

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 04560

(54) Transducteur à six degrés de liberté pour convertir des forces et des couples en signaux électriques.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). G 01 L 1/14; G 01 D 5/24; G 01 L 3/00 // B 25 J 3/00.

(22) Date de dépôt..... 6 mars 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : *Italie, 7 mars 1980, n° 67359 A/80.*

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 37 du 11-9-1981.

(71) Déposant : Société dite : CENTRO RICERCHÉ FIAT SPA, résidant en Italie.

(72) Invention de : Giorgio Venturello et Osvaldo Salvatore.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

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

La présente invention concerne un transducteur possédant six degrés de liberté pour convertir en signaux électriques les forces et les couples appliqués à un organe mobile, en particulier au bras mobile d'un robot.

5 On sait que les robots industriels sont des machines comportant au moins un bras qui possède un ou plusieurs degrés de liberté et est capable d'effectuer un grand nombre d'opérations difficiles à exécuter par l'homme, parce qu'elles demandent beaucoup d'efforts par exemple, dangereuses ou désagréables, notamment fasti-
10 dieuses par leur répétition.

Suivant les besoins, la main d'un robot peut être formée par une pince, une électrode de soudage, un pistolet de peinture et ainsi de suite.

Pour qu'un robot puisse convenablement répondre aux
15 besoins, il doit être capable "d'apprendre", c'est-à-dire de participer à des opérations au cours desquelles son dispositif de commande central "apprend" une trajectoire déterminée dans l'espace (que sa main doit ensuite suivre de façon répétée) par l'emploi dynamique du robot, sans qu'il soit nécessaire de recourir à un long et compli-
20 qué processus d'apprentissage statique "point par point", ni à la substitution du bras du robot par une réplique légère, c'est-à-dire par un bras relié seulement aux transducteurs de position et non pas aux moteurs.

Il est en outre nécessaire de rendre le robot sensible
25 aux contraintes et aux forces de réaction engendrées pendant et par suite de ses mouvements de travail ; autrement dit, le robot doit avoir un "poignet" sensible, capable à la fois de transmettre les forces nécessaires pour le mouvement des pièces et de percevoir les forces de réaction agissant sur les pièces portées par la main et
30 exercées par la structure sur laquelle ces pièces sont à assembler.

Ce "poignet" sensible ou dispositif de perception des forces de réaction doit pouvoir fournir des signaux électriques pour la commande des moteurs du robot afin d'optimiser les mouvements de ce dernier.

35 Pour pouvoir satisfaire aux exigences indiquées ci-dessus, il faut des transducteurs à six degrés de liberté, ayant une

grande sensibilité, qui soient pratiquement dépourvus d'hystérésis mécanique et qui puissent fournir des signaux électrique de sortie représentatifs des forces agissant suivant chacun des axes de coordonnées avec des interférences négligeables, c'est-à-dire avec pratiquement pas de composants parasites suivant des axes de coordonnées n'ayant pas d'intérêt.

On connaît des transducteurs qui possèdent six degrés de liberté et qui utilisent des jauges de contrainte. Ces dispositifs ont plusieurs inconvénients et notamment qu'ils sont sensibles aux variations de température et qu'ils demandent des calibrages compliqués. De plus, il faut une étude préliminaire des caractéristiques élastiques et de déformation de la structure à laquelle ils sont à appliquer. Enfin, les circuits pour traiter les signaux fournis par ces transducteurs sont relativement compliqués et leur fiabilité générale n'est pas toujours suffisante.

L'invention vise à apporter un transducteur comme indiqué au début mais qui ne présente pas les inconvénients décrits ci-dessus.

Selon une caractéristique essentielle de l'invention, un tel transducteur comprend :

- un corps rigide de forme sensiblement cylindrique, destiné à être relié à l'organe mobile et dont la surface latérale possède une première et une deuxième partie axiales, qui portent chacune quatre plaques métalliques uniformément espacées angulairement et disposées diamétralement opposées par paires, les plaques des deux parties axiales de ladite surface latérale étant disposées l'une derrière l'autre avec leurs bords sur les mêmes génératrices de ladite surface ;
- une enveloppe rigide présentant une surface intérieure sensiblement cylindrique qui entoure le corps, cette enveloppe étant suspendue élastiquement sur le corps par des éléments d'espacement élastiques, de manière qu'elle puisse effectuer des déplacements limités à six degrés de liberté par rapport au corps, la surface intérieure de l'enveloppe portant deux plaques métalliques sensiblement semi-cylindriques qui sont uniformément espacées angulairement l'une de l'autre et sont situées en regard des plaques portées par le corps,

de manière à définir avec celles-ci un intervalle étroit et à constituer avec elles huit condensateurs dont les capacités dépendent des positions relatives des plaques de l'enveloppe et des plaques du corps ; et

- 5 - un dispositif de détection connecté aux condensateurs et destiné à mesurer, en service, la capacité instantanée de chacun des condensateurs et à fournir, sur la base de cette mesure, des signaux électriques représentatifs des forces et des couples appliqués à l'organe mobile.

