

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 685 792

(21) N° d'enregistrement national : 91 16468

(51) Int Cl⁵ : G 05 D 13/60, 3/20

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 30.12.91.

(30) Priorité :

(71) Demandeur(s) : Société dite : KODAK-PATHE — FR.

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : 02.07.93 Bulletin 93/26.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche : Se reporter à la fin du présent fascicule.

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(72) Inventeur(s) : Gaudillat Jacques, Fernand.

(73) Titulaire(s) :

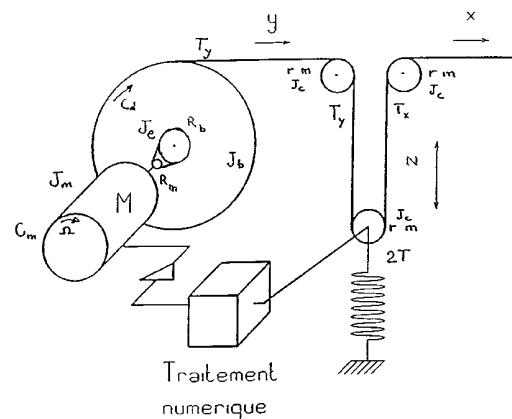
(74) Mandataire : Parent Yves Kodak-Pathé Département des Brevets et Licences.

(54) Régulation par pid numérique.

(57) L'invention est relative à la régulation et plus particulièrement à une régulation numérique du positionnement relatif d'une inertie en translation ou en rotation.

Suivant l'invention, on définit numériquement la position de la variable à régler, puis on traite cette information pour obtenir l'intégrale, la dérivée première et la dérivée seconde. Suivant l'invention, on utilise cette dérivée seconde pour réaliser une autocorrection des paramètres à appliquer à l'intégrale, à la dérivée première et à la donnée de position afin de calculer la force ou le couple à appliquer à l'inertie.

Utilisation pour le réglage de mouvements de translation ou de rotation.



FR 2 685 792 - A1



REGULATION PAR PID NUMERIQUE

La présente invention est relative à la régulation et plus particulièrement à une amélioration des systèmes de régulation à boucle fermée.

5 Les systèmes de régulation généralement utilisés comprennent des boucles d'asservissement éventuellement en cascades pour permettre de réguler une grandeur intermédiaire sur laquelle l'influence des perturbations se manifeste plus rapidement que sur la grandeur réglée
10 principale.

Il est bien connu d'utiliser des systèmes de positionnement présentant plusieurs boucles en cascades.

La Fig. 1 représente un dispositif de la technique antérieure permettant de réguler le déplacement d'une bande 10 enroulée sur une galette 11 entraînée par un moteur 12. Le moteur 12 entraîne la galette 11 dans le sens de la flèche 13 de manière à débiter la bande 10 avec une vitesse dy/dt . La bande 10 alimente une machine (non représentée) avec une vitesse de défilement dx/dt . Pour pouvoir réguler 20 la vitesse de rotation du moteur 12 en fonction de la vitesse dx/dt de défilement de la bande dans la machine (non représentée), on a besoin de mesurer la variation de vitesse entre le défilement dans la machine et la vitesse à laquelle la bande est débitée. Pour ce faire, on utilise 25 trois galets de renvoi 14, 15, 16 permettant de dévier la bande. Le galet 16 est rappelé par un ressort 17, un poids, un verrin, ou tout autre composant analogue. La position du galet 16 est fonction de la différence entre la vitesse de défilement dx/dt et de la vitesse de déroulement dy/dt .
30 Habituellement, on mesure la vitesse de rotation Ω du moteur 12 au moyen d'un tachymètre 18.
35

De la position du galet 16, on déduit la vitesse à laquelle devrait tourner la bobine. On la compare en 19 avec les signaux issus du tachymètre pour en déduire un signal d'erreur qui est envoyé au moteur 12.

Avantageusement, on utilise des dispositifs PID à action

Proportionnelle, Intégrale et Dérivée bien connus dans la technique et qui permettent d'obtenir des actions donnant une bonne stabilité tout en diminuant les phases transitoires. Toutefois, le réglage des paramètres de ces dispositifs PID est long et fastidieux car il est fait par approximations successives et les actions sur l'un des paramètres entraînent généralement la modification des autres paramètres.

Ces chaînes de régulation sont généralement analogiques. Toutefois, la mise sur le marché de dispositifs PID numériques, rendu possible par le développement actuel de l'électronique permet aujourd'hui le traitement numérique au moyen de convertisseurs analogiques/numériques.

L'objet de l'invention vise à fournir un procédé de régulation dans lequel les réglages sont obtenus systématiquement et sans aucune démarche empirique, quelque soit la machine, c'est-à-dire indépendamment des petites variations de frottement ou d'inertie dans les pièces, soit par rapport à la valeur théorique, soit entre deux machines identiques. L'objet est obtenu grâce à un procédé de régulation du positionnement relatif d'une inertie en translation ou en rotation dans lequel :

- a) on définit numériquement la position à régler,
- 25 b) on traite l'information pour obtenir la dérivée et l'intégrale, et
- c) on détermine la force ou le couple à appliquer à cette inertie en fonction des solutions de l'équation :

$$c_m = -k (d.z' + p.z + \int z.dt)$$

30 dans laquelle z représente le défaut mesuré, c_m le couple appliqué à l'inertie, et k , d et p des coefficients appliqués respectivement à l'intégrale, la dérivée première et la valeur proportionnelle, et

- 35 d) on applique directement ce couple ou cette force sur l'inertie à réguler,
- procédé caractérisé en ce que :

e) on traite l'information pour obtenir la dérivée seconde du défaut mesuré ;

5 f) on réalise une autocorrection des paramètres à appliquer à l'intégrale, à la dérivée première et à la donnée de position afin de calculer la force ou le couple à appliquer à l'inertie.

Au dessin annexé donné à titre d'exemple ;

10 la Fig. 1 représente schématiquement un circuit de régulation de la technique antérieure ;

15 la Fig. 2 représente schématiquement un circuit de régulation suivant l'invention pour la même application ;

les Figs 3A-3D représentent des courbes permettant de mieux comprendre les conditions nécessaires pour la mise en œuvre de l'invention ;

15 les Figs 4A et 4B représentent schématiquement le centrage automatique d'une laize au moyen d'un dispositif suivant l'invention.

Pour mieux comprendre l'invention revenons tout d'abord à la théorie. Il est bien connu que lorsque l'on veut 20 réguler un système de "positionnement" dans lequel un élément avec inertie se déplace, on ne peut agir que par l'intermédiaire d'une force qui produit une action sur la dérivée seconde.

