

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 17235

(54) Dispositif à servovalve électrohydraulique.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). G 05 B 11/00; F 15 B 9/03, 13/44, 21/08.

(22) Date de dépôt..... 11 septembre 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 11 du 18-3-1983.

(71) Déposant : Société dite : THOMSON-CSF et MOOG SARL. — FR.

(72) Invention de : Giulio Contartese et Joachim Dietz.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Philippe Guilguet, Thomson-CSF, SCPI,
173, bd Haussmann, 75360 Paris Cedex 08.

DISPOSITIF A SERVOVALVE ELECTROHYDRAULIQUE

La présente invention concerne un dispositif à servovalve électrohydraulique. D'une façon générale, une servovalve appartient à la classe d'appareils transformant une grandeur électrique, courant ou tension en une grandeur hydraulique correspondante c'est-à-dire une pression ou un débit.

Les servovalves sont utilisées principalement comme éléments d'interface entre une commande électrique et une action mécanique dans les asservissements électrohydrauliques qui depuis quelques années, d'ailleurs, sont l'objet d'un développement croissant. Les applications n'en sont plus alors limitées aux domaines de l'aéronautique ou de l'armement mais ont gagné d'autres domaines et l'on voit des asservissements électrohydrauliques sur des machine-outils, dans la métallurgie, sur des équipements mobiles et sur des machines de transformation des matières plastiques entre autres.

La servovalve, à partir de l'énergie brute fournie par un générateur hydraulique, restitue à un organe de puissance, moteur ou verin, une partie de celle-ci sous forme ordonnée. Le rapport entre la puissance électrique de commande et la puissance hydraulique asservie se situe couramment entre 10^4 et 10^6 . En effet un signal électrique de quelques centièmes à quelques dixièmes de watt permet de piloter un débit d'huile de plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines de kilowatt.

Pour un fonctionnement correct d'une boucle d'asservissement ouverte ou fermée comportant une servovalve, il est d'habitude souhaitable que la réponse caractéristique de la servovalve soit aussi linéaire que possible. En même temps, comme pour tout autre composant, on cherche à augmenter les performances, rapidité de réponse, puissance à la sortie, finesse de commande autour du point zéro, etc. tout en réduisant les charges telles que pertes d'énergie, encombrement et prix de revient.

Jusqu'à présent, la linéarité et les autres qualités sont assurées par la mise en oeuvre de techniques de fabrication de très haute

qualité, voire près des limites réalisables actuellement. Ceci entraîne des coûts élevés.

Le but de la présente invention est d'assurer le rapport voulu entre le signal de commande et l'action qui s'en suit, en utilisant des
5 moyens qui ne font pas nécessairement appel auxdites techniques de fabrication de très haute précision.

Suivant la présente invention, un dispositif à servovalve hydraulique dans lequel la servovalve a une entrée électrique destinée à recevoir une grandeur électrique de commande et une sortie
10 hydraulique délivrant une grandeur hydraulique correspondant à la grandeur électrique de commande et dont la courbe de réponse grandeur hydraulique en fonction de la grandeur électrique présente un certain écart avec une courbe de réponse idéale désirée, est caractérisé en ce que le dispositif comporte des moyens électro-
15 niques adaptés à la courbe de réponse réelle et connectés entre une entrée de commande du dispositif et l'entrée électrique proprement dite de la servovalve, les dits moyens électroniques élaborant une grandeur électrique corrigée (i) de sortie fonction, d'une part, d'un signal et d'autre part de la dite courbe de réponse réelle, et agissant
20 de façon telle que la courbe de réponse grandeur hydraulique en fonction du signal de commande électrique se rapproche sensiblement de la réponse idéale désirée.

Cette réponse désirée est plus généralement une réponse linéaire globale, elle peut toutefois être assortie de certaines
25 actions plus localisées, obtenues en agissant directement sur certaines caractéristiques de construction de la servovalve elle-même.

Suivant une autre caractéristique de l'invention, les lumières de commande de passage d'huile dans la servovalve sont dotées d'une forme s'écartant de la forme rectangulaire classique, entraînant
30 outre la commande globale linéaire, une action exponentielle en fonction du déplacement du tiroir de la servovalve.

Les avantages que l'on peut tirer de l'invention sont en particulier qu'à caractéristiques égales celle-ci permet une fabrication de servovalves de performances supérieures.