10 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront plus clairement de la description qui va suivre d'un exemple de réalisation non limitatif, ainsi que des dessins annexés, sur lesquels :

la figure 1 est une vue en perspective d'un transducteur selon l'invention ;

la figure 2 est une coupe longitudinale prise suivant la ligne II-II de la figure 1 mais à plus grande échelle ;

la figure 3 est une vue en perspective d'un corps cylindrique faisant partie du transducteur de la figure 1 ;

20 la figure 4 est une coupe transversale suivant la ligne IV-IV de la figure 2 ;

la figure 5 est une coupe transversale suivant la ligne V-V de la figure 2 ;

25 la figure 6 est une coupe transversale suivant la ligne VI-VI de la figure 2 ;

la figure 7 est une coupe longitudinale partielle suivant la ligne VII-VII de la figure 5 ; et

la figure 8 est le schéma électrique d'un dispositif de détection combiné avec un transducteur selon l'invention.

30 La figure 1 représente un transducteur 1 qui possède six degrés de liberté et est relié par une extrémité à un organe mobile 2, par exemple à un bras mobile d'un robot.

Comme on peut le voir sur la figure 2, le transducteur selon l'invention possède un corps rigide 3 de forme sensiblement cylindrique, qui est situé dans une enveloppe rigide 4 dont la surface intérieure est sensiblement cylindrique.

Le corps 3 comprend un élément cylindrique creux ou noyau 5, possédant un filetage intérieur à son extrémité située du côté du bras 2 du robot.

Le corps 3 est relié à l'extrémité du bras 2 du robot
5 par un élément de liaison ou raccord 6. Celui-ci possède une forme sensiblement cylindrique et la partie inférieure de sa surface latérale porte un filetage extérieur par lequel le raccord est vissé dans une partie correspondante du noyau 5.

Le raccord 6 est pourvu d'un collet annulaire 6a qui
10 est d'un seul tenant avec lui et sert de butée, venant s'appliquer contre le bord supérieur du noyau 5.

Une pièce annulaire 7 formant un disque de fixation est attachée à l'extrémité du bras mobile 2 par des vis 8 et est pourvue d'un passage axial composé de deux parties cylindriques
15 coaxiales 9a et 9b, traversées toutes deux par le raccord 6. L'extrémité 6b du raccord 6 est vissée dans un écrou 10 servant à l'attache du raccord 6 au disque de fixation 7.

Le raccord 6 présente lui-même un passage axial 6c, dont le but ressortira de ce qui va suivre, de même que deux trous
20 radiaux opposés 6d pour la réception de deux goupilles transversales 11 dont les extrémités dépassent de ces trous et font radialement saillie à l'extérieur. Le but des goupilles 11 sera également décrit ci-après.

La surface latérale du noyau 5 comprend une première
25 et une deuxième partie axiales, portant chacune quatre plaques métalliques 12 qui sont uniformément espacées angulairement et sont disposées diamétralement l'une en face de l'autre par paires (figures 3 et 4).

Comme représenté sur les figures 3 et 4, entre deux plaques métalliques 12 voisines se trouve chaque fois une cheville 13
30 portée par le noyau 5 afin de faciliter la mise en place des plaques métalliques 12 sur la surface latérale du noyau cylindrique creux 5 pendant l'assemblage.

Les chevilles 13 peuvent être en métal, auquel cas leurs surfaces latérales sont recouvertes d'une mince couche de matériau
35 électriquement isolant, formée par oxydation par exemple.

La surface extérieure du noyau 5 présente trois gorges annulaires 14, dans lesquelles sont reçues trois bagues toroïdales 15 en élastomère, dont le côté extérieur est en contact avec la surface intérieure de l'enveloppe 4 et qui servent d'éléments d'espacement 5 élastiques.

Dans le même but, le noyau 5 possède en outre une gorge annulaire 16 dans sa surface extrême en bas, pour la réception d'une bague toroïdale 17 en élastomère. Enfin, la surface supérieure du collet 6a du raccord 6 présente une gorge annulaire 18 pour la 10 réception d'une bague toroïdale 19 en élastomère.