Dans la technique antérieure, lorsqu'on voulait réguler 25 un ensemble mécanique entraîné par un moteur, on mesurait l'écart de position entre la position réelle et la position théorique pour en déterminer une vitesse de rotation du moteur (consigne) qui était comparée à la vitesse réelle pour fournir un signal de correction. Cet ensemble mécanique peut être étudié de la manière ci-après.

Soit J l'inertie de l'ensemble mécanique ramenée à l'axe moteur, Ω la vitesse angulaire du moteur, C_m le couple délivré par le moteur et C_f le couple dû aux frottements parasites. Il est bien connu que :

35
$$C_m - C_f = J \Omega' \quad (1)$$

dans lequel Ω' est la dérivée première de la vitesse angulaire du moteur.

Si on appelle y le déplacement de la partie de l'ensemble mécanique, déplacement assurant la correction d'un défaut et α le rapport entre Ω et la vitesse de ce déplacement on a la relation

$$\alpha y' = \Omega \quad (2)$$

dans laquelle y' est la dérivée première de y . En remplaçant Ω' dans la relation (1) par sa valeur obtenue 10 par la relation (2) on a :

$$C_m - C_f = J \Omega' = J \alpha y'' \quad (3)$$

dans laquelle y'' est la dérivée d'ordre deux de y .

Si x est le défaut à l'entrée et z le défaut mesuré à la sortie, la relation existant entre x , y et z est du 15 type :

$$y = \beta x + \tau z \quad (4)$$

dans laquelle β et τ sont des constantes.

Pour obtenir une régulation on fournit au moteur un couple qui dépend du défaut mesuré. Les régulations de la 20 technique antérieure ont montré qu'il y avait un avantage certain à ce que le couple dépende non seulement de la valeur du défaut mesuré u mais aussi de sa dérivée et de son intégrale (PID) :

$$C_m = -k (du' + pu + \int u dt)$$

25 u pouvant être le défaut mesuré z ou plus généralement, comme on l'a mentionné précédemment, l'écart entre la vitesse souhaitée (consigne) et la vitesse réelle (régulation en cascade).

Suivant l'invention, on ne mesure plus l'écart de 30 vitesse et le couple moteur dépend aussi de la dérivée seconde du défaut z'' .

$$C_m = -k (diz' + pi^2 z + i^3 \int z dt) - az'' \quad (5)$$

dans laquelle :

k est le gain général ;

35 $(d.i)$ est le coefficient de correction appliqué à la dérivée première ;

(p.i²) est le coefficient de correction appliqué à la réponse proportionnelle ;

a est le coefficient de correction appliqué à l'accélération ;

5 i³ est un coefficient de correction intégrale.

On verra l'avantage de i ultérieurement. Dans la technique antérieure ce coefficient était égal à 1 et n'apparaissait pas dans les équations.

10 Lorsqu'on dérive la relation (4) deux fois on obtient
 $y'' = \beta x'' + \tau z'' \quad (6)$

en reportant les relations (5) et (6) dans la relation (3) on obtient :

$$(a + J\alpha\tau)z'' + kdi z' + kpi^2 z + ki^3 \int z dt = - Cf - J\alpha\beta x''$$

Si l'on pose K = k/(a + Jατ) et que l'on dérive on
15 obtient :

$$z''' + Kdi z'' + Kpi^2 z' + Ki^3 z = \frac{-J\alpha\beta}{a+J\alpha\tau} x''' \quad (7)$$

La solution de l'équation (7) sans second membre, c'est-à-dire :

20 $z''' + Kdi z'' + Kpi^2 z' + Ki^3 z = 0 \quad (8)$

est de la forme :

$$z = z_1 e^{z_1 t} + z_2 e^{z_2 t} + z_3 e^{z_3 t} \quad (9)$$

dans laquelle z₁, z₂, et z₃ sont des nombres complexes.

Il est bien connu que si l'on veut un amortissement, 25 les parties réelles de z₁, z₂, et z₃ doivent être négatives. On peut facilement démontrer que cette condition est remplie lorsque :

$$\begin{aligned} K &> 0, d > 0, p > 0 \text{ et } i > 0 \text{ et} \\ (Kdi)(Kpi^2) &> Ki^3 \text{ soit} \end{aligned}$$

30 $Kdp > 1$

Cette condition est déjà connue sous le nom de critère de Routh mais n'est pas suffisante pour supprimer complètement les oscillations en phase transitoire. Nous voyons déjà les avantages propres à l'invention d'avoir 35 introduit le coefficient i. En effet cette condition est indépendante de ce coefficient.

Si l'on désire que les solutions de la relation (8) ne présentent aucune oscillation, il faut et il suffit que z_1 , z_2 et z_3 de la relation (9) soient réels et négatifs.

5 Si l'on pose que l'une des solutions est égale à $e^{z_0 t}$ en remplaçant par ses valeurs dans l'équation (8) et en divisant par $e^{z_0 t}$ on obtient :

$$z_0^3 + Kdiz_0^2 + Kpi^2 z_0 + Ki^3 = 0 \quad (10)$$

Nous appellerons z_1 , z_2 et z_3 les racines réelles de l'équation (10) avec la relation $z_3 \leq z_2 \leq z_1 \leq 0$.

10 On se rappellera que les coefficients K , d , p et i sont positifs. Déterminons les conditions liant les coefficients pour avoir des racines réelles et négatives.

15 On remarquera que la valeur du premier membre de la relation (10) donne une courbe du troisième degré continue entre $-\infty$ et $+\infty$. La relation (10) admet donc au moins une racine réelle. La valeur pour $z=0$ est égale à Ki^3 , soit positive compte tenu des conditions déjà énoncées sur les coefficients. Si l'on effectue une translation de la courbe de la valeur $-Ki^3$, on obtient une courbe analogue à celle 20 représentée en trait double sur la Fig. 3A et la relation (10) devient :

$$z_0^3 + Kdiz_0^2 + Kpi^2 z_0 = 0 \quad (11)$$

qui admet la valeur 0 comme solution. Pour que cette équation admette deux autres solutions réelles, il faut 25 que :

$$(Kdi)^2 > 4 Kpi^2$$

c'est-à-dire :

$$Kd^2 > 4p \quad (12)$$

30 Lorsque la condition (12) est remplie, la solution z_3 est réelle et négative quelque soit la valeur positive de Ki^3 .

Considérons maintenant la Fig. 3C. La courbe fournie par la relation (10) peut être considérée comme la somme d'une première fonction z^3 et d'une seconde fonction 35 $Kdiz_0^2 + Kpi^2 z_0 + Ki^3$.

La Fig. 3C représente en trait continu (simple et double) les deux fonctions et en trait interrompu leur somme qui est le premier membre de la relation (10).

Si l'on appelle z_4 et z_5 les racines de l'équation

5 $Kdi z_0^2 + Kpi^2 z_0 + Ki^3 = 0 \quad (13)$

il suffit que z_4 soit réelle pour que z_1 existe puisque $z_4 > z_1 > 0$.

