

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 548 057

21 N° d'enregistrement national :

84 09364

51 Int Cl⁴ : B 21 B 37/08.

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 15 juin 1984.

30 Priorité : US, 30 juin 1983, n° 509.598.

43 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 1 du 4 janvier 1985.

60 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

71 Demandeur(s) : GENERAL ELECTRIC COMPANY. — US.

72 Inventeur(s) : Paul Edgar Dornbusch.

73 Titulaire(s) :

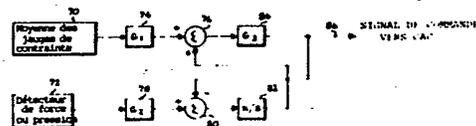
74 Mandataire(s) : A. Catherine.

54 Dispositif et procédé de détection de la force de séparation des cylindres d'un laminoir.

57 Dispositif et procédé permettant d'obtenir un signal plus précis représentant la force de séparation des cylindres d'un laminoir en vue d'une utilisation avec un système de commande automatique de calibre. Il comprend :

a. Des moyens pour produire un signal de force représentant la force déterminée par la présence de la pièce entre les cylindres; b. Des moyens pour produire un signal de contrainte représentant les contraintes produites dans la cage du laminoir par la présence de la pièce entre les rouleaux; c. Des moyens 76, 80, 84 pour combiner le signal de force et le signal de contraintes pour engendrer un signal de commande; et d. Un système de commande d'intervalle sensible au signal de commande pour, en réponse, commander les moyens de réglage d'intervalle.

Application aux laminoirs.



FR Z 548 057 - A1

La présente invention concerne de manière générale les laminoirs et plus particulièrement une méthode et un dispositif pour obtenir un signal plus précis, représentant la force réelle de séparation des cylindres déterminée par la présence d'une pièce entre les cylindres du laminoir en
5 vue d'une utilisation avec un système de commande automatique de calibre.

Une méthode bien connue de commande du calibre d'une pièce est celle couramment désignée comme le système de commande automatique de calibre par dispositif de cali-
10 brage BISRA. Dans ce système, on détecte la force associée à et engendrée par la pièce lors de son passage entre les cylindres de travail du train et on la combine avec un signal proportionnel à la position des cylindres pour former un signal représentatif de l'épaisseur de la pièce, signal qui
15 est utilisé dans un système en boucle fermée pour régler l'intervalle ou ouverture entre les cylindres de travail opposés. Dans les applications pour lesquelles les variations de dureté et d'épaisseur des pièces ont moins d'importance que les irrégularités du cylindre telles que l'excentricité
20 ou l'ovalisation, on peut baser une stratégie de commande d'épaisseur sur le réglage de la force de laminage avec pour hypothèse qu'une force de laminage constante produira une épaisseur de sortie constante.

Il existe au moins deux méthodes connues de détec-
25 tion de cette force. La première de ces méthodes est celle

appelée ici méthode directe et qui utilise classiquement des cellules de charge placées entre la cage du laminoir et l'intervalle entre cylindres pour fournir un signal de force de sortie. Une variante de l'utilisation de cellules de charge, lorsqu'on les utilise, est de détecter la pression à l'intérieur d'un cylindre hydraulique qui est utilisé comme moyen de réglage d'intervalle dans le système de commande automatique du calibre. La deuxième méthode, appelée ici méthode indirecte, utilise des jauges de contrainte placées sur la cage du laminoir pour mesurer les contraintes sur cette cage lorsqu'une pièce est laminée.

En pratique aucun de ces systèmes n'a été aussi précis que ce que l'on pouvait prévoir. Une des principales causes d'imprécisions de la méthode directe est le frottement. Ainsi qu'il est bien connu dans la technique, un frottement existe entre la cage du train de laminoir et les empoises qui supportent les cylindres ainsi que dans certains éléments hydrauliques tels que les vérins d'équilibrage que l'on utilise pour maintenir les empoises des cylindres en position et, lorsqu'il est utilisé, dans le mécanisme hydraulique de réglage d'écartement des cylindres. Comme le dispositif de calibrage et le système de commande de force utilisent tous les deux un signal de réaction de force, il est évident que toutes les forces détectées par le détecteur de force en plus des forces produites par la réduction de section de la pièce auront tendance à réduire la précision de ce signal de force en tant que représentation exacte de la force de laminage réelle. Il faut se rappeler que, dans tous les systèmes de réglage du calibre, l'écartement entre les cylindres est constamment modifié en vue d'essayer d'obtenir un calibre de sortie constant en tant que fonction du signal de réaction de force.

