

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 11.06.90.

③① Priorité :

④③ Date de la mise à disposition du public de la
demande : 13.12.91 Bulletin 91/50.

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

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : *Etablissement public à caractère
scientifique, culturel ou professionnel dit: INSTITUT
NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON*
— FR.

⑦② Inventeur(s) : Niel Eric et Fuad Zaytoon Janon.

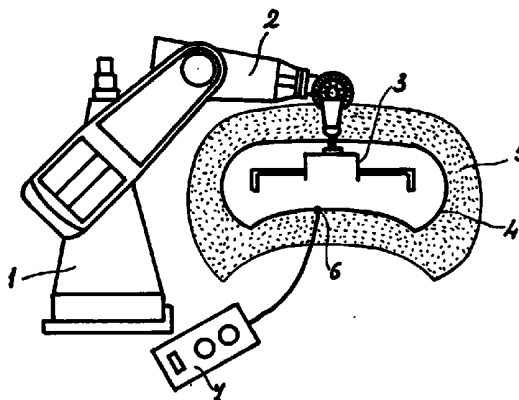
⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire : Cabinet Germain et Maureau.

⑤④ Dispositif de protection à capteur capacitif pour robot industriel ou machine similaire.

⑤⑦ Le dispositif assure la sécurité contre l'intrusion dans le volume entourant le bras mobile (2) d'un robot et son organe terminal (3), en utilisant un capteur capacitif proxémique embarqué. L'élément sensible (4) du capteur, propageant un champ électrique (5), est monté sur le bras (2) dans la région de l'organe terminal (3). On prévoit un asservissement de fréquence et, de préférence, une comparaison des réponses en fréquence obtenues dans le temps lors d'un cycle de référence du robot, non perturbé, et au cours d'un cycle de travail courant, éventuellement perturbé.

Application à la détection d'intrusion d'un individu, ou de toute autre perturbation de l'environnement, dans le volume évolutif entourant la bras (2) et l'organe terminal (3), avec commande d'arrêt du robot.



**"Dispositif de protection à capteur capacitif
pour robot industriel ou machine similaire"**

La présente invention concerne un dispositif de protection à capteur capacitif pour robot industriel, notamment à bras mobile, ou toute machine
5 similaire, le dispositif assurant principalement une sécurité contre l'intrusion dans le volume enveloppant le bras du robot et son organe terminal.

L'utilisation des robots industriels dans les sites de production a conduit à de nouvelles conditions de risque d'accident, pour lesquelles des
procédés et moyens de protection appropriés sont devenus nécessaires. Les
10 risques encourus en robotique apparaissent notamment dans un "espace à risque" défini comme le volume enveloppant le bras du robot et l'outil de travail ou autre organe terminal situé à l'extrémité de ce bras, ledit "espace à risque" bougeant avec le bras du robot. Les principaux risques sont la collision, le coincement, la projection... Ainsi, une attention particulière doit
15 être portée sur la détection d'intrusion ou de collision robot-objet dans cet espace, pour assurer une protection contre les accidents aussi bien corporels que matériels, sans que l'utilisation de systèmes de sécurité constitue un obstacle à la production ou une cause de contraintes supplémentaires pour l'opérateur.

20 Pour assurer une protection dans un certain espace, et notamment surveiller toute intrusion, on connaît déjà d'une façon générale les capteurs volumétriques, dont une catégorie typique est le capteur capacitif proximétrique à génération de champ. Un tel capteur capacitif génère un champ électrique autour d'une antenne, et il fournit un signal électrique
25 fonction de la variation de la capacitance ; en robotique, ce signal reflète l'intrusion d'objets ou d'opérateurs dans l'espace de surveillance du capteur. Dans une réalisation industrielle particulière de cette catégorie, l'antenne se présente comme un cadre sensible réalisant l'une des armatures d'un condensateur, l'autre étant la terre ; toute variation de capacité est détectée
30 par un coupleur associé au cadre sensible et relié à une unité de contrôle, et le dépassement d'un seuil critique entraîne l'activation d'un relais de sécurité. Par exemple, le dispositif surveille l'espace situé autour d'une presse, et il agit sur le circuit d'arrêt de la presse afin d'interdire à l'opérateur de glisser toute partie de son corps dans la zone de danger.