Pour que l'équation (13) admette des solutions réelles il suffit que :

10 $(Kpi^2)^2 > 4 (Kdi) (Ki^3)$

soit $p^2 > 4d \quad (14)$

Lorsque les conditions (12) et (14) sont remplies on obtient des racines z_1 et z_3 réelles négatives donc z_2 qui est comprise entre z_1 et z_3 est elle aussi réelle et 15 négative.

Si l'on prend $K \geq 1$ la condition (12) peut s'écrire :

$d^2 > 4p \quad (15)$.

On peut démontrer que si l'on a les conditions (14) et (12), elles entraînent nécessairement $Kpd > 1$.

20 Sur la Fig. 3D on a représenté la courbe A d'équation $p = d^2/4$ et la courbe B d'équation $d = p^2/4$ qui sont les conditions (14) et (15).

Pour ne pas avoir d'oscillations il suffit que les 25 valeurs de p et de d soient comprises dans la zone non hachurée de la Fig. 3D. On notera que ces deux conditions sont indépendantes de la valeur du coefficient de correction i . Ce coefficient a été introduit dans la relation (5) de manière à ne pas intervenir dans les conditions de stabilité. Il permet donc d'ajuster la "réponse" du système en fonction du temps et pendant les 30 phases transitoires la position d'équilibre sera d'autant plus vite atteinte que i sera grand. De plus i peut être un coefficient variable, pilotable par des paramètres extérieurs quelconques selon les différents besoins 35 imaginables. Par exemple dans le cas d'une dérouleuse, si l'on veut limiter l'accélération du cylindre mobile pour ne

pas créer des surtensions importantes dans la bande, il peut être autoajusté en écrivant la condition :

si $z'' > z''_{\max}$ alors $i = i - \delta i$ ou mieux $i = q_i$ avec $q < 1$.

Comme nous l'avons indiqué préalablement on a posé

$$5 \quad K = k / (a + J\alpha\tau) \text{ et } K \geq 1$$

dans laquelle k est le gain général, α et τ des constantes et J l'inertie du système. Il est bien connu que pour éviter les accélérations importantes qui nuiraient à la stabilité du système il faut travailler avec un couple moteur modéré et utiliser un gain général k faible.

Lorsqu'on utilise des systèmes numériques, il existe des temps morts puisqu'on échantillonne les signaux. Ce phénomène provoque des erreurs. On a remarqué, par expérience, que la régulation numérique de ces systèmes ne pouvait être obtenue que si $1 \leq K \leq 2$. On a donc $k \approx a + J\alpha\tau$ et lorsque $J\alpha\tau$ est constant on peut choisir une valeur nulle pour le coefficient a , ce qui nous ramène à la technique connue dans laquelle l'équation (5) ne fait pas intervenir la dérivée seconde. Toutefois lorsque l'inertie varie en cours de fonctionnement, K varie entre une valeur minimale et une valeur maximale. $J\alpha\tau$ varie entre $(J\alpha\tau)_{\min}$ et $(J\alpha\tau)_{\max}$. Si l'on pose $k = a + (J\alpha\tau)_{\max}$ et $a = a_0$ $(J\alpha\tau)_{\max}$ on aura donc :

$K = 1$ lorsque $J\alpha\tau$ sera égal à sa valeur maximale et

$$25 \quad K = \frac{a_0 + 1}{a_0 + (J\alpha\tau)_{\min} / (J\alpha\tau)_{\max}} \quad \text{lorsque } J\alpha\tau \text{ sera minimum}$$

Si l'on choisit a_0 grand, la variation de K peut être rendue petite. Avec $a_0 = 2$ on obtient $1 \leq K < 1,5$ et avec $a_0 = 5$ on obtient $1 \leq K < 1,2$.

30 Nous venons d'étudier la relation (7) sans second membre. Les solutions de la relation (7) avec second membre sont de la forme des solutions de la relation sans second membre plus une solution particulière, c'est-à-dire :

$$z = z_1 e^{z_1 t} + z_2 e^{z_2 t} + z_3 e^{z_3 t} + h(t)$$

35 dans laquelle $h(t)$ est de même nature que x''' . Si x''' est nulle on est ramené à la relation sans second membre ; si

x'' est une constante, $h(t)$ est une constante d'autant plus faible que a est grand et si $x'' = X_0 \epsilon^3 \sin(\epsilon t)$ on a $h(t) = Z_5 \sin(\epsilon t + \Phi)$ avec Z_5 d'autant plus faible que a est grand.

- 5 On voit donc que l'introduction d'une correction proportionnelle à la dérivée seconde de l'écart z
- 1) atténue l'effet de la variation de l'inertie ;
 - 2) atténue l'effet de la perturbation due au défaut d'entrée x ;
 - 10 3) permet une erreur sur l'appréciation de J .

Ce dernier effet permet concrètement de faire un calcul approché de la valeur de l'inertie et de déterminer un ordre de grandeur des coefficients et paramètres pour mettre en oeuvre l'invention.

- 15 Nous allons voir comment on peut utiliser l'invention au centrage automatique d'une laize. Comme on le voit sur la Fig. 4B, le déplacement z de la laize est donné par la relation :

$$z = x + y \quad (16)$$

- 20 dans laquelle x représente le déplacement de la bobine par rapport au support et y le déplacement du support. En comparant les relations (16) et (4) on obtient $\tau = 1$ et $\beta = -1$.

- 25 Pour commander le centrage de la laize, il faut donc commander le déplacement d'une masse m qui est égale à la somme de la masse de l'ensemble mécanique m_e supportant la bobine et la masse de la bobine m_b

$$m = m_b + m_e \quad (17)$$

- 30 Si on appelle ρ la densité de la bobine, R le rayon de la bobine et I la largeur de la laize, on obtient :

$$m = \pi R^2 I \rho + m_e \quad (18)$$

Etudions maintenant le couple moteur C_m qu'il faut régler pour déplacer une masse m . Dans l'exemple représenté à la Fig. 4A, C_m est de la forme

35 $C_m = C_{m1} + C_{m2} + C_{m3} \quad (19)$

dans laquelle

C_{m1} représente le couple utilisé pour déplacer la masse m ;
C_{m2} représente le couple moteur utilisé pour faire tourner
l'ensemble vis de pas s et poulie de rayon R_{vis} ;
C_{m3} représente le couple moteur utilisé pour faire tourner
5 la poulie de rayon R_{moteur}.