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront dans la description qui suit d'un exemple de réalisation non limitatif donné à l'aide des figures qui représentent :

- 5 - la figure 1, un schéma de principe d'une boucle d'asservissement fermée ;
- la figure 2, une courbe de réponse idéale constituant la réponse désirée ainsi qu'une courbe réelle avec des défauts, exagérés, obtenue avec un dispositif de l'art antérieur ;
- la figure 3, un diagramme schématique d'une réalisation
10 préférée simple des moyens électroniques sous la forme d'un circuit électronique d'adaptation ;
- la figure 4, un diagramme schématique d'un perfectionnement de la figure 3 ;
- la figure 5, la confection d'une mémoire pour le circuit
15 électronique d'adaptation ;
- la figure 6, une coupe à travers une servovalve ; et
- la figure 7, un plan d'une lumière non-rectangulaire.

La figure 1 représente le schéma de principe d'un système simple asservi en boucle fermée. La position d'un piston 10 est
20 commandée à partir d'une commande 12. Cette position est détectée par un capteur de position 14 et la différence entre les deux grandeurs électriques engendrées par la commande 12 et le capteur 14 est établie par un soustracteur 16. Cette différence est amplifiée par un amplificateur 18 et elle est ensuite appliquée à une bobine de
25 commande 20 d'une servovalve 22. La partie hydraulique 24 de cette dernière reçoit d'une pompe 26, du fluide hydraulique sous pression, et elle distribue la pression hydraulique vers l'une ou l'autre des faces du piston 10 par les conduits 23, 25 selon le signe de ladite différence, et dans des proportions qui sont liées à sa grandeur.

30 La figure 2 montre la relation qui s'établit entre la grandeur électrique i appliquée sur l'entrée de la bobine 20 et la grandeur hydraulique p qui en résulte. La courbe de réponse 28 est obtenue avec un dispositif à servovalve de l'art antérieur avec toutefois les défauts représentés de façon exagérée pour clarifier le dessin,

tandis que la courbe 30, une droite passant par l'origine, représente une courbe de réponse souhaitée à obtenir précisément avec le dispositif suivant l'invention. L'analyse de la courbe 28 met en valeur notamment les défauts du zéro mal placé, points A et B, du gain qui varie autour du zéro, du gain qui varie près des limites maximales et de l'hystérésis.

Selon l'invention, on pallie ces défauts en intercalant un circuit électronique dit d'adaptation 32 représenté en pointillé sur la figure 1, entre la sortie de l'amplificateur 18 et l'entrée du signal de commande électrique de la servovalve 22. Ce circuit électrique d'adaptation 32, plus détaillé figure 3, comporte un amplificateur tampon d'entrée 34, un convertisseur analogique-numérique 36, une mémoire 38, un convertisseur numérique-analogique 40 et un amplificateur tampon de sortie 42. La mémoire 38 détient, pour chaque valeur pouvant être admise comme signal d'entrée, la valeur correspondante qui entraînera la grandeur hydraulique de sortie voulue de la servovalve. Pour effectuer cette transformation, le signal d'entrée sert à adresser la mémoire, et la valeur mémorisée à cette adresse correspond bien à la valeur d'entrée.

Les deux convertisseurs 36 et 40 utilisent avantageusement une certaine quantité d'éléments en commun utilisable en temps partagé. Ceci est possible grâce à une fréquence maximale de conversion électrique de l'ordre d'une dizaine de kilohertz qui dépasse de loin la fréquence de réponse maximale hydraulique qui se situe dans la centaine de hertz.

Pour obtenir une meilleure approximation avec la courbe de réponse idéale on introduit dans la mémoire deux jeux de valeurs, l'un correspondant à la partie montante de la courbe 28 et l'autre correspondant à la partie descendante. Dans ce cas, la figure 3 est modifiée suivant la représentation de la figure 4 dans laquelle on a incorporé un dispositif 44 de détection du sens de variation du signal de commande, et ajouté un élément binaire d'adressage supplémentaire 45. Par exemple, l'élément binaire de poids fort indiquerait le sens montant pour sa valeur logique un et le sens descendant pour sa valeur logique zéro.

De façon générale chaque mémoire est adaptée à sa propre servovalve vers la fin de la fabrication de celle-ci. Pour obtenir une réponse linéaire, l'opération est réalisée de la façon suivante décrite à l'aide de la figure 5. Une nouvelle servovalve 22 est installée dans un dispositif de vérification et de mesure 46. Une grandeur électrique de commande i est appliquée à la servovalve 22, et la grandeur hydraulique p qui en résulte est mesurée. Après conversion adéquate en signal numérique dans un convertisseur analogique-numérique 48, la grandeur p adresse la mémoire 38, tandis que la grandeur électrique de commande, également après conversion adéquate en numérique dans un convertisseur 49, est inscrite dans la mémoire qui travaille alors en mode écriture. La grandeur électrique i est modifiée de manière que la grandeur hydraulique p marque chaque adresse disponible à la résolution utilisée. Des mémoires mortes programmables (PROM) sont utilisées. A l'emploi, un signal de commande proportionnel à la grandeur hydraulique voulue p est utilisé pour adresser la mémoire 38 qui rend donc automatiquement la grandeur électrique i requise pour l'obtenir.