Il est aussi reconnu par la technique que les forces de frottement ne sont pas constantes mais varient selon les conditions de laminage et le sens de déplacement du cy-

lindre quand on règle l'écartement entre cylindres. Ceci produit en fait ce qui est généralement désigné par le terme hystérésis. On se référera aux deux articles suivants pour une étude plus complète des forces de frottement et de l'effet d'hystérésis :

5 a) "Mill modulus variations and hysteresis - Their effect on hot mill AGC" (Variations et hystérésis du module d'un laminoir - Leur effet sur la commande automatique de calibre d'un laminoir à chaud) par G.E. Wood et al, Iron and Steel Engineer Yearbook, 1977, pages 33 à 39; et

10 b) "Force sensing in rolling mills" (Détection des forces dans les laminoirs) par A. Zelpkalns et al, Iron and Steel Engineer Yearbook, 1977, pages 40 à 46.

La méthode de mesure des contraintes pour produire le signal de force est bien moins sensible aux forces de frottement que la méthode directe étudiée à l'instant mais est très sensible à la température. C'est-à-dire que la méthode de mesure des contraintes n'est pas sensible aux frottements empoise-cage, qui sont normalement les composantes les plus importantes du frottement, bien qu'elle soit quelque peu sensible au frottement du cylindre de réglage d'écartement ainsi qu'au frottement du cylindre du vérin d'équilibrage lorsque les vérins d'équilibrage des cylindres de travail sont entre les empoises des cylindres de travail et non en appui avec la cage. La température d'autre part joue un rôle significatif sur le signal de sortie du système de mesure de contrainte et pour mettre en pratique ce système la jauge de contraintes doit être continuellement étalonnée pour la température. Ceci, dans bien des cas, n'est guère pratique, particulièrement lorsque le laminoir est continu plutôt qu'à renversement de marche et que l'intervalle de temps entre les états non chargés peut être de plusieurs minutes.

La présente invention a pour buts de :

35 - réaliser un dispositif perfectionné pour engen-

drer un signal représentatif de la force de laminage réelle d'un train de laminoir;

5 - réaliser un dispositif et un procédé perfectionnés pour engendrer un signal précis représentant la force de laminage d'un laminoir utilisé avec un système de commande automatique du calibre;

10 - réaliser un procédé et un dispositif perfectionnés pour engendrer un signal précis représentant la force de laminage d'un laminoir en vue de son utilisation avec un système de commande automatique du calibre qui utilise à la fois une méthode directe et une méthode indirecte de mesure des forces; et

15 - réaliser un procédé et un dispositif perfectionnés pour engendrer un signal précis représentant la force de laminage dans un train de laminoir en vue de son utilisation avec un système de commande automatique du calibre, qui utilise à la fois une détection directe de la force de mesure et la détection des contraintes dans la cage de laminoir.

20 On atteint ces objectifs ainsi que d'autres, en vue d'une utilisation avec un laminoir ayant une cage de laminoir pour supporter des cylindres servant à réduire l'épaisseur d'une pièce passant entre eux et des moyens de réglage de l'écartement des cylindres, par la production d'un premier signal ou signal de force qui représente la
25 force déterminée par la présence d'une pièce entre les cylindres. On réalise en outre un signal de contrainte représentant les contraintes produites dans la cage de laminoir par la présence de la pièce entre les cylindres. On combine ensuite ces deux signaux pour obtenir un signal de commande
30 que l'on applique au système de commande automatique du calibre pour régler l'intervalle entre les cylindres.

La description qui va suivre se réfère aux figures annexées qui représentent, respectivement :

35 - figure 1, une vue en bout schématique d'un train de laminage classique comportant une commande automatique du

calibre, utile pour la compréhension de l'invention;

- figure 2, un schéma fonctionnel de la présente invention selon un mode de réalisation recommandé;

- figure 3, un diagramme schématique de la mise en oeuvre sous forme analogique du schéma de la figure 2.