35 Un tel dispositif, fonctionnant en "tout ou rien", répond de façon satisfaisante à son utilisation dans un environnement de travail figé, pour la protection de machines présentant des zones dangereuses d'accès. Par contre,

les versions existantes de ce genre de dispositif ne sont pas utilisables en robotique sous forme embarquée, pour protéger l'environnement proche de l'organe terminal du bras, qui par définition est évolutif. Quant à une disposition fixe dans l'espace, pour l'antenne, celle-ci ne peut convenir pour
5 protéger un espace qui évolue dans le temps, d'autant plus que la distance maximale de détection est limitée et se situe aux environs de 50 cm de l'antenne.

La présente invention vise donc à assurer efficacement une protection autour d'un bras et d'un organe terminal de robot ou machine similaire, ceci
10 notamment en fournissant des moyens qui autorisent, dans ce genre d'applications, l'utilisation de capteurs capacitifs proximétriques du type indiqué plus haut.

A cet effet, selon un premier aspect de l'invention, celle-ci concerne un dispositif de protection pour robot industriel ou machine similaire, avec
15 utilisation d'un capteur capacitif proximétrique, dans lequel l'élément sensible du capteur est monté sur le bras du robot dans la région de son organe terminal, et dans lequel il est prévu pour ce capteur capacitif un asservissement de fréquence.

Le contrôle de la variation de fréquence permet de déplacer l'antenne
20 formant armature du capteur capacitif, autorisant ainsi l'embarquement du coupleur de l'antenne sur l'organe terminal du robot. En effet, en réglant la grandeur de sortie (tension électrique) du coupleur du capteur, on s'affranchit des perturbations dues au mouvement du bras du robot, et on peut détecter les intrusions en exploitant une grandeur analogique par comparaison avec un
25 ou plusieurs seuils représentant des niveaux de sécurité, chaque valeur de seuil étant introduite par une référence particulière. De cette manière, on obtient une première version "analogique" du dispositif de protection objet de l'invention, qui résoud déjà le problème de l'embarquement d'un capteur capacitif proximétrique sur un bras mobile, avec environnement évolutif.

30 Selon une forme de réalisation complémentaire du dispositif de protection pour robot industriel ou machine similaire selon l'invention, celui-ci est pourvu de moyens de comparaison de la réponse en fréquence, dans le temps, du capteur capacitif au cours d'un cycle de travail non perturbé du robot et de la réponse au cours d'un cycle de travail courant, éventuellement
35 perturbé, la détection d'un écart significatif entre les réponses comparées étant indicatrice d'une perturbation, notamment d'une intrusion dans l'espace surveillé par le capteur capacitif. Les réponses en fréquence obtenues sont

des images de la capacitance de l'environnement de détection. Ces réponses peuvent être représentées comme des courbes caractéristiques de variation de la fréquence en fonction du temps, que l'on appelle ici "signatures". Ainsi, le dispositif analyse et compare la "signature" obtenue au cours d'un cycle normal, qui est mémorisée lors d'un processus d'apprentissage du robot, avec la "signature" obtenue au cours d'un cycle de travail réel, pouvant être perturbé par des configurations non désirées de l'environnement du robot, par l'intrusion d'une personne, par une modification accidentelle de la trajectoire du bras, etc... L'écart existant entre les deux "signatures", s'il dépasse au moins un seuil prédéterminé à au moins un instant du cycle, indique une perturbation, notamment une intrusion ; la possibilité de programmer numériquement le ou les seuils, notamment par utilisation d'un clavier, augmente la flexibilité d'exploitation du dispositif de protection.