Dans une première utilisation générale, un circuit électronique d'adaptation, conforme à l'invention, sert à réduire les défauts de fabrication. Toutefois il peut fournir d'autres possibilités intéressantes et de la simple correction des défauts de fabrication arriver à une linéarisation d'un appareil à servovalve à loi de distribution non linéaire. En plus d'une linéarisation globale d'un dispositif, il est possible dans le cadre de l'invention d'agir sur certaines caractéristiques propres de la servovalve, ce qui est rendu possible par la présence du circuit électronique d'adaptation, et d'obtenir, en faisant coopérer les moyens utilisés, d'autres qualités souhaitables pour le dispositif.

On peut ainsi citer :

- la réduction du "plat moteur" d'un moteur hydraulique piloté par la servovalve ;
- la réduction des fuites hydrauliques de la servovalve ;
- la réduction de la dérive intrinsèque due au distributeur

seul ;

- l'amélioration de la régularité des basses vitesses du servomoteur ;

- l'amélioration de la capacité de la servovalve à répondre à un signal de commande plus faible et la possibilité d'avoir des performances de réponses à la demande ;

- la possibilité d'élargir les tolérances de fabrication de la servovalve pour une linéarité donnée, ou inversement de linéariser la servovalve avec des tolérances imposées supérieures à celles possibles sans le circuit d'adaptation ;

- la diminution des effets de l'érosion.

Pour mieux comprendre comment obtenir, suivant l'invention, ces résultats, on rappelle schématiquement le fonctionnement d'une servovalve type, en se référant à la figure 6. La bobine 20 entoure une armature 50, l'ensemble bobine-armature étant logé dans un circuit magnétique 52. Un courant électrique i passant dans la bobine 20 crée un couple qui a tendance à faire basculer l'armature 50. Cette action entraîne une palette 54 qui est solidaire de l'armature, mais qui se trouve plongée dans un circuit d'huile. La possibilité de déplacer la palette 54 est assurée par un tube flexible 56 qui l'entoure et qui réalise l'étanchéité entre le circuit d'huile et le circuit électrique. La palette 54 est prolongée par un ressort de rétroaction 58 dont l'extrémité s'engage dans un tiroir 60.

La palette 54 est placée entre deux buses 61 et 62 qui sont alimentées en huile sous pression à travers deux orifices calibrés 63 et 64. L'huile arrive dans le corps 24 de la servovalve par une entrée pression 70, et elle est refoulée par une sortie retour 72. Quand la palette 54 se déplace vers l'une des buses 62 par exemple, elle s'éloigne en même temps de l'autre, entraînant un débit d'huile supérieur à travers la buse 61 dont elle s'éloigne par rapport au débit à travers la buse 62 dont elle se rapproche. Il en résulte que la pression augmente derrière la buse approchée 62 et qu'elle diminue derrière l'autre buse 61 ; le tiroir 60 est donc soumis à une pression différentielle. Quand le tiroir 60 se déplace sous l'action de cette pression il entraîne le ressort de rétroaction 58, créant un couple

venant s'opposer au couple électromagnétique initial. Au point d'équilibre de ces couples la palette 54 est à nouveau centrée entre les deux buses 61 et 62, et le tiroir s'immobilise dans une position déterminée par la grandeur du couple électromagnétique initial.

5 Le tiroir 60 est logé dans une fourrure 74 qui est munie de diverses lumières 75, 76 qui sont progressivement découvertes par des pistons 67, 68 qui font partie du tiroir 60. Selon la direction de déplacement du tiroir 60 les lumières sont mises en relation soit avec l'entrée pression 70, soit avec la sortie retour 72. Les lumières
10 commandent un débit d'huile à travers deux orifices d'utilisation 65 et 66.

Il y a donc deux effets : un couple électromagnétique se traduit en déplacement du tiroir et la position du tiroir détermine la proportion découverte de lumières, commandant le débit d'huile qui
15 y passe.