On se référera maintenant à la figure 1 qui représente une vue en bout schématique d'un train de laminoir de type quarto comportant une commande automatique du calibre. Comme représenté, le train comporte une cage 10 agencée pour contenir les éléments du train qui comprennent un cylindre d'appui supérieur 12 qui est tourillonné dans les empoises 14 appropriées. De la même manière un cylindre d'appui inférieur 16 est tourillonné dans des empoises 18. Deux cylindres de travail représentés en 20 et 24 sont tourillonnés dans des empoises respectives 22 et 26. Deux paires de vérins d'équilibrage servent à supporter les empoises supérieures par rapport à la cage du laminoir. Ainsi, on place la première paire de vérins d'équilibrage 28 et 30 entre la cage et l'empoise 14 du cylindre d'appui supérieur. Les vérins d'équilibrage 36 et 38 des cylindres de travail supportent l'empoise 22 du cylindre de travail supérieur. Des empoises et des vérins semblables existent bien entendu à l'autre extrémité du train. Comme de coutume, un mécanisme à vis approprié 44 agissant par l'intermédiaire d'un écrou 46 sert à déterminer le dimensionnement grossier de l'espace (intervalle) entre les deux cylindres de travail 20 et 24 entre lesquels on fait passer une pièce 60. Sur la présente figure, on a en outre représenté, immédiatement en dessous de la vis 44, un système hydraulique 48 qui est, pour l'essentiel, constitué par un piston monté à l'intérieur d'un cylindre (désigné ici comme le "cylindre") qui, ainsi qu'il est connu de la technique, servira à effectuer un réglage conformément aux signaux du système de commande automatique du calibre (CAC). On peut aussi ne pas avoir de "cylindre" et avoir le système CAC qui agit directement par l'intermé-

diaire de la vis 44. La vis 44 et le cylindre 48 agissent sur l'empoise 14 du cylindre d'appui au moyen d'une cellule indicatrice de charge 50. La cellule de charge 50, ainsi qu'il est connu de la technique, fournit un signal de sortie (Fs, ligne 56), qui est proportionnel à la force de laminage provenant du passage de la pièce 60 entre les cylindres de travail 20 et 24, force telle que modifiée par les forces de frottement comme décrit auparavant. (On a représenté en pointillé entre l'empoise 18 du cylindre d'appui inférieur et la cage une cellule de charge 50'. Ceci pour montrer un autre emplacement de la cellule de charge, qui est parfois utilisé).

Deux moyens de détection 51 et 53 sont associés au cylindre 48 et sont fournis classiquement avec celui-ci. Le moyen de détection 51 fournit un signal de sortie (S_0) sur la ligne 52 qui indique la position du piston à l'intérieur du cylindre et est par conséquent une indication de l'intervalle entre les cylindres. Le capteur 53 est un capteur de pression qui détecte la pression à l'intérieur du cylindre 48 et fournit un signal de pression F_S' sur la ligne de sortie 54 que l'on peut aussi utiliser en tant qu'indication de la force de laminage.

Un deuxième moyen d'obtention d'un signal indicatif de la force de laminage est indiqué par la jauge de contraintes 62 fixée à la cage 10 du train de laminoir. Sur la figure qui est une vue de bout de la cage de laminoir, on a représenté une seule jauge de contraintes. On admettra cependant que, comme il est habituel dans la technique, on peut avoir au moins une jauge de contraintes supplémentaire à l'autre extrémité du train et le plus souvent, on appliquera deux jauges de contraintes supplémentaires de l'autre côté de chaque extrémité de la cage de laminoir de sorte qu'on aura quatre jauges de contraintes 62, toutes situées sur le côté aval du train. En tant que telle, jauge de contraintes 62 de la figure 1 représente l'ensemble du système

de jauges de contraintes et fournit un signal de sortie sur la ligne 63.

De manière à régler l'intervalle entre les cylindres représenté figure 1, on fournit un fluide hydraulique à partir d'un système à pression élevée, au piston 48 au moyen d'une conduite appropriée 69 et d'une servovanne de commande 67. Le trajet de retour à partir du piston s'effectue par la conduite 58. On maintient la pression du système par une pompe 64. La servovanne de commande 67 est commandée par le système CAC 66 qui pour sa part est sensible à un signal de commande dont la réalisation est le sujet de la présente invention. Si il n'y a pas de piston, le système CAC sert à commander directement la vis 44.