Avantageusement, ce dispositif est prévu pour déterminer et mémoriser ensuite en cours d'exploitation les réponses obtenues lors de cycles de travail non perturbés ceci en tenant compte des variations de la "signature" dues à la dérive tant spatiale que temporelle du mouvement du robot. Par exemple, le dispositif détermine comme nouvelle "signature" de référence la moyenne des valeurs des deux dernières acquisitions, sous réserve que l'écart entre la "signature" obtenue lors de l'apprentissage et cette moyenne ne dépasse pas une certaine valeur.

En raison des traitements de signaux assez complexes qu'elle implique, cette dernière forme de réalisation est plus particulièrement conçue comme une version numérique du dispositif objet de l'invention, utilisant un micro-contrôleur programmé qui autorise, en outre, des fonctions auxiliaires de test, tout en améliorant la fonction de base qui est un processus d'arrêt, voire d'arrêt d'urgence du robot en cas d'intrusion à proximité de l'organe terminal du bras au cours du mouvement de ce dernier, et en tout point de sa trajectoire.

De toute façon, l'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui suit, en référence au dessin schématique annexé représentant, à titre d'exemple non limitatif, une forme d'exécution de ce dispositif de protection pour robot industriel ou machine similaire :

Figure 1 est un schéma de principe montrant un robot industriel équipé d'un dispositif de protection conforme à l'invention ;

Figure 2 est un schéma synoptique des circuits analogiques et numériques du dispositif de protection ;

Figure 3 est un diagramme illustrant des exemples de "signatures" au cours d'un cycle de travail normal du robot et au cours d'un cycle perturbé.

La figure 1 représente schématiquement un robot industriel, comprenant un bâti fixe 1 et un bras mobile 2, réalisé en plusieurs éléments articulés, dont le dernier élément porte un outil de travail ou autre organe terminal 3, tel que préhenseur. Le dispositif de protection, équipant le robot, utilise un capteur capacitif proximétrique, couplé à une antenne 4 montée sur le bras mobile 2 dans la région de l'organe terminal 3. L'antenne 4 est un système conducteur propageant un champ électrique rayonnant symbolisé en 5, entourant cette antenne 4 et présent, par conséquent, dans le volume enveloppant l'extrémité du bras 2 et l'organe terminal 3. Un coupleur 6 (voir aussi figure 2) relie l'antenne 4 à un ensemble de circuits électroniques 7, groupés dans un boîtier, qui comprennent des circuits analogiques désignés globalement par 8, réalisant un asservissement de fréquence, et des circuits numériques de traitement indiqués dans leur ensemble par 9.

En se référant à la partie supérieure de la figure 2, on décrira d'abord les circuits analogiques 8. Le coupleur 6 déjà mentionné appartient à ces circuits 8 et génère une grandeur électrique, plus particulièrement un champ électrique E , en fonction d'une fréquence F ; ce coupleur 6 reçoit aussi la perturbation P , se traduisant par une variation de champ. Un convertisseur tension U / fréquence F , indiqué en 10, commande le coupleur 6. Pour réaliser un asservissement de fréquence, on prévoit encore des moyens de comparaison 11 d'une tension de référence R avec une tension V image du champ électrique E , ainsi que des moyens de préamplification et de filtrage non représentés individuellement, qui fournissent le signal d'entrée U du convertisseur 10. La fréquence F issue de ce convertisseur 10 varie en fonction de l'écart, détecté par les moyens de comparaison 11, entre la tension de référence R et la grandeur de sortie du coupleur 6. Cette fréquence F constitue non seulement le signal de commande du coupleur 6, mais encore l'image des perturbations éventuelles du champ électrique E . Une liaison 12 amène ladite fréquence F à une entrée des circuits numériques 9.