Actuellement, en général, les fourrures des servovalves présentent des lumières rectangulaires entraînant des lois de débit linéaire. Autour des débits faibles, les paramètres jouant un rôle dans la réponse de la servovalve sont l'ajustement axial et radial du
20 tiroir dans la fourrure et plus précisément les zones de recouvrement et de découverture autour du point neutre. Diverses fuites ajoutent en plus un "bruit" de fond. Les performances dépendent essentiellement de la précision d'usinage de la servovalve et de ses réglages au banc d'essai.

25 Il est en pratique très difficile d'obtenir des résultats optimaux autour du zéro ; l'amélioration d'un paramètre entraînant nécessairement la détérioration d'un autre. Par exemple, l'amélioration de la précision de la coupe au zéro par augmentation de la course du tiroir entraîne une dégradation des performances dynamiques.

30 Cependant, suivant les enseignements de l'invention, une modification de la forme des lumières, en association avec le circuit électronique d'adaptation permet d'obtenir outre la linéarisation recherchée du dispositif, une meilleure précision de la coupe au zéro. Pour ce faire la forme de la lumière s'écarte de la forme
35 classique habituelle rectangulaire.

La figure 7 montre un plan d'une telle lumière 75 non-rectangulaire. Côté attaque 84 elle a une section très fine de l'ordre de quelques centièmes de millimètre, puis elle s'élargit progressivement vers une partie classiquement rectangulaire. Idéalement la courbe serait exponentielle, mais pour la commodité de fabrication, elle est tracée en deux cercles ayant des centres 80, 82 et une tangente commune vers la mi-chemin entre la pointe 84 et la partie rectangulaire 75. Pour percer des telles lumières dans la fourrure, on utilise un procédé d'électro-érosion avec un jeu d'électrodes qui approchent successivement la forme souhaitée. Avec cette forme, telle que montrée figure 7, ou une forme avoisinante, on remarque que la première partie de la lumière à se trouver découverte, 84, donne une commande plus fine autour du zéro en même temps qu'une bonne réponse dynamique, c'est-à-dire que la section des lumières croissant avec la direction de déplacement du tiroir, des déplacements égaux de grandeur fixe autour du zéro commandent des débits d'huile de volume inférieur à ceux qui seraient commandés loin du zéro.

La description qui précède permet de mieux appréhender les effets remarquables que l'invention procure, effets qui ont été cités plus haut. Ainsi la réduction du plat moteur. On sait que suivant l'art antérieur quel que soit le moteur hydraulique utilisé avec une Servo-valve Débit on ne peut déterminer la pression dans les orifices d'utilisation 65, 66 (Fig. 6) lorsque le tiroir 68 est face à la lumière 75, 76, position appelée "Autour du Zéro". Cette pression de fait est liée au niveau des fuites hydrauliques dépendant des précisions d'usinage et des états de surface de l'ensemble tiroir-fourrure : précision sur le diamètre du tiroir, précision sur le diamètre de l'alésage de la fourrure, tolérance fonctionnelle sur l'ajustement tiroir-fourrure, précision sur la position de l'arête longitudinale du tiroir face à l'arête de la fourrure-appelée "Coupe au Zéro".

Actuellement pour avoir une réduction du "Plat Moteur" il faut obtenir des recouvrements ou des découvrements des arêtes de lumières faces aux arêtes de tiroirs sur les orifices pression 70 et

retour 72. Le recouvrement sur l'orifice retour 72 et le décou-
vrement sur l'orifice pression 70 provoquent une pression très élevée
dans les orifices d'utilisation 65, 66. A l'inverse, le découvrement sur
l'orifice retour 72 et le recouvrement sur l'orifice pression 70
5 provoquent une pression très faible.

Selon les types de moteur hydraulique la pression d'utilisation
est soit faible soit élevée. Si la pression est élevée les frottements
internes du moteur seront élevés et dépendants des caractéristiques
de construction mécanique du moteur (tolérances de Fabrication,
10 déformation des éléments de construction etc...) Une certaine
pression initiale, pour provoquer la rotation du moteur est donc
nécessaire pour "décoller" les organes en mouvement.

Cette pression initiale, appelée "Pression de décolage" ou
"Stick-slip" suivant la terminologie anglo-saxonne doit vaincre des
15 forces de frottement des pièces entre elles, et permettre au moteur
de tourner, en répondant plus rapidement au signal électrique de
commande de la servovalve. En effet, le moteur ne peut pas tourner
avant décollement de ses organes. Par contre suivant l'invention
cette période transitoire ou de décollement des organes n'est pas
20 assuré, ou plat moteur, est réduite, résultat de la réduction de
l'influence des frottements et il y a amélioration du contrôle de la
pression autour du zéro. Influant de la sorte sur la pression de
décolage, on maîtrise mieux le moteur à basse vitesse.