Si l'on appelle j_m l'inertie du moteur muni de la
poulie de rayon R_{moteur}, on a :

$$C_{m3} = j_m \Omega' \quad (20)$$

Si l'on appelle j_e l'inertie de l'ensemble tournant
10 composé de la vis de pas s et de la poulie associée de
Rayon R_{vis}, on a :

$$C_{m2} = j_e \Omega'^2 / \mu^2 \quad (21)$$

dans laquelle μ représente le rapport de réduction

$$\mu = R_{vis} / R_{moteur} \quad (22)$$

15 Calculons maintenant le couple C_{m1} utilisé pour déplacer la
masse m. Un tour de vis déplace la masse m de la quantité
s. Un tour moteur déplace cette masse de la quantité s/ μ .
Si l'on appelle Ω la vitesse angulaire du moteur, on a :

$$y' = \Omega s / 2\pi\mu \quad (23)$$

20 En rapprochant la relation (23) de la relation (2) on
obtient :

$$\alpha = 2\pi\mu/s \quad (24)$$

La force F utilisée pour le déplacement de la masse est
donnée par la relation :

$$F = my'' \quad (25)$$

On a donc :

$$F = m\Omega' s / 2\pi\mu \quad (26)$$

Le couple moteur C_{m1} s'écrit donc :

$$C_{m1} = F s / 2\pi\mu = m\Omega' (s / 2\pi\mu)^2 \quad (27)$$

$$30 \text{ soit } C_{m1} = m/\alpha^2 \quad (28)$$

Le couple moteur total est donc

$$C_m = \frac{m}{\alpha^2} + \frac{j_e}{\mu^2} + j_m \Omega' = J\Omega' \quad (29)$$

dans laquelle J est l'inertie ramenée au moteur.

La valeur de $J\alpha\tau$ est donc :

$$J\alpha\tau = \frac{m}{\alpha} + \frac{\alpha je}{\mu^2} + \alpha jm \quad (30)$$

avec m donné par la relation (18).

5 Comme indiqué préalablement on voit donc que l'on peut évaluer une valeur approchée de l'inertie ramenée au moteur et que le fait d'introduire la dérivée seconde de l'écart, permet de calculer des valeurs approchées utilisables pour la régulation automatique ultérieure.

10 Les avantages de a et i n'existent que grâce à la prédétermination effectuée sur les autres coefficients k , p et d . (En effet si les valeurs de p et d sont quelconques ou ajustées lors des essais de façon empirique, les réglages ainsi obtenus ne conviendront que pour les valeurs 15 de i et de a utilisées au moment de ces réglages, donc n'auront plus leur indépendance et les avantages annoncés). La prédétermination des valeurs de k , d et p n'est possible que grâce à la démonstration des deux conditions de stabilité (14) et (15) et au traitement numérique complet 20 qui seul permet d'être certains des valeurs introduites dans le système.

Etudions une autre application de l'invention en référence à la Fig. 2 ; le déroulement ou l'enroulement d'un film sur un noyau.

25 Comme on le voit sur la Fig. 2, le déplacement z du galet de rappel répond à la relation

$$2z = y - x \quad (31)$$

En rapprochant cette relation de la relation (4) on a :

$$\beta = 1 \quad \text{et} \quad \tau = 2$$

30 En appelant μ le rapport de réduction du système d'entraînement par poulie, $\mu = R_b/R_m$, et Ω la vitesse angulaire du moteur, on peut écrire :

$$y' = \Omega R / \mu \quad (32)$$

en rapprochant cette relation de la relation (2) on obtient 35 $\alpha = \mu/R$.

Pour simplifier les calculs, nous considèrerons que les cylindres de renvoi sont identiques. Soit m la masse de chaque cylindre, jc leur inertie respective, r leur rayon et $2T$ la force de rappel exercé sur le cylindre

5 intermédiaire servant à maintenir le film tendu. On peut écrire la tension Ty aidant le moteur sous la forme :

$$Ty = T - \frac{3}{2} \frac{jc}{r^2} x'' - z'' \quad (5) \quad (33)$$

Le couple Cd disponible pour entraîner la bobine peut 10 s'écrire :

$$Cd = \mu (Cm - jm \Omega')$$

dans laquelle jm représente l'inertie du moteur portant la poulie d'entraînement du rayon R_m .

Le couple permettant le déplacement du film est 15 représenté par $Ty R + Cd$. On a donc :

$$TyR + Cd = y'' (jb + je) / R = \frac{\Omega'}{\mu} (jb + je) \quad (34)$$

Si l'on remplace Ty dans la relation (34) par sa valeur calculée par la relation (33), on obtient comme premier 20 membre :

$$TR - \frac{3R}{2} \frac{jc}{r^2} x'' - \frac{z''}{2} \frac{R}{r^2} (\frac{5jc}{r^2} + m) + \mu Cm - \mu jm \Omega' \quad (35)$$

soit :

$$TR - \frac{3}{2} \frac{R}{r^2} jc x'' + \mu Cm = \Omega' \left(\frac{jb}{\mu} + \frac{je}{\mu} + \mu jm \right) + z'' \frac{R}{2} \left(\frac{5jc}{r^2} + m \right) \quad (36)$$

en dérivant la relation (31) on a :

$$z'' = \frac{y''}{2} - \frac{x''}{2}$$

On obtient donc à partir de la relation (36) et de la 30 relation (32) dérivée $y'' = (R/\mu) \Omega'$

$$\frac{TR}{\mu} + x'' \frac{R}{4\mu} (m - \frac{jc}{r^2}) + Cm = \Omega' \left[\frac{jb}{\mu^2} + \frac{je}{\mu^2} + jm + \frac{R^2}{4\mu^2} \left(\frac{5jc}{r^2} + m \right) \right]$$

On en tire donc :

$$J = \frac{jb + je}{\mu^2} + jm + \frac{R^2}{4\mu^2} \left(\frac{5jc}{r^2} + m \right)$$

la valeur de $J_{\alpha\tau}$ devient

$$J_{\alpha\tau} = \frac{2 jb}{\mu R} + \frac{2 je}{\mu R} + \frac{2\mu jm}{R} + \frac{R}{2\mu} \frac{(5jc + m)}{r^2}$$

avec $jb = MR^2/2 = \pi \int l R^4/2$

5 Comme indiqué préalablement on voit donc là aussi que l'on peut évaluer une valeur approchée de l'inertie ramenée au moteur qui permet de mettre en oeuvre l'invention.

10 Une fois que l'on a déterminé une approximation de l'inertie ramenée au moteur on peut traiter l'invention de manière numérique bien connue.

Il est bien connu que la transformation des valeurs analogiques ne peut être obtenue que par des valeurs discrètes. On appellera N la fréquence d'échantillonnage par secondes, on a donc :

15 $N = 1/\delta t \quad (39)$

Les relations indiquées précédemment ont été écrites dans le système d'unité standard MKSA. Lorsqu'on transpose les valeurs mesurées par des valeurs numériques, les 20 valeurs ainsi obtenues ne représentent pas la distance en mètres m, la vitesse en m/s ou rad/s mais dans une autre unité, il faut donc calculer des coefficients de transposition. Par définition on utilisera des Majuscules pour représenter les valeurs numériques. Par exemple Z est la valeur numérique représentant l'écart (z en mètres). Appelons Zo le nombre de positions que l'on peut déterminer pour un écart donné de 1 m. On peut dire que z en mètres 25 est égal à :

$$z = Z / Zo \quad (40)$$

Appelons $z(t)$ la mesure de z à l'instant t on a la 30 vitesse en m/s.