Comme indiqué auparavant, la présente invention utilise un signal de force directe tel celui provenant d'une cellule de charge ou d'un capteur de pression de piston en combinaison avec un signal de jauge de contraintes pour fournir le signal de commande du système CAC ainsi que représenté figure 1.

La figure 2 représente sous forme d'un schéma synoptique l'obtention du signal de commande selon la présente invention. L'étage 70 représente les signaux de sortie des jauges de contraintes qui sont envoyés un étage 74 à gain simple qui a un gain approprié à la démultiplication souhaitée. (Par exemple, si on utilise quatre jauges de contraintes et si le gain de l'étage 74 est 0,25, le signal de sortie de cet étage sera égal à la moyenne des signaux de jauge de contrainte). On applique le signal de l'étage 74 à l'entrée positive d'une jonction de sommation 76. On a représenté en 72 soit le signal de pression provenant du capteur de pression du cylindre 48, soit le signal de force provenant de la cellule de charge et on applique ce signal à un étage 78 ayant un gain approprié qui fournit la démultiplication recherchée. On applique, dans le sens positif, le signal de sortie de cet étage à une jonction de sommation 80. Le si-

gnal de sortie de la jonction de sommation 76, qui a aussi une entrée négative que l'on étudiera plus tard, est appliquée à un étage 84 à gain approprié, dont le signal de sortie, sur la ligne 86 est le signal de commande fourni au système CAC. On applique aussi dans le sens négatif, le signal de sortie de l'étage 84 à la jonction de sommation 80 et le signal de sortie de cette jonction de sommation est appliqué à un étage d'intégration 82 ayant une fonction de transfert $\frac{K}{S}$ où K est une constante et S l'opérateur de la transformée de Laplace. On applique le signal de sortie de l'étage d'intégration 82 dans le sens positif à la jonction de sommation 76, comme indiqué auparavant. Cet agencement croisé entre les entrées et les sorties des étages fonctionnels 82 et 84 a pour effet d'obliger la sortie de l'étage 84 à être égale à la sortie de l'étage 78 sur le long terme par utilisation de l'étage intégrateur 82. On réalise ainsi un schéma de compensation de température qui calibre automatiquement la jauge de contrainte pour qu'elle émette un signal de commande du système CAC.

L'ensemble de la boucle fournissant le signal corrigé de sa dérive sur la ligne 86 doit être suffisamment rapide pour annuler toutes les erreurs de dérive dues à la température, mais suffisamment lent pour ignorer les modifications normales des forces dues aux variations des feuillards, au frottement etc.. La constante K doit avoir normalement une valeur qui ne soit pas supérieure à 0,1 et pas inférieure à 0,03, cette dernière valeur servant à éviter les erreurs de dérive dues à la température qui peuvent devenir significatives en une période de temps relativement brève, par exemple une minute.

La figure 3 représente un mode de réalisation analogique du digramme fonctionnel de la figure 2. On a représenté, figure 3, quatre signaux de jauge de contrainte (SG1 - SG4) ainsi que le signal F_S de la cellule de charge. On applique les quatre signaux de jauge de contrainte SG1 à

SG4, dans le sens positif, à une jonction de sommation 90 de telle manière que leur somme est appliquée au moyen d'une résistance d'entrée 92 à l'entrée d'inversion d'un amplificateur opérationnel 94 (étage 74). L'amplificateur 94 a une
5 résistance de réaction 96 reliée à sa sortie et à son entrée d'inversion et on relie son entrée de non-inversion par une résistance 98 à la masse. L'amplificateur opérationnel de démultiplication 94 fournit dans ce cas la démultiplication appropriée et effectue la moyenne des signaux appliqués à la
10 jonction de sommation 90. On applique le signal de sortie de l'amplificateur opérationnel 94 par la résistance 100 à l'entrée d'inversion d'un deuxième amplificateur opérationnel 96 ayant une résistance de réaction 104 placée entre sa sortie et son entrée d'inversion. Le signal de sortie de cet
15 amplificateur opérationnel sur la ligne 86 est le signal de commande du système CAC.

