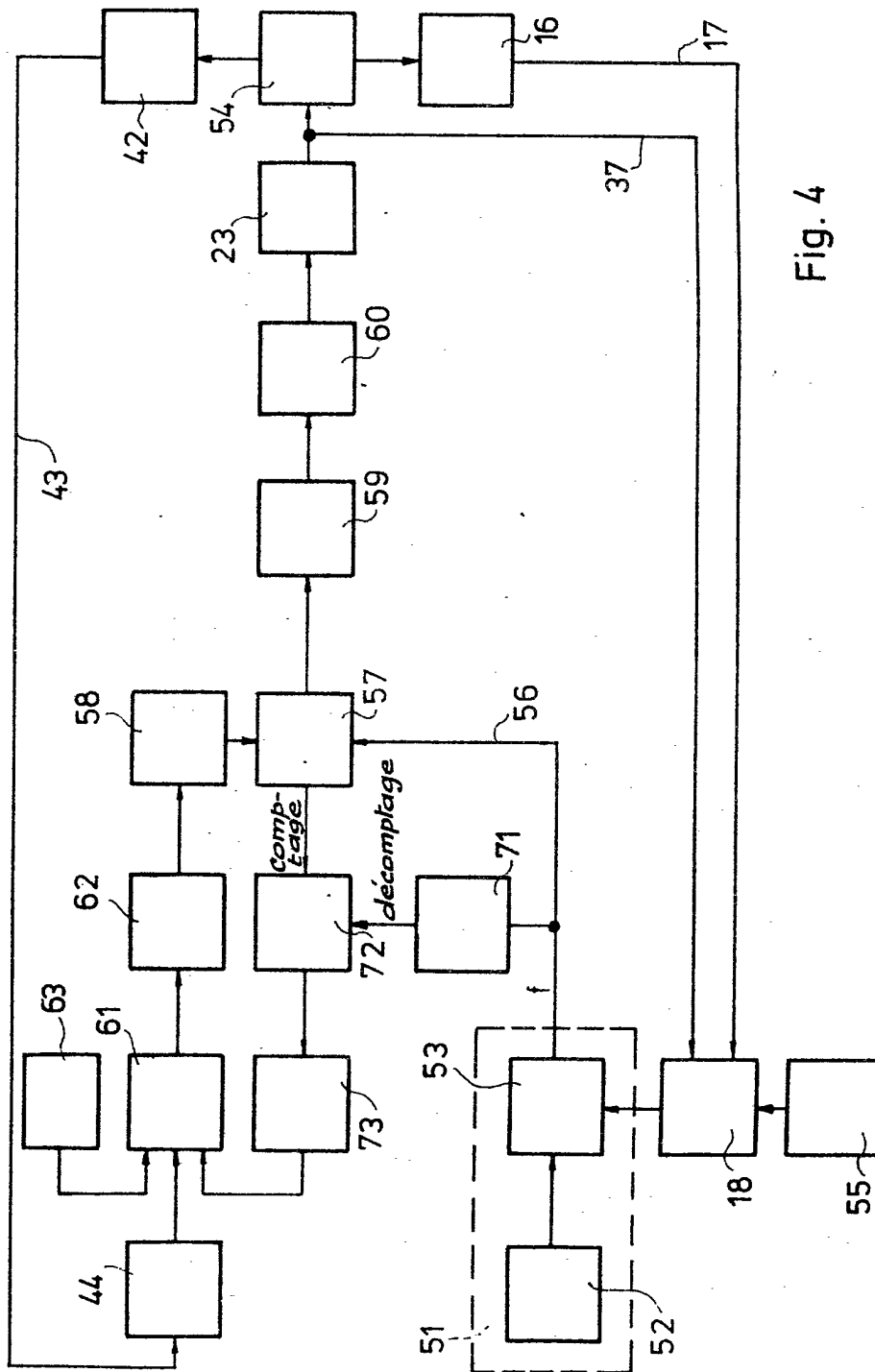


Fig. 4