Les fuites hydrauliques sont réduites parce que la section des
25 lumières autour du zéro, arêtes Tiroir-Lumière face à face, est
considérablement diminuée.

La réduction de la dérive intrinsèque due au distributeur seul
résulte de ce que selon l'invention le tiroir a nécessairement une
course plus importante pour un même débit dans l'art connu. Donc
30 un mauvais positionnement du tiroir influe moins sur les dérives des
caractéristiques de la Servo-valve, puisque sa course est plus élevée
autour du zéro.

Concernant l'amélioration de la régularité des basse vitesses
du servomoteur, on notera qu'avec les servovalves classiques,

l'instabilité du tiroir provoque une instabilité des pressions et débits autour du zéro et provoque donc des irrégularités sur la vitesse du moteur. Selon l'invention, on domine beaucoup mieux le gain en pression donc les variations de pression et de débit autour du zéro et par conséquent le mouvement est plus stable et régulier aux basses vitesses.

L'amélioration de la capacité de la servovalve à répondre à un signal de commande plus faible et la possibilité d'avoir des performances de réponse à la demande, capacité appelée "résolution" est obtenue autour du zéro c'est-à-dire pour un faible signal électrique car la course du tiroir est plus importante pour maîtriser les faibles débits. Les performances de réponse peuvent être à la demande puisqu'elles peuvent être établies selon la ou les lois du signal de commande électrique associé ou non aux lois des formes des lumières 75, 76.

La possibilité d'élargir les tolérances de fabrication de la servovalve pour une linéarité donnée, résulte du fait que le circuit électronique d'adaptation permet une meilleure maîtrise des défauts des fabrications actuelles et améliore les performances des servovalves actuelles qui sont liées à la qualité et précision des fabrications et notamment de l'ensemble tiroir fourrure. A l'inverse, linéariser la servovalve avec des tolérances imposées supérieures à celles possibles sans le circuit d'adaptation est plus significatif et l'obtention d'une résolution extrême est rendue possible en associant le resserrement des tolérances de fabrication avec un circuit d'adaptation dont les performances ne sont limitées que par les possibilités techniques actuelles.

La diminution des effets de l'érosion résulte, elle, de la diminution du périmètre des arêtes du tiroir et de la fourrure en contact avec le passage de l'huile hydraulique sous pression transportant les particules érosives.

On a ainsi décrit un dispositif à servovalve électrohydraulique dont les performances sont nettement améliorées par rapport à celles de dispositifs de l'art antérieur, ce par l'introduction dans le

dispositif d'un circuit électronique dit d'adaptation commandant la servovalve utilisée, introduction qui permet en outre d'apporter certaines modifications à certaines caractéristiques mécaniques de la servovalve, contribuant à améliorer encore les performances du dispositif.

5

REVENDICATIONS

1. Dispositif à servo-valve électrohydraulique dans lequel la servovalve a une entrée électrique destinée à recevoir une grandeur électrique de commande et une sortie hydraulique délivrant une grandeur hydraulique correspondant à la grandeur électrique de commande et dont la courbe de réponse grandeur hydraulique en fonction de la grandeur électrique présente un certain écart avec une courbe de réponse idéale désirée, caractérisé en ce que le dispositif comporte des moyens électroniques (32) adaptés à la courbe de réponse réelle (28) et connectés entre une entrée de commande du dispositif et l'entrée électrique proprement dite de la servovalve (24), les dits moyens électroniques (32) élaborant une grandeur électrique corrigée (i) de sortie fonction, d'une part, d'un signal et d'autre part de la dite courbe de réponse réelle, et agissant de façon telle que la courbe de réponse grandeur hydraulique en fonction du signal de commande électrique se rapproche sensiblement de la réponse idéale désirée (30).

2. Dispositif à servovalve suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la courbe de réponse (30) du dispositif est linéaire.

3. Dispositif à servovalve suivant l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la servovalve (22) du dispositif présente des lumières (75, 76) d'une forme telle qu'elles sont progressivement découvertes lors du déplacement du tiroir (60) de la servovalve commandé par le signal électrique qui lui est appliqué, réglant de façon optimale le débit d'huile dans la servovalve autour du zéro.

4. Dispositif à servovalve suivant la revendication 3, caractérisé en ce qu'entre l'incrément de déplacement du tiroir (60) de la servovalve et l'incrément de surface de lumière (75, 76) découverte existe une relation généralement exponentielle.

5. Dispositif à servovalve suivant la revendication 4, caractérisé en ce que la relation sensiblement exponentielle est approximée par deux arcs de cercle (de centres 80, 82) ayant une tangente commune vers la mi-chemin du parcours exponentiel.