On applique le signal F_S (signal de force) à l'étage avec gain 78 qui a une résistance d'entrée 106 reliée au signal F_S et à l'entrée d'inversion d'un amplificateur opérationnel 108 ayant une résistance de réaction
20 110. On relie l'entrée de non inversion de l'amplification 108 à la masse par une résistance 112. On applique le signal de sortie de l'étage 78 à l'étage d'intégration 82 que l'on a représenté constitué par une résistance d'entrée 114 reliée à l'entrée d'inversion d'un amplificateur opérationnel
25 116 dont l'entrée de non inversion est reliée à la masse par la résistance 118. On relie, comme il est habituel dans la technique, un condensateur 120 à la sortie et à l'entrée d'inversion de l'amplificateur 116 de sorte qu'on effectue
30 une fonction d'intégration. On applique le signal de sortie de l'amplificateur opérationnel 116, c'est-à-dire le signal intégré, par un réseau d'adaptation d'impédance comprenant les résistances 124 et 126, à l'entrée de non inversion d'un amplificateur opérationnel 102 (étage 84) dont la sortie est
35 reliée par la résistance 122 à l'entrée d'inversion de l'am-

plificateur 116. La correspondance point par point entre les figures 2 et 3 apparaît aisément et l'ensemble des fonctions de ces deux représentations sont identiques.

Pour compléter la description de la figure 3, un circuit d'initialisation constitué par un agencement en série d'un interrupteur 115 et d'une résistance 117 est relié en parallèle à la résistance 114 de l'étage 82. Lorsque la pièce pénètre tout d'abord dans la région de serrage des cylindres (par exemple, comme détecté par le signal de force F_S atteignant une certaine valeur déterminée) l'interrupteur 115 est momentanément fermé. Ceci servira à diminuer la résistance d'entrée à l'entrée d'inversion de l'amplificateur 116 et par là à diminuer la constante de temps de l'étage d'intégration 82. A titre d'exemple, on peut diminuer cette constante de temps jusqu'à 50 millisecondes. En tant que tels, les signaux de sortie de l'amplificateur 108 sur la ligne 86 seront forcés rapidement à la même valeur lorsque l'interrupteur 115 agissant comme une initialisation après une courte période de temps, par exemple 55 millisecondes, est ouvert et le fonctionnement commence comme décrit précédemment.

Bien que l'on ait décrit et représenté ici les modes de réalisation recommandés de la présente invention, des modifications apparaîtront de manière évidente à l'homme de l'art sans pour cela s'écarter du domaine de l'invention. Comme on l'a indiqué, on peut mettre en oeuvre la présente invention sous une forme analogique comme représenté figure 3 ou sous une forme numérique en employant un simple microprocesseur qui utilise le schéma fonctionnel représenté figure 2.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de commande de moyens de réglage d'intervalle utilisé dans un train de laminoir comportant une cage (10) pour supporter des cylindres (20, 24) qui servent à réduire l'épaisseur d'une pièce (60) passant entre eux et des moyens (44, 48) de réglage de l'intervalle entre les cylindres, dispositif caractérisé en ce qu'il comprend :
- 5
- a) des moyens (50) pour produire un signal de force (F_S) représentant la force déterminée par la présence de la pièce entre les cylindres;
- 10
- b) des moyens (62) pour produire un signal de contrainte représentant les contraintes produites dans la cage (10) du laminoir par la présence de la pièce entre les rouleaux;
- 15
- c) des moyens (76, 80, 84) pour combiner le signal de force et le signal de contrainte pour engendrer un signal de commande; et
- d) un système de commande d'intervalle (66) sensible au signal de commande pour, en réponse, commander les moyens de réglage d'intervalle.
- 20
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de combinaison comprennent :
- a) des moyens (82) pour intégrer la différence entre le signal de commande et le signal de force pour obtenir un signal d'intégration; et
- 25
- b) des moyens (76, 84) pour combiner le signal de contrainte et le signal d'intégration pour réaliser le signal de commande.
3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que les moyens d'intégration (82) ont une fonction de transfert Z représentée par la relation $Z = \frac{K}{S}$ dans laquelle
- 30
- S = l'opérateur de la transformée de Laplace; et
 K = une constante.
- 35
4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé

sé en ce que K a une valeur comprise entre 0,1 et 0,03.