En regard de chaque plaque métallique 12, la paroi du noyau 5 présente un trou 20 traversé par un conducteur électrique 21 soudé par une extrémité à la plaque 12 concernée. Les conducteurs 21 traversent le passage 6c du raccord 6 et sortent ensuite latéralement 15 de l'extrémité du bras mobile 2 à travers un trou 2a. A son extrémité représentée en bas, le noyau 5 possède une protubérance cylindrique 5a qui est traversée diamétralement d'un trou 5b pour la réception d'une goupille 22 dont les extrémités dépassent radialement à l'extérieur de la protubérance. Le but de la goupille 22 sera indiqué par la suite.

20 Le noyau 5 peut être fait d'un matériau électriquement isolant d'une grande rigidité mécanique. L'enveloppe 4 comprend un manchon cylindrique 23, aux extrémités duquel sont fixées, par des vis 24 et 25, des pièces de fermeture 26 et 27 (figure 2). La pièce de fermeture 26 possède un trou cylindrique circulaire 28 (figure 5) 25 traversé par le raccord 6. Dans la paroi du trou 28 sont formés deux renforcements 28a diamétralement opposés et dans lesquels font saillie les extrémités des goupilles 11 portées par le raccord 6.

Au-dessus de son collet 6a, le raccord 6 est entouré d'une rondelle 29 dont le dessous est en contact avec la bague toroïdale 19 en élastomère. La protubérance 5a en bas du noyau 5 est entou- 30 rée de façon analogue par une rondelle 30 qui s'appuie par son côté inférieur sur la pièce de fermeture 27, dont le côté supérieur est en contact avec la bague toroïdale 17 en élastomère et qui sert comme la bague 19 d'élément d'espacement élastique.

35 La pièce de fermeture 27 en bas est traversée axialement d'un passage cylindrique 31 (figure 6). La protubérance 5a du

noyau 5 fait saillie dans une première partie de ce passage. La paroi de cette première partie présente deux renforcements 31a diamétralement opposés et dans lesquels font saillie les extrémités de la goupille 22 portée à l'extrémité inférieure du noyau 5.

5 Une deuxième partie cylindrique 31a du passage 31 (figure 2) présente un filetage intérieur dans un but qui apparaîtra par la suite. La surface latérale de la pièce de fermeture 27 présente un filetage extérieur sur une partie de sa longueur axiale, également dans un but qui apparaîtra par la suite.

10 La surface intérieure du manchon 23 porte deux plaques métalliques 32 qui sont sensiblement semi-cylindriques, uniformément espacées angulairement l'une de l'autre et situées en regard des plaques 12 portées par le noyau 5, de manière à définir avec elles un intervalle étroit et à constituer avec elles huit condensateurs dont
15 la capacité dépend des positions des plaques 32 de l'enveloppe par rapport aux plaques 12 du noyau 5.

Le manchon 23 peut être fait d'un matériau électriquement isolant et ayant une grande résistance mécanique. Sa surface extérieure peut en outre être couverte d'un élément conducteur de
20 blindage.

A chacune des plaques 32 est relié un conducteur électrique 33 (figure 7) qui sort de l'enveloppe 4 par un trou 34 (figures 5 et 7) de sa pièce de fermeture 26. L'enveloppe 4, constituée par le manchon 23 et les pièces de fermeture 26 et 27, est suspendue élastiquement sur le corps 3 (constitué par le noyau cylindrique creux 5 et par le raccord 6) au moyen des bagues toroïdales 15, 17 et 19, formant des éléments d'espacement élastiques. L'enveloppe 4 peut effectuer des mouvements limités à six degrés de liberté par rapport au corps 3.
25

30 Les rondelles 29 et 30 coopèrent avec les bagues toroïdales 19 et 17 pour limiter les déplacements axiaux de l'enveloppe 4 par rapport au corps 3. Les extrémités des goupilles 11 et 22 qui sont maintenues avec jeu dans les renforcements 28 et 31a limitent les déplacements angulaires de l'enveloppe 4 par rapport au corps 3.

35 Les déplacements produits par l'application de forces ou de couples au bras mobile 2 par l'intermédiaire du transducteur 1

selon l'invention sont convertis en variations de capacité d'au moins quelques-uns des huit condensateurs constitués par les plaques 12 portées par le noyau 5 et les plaques 32 portées par le manchon 23. Ces variations de capacité peuvent être dues à la fois à la variation
5 des aires de surface situées en regard l'une de l'autre de chaque plaque 12 et de la plaque 32 opposée et à des variations de la distance qui les sépare.