$z' = [z(t) - z(t - \delta t)] / [t - (t - \delta t)] = [z(t) - z(t - \delta t)] / \delta t$
c'est-à-dire :

$$z' = \frac{N}{Zo} (Z(t) - Z(t - \delta t)) = \frac{N}{Zo} [Z(t) - Z(t - 1/n)] \quad (41)$$

De la même manière l'accélération en m/s^2 .

$$z'' = \frac{N^2}{Z_0} (\delta(\delta Z))$$

5 $z'' = \frac{N^2}{Z_0} [Z(t) - 2Z(t-1/N) + Z(t-2/N)] \quad (42)$

et l'intégrale

$$\int_0^t z dt = \frac{1}{NZ_0} [\sum_c^t Z(t)] \quad (43)$$

10 Si l'on appelle C_0 le couple maximum exercé par le moteur lorsque le transmetteur numérique/analogique commandant l'amplificateur du moteur est à son maximum, E_0 le nombre maximum de points possibles acceptables par le transmetteur et E la valeur numérique issue des calculs qui est fournie au transmetteur, on peut poser :

15 $C_m = C_0 \frac{(2E - E_0)}{E_0} \quad (44)$

ainsi le couple moteur C_m prend sa valeur maximale positive ou négative pour $E = 0$ ou $E = E_0$ et prend une valeur nulle pour $E = E_0/2$.

20 La relation (44) peut aussi s'écrire :

$$E = \frac{E_0}{2} \frac{(C_0 + C_m)}{C_0} = \frac{E_0}{2} \left(1 + \frac{C_m}{C_0}\right) \quad (45)$$

25 On doit donc alimenter le transmetteur numérique/analogique commandant le moteur avec une valeur de E tel que :

$$E = \frac{E_0}{2} - \frac{k \cdot E_0}{2C_0 Z_0} [d.i.N(\delta Z) + p.i^2 \cdot Z + \frac{i^3}{N} \sum Z + \frac{aN^2}{k} \delta(\delta Z)] \quad (46)$$

30 On remarquera que, du fait que l'on est en numérique les variations de $\int z dt$, z , z' et z'' se font par incrément successifs de valeurs respectives $1/NZ_0$, $1/Z_0$, N/Z_0 , N^2/Z_0 . Chacun de ces incrément ne doit pas engendrer une variation relative du couple trop importante. On a pu déterminer expérimentalement que l'on obtenait un fonctionnement satisfaisant lorsque :

35 $\frac{ki^3}{N C_0 Z_0} \leq 0,15 \quad (47)$

$$\frac{kpi^2}{Co \cdot Zo} \leq 0,15 \quad (48)$$

5 $\frac{kdi \cdot N}{Co \cdot Zo} \leq 0,07 \quad (49)$

et

$$\frac{a \cdot N^2}{Co \cdot Zo} \leq 0,01 \quad (50)$$

Il est évident que pour éviter les perturbations dues aux temps morts, la fréquence d'échantillonnage N doit être suffisamment grande. En pratique on prendra $N \geq 50$. Dans ces conditions, les trois premières conditions (47), (48), (49), sont généralement facilement respectées. Toutefois la condition (50) est plus difficile à obtenir. Dans le cas où cette condition n'est pas obtenue on peut toutefois utiliser l'invention en annulant la valeur du coefficient a et en utilisant la valeur de la dérivée seconde pour autoajuster le coefficient k. Par exemple lorsqu'il y a une incertitude sur la valeur de $J\alpha\tau$ on démarera avec $k \gg J\alpha\tau$ et on recherchera le gain k idéal en écrivant la condition avec i constant. Lorsque l'accélération sera trop importante on diminuera le gain en vérifiant la condition suivante ::

25 Si $z'' > z''_{max}$ soit $\delta(\delta Z) > \frac{Zo}{N^2} z''_{max}$.

Lorsque cette condition sera réalisée on modifiera la valeur de k pour prendre $k - \delta k$ ou mieux qk avec $q < 1$. Il est évident que l'on peut accélérer cette recherche en écrivant plusieurs conditions du même type :

30 Si $z'' < 2 z''_{max}$ alors $k = k - 2 \delta k$, etc...

Lorsque $J\alpha\tau$ est décroissant, ce qui est le cas par exemple d'un dérouleur, on pourra procéder de la manière indiquée préalablement, toutefois on démarera chaque cycle avec une valeur de k égale à la valeur $(J\alpha\tau)_{max}$.

35 Dans ces deux cas le gain est autoajustable, ce qui est facile compte tenu du traitement numérique.

Lorsque $J_{\alpha\tau}$ est croissant, ce qui est le cas par exemple d'un enrouleur, et que cette croissance se réalise suivant une loi connue par exemple la variation d'une longueur de film, on pourra faire varier k selon la loi de 5 variation de l'inertie de façon approximative. Il suffira que cette variation soit à 25 % près identique à la variation de l'inertie. Dans ce cas on utilisera la variation du coefficient i , comme dans le cas général décrit préalablement, pour piloter la régulation et l'on 10 utilisera la condition indiquée :

Si $z'' > z''_{\max}$ alors $i = i - \delta i$
ou $i = q_i$ avec $q < 1$

L'avantage de l'invention réside essentiellement dans le fait que l'on a découvert des conditions de stabilité 15 (14) et (15) jusqu'alors ignorées et que l'utilisation d'un paramètre supplémentaire indépendant de ces conditions de stabilité permet de pallier les approximations nécessaires au calcul du système.

REVENDICATIONS

1 - Procédé de régulation du positionnement relatif d'une inertie en translation ou en rotation dans lequel

- a) on définit numériquement la position à régler,
- b) on traite l'information pour obtenir la dérivée et l'intégrale, et
- c) on détermine la force ou le couple à appliquer à cette inertie en fonction des solutions de l'équation :

$c_m = -k (d.z' + p.z + \int z.dt)$
 dans laquelle z représente le défaut mesuré, c_m le couple appliqué à l'inertie, et k , d et p des coefficients appliqués respectivement à l'intégrale, la dérivée première et la valeur proportionnelle, et

- d) on applique directement ce couple ou cette force sur l'inertie à réguler,

procédé caractérisé en ce que :

- e) on traite l'information pour obtenir la dérivée seconde du défaut mesuré ;
- f) on réalise une autocorrection des paramètres à appliquer à l'intégrale, à la dérivée première et à la donnée de position afin de calculer la force ou le couple à appliquer à l'inertie.