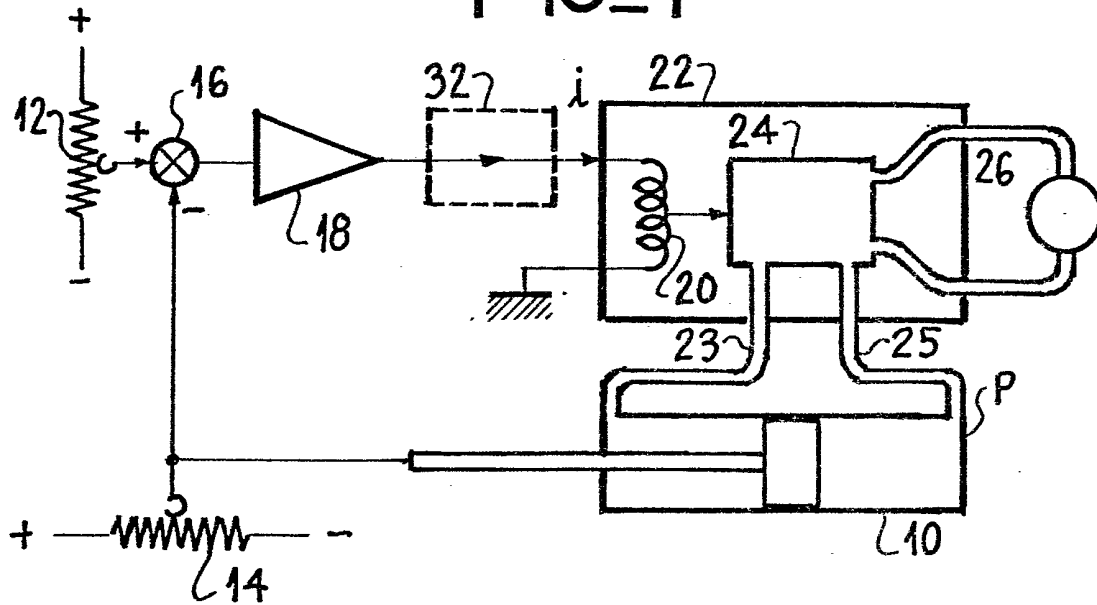
6. Dispositif à servovalve suivant la revendication 1, caracté-
risé en ce que les moyens électroniques (32) comportent entre la
sortie de l'amplificateur (18) et la servovalve (22), un amplificateur
tampon (34) suivi d'un convertisseur analogique-numérique (36), une
5 mémoire (38), un convertisseur numérique-analogique (40) et un
amplificateur tampon (42).

7. Dispositif à servovalve suivant la revendication 6, caracté-
risé en ce que la mémoire (38) est une mémoire programmable
(PROM) dans laquelle est inscrite, à une adresse donnée déterminée
10 par le signal électrique de commande (i), une valeur qui délivrera en
sortie de la servovalve, la valeur de la grandeur hydraulique désirée.

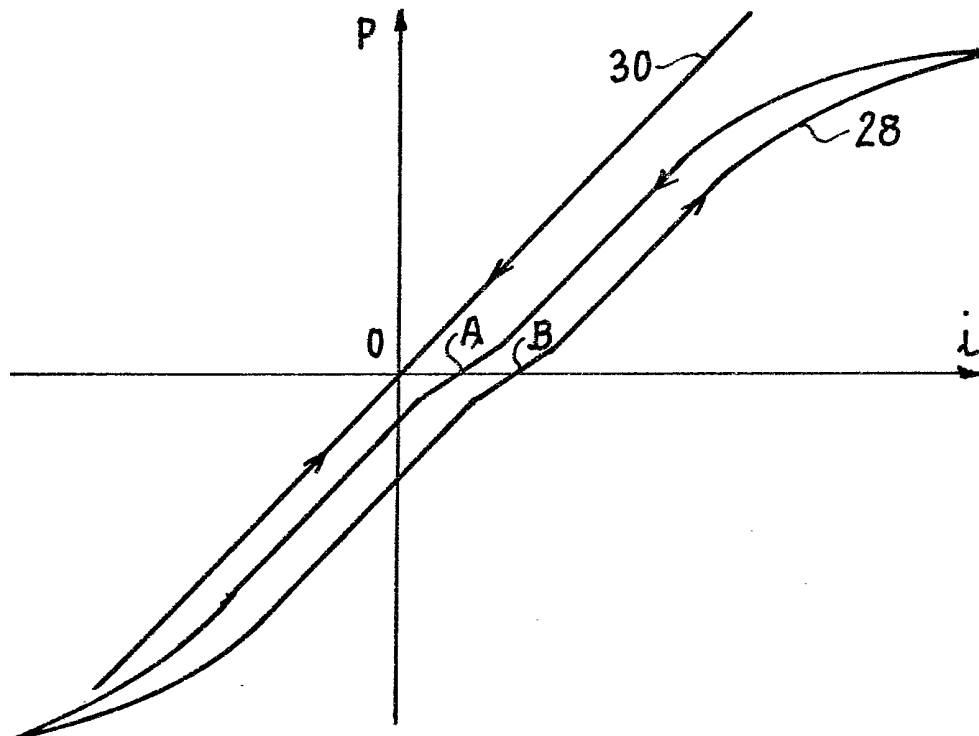
8. Dispositif à servovalve suivant la revendication 6, caracté-
risé en ce que les moyens électriques (32) comprennent un dispositif
(44) de détection du sens de variation du signal de commande, et un
15 élément binaire d'adressage supplémentaire (45).