Ces circuits numériques 9 sont réalisés sur la base d'un micro-contrôleur programmé 13, comprenant notamment comme représenté sous forme de schéma fonctionnel :

- un compteur 14
- une horloge programmée 15
- une unité de calcul et de stockage intermédiaire 16

- un module d'acquisition de "signature" 17
- un module de comparaison et évolution de "signature" 18

La liaison 12 en provenance des circuits analogiques 8 est raccordée à l'entrée correspondante du micro-contrôleur 13 par l'intermédiaire d'une interface 19. Le boîtier de commande 20 du robot, fournissant des signaux de synchronisation S, est relié à une autre entrée du micro-contrôleur 13 par l'intermédiaire d'une interface 21.

Le micro-contrôleur 13 comprend encore un module d'interaction utilisateur/machine 22, en liaison avec une unité de contrôle de transmission en série 23. Cette dernière est raccordée, par l'intermédiaire d'une interface 24 d'entrée/sortie, avec un ensemble "clavier + afficheur numérique" 25, mis à la disposition de l'utilisateur pour la programmation des seuils et pour l'aide à l'utilisation du dispositif, aussi bien dans le processus d'apprentissage que pour l'exploitation courante.

Les circuits numériques 9 comprennent encore, en liaison avec le micro-contrôleur 13, une mémoire vive 26 ainsi que deux circuits d'amplification de sortie 27 et 28. Le premier circuit d'amplification 27 est prévu pour émettre d'une part un signal d'alarme A1 indiquant une intrusion, et d'autre part, par l'intermédiaire d'un relais 29, un signal A2 de commande d'arrêt du robot. Le second circuit d'amplification 28 est prévu pour délivrer un signal de défaut de fonctionnement D, transmis vers un indicateur non représenté, par exemple à diodes électroluminescentes.

Le micro-contrôleur 13 reçoit le signal de fréquence F issu des circuits analogiques 8, le signal étant converti par l'interface 19 pour pouvoir être traité par les circuits numériques. Ce signal de fréquence F subit une variation au cours du temps pendant le déplacement du bras 2 du robot. La figure 3 illustre ce genre de variation, sous forme de courbes dites "signatures", obtenues en portant le temps t en abscisses et la fréquence F en ordonnées.

Durant un cycle d'apprentissage initialement effectué par le robot, le dispositif détermine et mémorise une première "signature" Co, représentative de l'environnement du bras 2 du robot dans son état normal, non perturbé. La "signature" Co, mémorisée, sera utilisée en phase d'exploitation du robot, c'est-à-dire lors de l'exécution de tâches par ce robot, pour détecter une variation d'environnement enclenchant éventuellement un processus d'arrêt du robot par l'intermédiaire du relais 29.

A cet effet, pendant chaque cycle de travail courant du robot, le dispositif acquiert aussi la "signature" C propre à ce cycle, et il la compare immédiatement avec la "signature" Co. Tout écart significatif entre les deux "signatures" comparées Co et C indique une modification sensible de l'environnement. Le dispositif pourra ainsi distinguer un cycle de travail non perturbé et un cycle de travail perturbé, notamment par une intrusion dans l'environnement du bras 2 et de son organe terminal 3.

Un cycle de travail sera considéré comme n'étant pas perturbé, si sa "signature" C reste entièrement en deçà d'une limite maximale Cm, correspondant à un écart e avec la "signature" Co acquise comme indiqué précédemment.

A l'inverse, si à un certain moment la "signature" C dépasse la limite Cm, comme illustré sur la figure 3, le cycle sera considéré comme étant perturbé, et le dispositif détectera une intrusion pendant un intervalle de temps T au cours duquel la "signature" C se situe au-dessus de la limite Cm.

On comprend que l'écart e définit le seuil de détection du dispositif, et qu'une programmation de ce seuil permet de choisir le niveau de sécurité. La multiplication de tels seuils procure plusieurs niveaux de sécurité, si cela est souhaité, avec enclenchement d'actions différenciées : simple alarme sonore et/ou lumineuse, mise à l'arrêt du robot, arrêt d'urgence.