5. Procédé de commande de réglage d'intervalle utilisé dans un train de laminoir comportant un cage (10) pour supporter des cylindres (20, 24) qui servent à réduire l'épaisseur d'une pièce passant entre eux et des moyens (44, 48) de réglage de l'intervalle entre les cylindres, procédé caractérisé en ce qu'il consiste à :

- 10 a) produire un signal de force (F_S) représentant la force déterminée par la présence de la pièce entre les cylindres;
- b) produire un signal de contrainte représentant les contraintes produites dans la cage (10) du laminoir par la présence de la pièce entre les rouleaux;
- 15 c) combiner le signal de force et le signal de contrainte pour engendrer un signal de commande; et
- d) commander les moyens de réglage d'intervalle du laminoir en fonction du signal de commande.

20 6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'étape de combinaison consiste à intégrer une différence entre le signal de commande et le signal de force pour obtenir un signal d'intégration et combiner le signal de contrainte avec le signal d'intégration pour réaliser le

25 signal de commande.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'étape d'intégration consiste à réaliser une fonction de transfert Z représentée par la relation $Z = \frac{K}{S}$ dans laquelle S est l'opérateur de la transformée de Laplace et K une constante;

30

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que K a une valeur comprise entre 0,1 et 0,03.

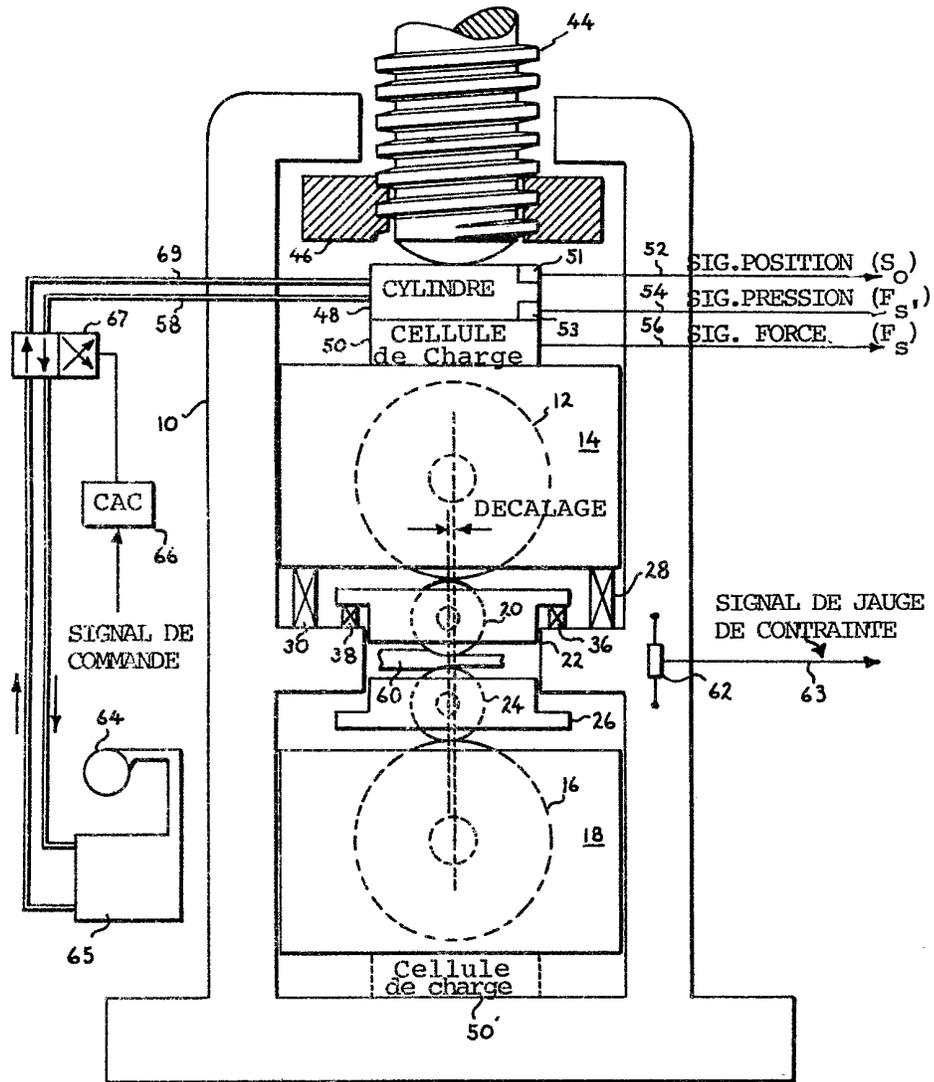


FIG. 1

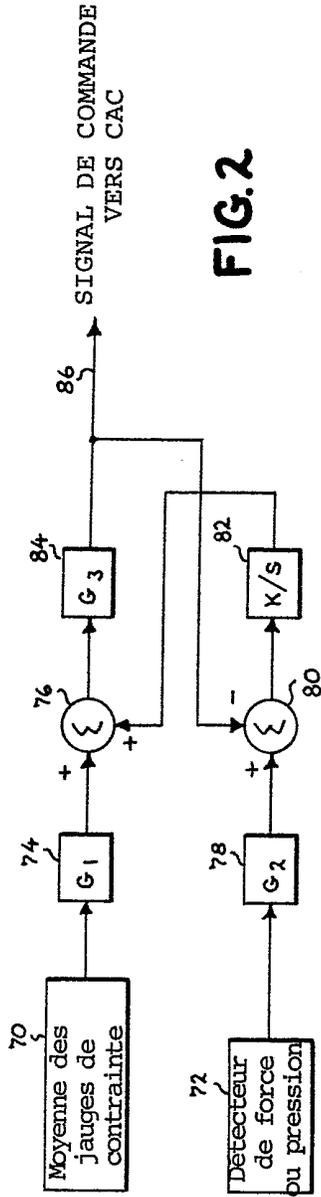


FIG. 2

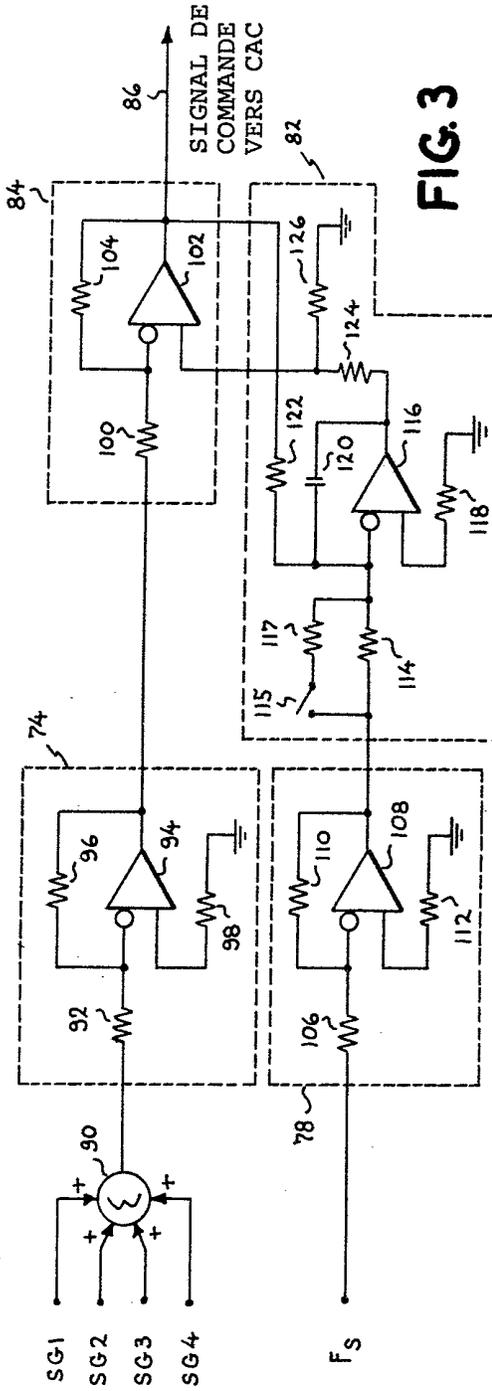


FIG. 3