1/3

FIG_1

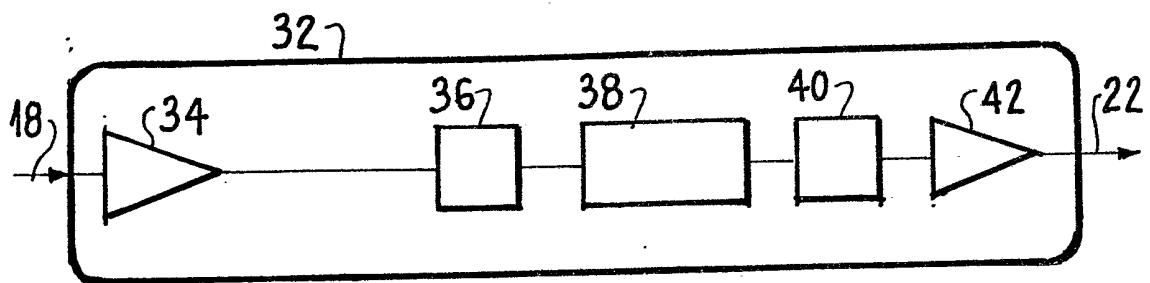


FIG_2

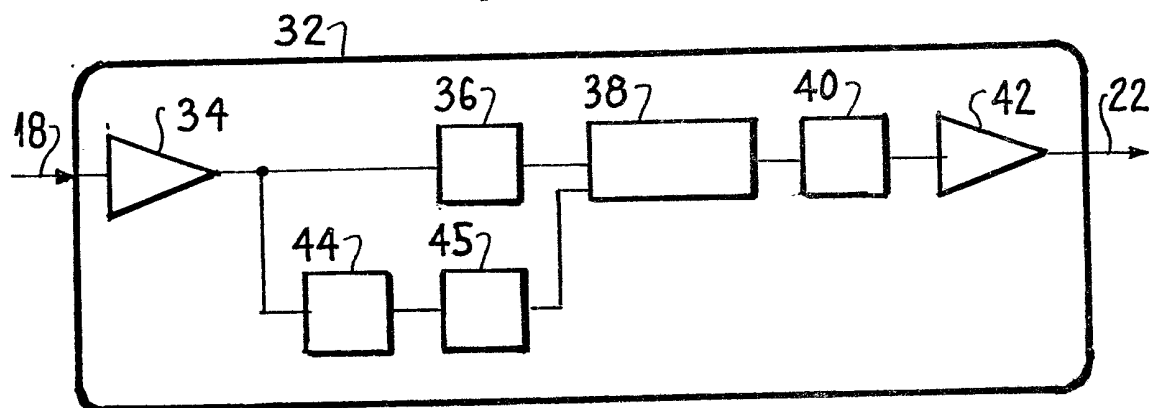


2/3

FIG_3