Pour tenir compte des variations de la "signature" qui, même en l'absence d'intrusion, peuvent résulter des dérives spatiale et temporelle de la trajectoire du bras 2 du robot et de l'organe terminal 3, le micro-contrôleur 13 peut déterminer et mémoriser, comme nouvelle "signature" de référence, la moyenne des valeurs des deux dernières acquisitions, ceci au moyen des modules 17 et 18. L'écart entre la "signature" d'apprentissage Co et cette moyenne ne doit toutefois pas dépasser une certaine valeur, sinon ladite moyenne n'est pas retenue.

Une entrée de remise à zéro 30 permet de réinitialiser le micro-contrôleur 13. Grâce à son programme, ce dernier surveille aussi le bon fonctionnement de tout le dispositif, et il déclenche le signal de défaut D à toute détection de situation anormale : valeur de fréquence F hors de la plage admise, défaut de synchronisation, informations erronées, etc.

Comme il va de soi, l'invention ne se limite pas à la seule forme d'exécution de ce dispositif de protection qui a été décrite ci-dessus, à titre d'exemple ; elle en embrasse, au contraire, toutes les variantes de réalisation et d'application respectant le même principe. En particulier, cette invention

est adaptable non seulement à la protection des robots industriels à bras mobile, mais encore à la protection de toutes machines similaires, y compris les machines à poste fixe, avec au moins un seuil de sécurité visualisable, qui nécessitent une surveillance de leur environnement. L'utilisation d'un capteur

5 capacitif autorise en outre toute détection de variation de diélectrique pouvant signaler une anomalie, et ainsi surveiller par exemple, dans un laminoir, la distance d'une boucle de feuillard par rapport au capteur. Ces dernières variantes peuvent se contenter des circuits analogiques d'asservissement de fréquence.

10

15

20

25

30

35

REVENDECATIONS

1. Dispositif de protection pour robot industriel ou machine similaire, notamment à bras mobile, le dispositif assurant principalement une sécurité contre l'intrusion dans le volume entourant le bras du robot et son organe terminal, avec utilisation d'un capteur capacitif proximétrique, caractérisé en ce que l'élément sensible (4) du capteur est monté sur le bras (2) du robot dans la région de son organe terminal (3), et en ce qu'il est prévu pour ce capteur capacitif un asservissement de fréquence (8).

2. Dispositif de protection pour robot industriel ou machine similaire, selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'asservissement de fréquence du capteur capacitif, réalisé sous forme de circuits analogiques (8), comprend en combinaison :

- un coupleur (6) générant un champ électrique (E) en fonction d'une fréquence (F),
- un convertisseur tension-fréquence (10) commandant le coupleur (6),
- des moyens de comparaison (11) d'une tension de référence (R) avec une tension (V) image du champ électrique (E) et de préamplification et filtrage, fournissant le signal d'entrée (U) du convertisseur (10), la fréquence (F) issue du convertisseur (10) variant en fonction de l'écart détecté entre la tension de référence et la sortie du coupleur et constituant simultanément le signal de commande du coupleur (6) et l'image des perturbations éventuelles du champ électrique (E).

3. Dispositif de protection pour robot industriel ou machine similaire, selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il est pourvu de moyens de comparaison de la réponse en fréquence (Co), dans le temps, du capteur capacitif au cours d'un cycle de travail non perturbé du robot et de la réponse (C) au cours d'un cycle de travail courant, éventuellement perturbé, la détection d'un écart significatif entre les réponses analysées étant indicatrice d'une perturbation, notamment d'une intrusion dans l'espace (5) surveillé par le capteur.

4. Dispositif de protection pour robot industriel ou machine similaire, selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il est prévu pour comparer la réponse ou "signature" (Co) obtenue au cours d'un cycle normal, par mémorisation lors d'un processus d'apprentissage, avec la réponse ou "signature" (C) obtenue au cours d'un cycle de travail réel.