2 - Procédé selon la revendication 1 dans lequel $Kdp > 1$ avec K , d et p positif, K étant égal à $k/(a+J\alpha\tau)$ dans laquelle J est l'inertie ramenée au moteur, α le rapport entre Ω la vitesse de rotation du moteur et y' la dérivée première du déplacement de la partie de l'ensemble mécanique, déplacement assurant la correction du défaut et τ une constante, procédé caractérisé en ce qu'on utilise des coefficients K , d et p satisfaisant les relations :

$$Kd^2 > 4p \text{ et } p^2 > 4d$$

3 - Procédé selon la revendication 2 dans lequel $K > 1$, caractérisé en ce qu'on utilise des coefficients d et p

satisfaisant les relations :

$$d^2 > 4p \text{ et } p^2 > 4d$$

- 4 - Procédé de régulation selon l'une des revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que le couple est obtenu par
5 les solutions de l'équation :

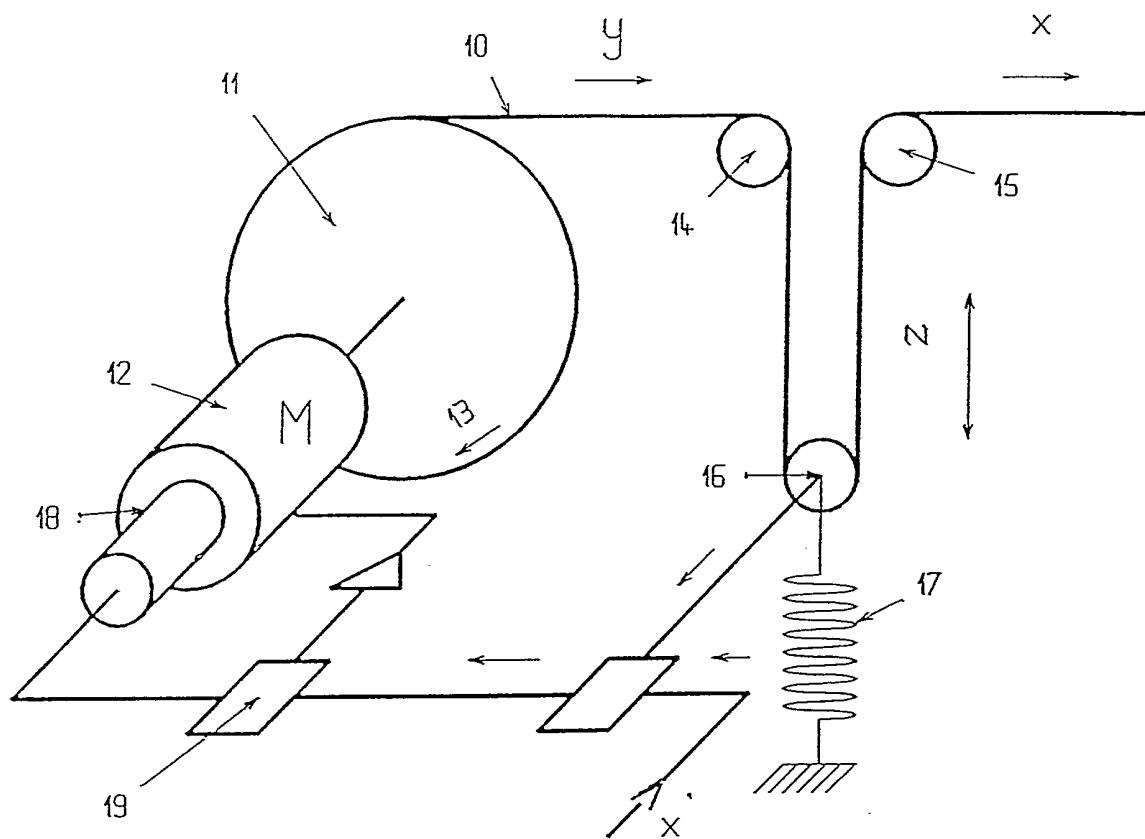
$$C_m = -k (d.i.z' + p.i^2.z + i^3 \int z dt) - az''$$

dans laquelle a représente le coefficient de correction appliqué à la dérivée seconde du défaut mesuré et i est un coefficient, la valeur de ce coefficient
10 n'influencant pas les conditions de stabilité.

- 5 - Procédé selon l'une des revendication 2 ou 3 dans lequel k est autoajusté en fonction de la dérivée seconde z'' .