FIG_4



FIG_5

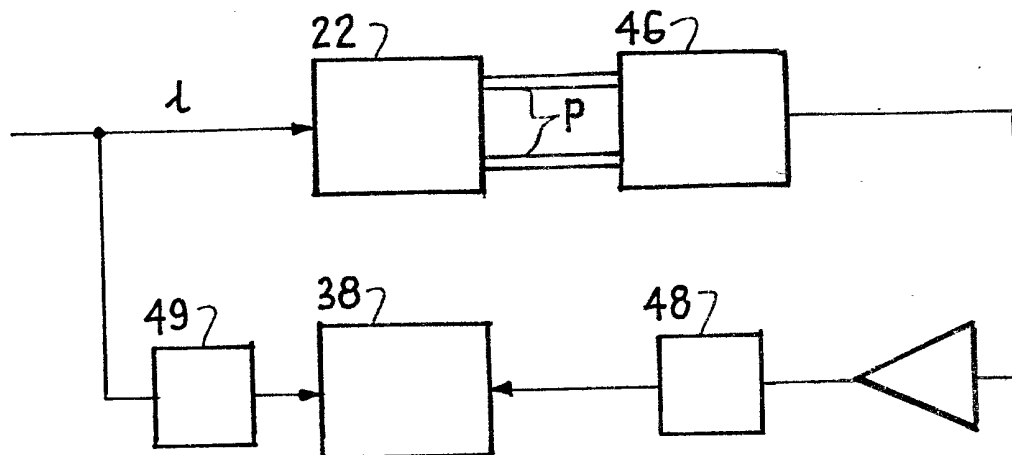


FIG. 6

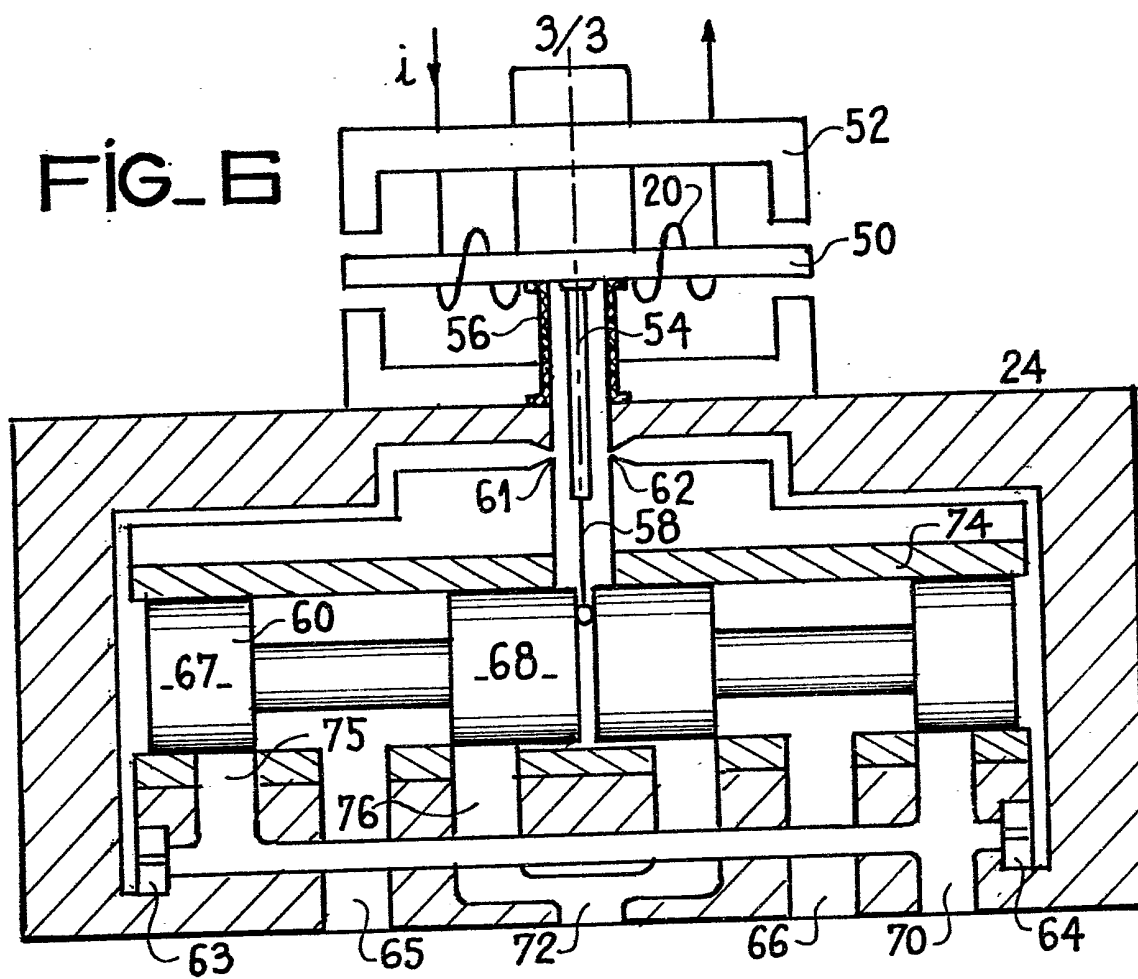


FIG. 7