5. Dispositif de protection pour robot industriel, selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il est prévu pour indiquer une perturbation lorsque

l'écart entre les deux "signatures" (Co,C) dépasse au moins un seuil prédéterminé (e), notamment un seuil programmable.

5 6. Dispositif de protection pour robot industriel, selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce qu'il est prévu pour déterminer et mémoriser aussi en cours d'exploitation les réponses obtenues lors de cycles de travail non perturbés, et pour déterminer comme nouvelle "signature" de référence (Co) la moyenne des valeurs par exemples des deux dernières acquisitions, sous réserve que l'écart entre la "signature" obtenue lors de l'apprentissage et cette moyenne ne dépasse pas une certaine valeur.

10 7. Dispositif de protection pour robot industriel ou machine similaire, selon la revendication 2 et l'une quelconque des revendications 3 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend des circuits numériques (9) de traitement à une entrée desquels est amenée la fréquence (F) issue du convertisseur (10) des circuits analogiques (8) d'asservissement de fréquence, les circuits
15 numériques (9) étant réalisés sur la base d'un micro-contrôleur programmé (13) comprenant notamment un module d'acquisition de "signature" (17) et un module de comparaison et évolution de "signature" (18), les circuits numériques (9) comprenant encore une liaison (19) avec un boîtier de commande (20) du robot et des circuits d'amplification de sortie (27,28)
20 prévus pour l'émission d'un signal d'alarme d'intrusion (A1) et/ou d'un signal (A2) de commande d'arrêt du robot.

8. Dispositif de protection pour robot industriel ou machine similaire, selon la revendication 7, caractérisé en ce que les circuits numériques (9) comprennent encore des moyens de communication (22,23,24) avec un
25 ensemble clavier/afficheur (25) prévu notamment pour la programmation des seuils.

9. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il est appliqué à la protection d'une machine à poste fixe, avec au moins un seuil de sécurité visualisable.

30 10. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé par son application à une détection de variation de diélectrique, par exemple dans un laminoir pour surveiller la distance d'une boucle de feuillard par rapport au capteur capacitif.

FIG.1

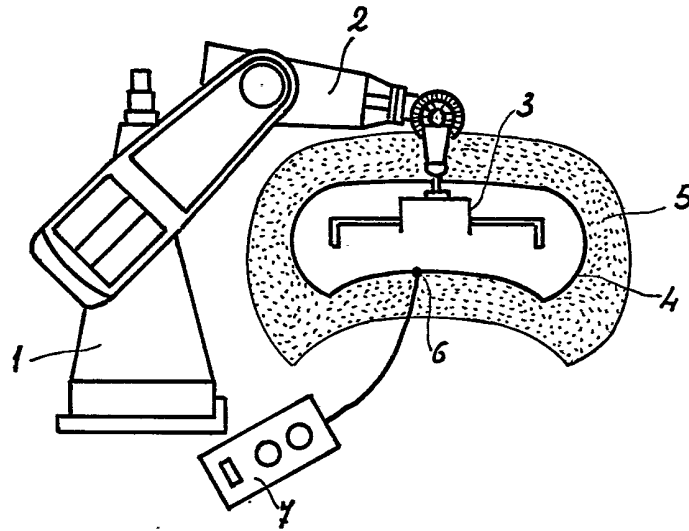
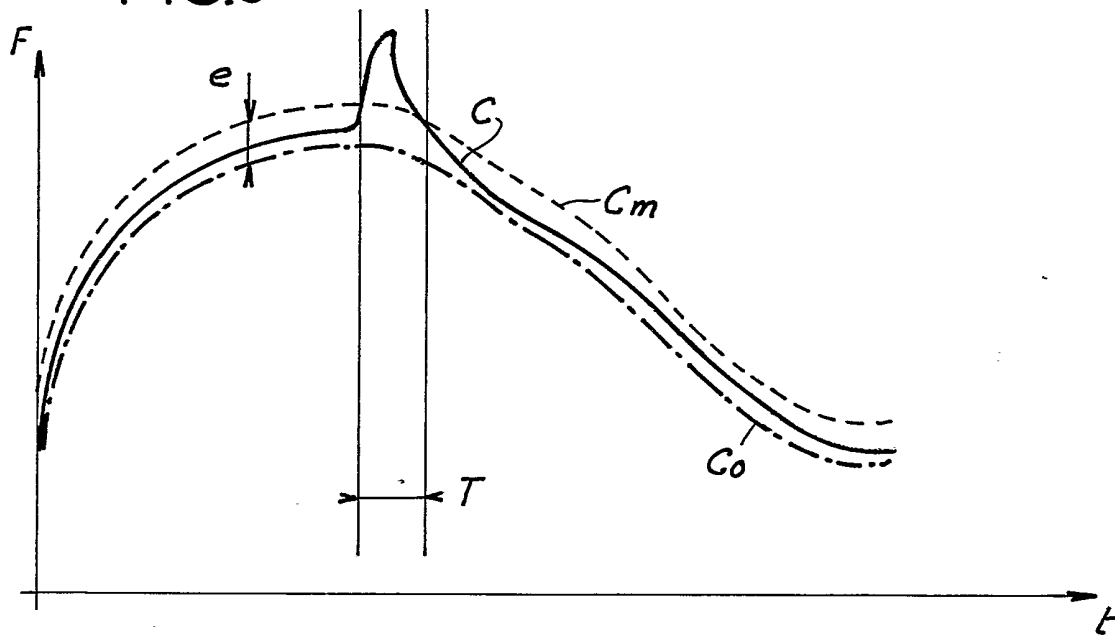


FIG.3



The diagram illustrates a control system for a multi-stage process, divided into two main sections: a control loop (8) and a process (9).

Control Loop (8):

- Input R enters a summing junction (11).
- Feedback signal V is subtracted at the summing junction (11).
- The resulting error signal U is fed into a controller block (10) labeled U/F .
- The output of the controller is signal F .
- Signal F is fed into a process block (6).
- The output of the process block is signal E .
- Signal E is fed back to the summing junction (11) via a feedback path.

Process (9):

- The process is represented by a large block (13) containing several sub-blocks (14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29).
- Input F enters the process block (13) at the top left.
- Inside the process block (13), signal F is distributed to blocks 19, 20, and 21.
- Block 19 outputs to block 14.
- Block 20 outputs to block 21.
- Block 21 outputs to block 15.
- Block 15 outputs to block 16.
- Block 16 outputs to block 17.
- Block 17 outputs to block 18.
- Block 18 outputs to block 22.
- Block 22 outputs to block 23.
- Block 23 outputs to block 24.
- Block 24 outputs to block 25.
- Block 25 outputs to block 24.
- Block 24 outputs to block 27.
- Block 27 outputs to block 29.
- Block 29 outputs to output A_2 .
- Block 27 outputs to output A_1 .
- Block 28 outputs to output D .
- Block 26 is a feedback block that receives output D and outputs signal V to the summing junction (11).
- Block 30 is a reference input that enters the process block (13) from the left.

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

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

FR 9007463
FA 443059

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	ELECTRONICS INTERNATIONAL, vol. 56, no. 16, août 1983, pages 52,54; W.R. IVERSEN: "Capacitance sensor makes robots safer" ----	1
A	IDEM ----	3-8
X	ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE, no. 130, septembre 1987, pages 61-68; P. JAQUET et al.: "Détecteur capacitif pour la protection proximétrique d'un robot" ----	1
A	IDEM ----	2
X	TOOLING AND PRODUCTION, vol. 38, no. 1, avril 1972, page 78; R/F Controls Inc.: "Safety on the air" ----	9
A	EP-A-0 158 593 (GET) ----	1-8
A	DE-A-2 254 024 (EURO CEDAG) * Figures 1,3 * -----	1-9
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
		F 16 P B 25 J
Date d'achèvement de la recherche 07-03-1991		Examineur KUHN E.F.E.
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		