La figure 8 représente schématiquement un dispositif de détection connecté aux plaques 12 du corps 3 et aux plaques 32 de
10 l'enveloppe 4 pour mesurer, pendant le fonctionnement, la capacité de chacun des condensateurs et pour fournir, en fonction des résultats de cette mesure, des signaux électriques représentatifs des forces et des couples appliqués à l'organe mobile constitué par le bras 2 d'un robot. Afin que la description suivante soit plus claire,
15 les plaques portées par le corps 3 sont désignées ici par 12a à 12h et les plaques portées par l'enveloppe 4 sont désignées par 32a et 32b.

La vue schématique en perspective des plaques sur la figure 8 comporte un système de référence à coordonnées cartésiennes
20 orthogonales OXYZ. L'axe X coïncide avec les axes des surfaces cylindriques circulaires concentriques dont les plaques 12 et 32 font partie, l'axe X est perpendiculaire au plan diamétral reliant les milieux de deux paires de plaques opposées (en l'occurrence les milieux des plaques 12e, 12f et 12g, 12h), tandis que l'axe Y est
25 perpendiculaire aux axes Z et X.

Les plaques 32a et 32b sont reliées à la masse.

Le dispositif de détection comprend huit convertisseurs tension/fréquence 35 à 42 commandés par un seul oscillateur 43. On sait qu'un convertisseur tension/fréquence peut être utilisé de façon
30 avantageuse comme un instrument de mesure de capacité. Un convertisseur tension/fréquence qui s'avère convenir excellemment pour cette application est le circuit intégré commercialisé sous la référence LM 2907 produit par National Semiconductors.

Chacun des convertisseurs tension/fréquence 35 à 42 est
35 connecté à un condensateur conjugué à lui et constitué par l'une des plaques 12 et la partie située en regard d'elle d'une plaque 32 corres-

pondante. Les convertisseurs 35 à 42 fournissent à leur sortie un signal de tension dont l'amplitude est proportionnelle à la capacité du condensateur auquel ils sont connectés. Les tensions de sortie des convertisseurs 35 à 42 sont désignées respectivement par $V_1, V_2 \dots V_8$ sur la figure 8 et sont également désignées ainsi dans ce qui va suivre.

A supposer qu'une force soit exercée suivant l'axe X mais dans le sens négatif (en direction contraire à cet axe) sur l'enveloppe 4, cette dernière sera déplacée par rapport au corps 3 à l'intérieur, de sorte que la distance entre les plaques $12a, 12c$ et la plaque $32a$ diminue, tandis que la distance entre les plaques $12b, 12d$ et la plaque $32b$ augmente. La capacité des condensateurs constitués par les plaques $12b, 12d$ et $32a$ augmente par conséquent, tandis que la capacité des condensateurs constitués par les plaques $12a, 12c$ et $32b$ diminue. Les tensions V_1 et V_5 aux sorties des convertisseurs 35 et 39 montent donc, tandis que les tensions V_4 et V_8 aux sorties des convertisseurs 38 et 42 diminuent.

Par conséquent, la quantité

$$(V_1 - V_4) + (V_5 - V_8)$$

est représentative du déplacement de l'enveloppe 4 par rapport au corps 3 sous l'effet de la force agissant suivant l'axe X.

Sur la base de considérations analogues à celles figurant ci-dessus, la quantité

$$(V_2 - V_3) + (V_6 - V_7)$$

est représentative de la quantité de mouvement de translation de l'enveloppe 4 par rapport au corps 3 sous l'effet d'une force agissant suivant l'axe Y.

De plus, les quantités

$$(V_2 - V_3) - (V_6 - V_7) \text{ et}$$

$$(V_1 - V_4) - (V_5 - V_8)$$

sont représentatives de la quantité de rotation de l'enveloppe 4 par rapport au corps 3 sous l'effet de couples agissants autour de l'axe X respectivement autour de l'axe Y.

A supposer maintenant qu'une force agissant parallèlement à l'axe Z, par exemple dans le sens positif de cet axe, soit appliquée à l'enveloppe 4, les plaques 32 seront déplacées en transla-

tion axiale par rapport aux huit plaques 12. Cette translation a pour conséquence que la capacité des quatre condensateurs constitués par les plaques 12a, 12b, 12e, 12f et par les parties situées en regard d'elles des plaques 32a et 32b augmente en raison de l'agrandissement
 5 des surfaces de recouvrement (des surfaces situées l'une en regard de l'autre). Dans le même temps, la capacité des condensateurs constitués par les plaques 12c, 12d, 12g, 12h et les parties situées en regard d'elles des plaques 32a et 32b diminue en raison de la réduction des surfaces de recouvrement de ces plaques.

10 Lorsque, par ailleurs, l'enveloppe 4 est soumise à une force suivant l'axe Z mais dans le sens négatif de cet axe, les capacités des condensateurs comprenant les plaques 12c, 12d, 12g et 12h augmentent et les capacités des condensateurs comprenant les plaques 12a, 12b, 12f et 12e diminuent.

15 Donc, quelle que soit la direction de la force agissant sur l'enveloppe 4 parallèlement à l'axe Z la quantité $(V_1 - V_5) + (V_4 - V_8)$ ou une quantité comparable est représentative de la grandeur et de la direction du déplacement relatif entre l'enveloppe 4 et le corps 3 suivant l'axe Z par suite de
 20 l'application d'une force agissant sur l'enveloppe 4 parallèlement à l'axe Z, de sorte que cette quantité est également représentative de la grandeur et de la direction de cette force.

On comprendra que, pour établir une relation entre la variation de capacité desdits huit condensateurs et la grandeur et la
 25 direction d'une force agissant parallèlement à l'axe Z, il faut que les cercles définis par les bords supérieurs des plaques 12a, 12b, 12e, 12f (figure 8) et par les bords inférieurs des plaques 12c, 12d, 12g, 12h (figure 8) soient contenus dans des plans qui ne coupent pas les plaques 32a et 32b.

30 A supposer maintenant qu'un couple soit appliqué autour de l'axe Z à l'enveloppe 4, par exemple dans le sens contraire à celui des aiguilles d'une montre ; sous l'effet de ce couple, les capacités des condensateurs comprenant les plaques 12e, 12f, 12g et 12h diminuent par suite de la réduction des aires des plaques 32a, 32b recouvrant ces plaques. Simultanément, les capacités des condensateurs comprenant les plaques 12a, 12b, 12c et 12d augmentent en raison de
 35 l'agrandissement de leurs aires de recouvrement avec les plaques 32a et 32b.

Si un couple agit sur l'enveloppe 4 dans le sens des aiguilles d'une montre autour de l'axe Z, les augmentations et les diminutions de capacité sont inversées par rapport à ce qui a été décrit ci-dessus.

5 Dans un cas comme dans l'autre, la quantité

$$(V_1 - V_2) + (V_4 - V_3)$$

est représentative de la grandeur et de la direction de la rotation relative entre l'enveloppe 4 et le corps 3 à l'intérieur par suite de l'application à l'enveloppe 4 d'un couple agissant autour de
10 l'axe Z, de sorte que cette quantité fournit une information à la fois sur la grandeur et sur le sens de ce couple.

Naturellement, pour supprimer toute ambiguïté dans la relation entre les valeurs instantanées des capacités des condensateurs d'une part et la grandeur et la direction des forces appliquées
15 à l'enveloppe 4 d'autre part, il faut qu'aucune des plaques 12 portées par le corps 3 à l'intérieur ne puisse à aucun moment se trouver simultanément en regard de parties des deux plaques 32 portées par l'enveloppe 4. C'est pour éviter pareille situation que le transducteur comporte les goupilles 11 et 22 (figures 5, 6). Comme ces gou-
20 pilles ne possèdent qu'une liberté de mouvement limitée dans les renforcements 28a et 31a, elles limitent les déplacements angulaires de l'enveloppe 4 par rapport au corps 3.

Le dispositif de détection de la figure 8 comporte en outre des moyens pour traiter les signaux produits par les convertis-
25 seurs 35 à 42 et pour délivrer des signaux représentatifs des composants des forces et des couples appliqués suivant ou autour des axes X, Y et Z à l'enveloppe 4 et transmis par le corps 3 au bras 2 du robot.

Ces moyens sont représentés schématiquement dans un rectangle 44 de la figure 8 et comprennent, par exemple, dix ampli-
30 ficateurs différentiels 45 à 54 et quatre circuits totalisateurs analogiques 55 à 58. Les connexions entre les entrées des amplificateurs différentiels 45 à 52 et les sorties des convertisseurs 35 à 42, de même que les connexions entre ces amplificateurs différentiels et les circuits totalisateurs 55 à 58 et les amplificateurs différentiels 53,
35 54, constituent l'équivalent direct, sous forme de circuits, des relations indiquées dans ce qui précède entre les tensions fournies par

les sorties des convertisseurs 35 à 42 et les composants suivant et autour des axes X, Y et Z des forces et des couples appliqués à l'enveloppe 4 et transmis par le corps 3 au bras mobile 2.

En particulier, aux bornes de sortie des circuits totalisateurs 55, 56 et 57 apparaissent pendant le fonctionnement des signaux de tension représentatifs des composants des forces appliquées à l'enveloppe 4 suivant les axes X, Y et Z.

Aux bornes de sortie des amplificateurs différentiels 53, 54 et du circuit totalisateur 58 apparaissent des signaux de tension représentatifs des composants des couples appliqués à l'enveloppe 4 autour des axes X, Y et Z.

Un dispositif selon l'invention constitue avantageusement la poignée pour la commande manuelle du bras mobile 2 d'un robot pendant la phase d'apprentissage. Les signaux délivrés à la sortie des moyens de traitement 44 peuvent dans ce cas être utilisés par l'ordinateur central du robot pour rendre aussi faibles que possible les forces et les couples à appliquer à la poignée pour faire suivre au bras 2 du robot la trajectoire particulière dans l'espace que ce bras doit suivre ensuite pendant le travail du robot.

Il est possible aussi de fixer un outil sur l'extrémité inférieure de l'enveloppe 4 du dispositif selon l'invention, auquel cas ce dernier peut agir à la façon d'un "poignet" sensible pour détecter les contraintes auxquelles l'outil est soumis pendant le travail.

L'invention n'est pas limitée à la forme de réalisation décrite ni aux exemples d'application mentionnés ci-dessus et l'homme de l'art pourra y apporter diverses modifications, sans pour autant sortir de son cadre.

R E V E N D I C A T I O N S

1. Transducteur possédant six degrés de liberté pour convertir en signaux électriques les forces et les couples appliqués à un organe mobile, en particulier au bras mobile d'un robot, caractérisé en ce qu'il comprend :
- 5 - un corps rigide (3) de forme sensiblement cylindrique, destiné à être relié à l'organe mobile (2) et dont la surface latérale possède une première et une deuxième partie axiales, qui portent chacune quatre plaques métalliques (12a, 12b, 12e, 12f ; 12c, 12d, 12g, 12h) uniformément espacées angulairement et disposées diamétralement
 - 10 opposées par paires, les plaques des deux parties axiales de ladite surface latérale étant disposées l'une derrière l'autre avec leurs bords sur les mêmes génératrices de ladite surface ;
 - une enveloppe rigide (4) présentant une surface intérieure sensiblement cylindrique qui entoure le corps (3), cette enveloppe étant
 - 15 suspendue élastiquement sur le corps (3) par des éléments d'espacement élastiques (15, 17, 19), de manière qu'elle puisse effectuer des déplacements limités à six degrés de liberté par rapport au corps (3), la surface intérieure de l'enveloppe (4) portant deux plaques métalliques (32) sensiblement semi-cylindriques qui sont uniformément
 - 20 espacées angulairement l'une de l'autre et sont situées en regard des plaques (12) portées par le corps, de manière à définir avec celles-ci un intervalle étroit et à constituer avec elles huit condensateurs dont les capacités dépendent des positions relatives des plaques (32) de l'enveloppe (4) et des plaques (12) du corps (3) ; et
 - 25 - un dispositif de détection (35 à 38) connecté aux condensateurs et destiné à mesurer, en service, la capacité instantanée de chacun des condensateurs et à fournir, sur la base de cette mesure, des signaux électriques représentatifs des forces et des couples appliqués à l'organe mobile (2).
- 30 2. Transducteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les surfaces extrêmes et la surface latérale du corps (3) présentent chacune au moins une gorge annulaire (14, 16, 18) et en ce que les éléments d'espacement élastiques sont constitués par des bagues toroïdales (15, 17, 19) en élastomère logées dans les gorges annu-

laïres (14, 16, 18) du corps (3) et coopérant avec les surfaces intérieures de l'enveloppe (4).

3. Transducteur selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les extrémités du corps (3) présentent au moins une saillie radiale (11, 22) qui s'étend dans un renforcement correspondant (28a, 31a) de la paroi de l'enveloppe (4) de manière à limiter les déplacements angulaires de l'enveloppe (4) par rapport au corps (3).

4. Transducteur selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que chaque extrémité de l'enveloppe (4) présente une paroi (29, 30) orientée radialement par rapport à la surface intérieure de l'enveloppe et dirigée vers une surface extrême correspondante du corps (3), les parois radiales (29, 30) de l'enveloppe (4) coopérant avec les bagues toroïdales (17, 19) logées dans les gorges annulaires (16, 18) des surfaces extrêmes du corps (3) pour limiter les déplacements axiaux de l'enveloppe (4) par rapport au corps (3).

5. Transducteur selon la revendication 4, caractérisé en ce que chacune des deux parois radiales est constituée par une paroi annulaire (29, 30).

6. Transducteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'enveloppe (4) constitue une poignée pour la commande manuelle du bras mobile (2) d'un robot pendant la phase d'apprentissage.

7. Transducteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'enveloppe (4) présente des moyens (27, 31b) pour la fixation d'un outil à son extrémité qui, pendant le service, est à l'opposée de l'organe mobile (2).

8. Transducteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le dispositif de détection comporte huit convertisseurs tension/fréquence (35 à 42) qui sont chacun connectés à une plaque (12) correspondante du corps (3) et sont commandés par un seul oscillateur (43), chacun des convertisseurs (35 à 42) fournissant des signaux de sortie dont la tension est proportionnelle à la capacité du condensateur correspondant, de même que des moyens de traitement (44 ; 45 à 58) pour traiter les signaux fournis par les convertisseurs (35 à 42) et pour délivrer des signaux représentatifs des forces et des couples appliqués à l'enveloppe (4), donc aussi, par l'intermédiaire du corps (3), à l'organe mobile (2).

FIG. 1

1/3

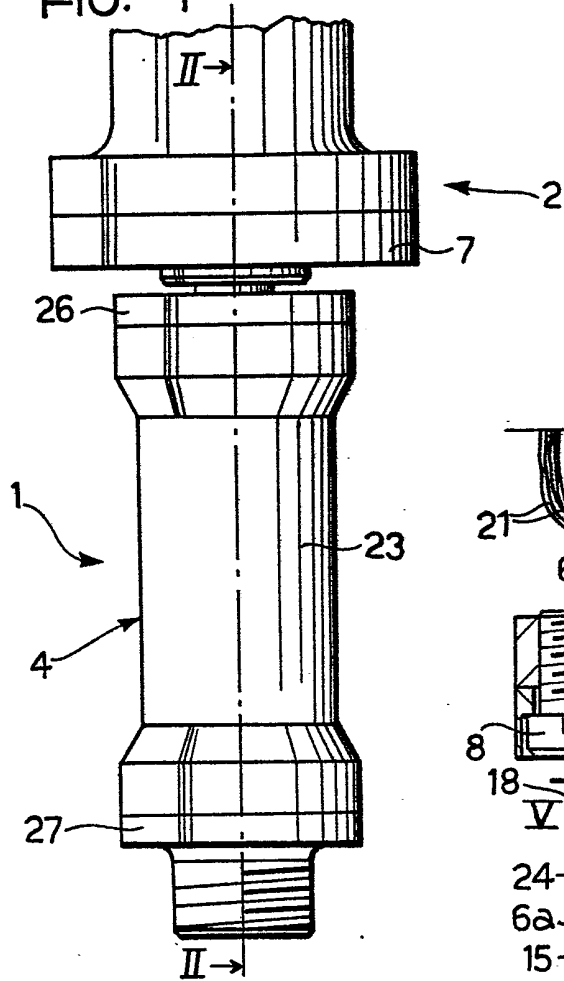


FIG. 2

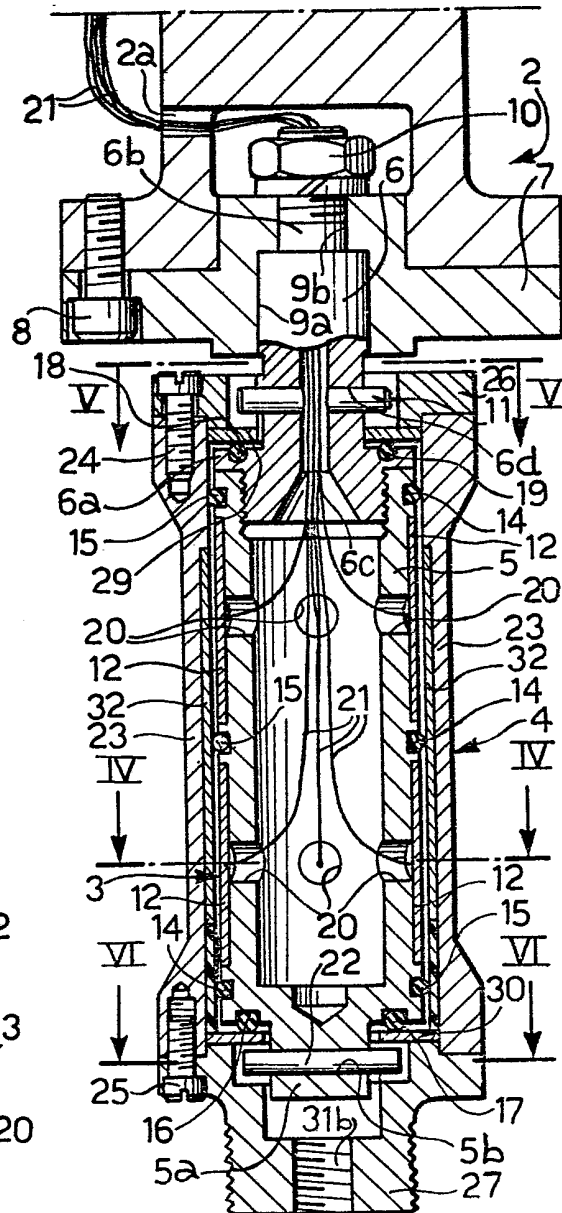
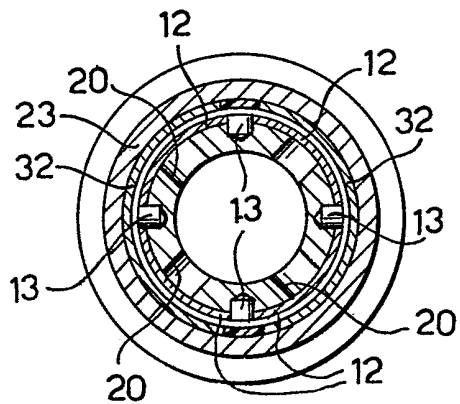


FIG. 4



2/3

FIG. 3

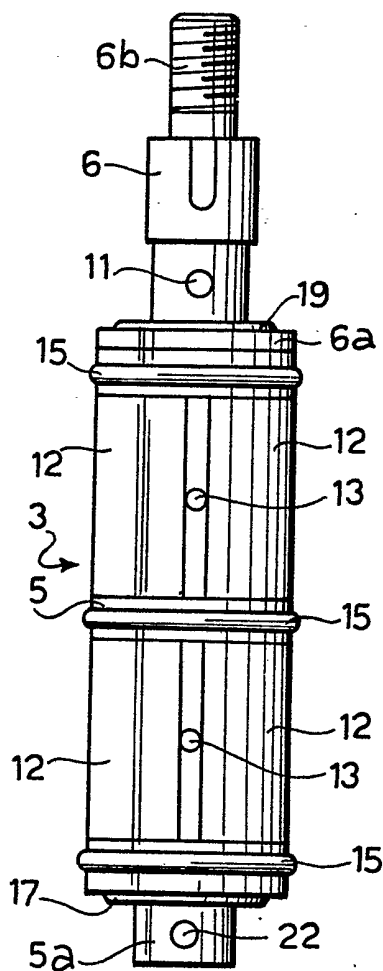


FIG. 5

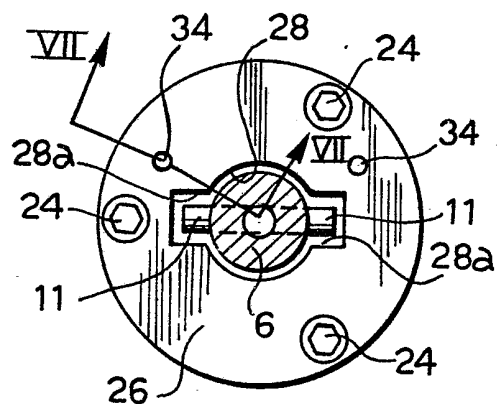


FIG. 6

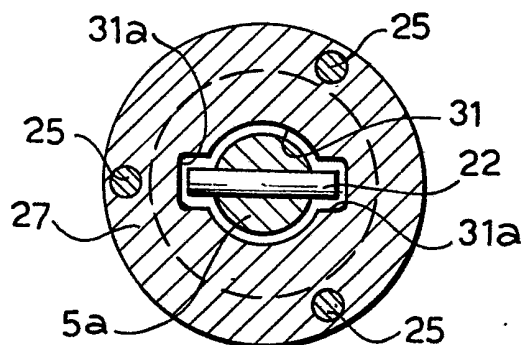


FIG. 7

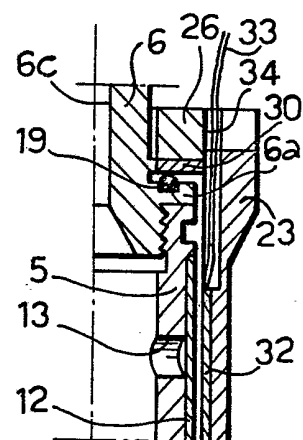


FIG. 8