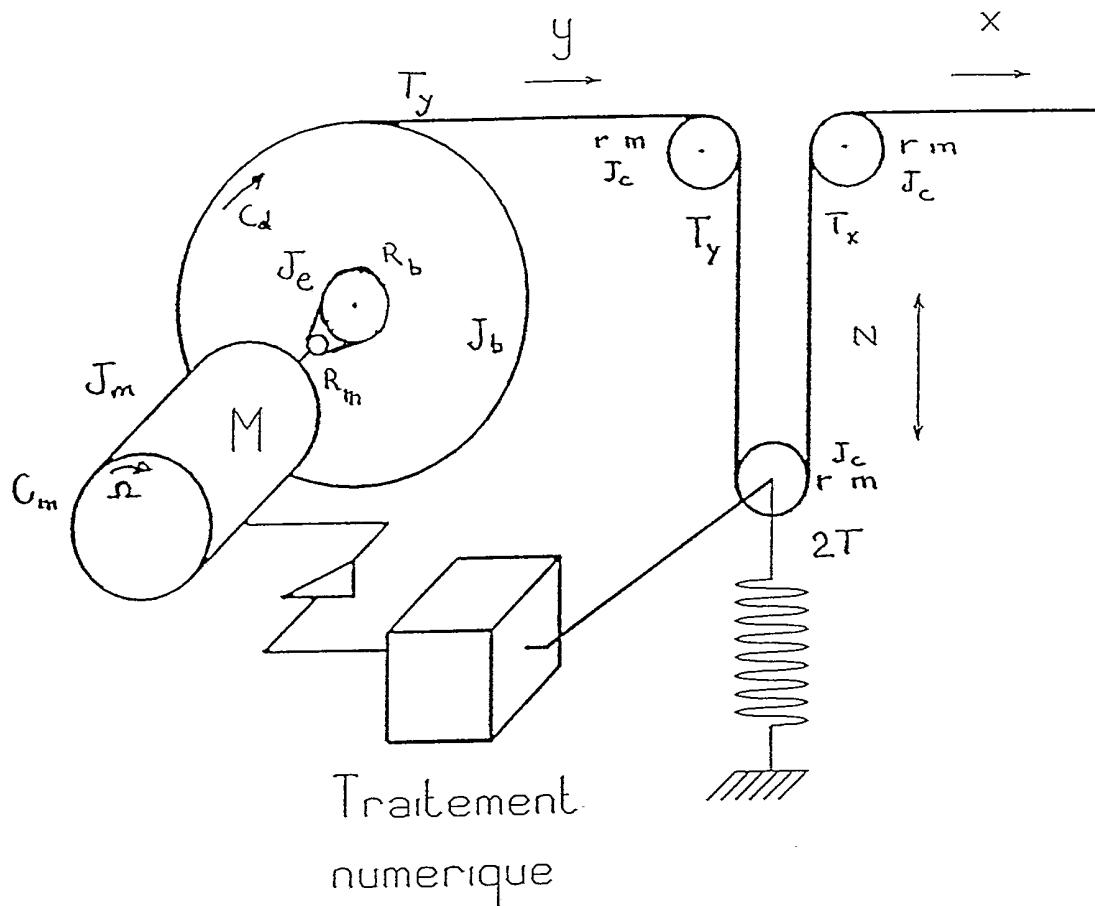
1/5

Fig. 1 Technique antérieure



2/5

Fig. 2



3/5

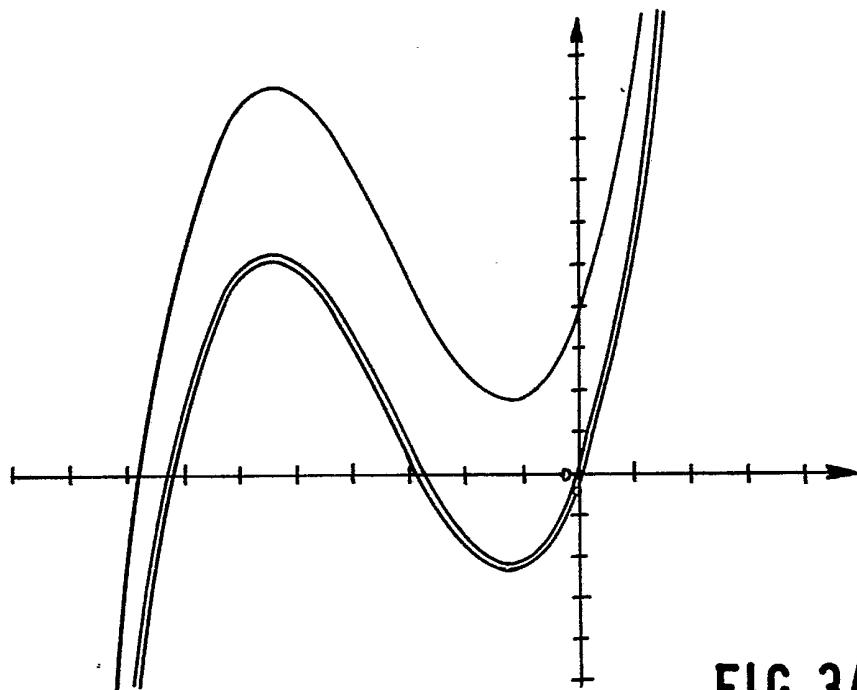


FIG.3A

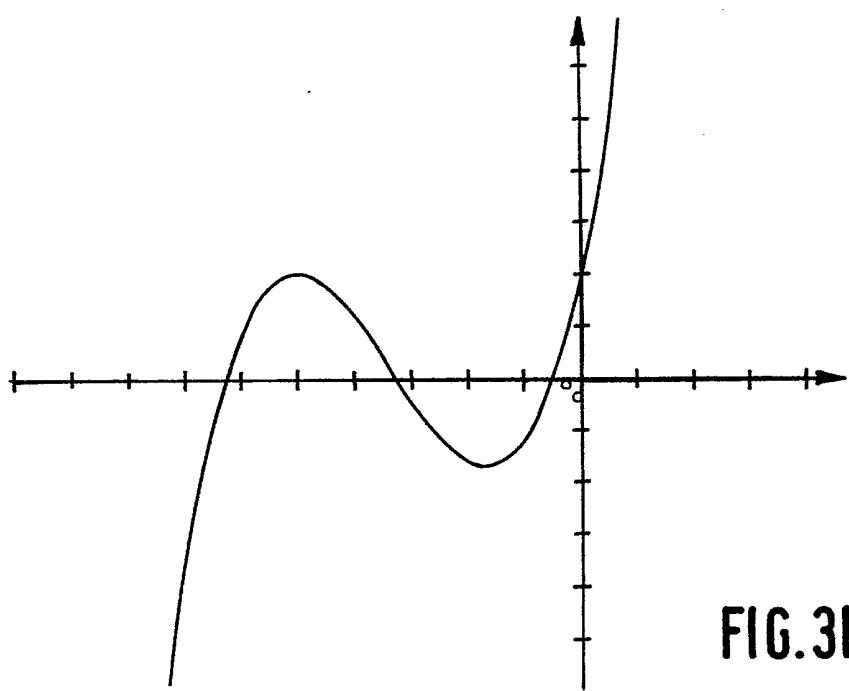


FIG.3B

4/5

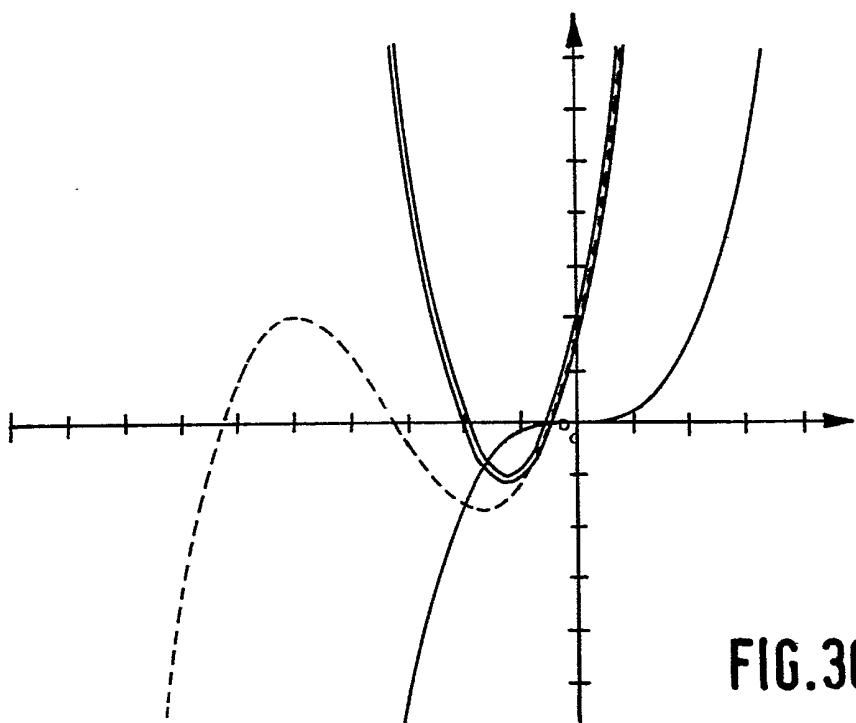


FIG.3C

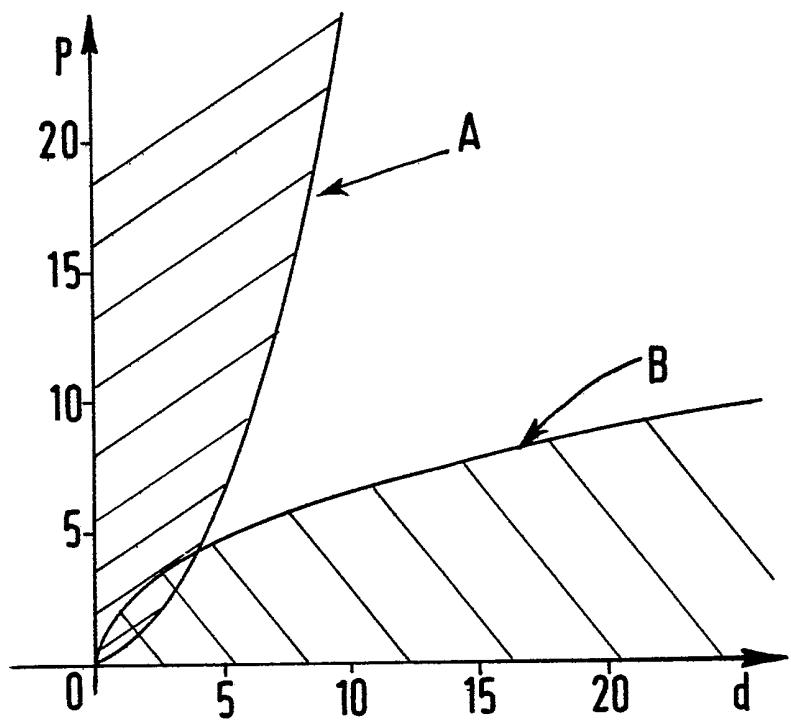


FIG.3D

5/5

Fig. 4A

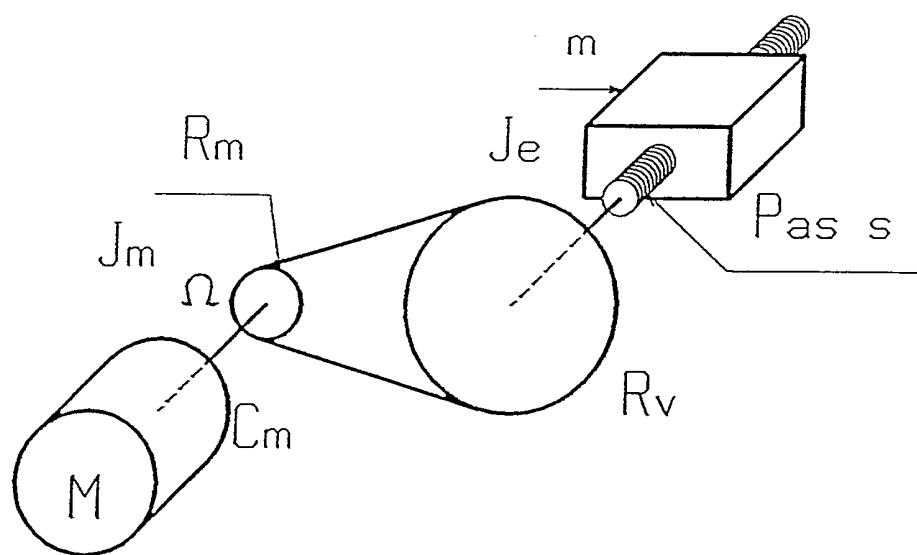
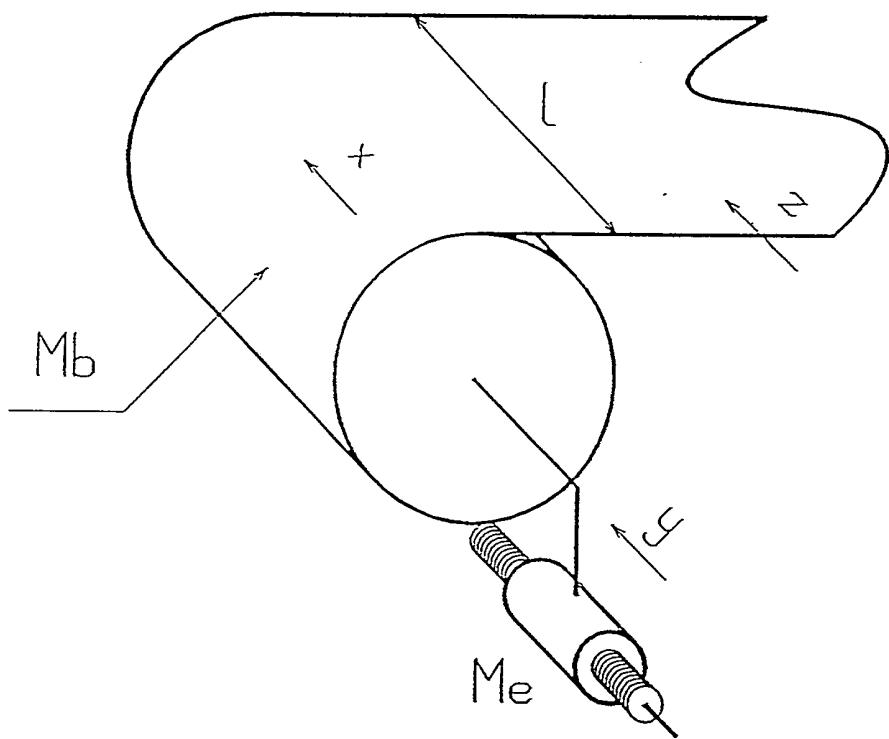


Fig. 4B



INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
nationalFR 9116468
FA 468748

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
Y	US-A-3 770 946 (H.A. FERTIK ET AL.) * colonne 3, ligne 44 - colonne 5, ligne 33; figure 2 *	1
Y	DE-A-3 418 969 (ROBERT BOSCH GMBH)	1
A	* page 4, ligne 6 - page 5, ligne 27; figure 1 *	4,5
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 14, no. 514 (M-1046) 13 Novembre 1990 & JP-A-22 12 622 (KOYO SEIKO CO) 23 Août 1990 * abrégé *	1
A	FR-A-2 575 451 (COLGATE-PALMOLIVE COMPANY) * abrégé; figure 1 *	1
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
		G05B G05D B65H
1		
Date d'achèvement de la recherche 24 NOVEMBRE 1992		Examinateur GOETZ P.A.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		
T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant		