

(19)



(11)

EP 1 396 046 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
02.01.2013 Bulletin 2013/01

(51) Int Cl.:
H01Q 3/08 ^(2006.01) **H01Q 1/12** ^(2006.01)
G05D 3/00 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **02743335.8**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2002/001816

(22) Date de dépôt: **30.05.2002**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2002/097920 (05.12.2002 Gazette 2002/49)

(54) **PROCEDE D'ORIENTATION D'UNE TOURELLE HEXAPODE**

VERFAHREN ZUR ORIENTIERUNG EINES HEXAPODS

METHOD FOR ORIENTING A HEXAPOD TURRET

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**

(74) Mandataire: **Regimbeau**
20, rue de Chazelles
75847 Paris Cedex 17 (FR)

(30) Priorité: **31.05.2001 FR 0107136**

(56) Documents cités:
EP-A- 0 515 888 EP-A1- 0 266 026
WO-A-98/40761

(43) Date de publication de la demande:
10.03.2004 Bulletin 2004/11

(73) Titulaire: **ZODIAC DATA SYSTEMS**
14740 Bretteville L'orgueilleuse (FR)

• **DUNLOP G R; ELLIS P J; AFZULPURKAR N V:**
**"The satellite tracking keyhole problem: a parallel
mechanism mount solution." TRANS. INST.
PROF. ENG. N.Z. ELECTR./MECH. CHEM. ENG.
SECT., vol. 20, no. 1, novembre 1993 (1993-11),
pages 1-7, XP001064904 New Zealand**

(72) Inventeur: **GAECHTER, Jean-Pierre**
F-31320 Rebique (FR)

EP 1 396 046 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] L'invention concerne l'application de tourelles hexapodes aux pointages d'équipements tels que des antennes, des appareils optroniques ou des télescopes, des dispositifs optiques de mesure ou de télécommunication ou tout dispositif dont la fonction nécessite une orientation dans l'espace.

[0002] Les tourelles hexapodes ou plates-formes de Stewart ou de Gough sont des dispositifs généralement utilisés comme supports d'antennes ou de télescopes permettant un réglage de leur orientation. Le brevet EP 0 515 888 déposé le 12 mai 1992 au nom de ANT NA-CHRICHTECH décrit un exemple de dispositif de pointage comprenant une tourelle hexapode. Une tourelle hexapode comprend une plate-forme ou socle fixe, un plateau mobile sur lequel est fixé le dispositif à orienter et six jambes de longueur réglables reliant le plateau mobile au socle. Les extrémités des jambes sont fixées par paires au moyen de liaisons de type cardan sur le plateau mobile et le socle de manière à ce que les jambes forment des triangles. Chaque jambe comprend deux tubes emboîtés pouvant coulisser l'un par rapport à l'autre. Ces tubes sont actionnés par des moteurs piézo-électriques linéaires qui permettent de régler la longueur de la jambe. Un tel dispositif permet de déplacer le plateau mobile selon six degrés de liberté.

[0003] Dans le brevet EP 0 515 888, la tourelle hexapode décrite est fixée sur un satellite et son rôle consiste essentiellement à "sortir" l'équipement du volume du satellite pour obtenir une visée dégagée et accessoirement à l'orienter mais avec un faible débattement.

[0004] Le but de l'invention est d'utiliser un dispositif hexapode pour orienter un équipement avec un grand débattement et une visée sur au moins 2π stéradians de façon à couvrir au moins le demi-espace au-dessus de l'horizon.

[0005] Le problème posé par l'utilisation d'une structure hexapode est qu'elle perd sa rigidité lorsque les angles entre deux jambes d'une même articulation et la normale au plan du socle fixe ou du plateau mobile deviennent proches de 90° , ce phénomène est couramment appelé l'effet "genouillère".

[0006] Un autre but de l'invention est de pouvoir orienter l'équipement dans toutes les directions du demi-espace en conservant en permanence une bonne rigidité.

[0007] Le document EP 0 266 026 A1 décrit un procédé de déplacement du plateau mobile d'un hexapode conforme au préambule de la revendication 1.

[0008] L'invention propose un procédé de déplacement du plateau mobile d'un hexapode conforme à la revendication 1.

[0009] Ce procédé permet avantageusement de positionner le plateau de l'hexapode avec un déport permettant d'éviter les points singuliers, c'est à dire les positions dans lesquelles la tourelle hexapode perd sa rigidité.

[0010] Très préférentiellement, on définit une loi de déport donnant une position unique du centre OB du plateau dans l'espace en fonction de son orientation. Cette loi définit une surface géométrique dite « surface de déport » sur laquelle le centre OB du plateau évolue.

[0011] Selon des variantes de ce procédé :

- la loi de déport définit une surface géométrique continue,
- la surface de déport est un plan,
- la surface de déport est une portion de sphère.

[0012] Le déplacement du plateau mobile peut être réalisé en commandant une rotation du plateau mobile selon un axe perpendiculaire au plan contenant les vecteurs de visée V_i et V_{i+1} .

[0013] La variation de longueur des jambes de l'hexapode peut avantageusement être déterminée selon les étapes suivantes :

- on définit une position de référence de l'hexapode selon laquelle toutes les jambes sont réglées à la même longueur L_0 ,
- on détermine la variation de longueur de chaque jambe pour que le plateau mobile de l'hexapode se déplace de la position de référence à la direction de visée V_{i+1} par une rotation virtuelle dans le plan d'azimut α_{i+1} , et par une translation virtuelle du centre OB du plateau vers une surface de déport définie par la loi de déport,
- on en déduit une variation de longueur totale pour chaque jambe pour passer de la direction V_i à la direction V_{i+1} .

[0014] Ce procédé de commande de la variation de longueur des jambes permet d'éviter des configurations de la tourelle hexapode qui risqueraient de réduire sa rigidité et d'endommager les mécanismes des jambes par des collisions.

[0015] Dans une mise en oeuvre de l'invention, le mouvement global d'orientation du plateau mobile est décomposé en une succession de déplacements unitaires d'azimut $\Delta\alpha$ et d'élévation $\Delta\beta$ du plateau mobile. Pour chaque déplacement unitaire, le procédé global de déplacement (détermination d'une rotation virtuelle suivi d'une translation virtuelle) est reproduit.

[0016] Cette décomposition en $\Delta\alpha$ et $\Delta\beta$ unitaires évite que le plateau ne passe par un point singulier lors de son mouvement de passage d'une position à l'autre. De cette manière, on s'assure qu'au cours du mouvement du plateau mobile, la tourelle hexapode se trouve toujours dans une configuration stable.

[0017] Le procédé peut avantageusement être complété par les étapes suivantes:

- on commande les dispositifs de réglages en fonction des longueurs L_i des jambes à obtenir et en ce que ce calcul prend en compte les angles relatifs entre les éléments constitutifs des liaisons reliant les jambes au plateau et au socle fixe,

- les angles formés par les axes des jambes et la normale au plan du socle fixe et les angles formés par les axes des jambes et la normale au plan du plateau mobile sont toujours inférieurs à un angle maximum défini entre 40 et 80 degrés.

[0018] L'invention propose en outre un dispositif de déplacement du plateau mobile d'un hexapode, conforme à la revendication 13.

[0019] Le dispositif peut être complété par les caractéristiques suivantes :

- le dispositif comprend des moyens de mesure de la position de l'axe du moteur,
- des liaisons sont disposées sur le socle fixe selon un premier cercle de rayon RA et des liaisons sont disposées sur le plateau mobile selon un deuxième cercle de rayon RB, le rapport RA/RB étant sensiblement égal à 1,5,
- les liaisons sont disposées par paires sur le plateau mobile ou sur le socle fixe selon un cercle de rayon R, la distance entre deux liaisons d'une même paire étant sensiblement égale à R/10,
- l'élongation maximale d'une jambe est inférieure à 2,
- l'élongation maximale d'une jambe est supérieure à 1,7.

[0020] Ces différentes caractéristiques permettent en particulier d'obtenir des débattements importants.

[0021] D'autres caractéristiques et avantages ressortiront encore de la description qui suit, laquelle est purement illustrative et non limitative et doit être lue en regard des figures annexées parmi lesquelles :

- la figure 1 est un schéma cinématique d'une tourelle hexapode,
- la figure 2 est un schéma de la répartition sur le socle fixe des liaisons entre les jambes et le socle fixe,
- la figure 3 est un schéma de la répartition sur le plateau mobile des liaisons entre les jambes et le plateau mobile,
- la figure 4 représente un exemple de liaison entre le plateau mobile et une paire de jambes,
- la figure 5 représente un exemple de liaison entre le socle fixe et une paire de jambes,
- les figures 6 à 8 représentent les différents éléments mécaniques utilisés dans les liaisons des figures 4 et 5,
- la figure 9 est une vue en coupe d'un dispositif de réglage de longueur d'un vérin,
- la figure 9bis est une vue en coupe du dispositif de réglage de la figure 9 selon la coupe A-A,
- les figures 10 et 11 sont des représentations graphiques des angles de rotation des éléments constitutifs d'une liaison entre un vérin et le socle en fonction de l'orientation du plateau mobile,
- la figure 12 est une représentation graphique de l'angle de rotation relative entre les deux éléments cons-

titutifs d'une jambe en fonction de l'orientation du plateau mobile,

- la figure 13 représente une tourelle hexapode sur lequel a été montée une antenne parabolique, dans sa position de référence,
- la figure 14 représente le système de repères azimut-élévation utilisés pour définir l'orientation du plateau mobile dans l'espace,
- la figure 15 représente une tourelle hexapode sur laquelle a été montée une antenne parabolique, la tourelle se trouve dans une position se rapprochant d'une configuration instable,
- les figures 16 et 17 représentent des exemples de lois de déport du plateau mobile en fonction de son élévation,
- la figure 18 illustre un principe de déplacement du plateau mobile de la tourelle,
- les figures 19 et 20 illustrent des trajectoires possibles de déplacement de la tourelle,
- la figure 21 représente un exemple de mise en oeuvre de moyens de contrôle du fonctionnement de la tourelle hexapode.

[0022] Sur la figure 1, la tourelle hexapode 100 comprend un socle 10 et un plateau mobile 20 reliés par six vérins identiques 1, 2, 3, 4, 5 et 6 constituant des jambes. Chaque vérin i relie un point A_i du socle fixe 10 à un point B_i du plateau mobile 20 et est réglé à une longueur L_i correspondant à la distance $A_i B_i$. Les liaisons entre vérins et socle 10 ainsi que les liaisons entre vérins et plateau mobile 20 sont matérialisées par douze joints de type cardan (ou joint universel). Chacun de ces joints comprennent deux axes élémentaires de rotation qui se coupent aux points $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5$ et B_6 .

[0023] Comme représenté à la figure 2, les points A_i sont situés à une distance RA du centre OA du socle fixe 10 et sont répartis en trois paires, les paires $(A_1, A_2), (A_3, A_4)$ et (A_5, A_6) étant placées à 120° les unes par rapport aux autres. De façon similaire sur la figure 3, les points B_i sont situés à une distance RB du centre OB du plateau mobile 20 et sont répartis en trois paires, les paires $(B_2, B_3), (B_4, B_5), (B_6, B_1)$ étant placées à 120° les unes par rapport aux autres. Deux vérins issus d'une paire de points sur le socle 10 sont toujours reliés à des points de paires distinctes sur le plateau mobile 20. De cette manière, les vérins 1 à 6 convergent deux à deux alternativement vers le socle 10 ou vers le plateau mobile 20.

[0024] Sur la figure 4, on a représenté plus en détail une liaison au niveau des points B_2 et B_3 entre la paire de vérins 2 et 3, et le plateau mobile 20. Une telle liaison comporte un support central 41 vissé sur le plateau 10 et portant symétriquement deux axes cylindriques 42 orientés selon la direction $B_2 B_3$. Des joints 43 pivotants sont montés sur les axes 42.

[0025] Chaque joint 43 comporte un alésage qui permet de l'emmancher sur l'un des axes 42 du support central 41. Dans ce cas, une liaison pivot est réalisée par

un contact direct entre un joint 43 et la surface d'un axe 42. On peut choisir de réaliser les éléments dans des matériaux permettant de limiter le frottement: par exemple on réalise les axes 42 en acier et les joints 43 en bronze. Pour limiter encore les frottements, cette liaison peut aussi être réalisée en intercalant des éléments de type palier lisse rapporté dans le joint 43 ou roulement à bille ou à aiguilles. Chaque joint 43 est arrêté en translation sur l'axe 42 par un circlips 44 monté dans une rainure de l'axe 42 ou par un écrou monté sur l'extrémité fileté de l'axe 42.

[0026] Les joints 43 comportent en outre deux axes 45 perpendiculaires à leur alésage. Les extrémités 46 des vérins 2 et 3 présentent une forme générale de chape, constituée de deux parties symétriques insérant le joint 43 et présentant des alésages dans lesquels sont emmanchés les axes 45 du joint 43. Les extrémités 46 en chape des vérins 2 et 3 présentent des chanfreins de manière à leur permettre un débattement maximum par rapport au joint 43 dans toutes les configurations d'orientation de celui-ci.

[0027] Sur la figure 5, on a représenté plus en détail une liaison au niveau des points A_1 et A_2 entre la paire de vérins 1 et 2, et le socle fixe 10. Cette liaison est comparable à la liaison entre vérins et plateau mobile représentée à la figure 4. Elle comporte un support central 51 vissé sur le socle 10 et portant symétriquement deux axes cylindriques 52 concentriques orientés selon la direction A_1A_2 . Des joints pivotants 53 présentant un alésage et deux axes 55 perpendiculaires sont montés sur les axes 52. Les extrémités 56 des vérins 1 et 2 présentent une forme générale de chape, constituée de deux parties symétriques insérant un joint 52 et présentant des alésages dans lesquels sont emmanchés les axes du joint 52.

[0028] Les parties extrêmes 56 des vérins 1 et 2 supportent un dispositif 57 permettant de commander les longueurs L_1 et L_2 des vérins 1 et 2.

[0029] Sur la figure 9, on a représenté le vérin 1 comprenant deux ensembles LA et LB pouvant coulisser l'un par rapport à l'autre de manière à faire varier la longueur L_1 du vérin 1. Le dispositif 57 de réglage de longueur comprend un moteur pas à pas 61 dont l'axe de sortie 62 supporte une vis sans fin 63 permettant d'entraîner en rotation une roue dentée 64 disposée perpendiculairement à l'axe 62. Cette roue dentée 64 entraîne une vis à bille 65 s'étendant dans la longueur de l'ensemble LA . L'ensemble LB comprend un écrou 66 monté solidaire dans lequel la vis à bille 65 pivote. La rotation de la vis à bille 65 dans l'écrou 66 engendre la translation de l'écrou 66 le long de la vis 65.

[0030] Dans ce dispositif de réglage, la vis 65 a une vitesse de rotation proportionnelle à celle du moteur pas à pas 61. Pour déterminer le coefficient de proportionnalité entre ces vitesses, il suffit de connaître les caractéristiques géométriques des différentes pièces mécaniques (notamment les pas de la vis 65, de la roue 64 et de la vis sans fin 63). Théoriquement, en contrôlant la

position angulaire de l'axe 62 de sortie du moteur 61, on obtient la longueur L_1 du vérin 1. Pour commander cette longueur, on peut par exemple utiliser un asservissement de position du moteur 61 en boucle ouverte, ou une mesure absolue de position de l'axe 62 par résolveur pour un asservissement en boucle fermée. Il est également possible d'utiliser des codeurs optiques, incrémentaux ou absolus, mono-tour ou multi-tours.

[0031] Néanmoins, l'allongement de vérin 1 n'est pas directement proportionnel à la grandeur angulaire mesurée par ce dispositif. En effet, au cours des variations de position du plateau mobile 20, il se produit une rotation relative des ensembles LA et LB . Cette rotation supplémentaire vient modifier la longueur L_1 du vérin 1 par l'intermédiaire de la liaison hélicoïdale, indépendamment de l'action du moteur 61. On prend donc en compte cet effet pour établir la consigne donnée au moteur. Les rotations relatives sont déterminées analytiquement d'après les positions des points B_1 à B_6 calculées. Les calculs intermédiaires permettent de déterminer les rotations des éléments des joints de cardan.

[0032] Les figures 6 à 8 représentent les axes de rotation des différents éléments constitutifs des liaisons cardan. L'axe RPJ est lié au support central 41 ou 51 et les axes RSJ aux joints 43 ou 53.

[0033] La figure 10 est une représentation graphique de l'angle de rotation du joint 43 au niveau du point A_1 autour de RPJ en fonction de l'azimut α pour une élévation β fixée du plateau mobile 20. De même, la figure 11 est une représentation graphique de l'angle de rotation du vérin 1 au niveau du point A_1 autour de RSJ en fonction de l'azimut α pour une élévation β fixée du plateau mobile 20. Enfin, la figure 12 donne l'angle de rotation relative entre les deux éléments LA et LB du vérin 1 en fonction de l'azimut α pour une élévation β fixée du plateau mobile 20.

[0034] Sur la figure 13, la tourelle hexapode 100 supporte une antenne parabolique 30, elle est représentée en position de référence. Dans cette position, les vérins 1, 2, 3, 6, 5 et 6 sont tous réglés à la même longueur L_0 . Dans cette configuration le centre OB est situé à la verticale du centre OA sur l'axe vertical z_0 . La position de référence peut aussi être choisie comme une position virtuelle de la tourelle. Par exemple, la position de référence peut être définie comme une position pour laquelle les vérins prendraient une longueur L_0 supérieure à la longueur qu'ils peuvent mécaniquement atteindre.

[0035] Comme représenté à la figure 14, on définit un repère R_0 lié au socle 10, de centre OA et d'axes (x_0, y_0, z_0) . Dans ce repère R_0 , la position du plateau mobile 20 peut être entièrement déterminée par la position de son centre OB et une direction de visée V définie par un azimut α et une élévation β . On définit le repère R_{01} de centre OB et d'axes (x_{01}, y_{01}, z_{01}) comme l'image par la rotation du repère R_0 par rapport à l'axe z_0 et d'angle α . De la même manière, on définit le repère R_{02} de centre OB et d'axes (x_{02}, y_{02}, z_{02}) comme l'image par la rotation du repère R_{01} par rapport à l'axe y_{01} et d'angle β . Le

repère R_{02} est un repère fixe par rapport au plateau mobile 20. La direction x_{02} définit la direction de visée V dans le repère R_0 .

[0036] La structure hexapode permet en théorie de positionner le plateau mobile 20 dans l'espace selon six degrés de liberté. Cependant, certaines positions conduisent à des configurations instables de la structure hexapode. La figure 15 représente une tourelle hexapode 100 dans une configuration s'approchant de l'instabilité. Sur cette figure, le plateau mobile 20 est pratiquement aligné avec les vérins 1 et 2 (l'angle entre jambe et normale au plateau atteint la valeur limite de 80 degrés). La structure 100 perd sa rigidité lorsque les angles entre ses éléments (angles entre axes des vérins 1 à 6 et la normale au plan du socle fixe 10 ou plateau mobile 20) deviennent proches de 90 degrés. Ce phénomène est particulièrement préjudiciable lorsque la structure est placée à l'extérieur et susceptible d'être exposée à des conditions climatiques difficiles.

[0037] Etant donné que l'on utilise la tourelle hexapode 100 pour pointer des équipements vers des éléments situés à des grandes distances par rapport aux dimensions de la tourelle, on ne s'intéresse qu'à l'orientation de son plateau 20 et non pas à la position de celui-ci dans le repère R_0 .

[0038] La direction de pointage V fixe les deux paramètres d'orientation α et β . On définit une loi de déport d du plateau mobile 20 en fonction de la direction de visée V à pointer. Par exemple, on peut commander la variation des longueurs L_1 à L_6 des jambes 1 à 6 pour que le centre OB du plateau mobile 20 se déplace selon un plan perpendiculaire à l'axe z_0 , c'est à dire à une hauteur z constante par rapport au socle 10. Ce plan définit la « surface de déport » sur laquelle devra toujours se trouver le point OB. Pour une direction de visée V donnée, le point OB est déporté d'une certaine distance d dans la direction x_{01} par rapport à sa configuration de référence illustrée à la figure 13. La direction x_{01} de déport dépend donc de l'angle d'azimut α et la distance d de déport est fonction de l'élévation β du plateau.

[0039] Les figures 16 et 17 donnent des exemples de lois de déport en fonction de l'élévation β . Lorsque ces lois de positionnement du plateau mobile 20 sont respectées, la tourelle hexapode 100 se trouve dans des configurations dans lesquelles les angles entre les axes des vérins 1 à 6 et la normale au plan du socle fixe 10 ou plateau mobile 20 sont toujours inférieurs à 45 degrés par exemple (ce qui donne une marge de sécurité de 45 degrés). Ces lois permettent de positionner la tourelle 100 loin des points singuliers de faible rigidité.

[0040] Bien entendu, il existe de nombreuses façons de définir le déport d à appliquer:

- selon le type de surface de déport sur laquelle se déplace le point OB: on peut choisir une surface de déport autre qu'un plan, par exemple une portion de sphère ou d'ellipsoïde,
- selon la loi de positionnement sur cette surface: on

peut par exemple fixer une loi de déport d en fonction de l'angle d'élévation β .

[0041] Il existe néanmoins des conditions à ces choix. D'une part, les longueurs L_i des vérins i pouvant être obtenues sont limitées. En effet, on doit prendre en compte les élongations minimale et maximale possibles. D'autre part, on doit respecter la marge de sécurité choisie concernant les angles entre les éléments. On peut choisir un angle maximum de 135 ou 150 degrés par exemple.

[0042] Sur la figure 18, on a représenté un déplacement du plateau mobile 20 de la tourelle 100. Pour déplacer le plateau mobile 20 de la tourelle hexapode 100 à partir d'une direction de visée $V_1 = (\alpha_1, \beta_1)$ vers une direction de visée $V_2 = (\alpha_2, \beta_2)$ proche de V_1 , on procède comme suit :

[0043] Dans une première étape, on considère le repère R_{02} orienté de manière à ce que $x_{02} = V_2$. Dans ce repère R_{02} , on considère un axe de rotation virtuel RH de direction y_{02} et passant par un point PRH fixe sur l'axe z_0 . On réalise une rotation virtuelle du plateau mobile 20 d'axe RH et d'angle $90^\circ - \beta_2$. Cette rotation permet de passer de la position de référence de la tourelle (plateau orienté au zénith) à la position correspondant à la direction de visée V_2 . Comme précédemment décrit, la position de référence peut être virtuelle.

[0044] Dans une deuxième étape, on détermine le déport du plateau mobile (20) selon la direction d'azimut α_2 grâce à la loi de déport et on en déduit la position des points A_1 à A_6 et B_1 à B_6 dans cette configuration. A cet effet, on réalise une translation virtuelle du plateau mobile 20 permettant de ramener le point OB sur la surface de déport. On détermine les longueurs L_1 à L_6 des jambes 1 à 6 de l'hexapode 100 dans cette position du plateau 20. On en déduit l'allongement de chaque jambe 1 à 6 nécessaire pour passer de l'orientation V_1 à V_2 avec déport.

[0045] Pour déplacer le plateau 20 de V_1 à V_2 en un temps t déterminé (par exemple $t = 1$ seconde), chaque dispositif de réglage de longueur de jambe i doit commander un allongement des vérins de ΔL_i . On réalise une interpolation de la longueur des jambes : par exemple on commande une vitesse d'allongement de chaque vé-

rin i de $\frac{\Delta L_i}{t}$ (interpolation linéaire).

[0046] Lorsque le déplacement du plateau 20 devient trop important (par exemple le déplacement de V_1 à V_2 est supérieur à 1°), la tourelle 100 risque de passer par un point singulier. Pour éviter ces points singuliers, le déplacement du plateau 20 de V_1 à V_2 peut être décomposé en une suite de déplacements unitaires d'azimut $\Delta\alpha$ et d'élévation $\Delta\beta$. Chaque déplacement unitaire permet de passer d'une direction de visée V_i à une direction de visée V_{i+1} proche de V_i . Pour chaque déplacement unitaire, on calcule les allongements des vérins grâce

aux deux transformations virtuelles successives (une rotation virtuelle suivie d'une translation virtuelle) comme décrit précédemment. De cette manière, le plateau 20 est déplacé selon une suite de positions correspondant à des directions de visées $V_1, \dots, V_i, V_{i+1}, \dots, V_2$ présentant un écart de $\Delta\alpha$ et $\Delta\beta$. Les valeurs de $\Delta\alpha$ et $\Delta\beta$ sont choisies suffisamment petites pour que le plateau 20 ne passe jamais par des points singuliers ou des configurations impossibles à réaliser physiquement. En effet, plus $\Delta\alpha$ et $\Delta\beta$ seront petits, moins les positions successives OB du plateau 20 ne pourront s'approcher d'un point singulier.

[0047] Sur les figures 19 et 20, on a illustré les positions successives de la direction de visée V_i . Ces positions sont par exemple choisies avec des écarts successifs de 1° . La trajectoire unitaire du vecteur orientation V_i entre deux positions successives correspond à une rotation d'axe perpendiculaire au plan contenant les deux orientations successives. Les positions successives de V_i peuvent suivre une trajectoire globale directe correspondant à une rotation d'axe perpendiculaire à V_1 et V_2 ainsi qu'illustré sur la figure 19 ou une trajectoire globale quelconque ainsi qu'illustré sur la figure 20.

[0048] Bien entendu, il existe une infinité de manières de caractériser la direction de visée V suivant les systèmes de repérage et les conventions utilisées. En outre, bien qu'on utilise ce système de coordonnées pour définir la direction de visée V , on ne reproduit pas nécessairement les rotations azimut et élévation mécaniquement. On peut commander des rotations et des translations différentes conduisant à la direction de visée définie en azimut et en élévation.

[0049] Le procédé de déplacement du plateau mobile 20 de l'hexapode 100 précédemment décrit a pour effet de lier la rotation du plateau mobile 20 autour de son axe propre x_{02} à sa rotation d'azimut autour de l'axe z_0 lié au socle 10. Lorsque le plateau mobile 20 est déplacé d'une direction de visée $V_1 = (\alpha_1, \beta_1)$ vers une direction de visée $V_2 = (\alpha_2, \beta_2)$, il tourne autour de l'axe z_0 d'un angle d'azimut $\alpha_2 - \alpha_1$. Avec le procédé précédemment décrit, le plateau mobile 20 compense en permanence cette rotation d'azimut en effectuant une rotation autour de son axe propre z_{02} d'angle $-(\alpha_2 - \alpha_1)$. Ainsi, il en résulte que la rotation globale du plateau mobile 20 autour de l'axe z_0 est toujours nulle.

[0050] Ce procédé présente par exemple l'avantage que des câbles électriques liés au dispositif 30 monté sur le plateau mobile 20 et reliant ce dispositif au sol ne subissent jamais de torsion lors du déplacement du plateau mobile 20. Cette caractéristique permet de pouvoir commander une rotation continue du plateau mobile 20 autour de l'axe d'azimut z_0 sans risquer d'endommager le mécanisme de l'hexapode 100. En outre, le dispositif de déplacement du plateau mobile ne nécessite pas de joint tournant.

[0051] Un autre avantage de ce procédé est qu'il permet de contrôler en permanence le bon fonctionnement du dispositif de déplacement. En effet, dans le cas où

l'un des dispositifs de réglage de longueur de jambe ou l'un des vérins serait déficient, il est parfois difficile de s'apercevoir d'une anomalie de fonctionnement de l'hexapode. Les butées des vérins sont dans un tel cas les seules dispositions susceptibles d'arrêter le dispositif de déplacement dans son mouvement. Cependant, la loi de mouvement n'étant plus respectée, la structure hexapode risque de passer par des points singuliers conduisant à un endommagement inévitable des joints universels.

[0052] Pour éviter ces risques, le dispositif d'orientation comprend des moyens pour contrôler que la rotation globale du plateau mobile 20 autour de l'axe z_0 est toujours nulle.

[0053] A cet effet, la figure 21 représente un exemple de tels moyens de contrôle. Ces moyens comprennent un câble 80 reliant le centre OB du plateau mobile 20 au centre OA du socle fixe 10. Ce câble 80 présente les propriétés d'être souple en flexion et rigide en torsion. Il est relié à une première extrémité, au centre OB plateau mobile 20 par une liaison rigide et à une deuxième extrémité, au centre OA du socle fixe 10 par une liaison pivot 82. Le câble 80 est muni au niveau de cette deuxième extrémité d'un élément indicateur 84. En fonctionnement normal du dispositif d'orientation de l'hexapode 100, la deuxième extrémité du câble 80 est toujours fixe par rapport au socle 10 et l'élément indicateur 84 est en contact avec un circuit de détection 86.

[0054] Dans le cas d'une déficience de l'un des dispositifs de réglage de longueur des jambes 1, 2, 3, 4, 5, ou 6 ou de déficience de l'un des vérins, la rotation du plateau 20 autour de l'axe z_0 génère la rotation du câble 80 par rapport au socle 10. Cette rotation entraîne la rotation de l'élément indicateur 84, qui ne se trouve plus en contact avec le circuit de détection 86. Le circuit de détection 86 détecte cette coupure de contact et envoie un signal d'alerte à un dispositif de commande des dispositifs de réglage des jambes. En réponse à ce signal, le dispositif de commande stoppe le mouvement de l'hexapode 100.

[0055] Bien entendu, d'autres types de moyens de contrôle pourraient être utilisés.

Revendications

1. Procédé de déplacement du plateau mobile (20) d'un hexapode (100) dont les jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) sont munies d'un dispositif de réglage de longueur, à partir d'une orientation V_i définie par ses coordonnées azimut-élévation (α_i, β_i) vers une orientation V_{i+1} définie par ses coordonnées azimut-élévation $(\alpha_{i+1}, \beta_{i+1})$, comprenant les étapes selon lesquelles:

- on définit une loi définissant une distance de déport d en fonction de l'orientation du plateau (20),
- on détermine la distance de déport d correspondant à l'orientation V_{i+1} ,

- on commande les dispositifs de réglage pour modifier les longueurs L_1 à L_6 des jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) pour déplacer le plateau mobile (20) de l'orientation V_i à l'orientation V_{i+1} et le déplacer par rapport à la perpendiculaire au socle fixe (10) de l'hexapode (100) passant par le centre OA de ce socle (10), dans le plan d'azimut de V_{i+1} , de la distance d ,

caractérisé en ce qu'il comprend en outre des étapes selon lesquelles on vérifie en permanence que la rotation globale du plateau mobile (20) par rapport à la verticale au socle fixe (10) est nulle, et lorsqu'on détecte que la rotation globale du plateau mobile (20) par rapport à la verticale au socle fixe (10) n'est plus nulle, on génère une commande pour stopper le mouvement de l'hexapode (100).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'on** définit une loi de déport donnant une position unique du centre OB du plateau dans l'espace en fonction de son orientation.
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** la loi de déport définit une surface géométrique continue.
4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la surface de déport est un plan,
5. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la surface de déport est une portion de sphère.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'on** déplace le plateau mobile (20) en commandant une rotation du plateau mobile (20) selon un axe perpendiculaire au plan contenant les vecteurs de visée V_i et V_{i+1} .
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la variation de longueur des jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) de l'hexapode (100) est déterminée selon les étapes suivantes :

- on définit une position de référence de l'hexapode (100) selon laquelle toutes les jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) sont réglées à la même longueur L_0 ,
 - on détermine la variation de longueur de chaque jambe (1, 2, 3, 4, 5, 6) pour que le plateau mobile (20) de l'hexapode (100) se déplace de la position de référence à la direction de visée V_{i+1} par une rotation virtuelle dans le plan d'azimut α_{i+1} , et par une translation virtuelle du centre OB du plateau (20) vers une surface de déport définie par la loi de déport,
 - on en déduit une variation de longueur totale pour chaque jambe (1, 2, 3, 4, 5, 6) pour passer de la direction V_i à la direction V_{i+1} .

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le mouvement global d'orientation du plateau mobile (20) est décomposé en une succession de déplacements unitaires d'azimut $\Delta\alpha$ et d'élévation $\Delta\beta$ du plateau mobile (20).

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'on** commande les dispositifs de réglage en fonction des longueurs L_i des jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) à obtenir et **en ce que** ce calcul prend en compte les angles relatifs entre les éléments constitutifs des liaisons reliant les jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) au plateau (20) et au socle (10).

10. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce qu'on** détermine les angles relatifs entre les éléments constitutifs des liaisons reliant les jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) au plateau (20) et au socle (10) à partir des positions des points de liaison entre les jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) et le plateau (20) calculées, et on en déduit les rotations relatives entre les ensembles coulissants des vérins.

11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** chaque jambe (1, 2, 3, 4, 5, 6) de l'hexapode (100) comprenant un vérin constitué de deux ensembles coulissants l'un par rapport à l'autre et un actionneur (61) dont l'axe de sortie (62) entraîne en rotation une vis (65) constitutive d'une liaison hélicoïdale entre les ensembles coulissants, on déduit un allongement supplémentaire de chaque vérin dû aux rotations relatives entre ses ensembles coulissants (L_A , L_B) en fonction des caractéristiques géométriques de la liaison hélicoïdale, et **en ce qu'on** prend en compte cet allongement supplémentaire pour établir une consigne pour commander l'actionneur (61).

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les angles formés par les axes des jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) et la normale au plan du socle fixe (10) et les angles formés par les axes des jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) et la normale au plan du plateau mobile (20) sont toujours inférieurs à un angle maximum défini entre 40 et 80 degrés.

13. Dispositif de déplacement du plateau mobile (20) d'un hexapode (100) dont les jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) sont munies d'un dispositif de réglage de longueur, à partir d'une orientation V_i définie par ses coordonnées azimut-élévation (α_i, β_i) vers une orientation V_{i+1} définie par ses coordonnées azimut-élévation ($\alpha_{i+1}, \beta_{i+1}$), comprenant des moyens de commande adaptés pour réaliser les étapes suivantes :

- définir une loi définissant une distance de déport d en fonction de l'orientation du plateau

- (20),
 - déterminer la distance de déport d correspondant à l'orientation V_{i+1} ,
 - commander les dispositifs de réglage pour modifier les longueurs L_1 à L_6 des jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) pour déplacer le plateau mobile (20) de l'orientation V_i à l'orientation V_{i+1} et le déporter par rapport à la perpendiculaire au socle fixe (10) de l'hexapode (100) passant par le centre O_A de ce socle (10), dans le plan d'azimut de V_{i+1} , de la distance d , le dispositif étant **caractérisé en ce qu'il** comprend des moyens pour vérifier que la rotation globale du plateau mobile (20) par rapport à la verticale au socle fixe (10) est nulle, et **en ce que** les moyens de commande sont adaptés pour générer une commande pour stopper le mouvement de l'hexapode lorsque la rotation globale du plateau mobile (20) par rapport à la verticale au socle fixe (10) n'est plus nulle.
14. Dispositif selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** chaque jambe (1, 2, 3, 4, 5, 6) de l'hexapode (100) comprend un vérin comprenant un premier et un second ensemble (L_A , L_B) pouvant coulisser l'un par rapport à l'autre, un actionneur (61) dont l'axe de sortie (62) entraîne en rotation une vis (65) disposée perpendiculairement à l'axe (62) du moteur (61), ladite vis (65) s'étendant dans la longueur du premier ensemble (L_A) et pouvant pivoter à l'intérieur d'un écrou (66) monté solidaire du second ensemble (L_B), la rotation de la vis (65) dans l'écrou (66) entraînant la translation du second ensemble (L_B) par rapport au premier ensemble (L_A).
15. Dispositif selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** les moyens de commandes sont aptes à déterminer un allongement supplémentaire de chaque vérin dû aux rotations relatives entre ses ensembles coulissants (L_A , L_B) en fonction des caractéristiques géométriques de la liaison hélicoïdale, et à prendre en compte cet allongement supplémentaire pour établir une consigne pour commander l'actionneur (61).
16. Dispositif selon l'une des revendications 14 ou 15, **caractérisé en ce qu'il** comprend des moyens de mesure de la position de l'axe (62) de l'actionneur (61).
17. Dispositif selon l'une des revendications 13 à 16, **caractérisé en ce que** des liaisons sont disposées sur le socle fixe (10) selon un premier cercle de rayon RA et des liaisons sont disposées sur le plateau mobile (20) selon un deuxième cercle de rayon RB , le rapport RA/RB étant sensiblement égal à 1,5.
18. Dispositif selon l'une des revendications 13 à 17, **caractérisé en ce que** les liaisons sont disposées par paires sur le plateau mobile (20) ou sur le socle (10) fixe selon un cercle de rayon R , la distance entre deux liaisons d'une même paire étant sensiblement égale à $R/10$.
19. Dispositif selon l'une des revendications 13 à 18, **caractérisé en ce que** l'élongation maximale d'une jambe est inférieure ou égale à 2.
20. Dispositif selon l'une des revendications 13 à 19, **caractérisé en ce que** l'élongation maximale d'une jambe est supérieure ou égale à 1,7.
21. Dispositif selon l'une des revendications 13 à 20, **caractérisé en ce qu'il** comprend un élément rigide en torsion connecté à une première extrémité, au plateau mobile (20) par une liaison rigide et à une deuxième extrémité, au socle fixe (10) par une liaison pivot, ainsi que des moyens pour détecter une rotation de la deuxième extrémité de l'élément par rapport au socle (20).
22. Dispositif selon la revendication 21, **caractérisé en ce que** les moyens de détection comprennent un élément indicateur fixé à la deuxième extrémité du câble ainsi qu'un circuit de détection, et **en ce que** lorsque la deuxième extrémité du câble est fixe par rapport au socle (10), l'élément indicateur établit un contact avec un circuit de détection et lorsque la deuxième extrémité du câble tourne par rapport au socle fixe (10), l'élément indicateur rompt ce contact.
- ### 35 Claims
1. A process for moving the moving plate (20) of a hexapod (100) whose legs (1, 2, 3, 4, 5, 6) are fitted with a length-adjusting device, from an orientation V_i defined by its azimuth-elevation (α_i , β_i) coordinates towards an orientation V_{i+1} defined by its azimuth-elevation (α_{i+1} , β_{i+1}) coordinates, comprising steps wherein:
- a law is defined which defines an offset distance d according to the orientation of the plate (20),
 - the offset distance corresponding to the orientation V_{i+1} is determined,
 - the adjustment devices are controlled in order to modify the lengths L_1 to L_6 of the legs (1, 2, 3, 4, 5, 6) in order to displace the moving plate (20) from orientation V_i to orientation V_{i+1} and to offset it in relation to the perpendicular on the fixed base (10) of the hexapod (100) passing through the centre O_A of said base (10), in the azimuth plane of V_{i+1} of the distance d , **characterised in that** it also comprises steps according

to which there is continuous verification that the overall rotation of the moving plate (20) relative to the vertical to the fixed base (10) is zero, and when it is detected that the overall rotation of the moving plate (20) relative to the vertical to the fixed base (10) is no longer zero a command is generated to stop the movement of the hexapod (100).

2. The process as claimed in claim 1, **characterised in that** an offset law is defined giving a unique position of the centre OB of the plate in space as a function of its orientation.
3. The process as claimed in claim 2, **characterised in that** the offset law defines a continuous geometric surface.
4. The process as claimed in claim 3, **characterised in that** the offset surface is a plane.
5. The process as claimed in claim 3, **characterised in that** the offset surface is a portion of a sphere.
6. The process as claimed in any one of the preceding claims, **characterised in that** the moving plate (20) is moved by controlling rotation of the moving plate (20) around an axis perpendicular to the plane containing the pointing vectors V_i and V_{i+1} .
7. The process as claimed in any one of the preceding claims, **characterised in that** the variation in length of the legs (1, 2, 3, 4, 5, 6) of the hexapod (100) is determined according to the following stages:
 - a reference position of the hexapod (100) is defined according to which all the legs (1, 2, 3, 4, 5, 6) are adjusted to the same length L_0 ,
 - the variation in length of each leg (1, 2, 3, 4, 5, 6) is determined so that the moving plate (20) of the hexapod (100) moves from the reference position to the pointing direction V_{i+1} by virtual rotation in the plane of azimuth α_{i+1} , and by virtual translation of the centre OB of the plate (20) towards an offset surface defined by the offset law,
 - a variation in total length is deduced therefrom for each leg (1, 2, 3, 4, 5, 6) to switch from direction V_i to direction V_{i+1} .
8. The process as claimed in any one of the preceding claims, **characterised in that** the overall orientation movement of the moving plate (20) is organised in a succession of unit displacements of azimuth $\Delta\alpha$ and elevation $\Delta\beta$ of the moving plate (20).
9. The process as claimed in any one of the preceding claims, **characterised in that** the adjustment device-

es are controlled as a function of the lengths L_i of the legs (1, 2, 3, 4, 5, 6) to be obtained and **in that** this calculation takes into consideration the relative angles between the elements making up links joining the legs (1, 2, 3, 4, 5, 6) to the plate (20) and to the fixed base (10).

10. The process as claimed in claim 9, **characterised in that** the relative angles between the elements making up the links connecting the legs (1, 2, 3, 4, 5, 6) to the plate (20) and to the base (10) are determined from positions of the linking points calculated between the legs (1, 2, 3, 4, 5, 6) and the plate (20), and from this the relative rotations between the sliding assemblies of the jacks is deduced.
11. The process as claimed in claim 10, **characterised in that** each leg (1, 2, 3, 4, 5, 6) of the hexapod (100) comprises a jack constituted by two assemblies sliding relative to one another and an actuator (61) whose exit axis (62) drives in rotation a screw (65) making up a helicoidal link between the sliding assemblies, **in that** an additional elongation of each jack is deduced due to the relative rotations between its sliding assemblies (L_A , L_B) as a function of the geometric characteristic of the helicoidal link, and **in that** this additional elongation is taken into account for establishing a set-point for controlling the actuator (61).
12. The process as claimed in any one of the preceding claims, **characterised in that** the angles formed by the axes of the legs (1, 2, 3, 4, 5, 6) and the perpendicular to the plane of the fixed base (10) and the angles formed by the axes of the legs (1, 2, 3, 4, 5, 6) and the perpendicular to the plane of the moving plate (20) are always less than a maximum angle defined between 40 and 80 degrees.
13. A device for displacing the moving plate (20) of a hexapod (100), whose legs (1, 2, 3, 4, 5, 6) are fitted with a length-adjusting device, from an orientation V_i defined by its azimuth-elevation (α_i , β_i) coordinates towards an orientation V_{i+1} defined by its azimuth-elevation (α_{i+1} , β_{i+1}) coordinates, comprising control means suitable for carrying out the following steps:
 - defining a law which defines an offset distance d according to the orientation of the plate (20),
 - determining the offset distance corresponding to the orientation V_{i+1} ,
 - controlling the adjustment devices in order to modify the lengths L_1 to L_6 of the legs (1, 2, 3, 4, 5, 6) in order to displace the moving plate (20) from orientation V_i to orientation V_{i+1} and to offset it in relation to the perpendicular on the fixed base (10) of the hexapod (100) passing through

the centre OA of said base (10), in the azimuth plane of V_{i+1} of the distance d , the device being **characterised in that** it comprises means for verifying that the overall rotation of the moving plate (20) relative to a vertical to the fixed base (10) is zero, and **in that** the control means are suitable for generating a command in order to stop the movement of the hexapod when the general rotation of the moving plate (20) with respect to the vertical to the fixed base (10) is not zero.

14. The device as claimed in claim 13, **characterised in that** each leg (1, 2, 3, 4, 5, 6) of the hexapod (100) comprises a jack comprising a first and a second assembly (L_A , L_B) capable of sliding relative to one another, an actuator (61) whose output axis (62) drives in rotation a screw (65) placed perpendicularly in the axis (62) of the motor (61), said screw (65) extending over the length of the first assembly (L_A) and capable of pivoting inside a nut (66) mounted solid with the second assembly (L_B), rotation of the screw (65) in the nut (66) driving translation of the second assembly (L_B) relative of the first assembly (L_A).

15. The device as claimed in claim 14, **characterised in that** the control means are intended to determine any additional elongation of each jack due to the relative rotations between its sliding assemblies (L_A , L_B) as a function of the geometric characteristics of the helicoidal link, and to take into account this additional elongation to establish a set-point to control the actuator (61).

16. The device as claimed in claim 14 or 15, **characterised in that** it comprises means for measuring the position of the axis (62) of the actuator (61).

17. The device as claimed in any one of claims 13 to 16, **characterised in that** links are arranged on the fixed base (10) according to a first circle of radius R_A and links are arranged on the moving plate (20) according to a second circle of radius R_B , the R_A/R_B ratio being substantially equal to 1.5.

18. The device as claimed in any one of claims 13 to 17, **characterised in that** the links are arranged in pairs on the moving plate (20) or on the fixed base (10) in accordance with a circle of radius R , the distance between two links of the same pair being substantially equal to $R/10$.

19. The device as claimed in claim 13 to 18, **characterised in that** the maximum elongation of a leg is less than or equal to 2.

20. The device as claimed in any one of claims 13 to 19,

characterised in that the maximum elongation of a leg is greater than or equal to 1.7.

21. The device as claimed in any one of claims 13 to 20, **characterised in that** it comprises an element rigid in torsion connected at a first end, to the moving plate (20) via a rigid link and at a second end, to the fixed base (10) via a pivoting link, as well as means for detecting rotation of the second end of the element relative to the base (20).

22. The device as claimed in claim 21, **characterised in that** the detection means comprise an indicator element fixed at the second end of the cable as well as a detection circuit, and **in that** when the second end of the cable is fixed relative to the base (10) the indicator element makes contact with a detection circuit and when the second end of the cable turns relative to the fixed base (10), the indicator element breaks this contact.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verlagern der beweglichen Platte (20) eines Hexapods (100), dessen Beine (1, 2, 3, 4, 5, 6) mit einer Vorrichtung zur Längeneinstellung ausgestattet sind, und dies ausgehend von einer Orientierung V_i , die durch ihre Azimut-Elevation-Koordinaten (α_i, β_i) definiert ist, zu einer Orientierung V_{i+1} , die durch ihre Azimut-Elevation-Koordinaten $(\alpha_{i+1}, \beta_{i+1})$ definiert ist, und das die Schritte umfasst, gemäß denen:

- eine Steuerungsregel definiert wird, gemäß der eine Versatzstrecke d in Abhängigkeit von der Orientierung der Platte (20) definiert wird,
- die Versatzstrecke d bestimmt wird, die der Orientierung V_{i+1} entspricht,
- die Einstellungsrichtungen gesteuert werden, um die Längen L_1 bis L_6 der Beine (1, 2, 3, 4, 5, 6) zu verändern, um die bewegliche Platte (20) von der Orientierung V_i in die Orientierung V_{i+1} zu verlagern und sie relativ zur Senkrechten zum feststehenden Sockel (10) des Hexapods (100), die durch den Mittelpunkt OA des Sockels (10) geht, in der Azimutebene zu V_{i+1} um die Strecke d zu versetzen,

dadurch gekennzeichnet, dass es außerdem die Schritte umfasst, gemäß denen:

- ständig überprüft wird, dass die Gesamtdrehung der beweglichen Platte (20) in Bezug auf die Senkrechte zum feststehenden Sockel (10) null ist, und,
- falls festgestellt wird, dass die Gesamtdrehung der beweglichen Platte (20) in Bezug auf die

- Senkrechte zum feststehenden Sockel (10) nicht mehr null ist, ein Steuerbefehl erzeugt wird, um die Bewegung des Hexapods (100) zu stoppen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Versatz-Steuerungsregel definiert wird, die für den Mittelpunkt OB der Platte in Abhängigkeit von ihrer Orientierung eine eindeutige Position im Raum angibt. 5
 3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Versatz-Steuerungsregel eine stetige geometrische Fläche definiert. 10
 4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Versatzfläche eine Ebene ist. 15
 5. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Versatzfläche ein Kugelabschnitt ist. 20
 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die bewegliche Platte (20) verlagert wird, indem eine Drehung der beweglichen Platte (20) um eine Achse senkrecht zur Ebene, die die Visiervektoren V_i und V_{i+1} enthält, gesteuert wird. 25
 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verändern der Länge der Beine (1, 2, 3, 4, 5, 6) des Hexapods (100) durch die folgenden Schritte festgelegt wird: 30
 - Definieren einer Referenzposition des Hexapods (100), gemäß der alle Beine (1, 2, 3, 4, 5, 6) auf dieselbe Länge L_0 eingestellt sind,
 - Bestimmen der Längenveränderung für jedes Bein (1, 2, 3, 4, 5, 6), damit die bewegliche Platte (20) des Hexapods (100) sich von der Referenzposition in die Visierrichtung V_{i+1} verlagert, und dies durch eine virtuelle Drehung in der Azimutebene α_{i+1} und durch eine virtuelle Translation des Mittelpunkts OB der Platte (20) in Richtung einer Versatzfläche, die durch die Versatz-Steuerungsregel definiert ist,
 - Ableiten einer Gesamtlängenveränderung für jedes Bein (1, 2, 3, 4, 5, 6) daraus, um von der Richtung V_i zur Richtung V_{i+1} zu kommen. 35
 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gesamtbewegung der Orientierung der beweglichen Platte (20) in eine Aneinanderfolge von unitarisch Verlagerungen im Azimut $\Delta\alpha$ und in der Elevation $\Delta\beta$ der beweglichen Platte (20) aufgeteilt wird. 40
 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einstellvorrichtungen in Abhängigkeit von den Längen L_i der Beine (1, 2, 3, 4, 5, 6), die erreicht werden sollen, gesteuert werden, und dadurch, dass diese Berechnung die relativen Winkel zwischen den Elementen berücksichtigt, aus denen die Verbindungen aufgebaut sind, die die Beine (1, 2, 3, 4, 5, 6) mit der Platte (20) und mit dem Sockel (10) verbinden. 45
 10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die relativen Winkel zwischen den Elementen, aus denen die Verbindungen aufgebaut sind, die die Beine (1, 2, 3, 4, 5, 6) mit der Platte (20) und mit dem Sockel (10) verbinden, ausgehend von den berechneten Positionen von Verbindungspunkten zwischen den Beinen (1, 2, 3; 4, 5, 6) und der Platte (20) bestimmt werden, wobei daraus die relativen Drehungen zwischen den Verschiebungseinheiten von Zylindern abgeleitet werden. 50
 11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** jedes Bein (1, 2, 3, 4, 5, 6) des Hexapods (100) einen Zylinder umfasst, der aus zwei Einheiten aufgebaut ist, die sich gegeneinander verschieben, sowie einen Stellantrieb (61), dessen Ausgangsachse (62) eine Schraube (65) drehend antreibt, die eine schraubenförmige Verbindung zwischen den Verschiebungseinheiten bildet, wobei eine zusätzliche Verlängerung jedes Zylinders aufgrund der relativen Drehungen zwischen seinen Verschiebungseinheiten (L_A , L_B) in Abhängigkeit von den geometrischen Eigenschaften der schraubenförmigen Verbindung abgeleitet wird, und dadurch, dass diese zusätzliche Verlängerung berücksichtigt wird, um einen Einstellwert zum Steuern des Stellantriebs (61) festzulegen. 55
 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Winkel, die von den Achsen der Beine (1, 2, 3, 4, 5, 6) und der Normalen zur Ebene des feststehenden Sockels (10) gebildet werden, und die Winkel, die von den Achsen der Beine (1, 2, 3, 4, 5, 6) und der Normalen zur Ebene der beweglichen Platte (20) gebildet werden, jederzeit kleiner als ein maximaler Winkel sind, der zwischen 40 und 80 Grad festgelegt ist.
 13. Vorrichtung zum Verlagern der beweglichen Platte (20) eines Hexapods (100), dessen Beine (1, 2, 3, 4, 5, 6) mit einer Vorrichtung zur Längeneinstellung ausgestattet sind, und dies ausgehend von einer Orientierung V_i , die durch ihre Azimut-Elevation-Koordinaten (α_i , β_i) definiert ist, zu einer Orientierung V_{i+1} , die durch ihre Azimut-Elevation-Koordinaten (α_{i+1} , β_{i+1}) definiert ist, und die Steuerungsmittel umfasst, die dafür eingerichtet sind, die folgenden Schritte auszuführen:

- eine Steuerungsregel zu definieren, gemäß der eine Versatzstrecke d in Abhängigkeit von der Orientierung der Platte (20) definiert wird,
- die Versatzstrecke d zu bestimmen, die der Orientierung V_{i+1} entspricht,
- die Einstellungsrichtungen zu steuern, um die Längen L_1 bis L_6 der Beine (1, 2, 3, 4, 5, 6) zu verändern, um die bewegliche Platte (20) von der Orientierung V_i in die Orientierung V_{i+1} zu verlagern und sie relativ zur Senkrechten zum feststehenden Sockel (10) des Hexapods (100), die durch den Mittelpunkt OA des Sockels (10) geht, in der Azimutebene zu V_{i+1} um die Strecke d zu versetzen,

wobei die Vorrichtung **dadurch gekennzeichnet ist, dass** sie ein Mittel umfasst, um zu überprüfen, dass die Gesamtdrehung der beweglichen Platte (20) in Bezug auf die Senkrechte zum feststehenden Sockel (10) null ist, und dadurch, dass die Steuerungsmittel dafür eingerichtet sind, einen Steuerbefehl zu erzeugen, um die Bewegung des Hexapods zu stoppen, wenn die Gesamtdrehung der beweglichen Platte (20) in Bezug auf die Senkrechte zum feststehenden Sockel (10) nicht mehr null ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** jedes Bein (1, 2, 3, 4, 5, 6) des Hexapods (100) einen Zylinder umfasst, der eine erste und eine zweite Einheit (L_A , L_B) umfasst, die gegeneinander verschiebbar sind, und einen Stellantrieb (61), dessen Ausgangsachse (62) eine Schraube (65) drehend antreibt, die senkrecht zur Achse (62) des Motors (61) angeordnet ist, wobei die Schraube (65) sich in der Längsrichtung der ersten Einheit (L_A) erstreckt und sich in einer Mutter (66) drehen kann, die fest verbunden mit der zweiten Einheit (L_B) montiert ist, wobei die Drehung der Schraube (65) in der Mutter (66) die Translation der zweiten Einheit (L_B) relativ zur ersten Einheit (L_A) antreibt.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerungsmittel dafür eingerichtet sind, eine zusätzliche Verlängerung jedes Zylinders aufgrund der relativen Drehungen zwischen seinen Verschiebungseinheiten (L_A , L_B) in Abhängigkeit von den geometrischen Eigenschaften der schraubenförmigen Verbindung zu bestimmen, und diese zusätzliche Verlängerung zu berücksichtigen, um einen Einstellwert zum Steuern des Stellantriebs (61) festzulegen.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie ein Mittel zum Messen der Position der Achse (62) des Stellantriebs (61) umfasst.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 16,

dadurch gekennzeichnet; dass auf dem feststehenden Sockel (10) Verbindungen gemäß einem ersten Kreis mit Radius RA angeordnet sind und auf der beweglichen Platte (20) Verbindungen gemäß einem zweiten Kreis mit Radius RB angeordnet sind, wobei das Verhältnis RA/RB im Wesentlichen gleich 1,5 ist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbindungen paarweise auf der beweglichen Platte (20) oder auf dem feststehenden Sockel (10) gemäß einem Kreis mit Radius R angeordnet sind, wobei der Abstand zwischen zwei Verbindungen eines selben Paares im Wesentlichen gleich $R/10$ ist.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die maximale Verlängerung eines Beins kleiner oder gleich 2 ist.
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die maximale Verlängerung eines Beins größer oder gleich 1,7 ist.
21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie Folgendes umfasst: ein torsionssteifes Element, das an einem ersten Ende über eine starre Verbindung an der beweglichen Platte (20) und an einem zweiten Ende über eine drehbare Verbindung am feststehenden Sockel (10) befestigt ist, sowie ein Mittel zum Feststellen einer Drehung des zweiten Endes des Elements relativ zum Sockel (20).
22. Vorrichtung nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Mittel zum Feststellen ein Anzeigeelement umfasst, das am zweiten Ende eines Kabels befestigt ist, sowie eine Detektorschaltung, und dadurch, dass wenn das zweite Ende des Kabels relativ zum Sockel (10) feststehend ist, das Anzeigeelement einen Kontakt mit einer Detektorschaltung herstellt, und wenn das zweite Ende des Kabels sich relativ zum Sockel (10) dreht, das Anzeigeelement den Kontakt unterbricht.

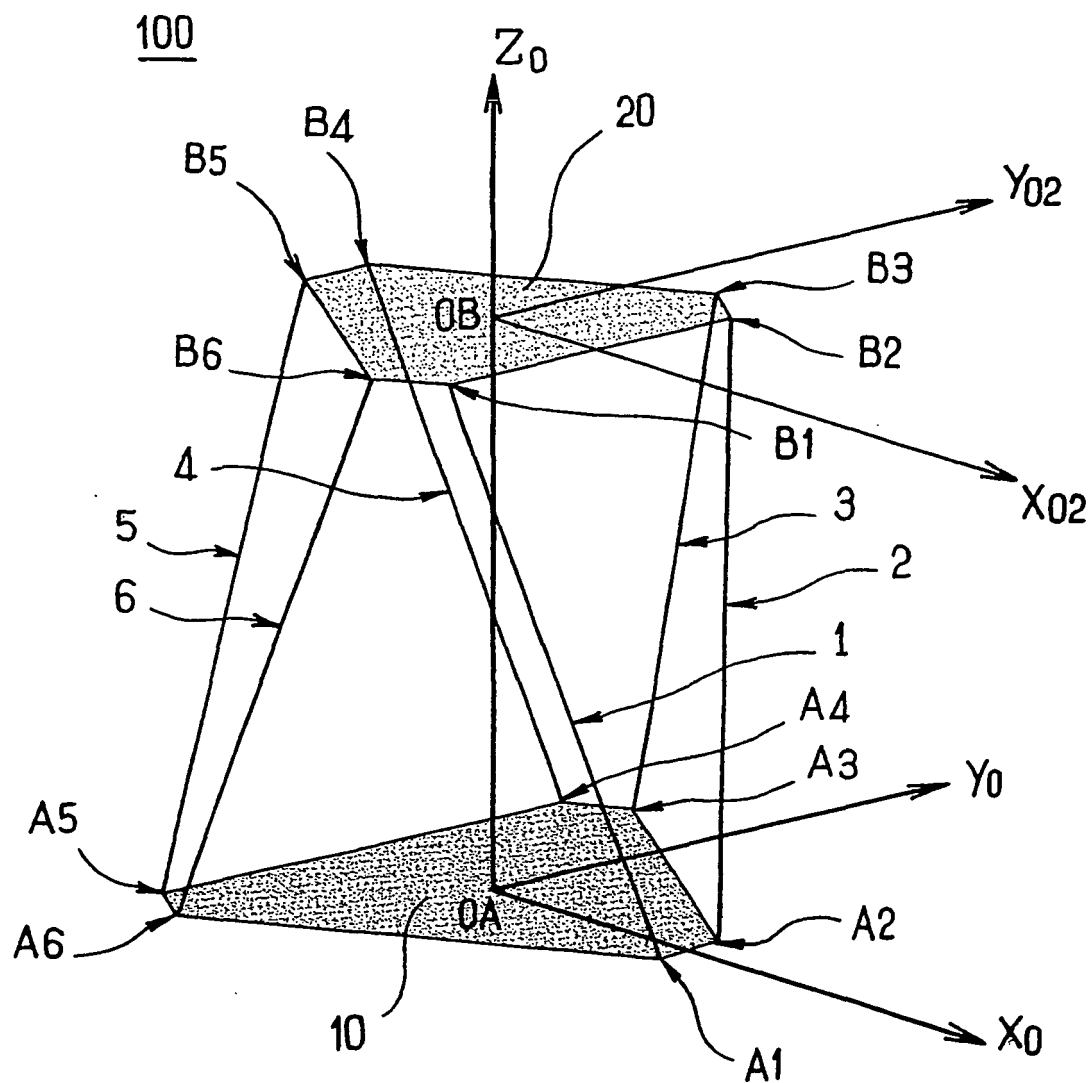
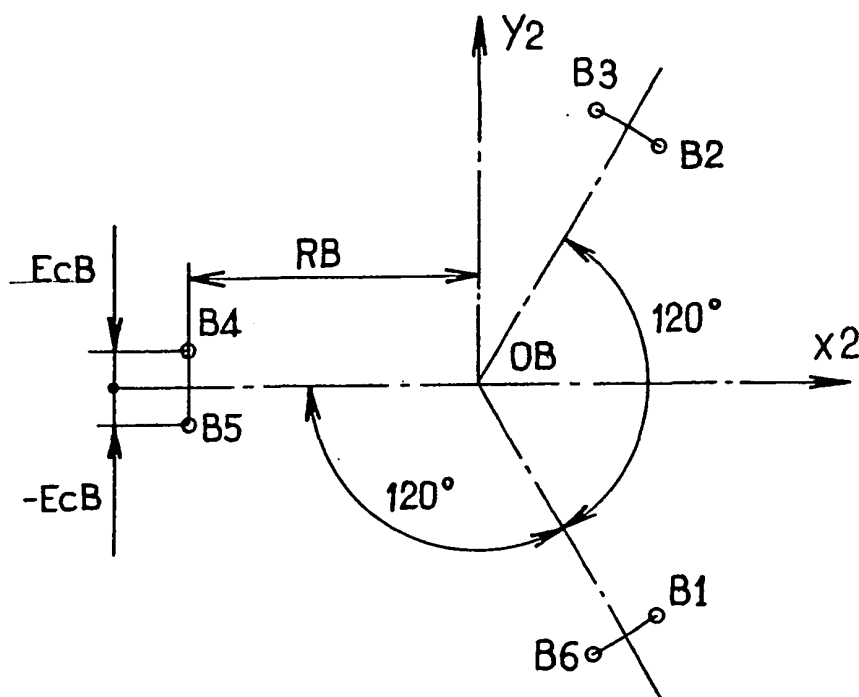
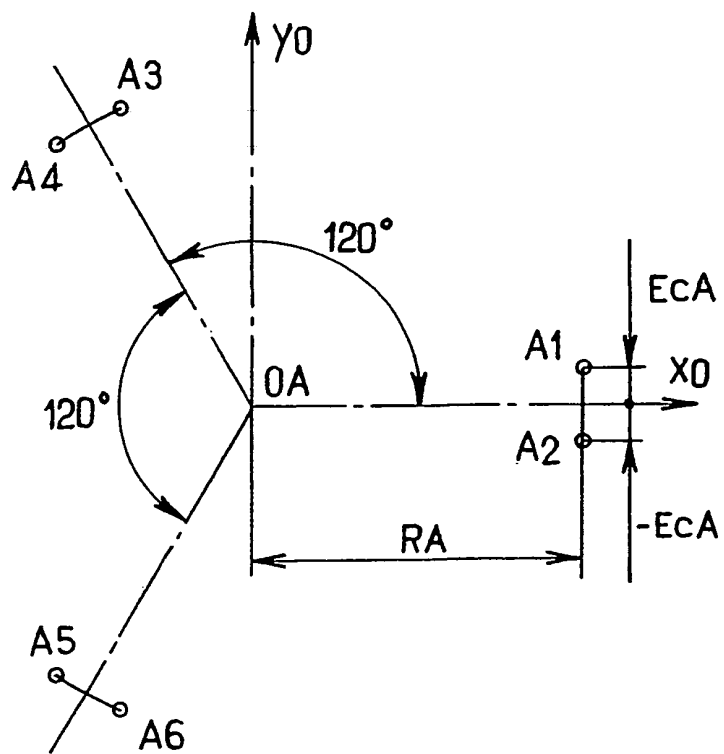


FIG. 1



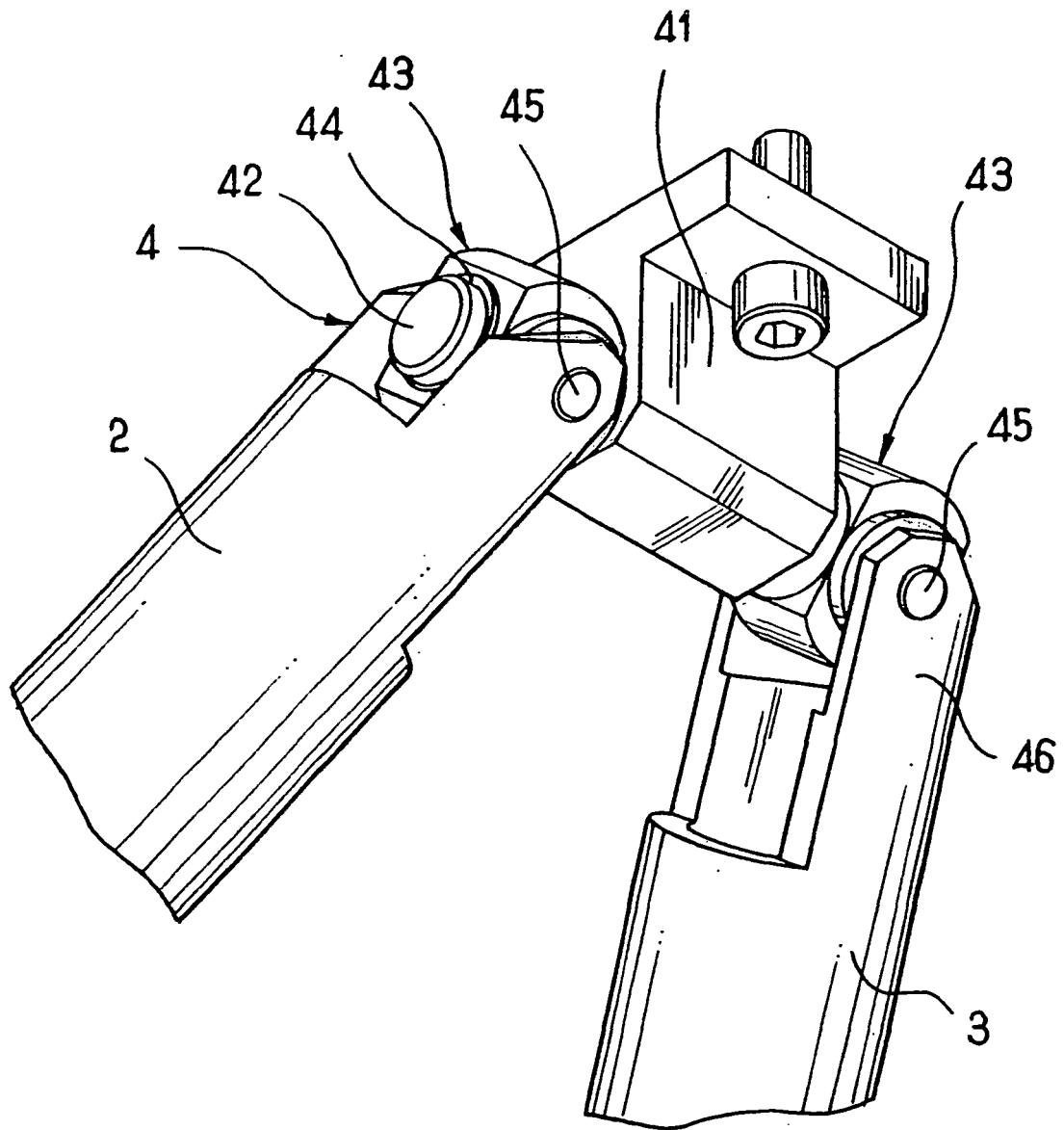


FIG. 4

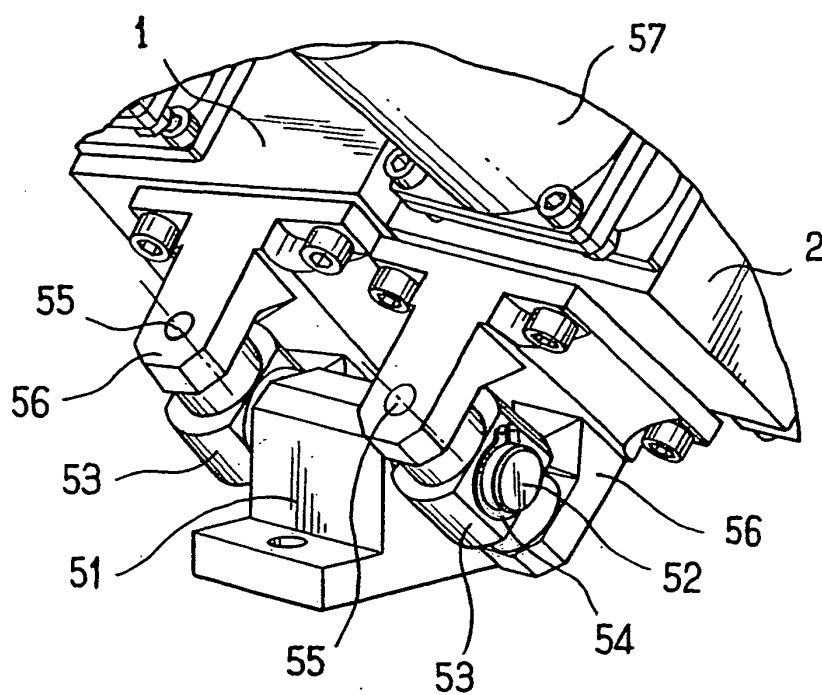


FIG. 5

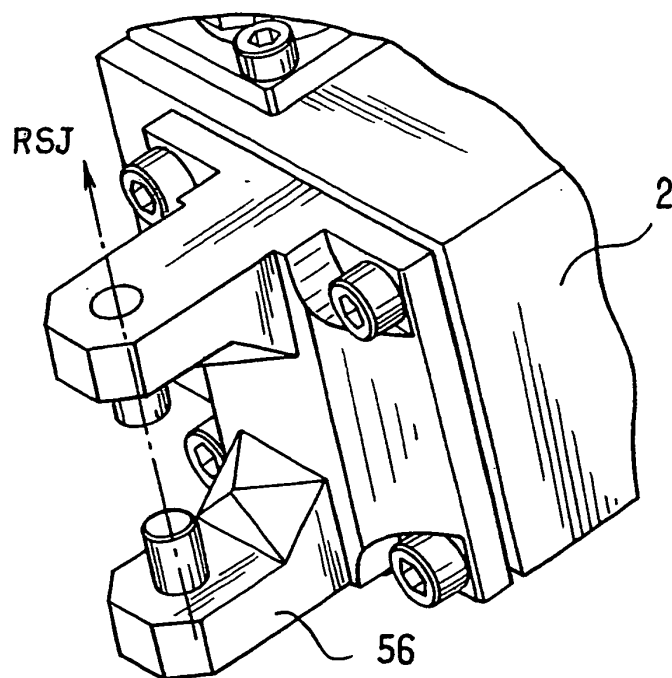


FIG. 6

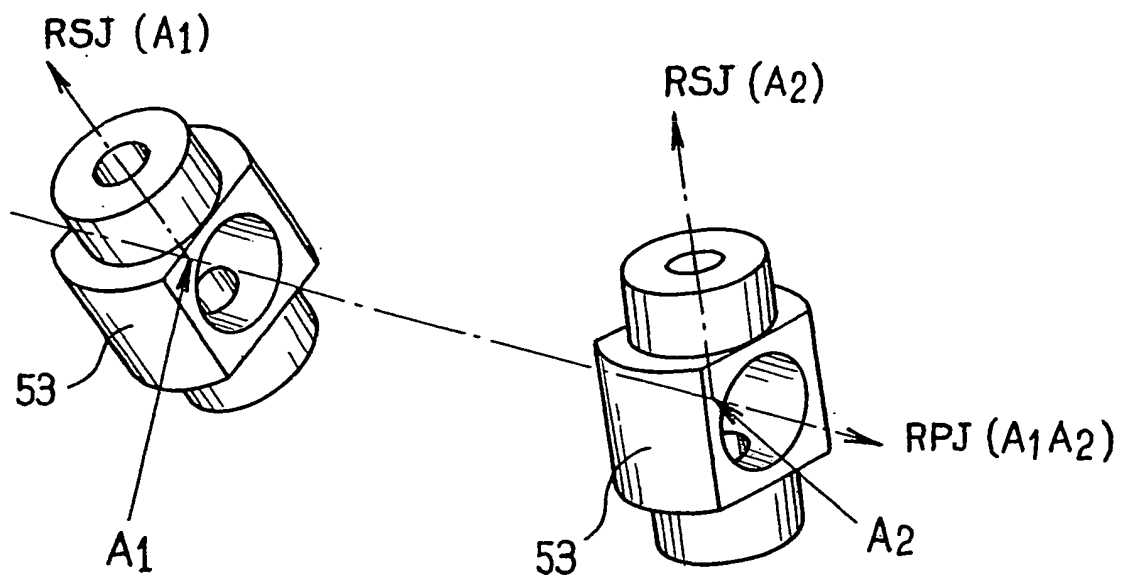


FIG. 7

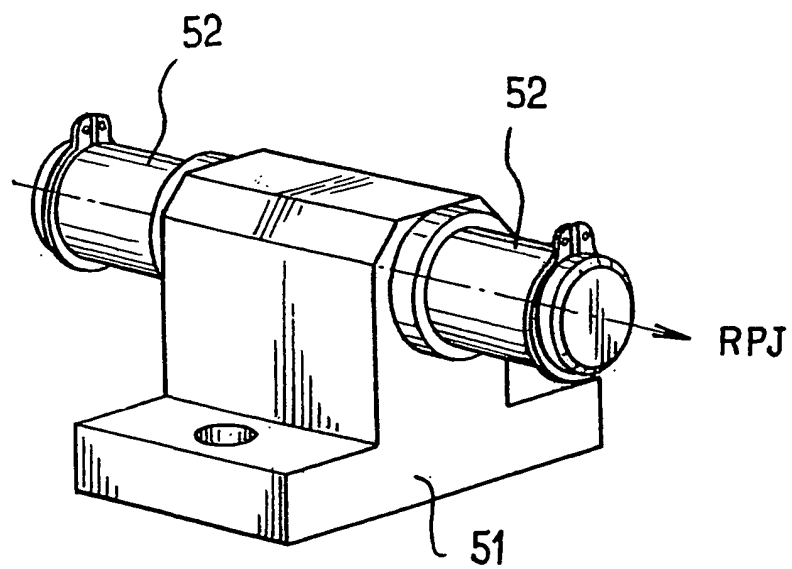


FIG. 8

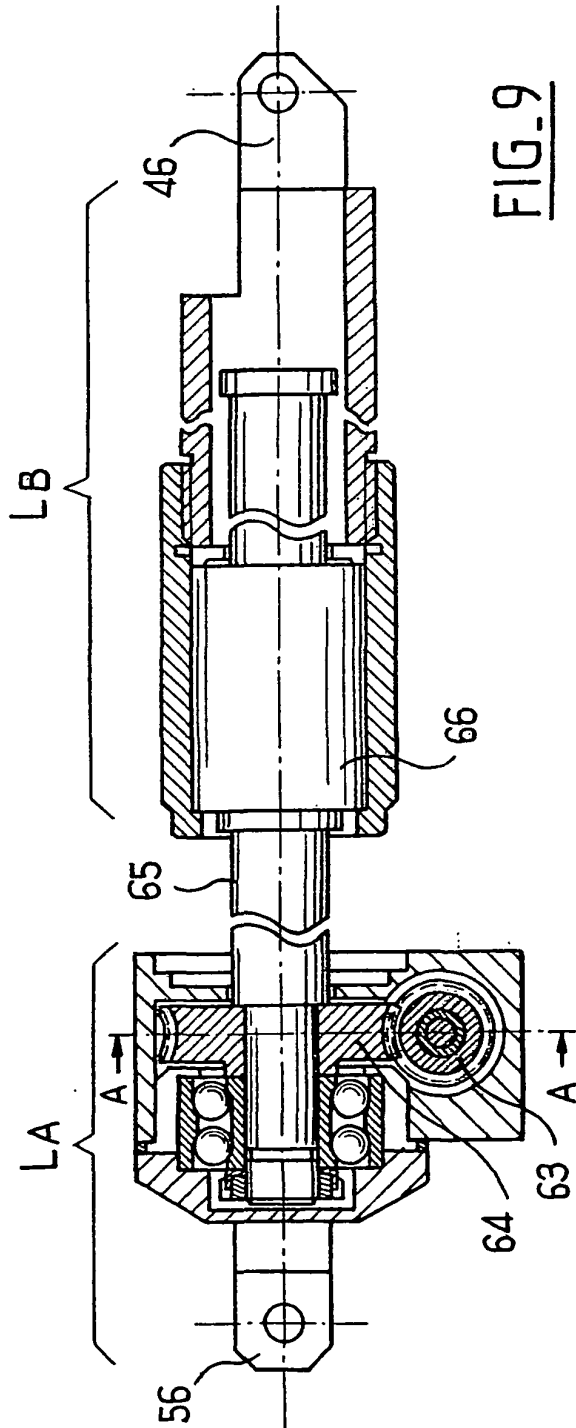


FIG. 9

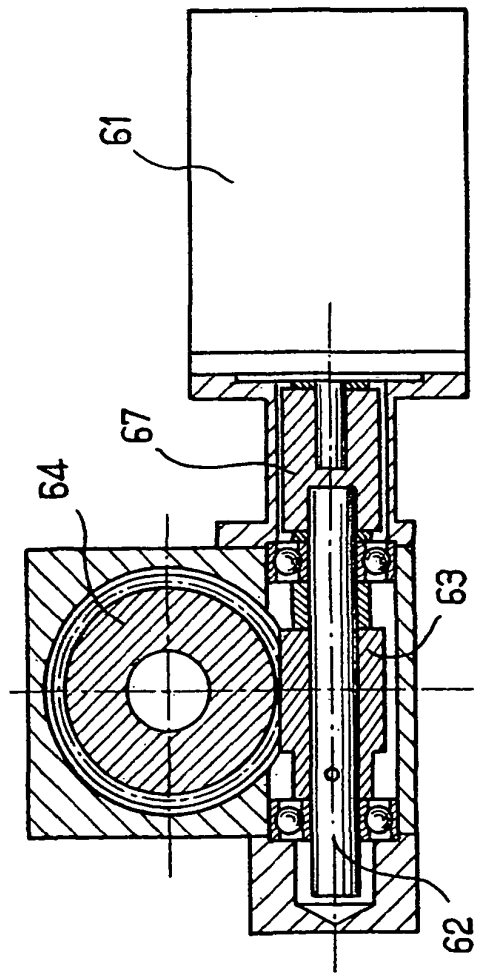
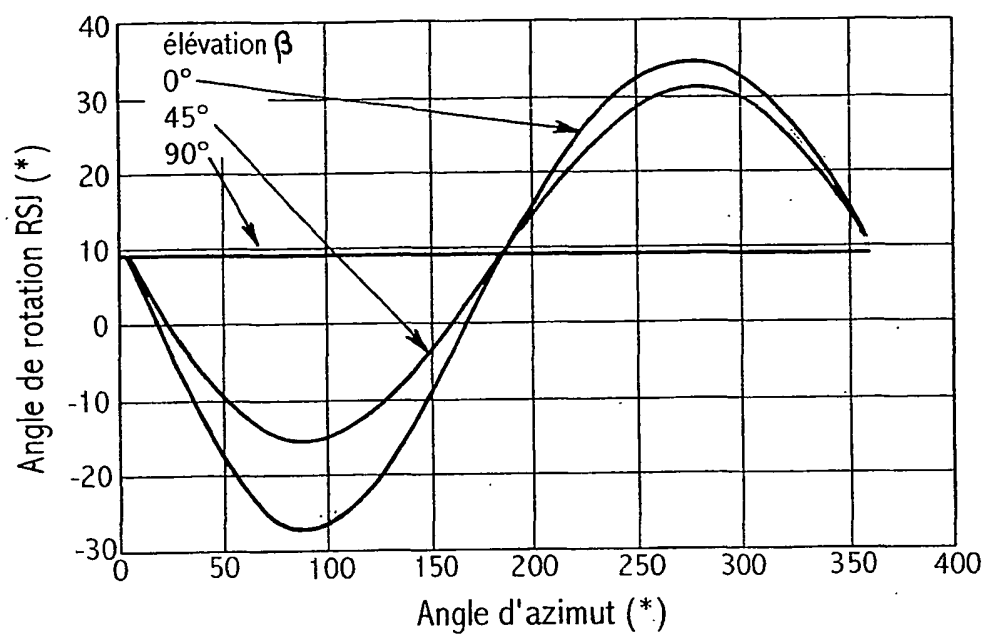
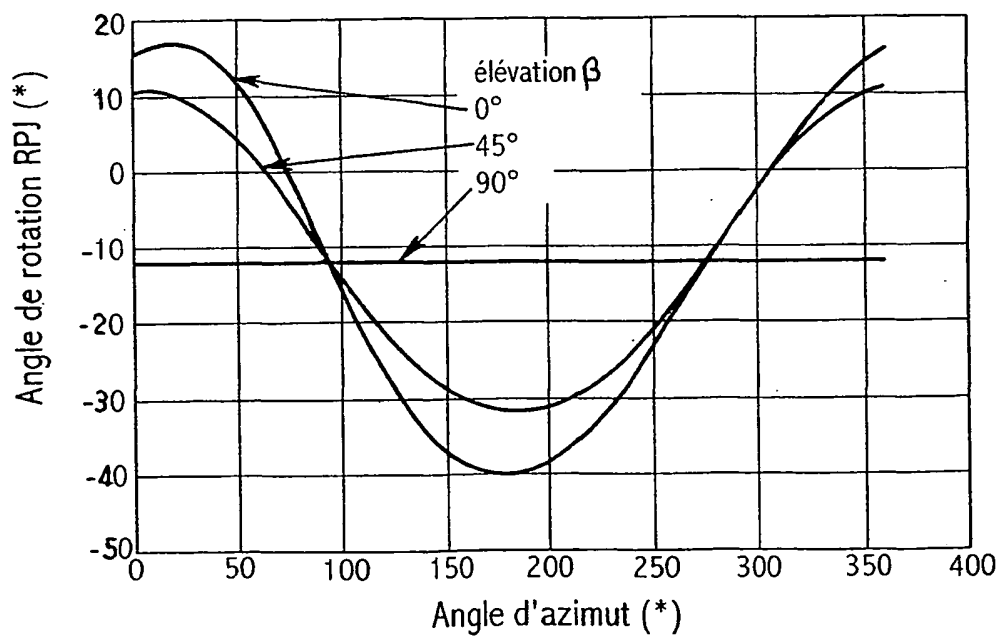


FIG. 9bis

Coupe A-A



FIG_10



FIG_11

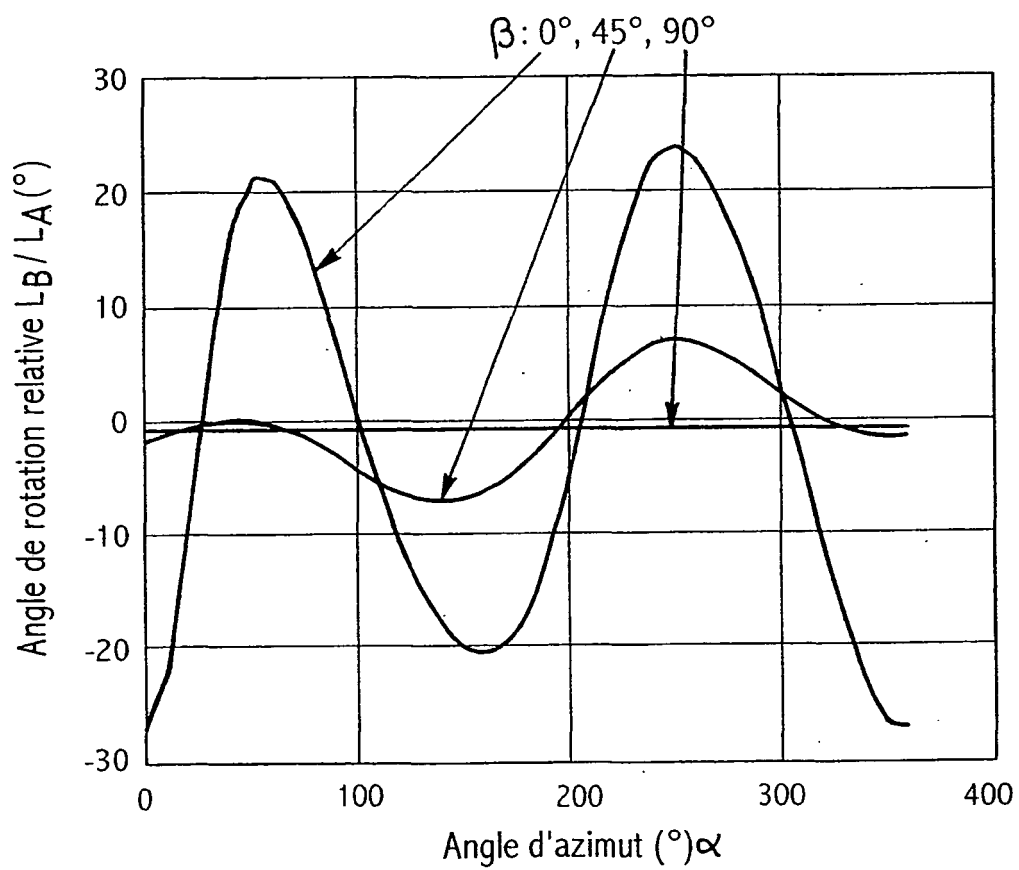
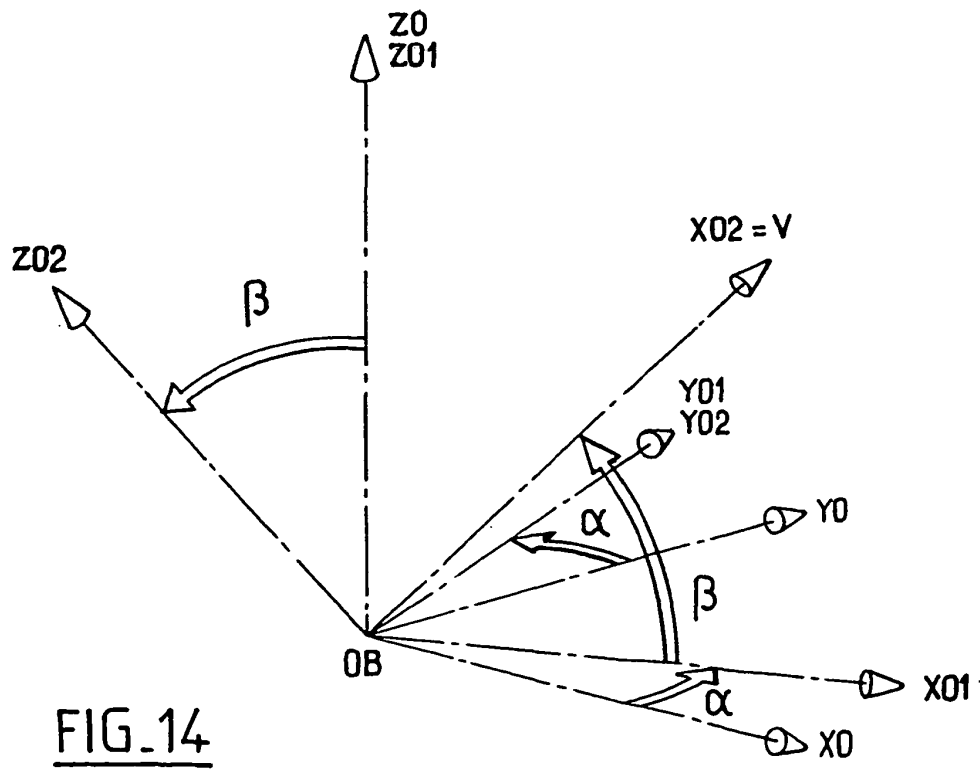
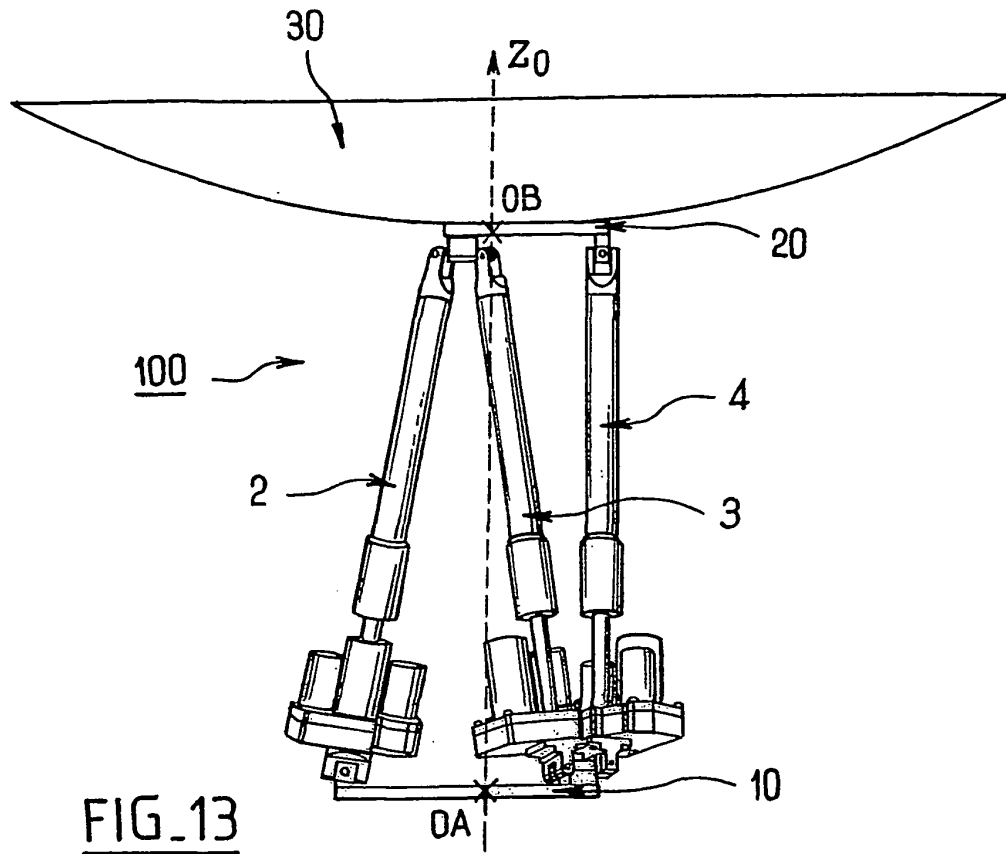


FIG.12



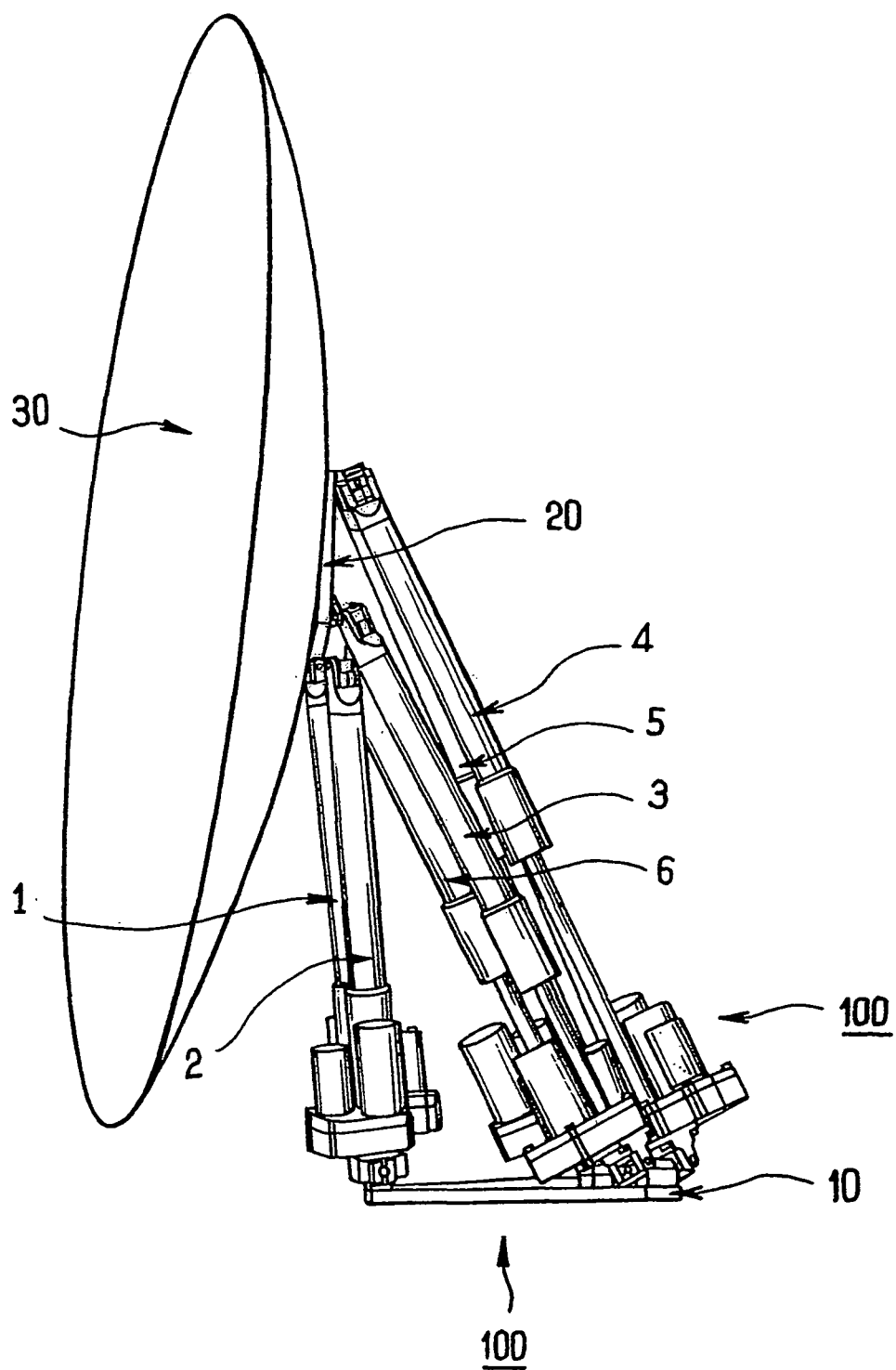


FIG. 15

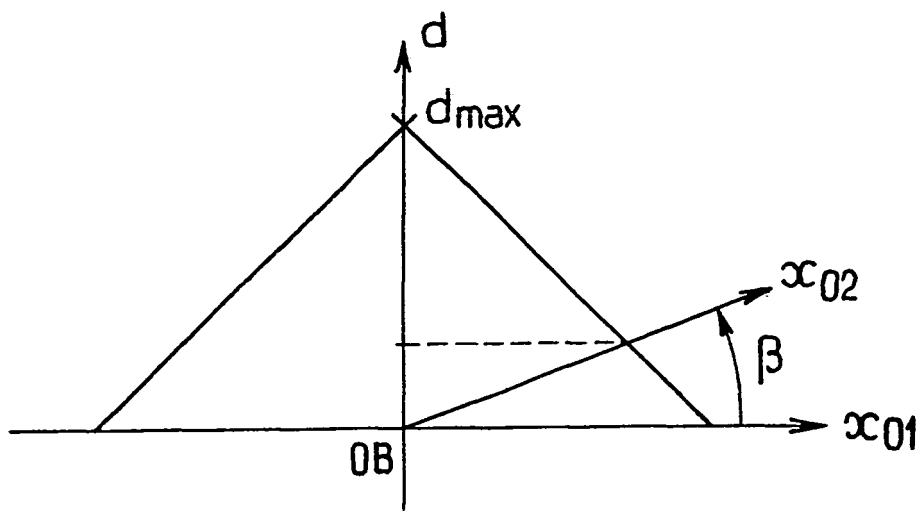


FIG. 16

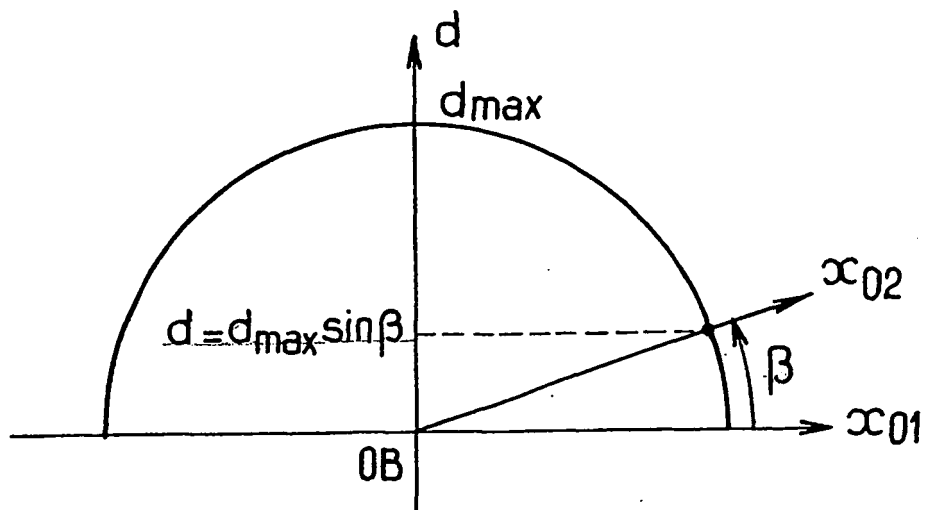


FIG. 17

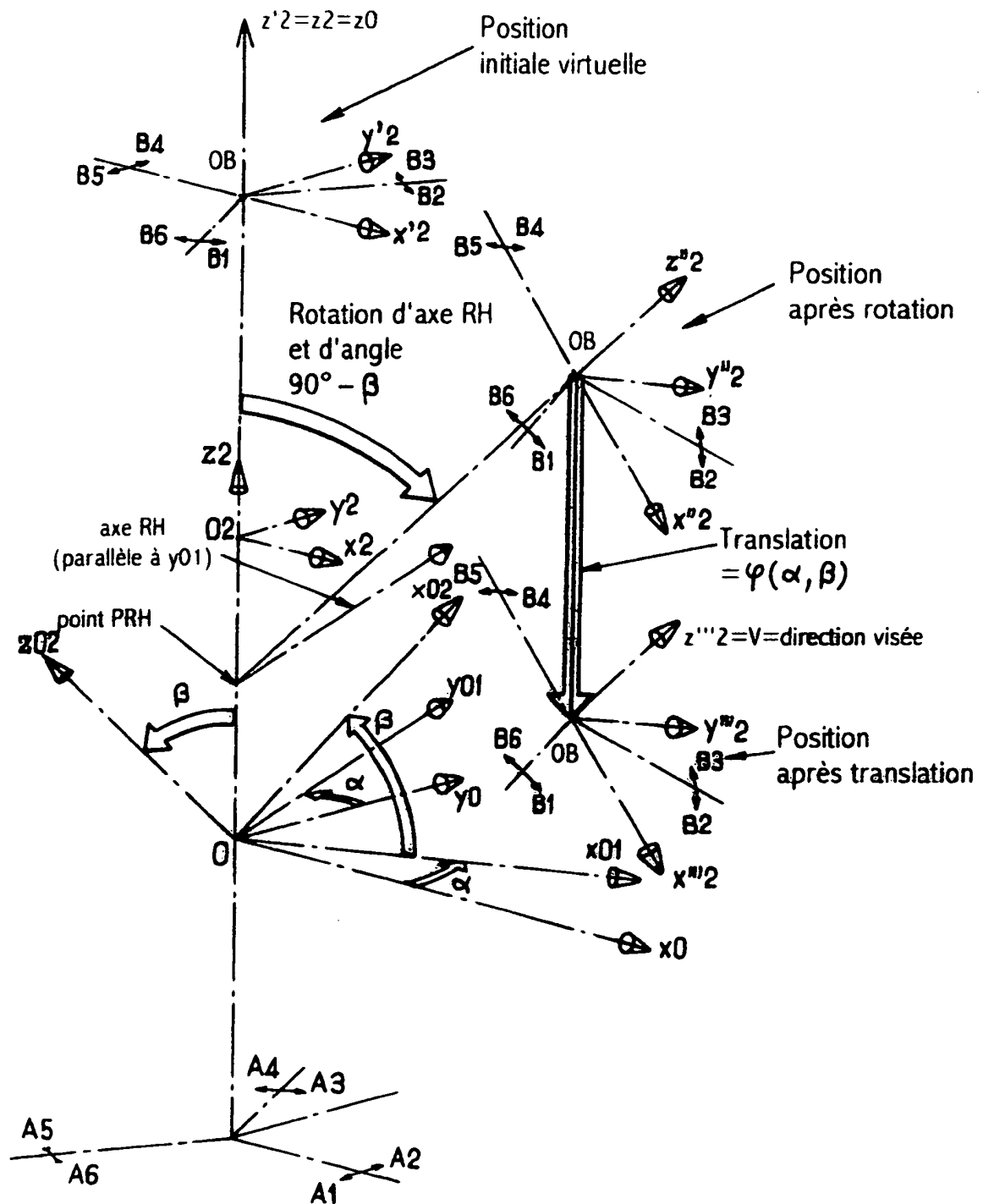
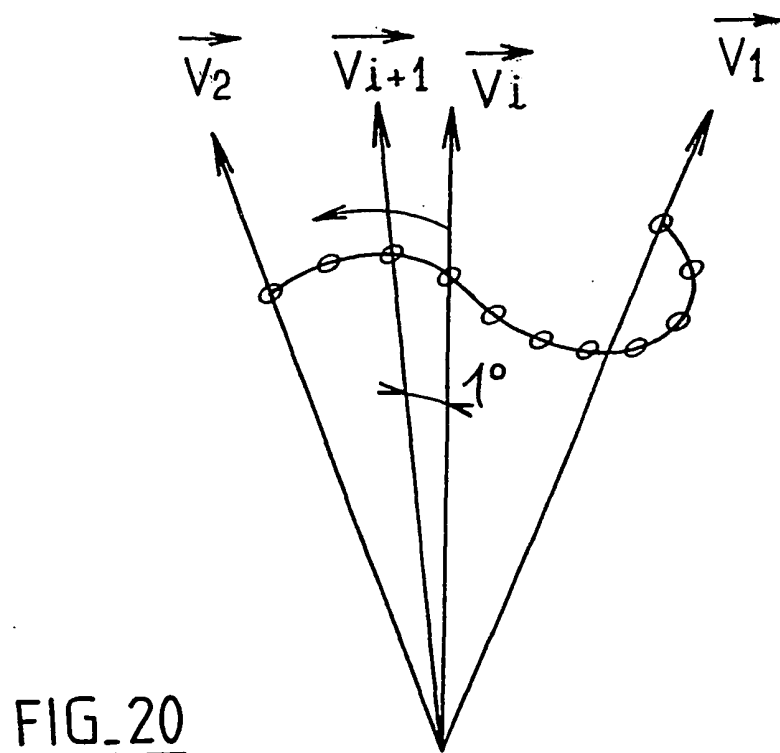
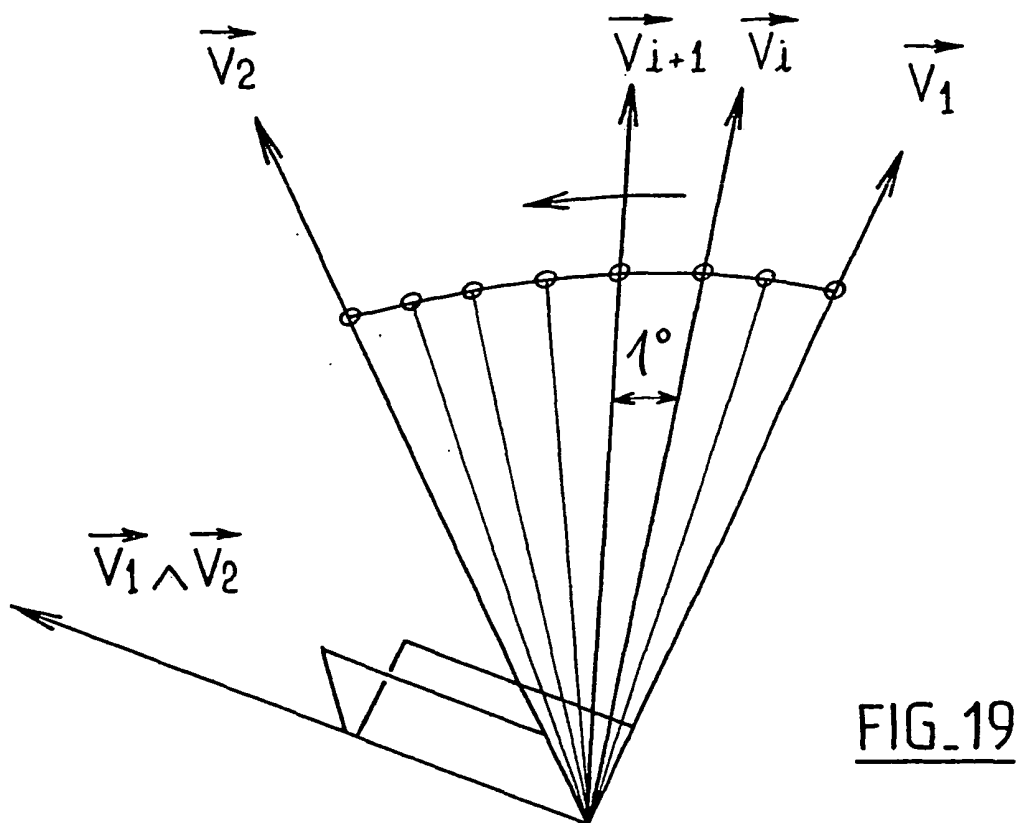


FIG.18



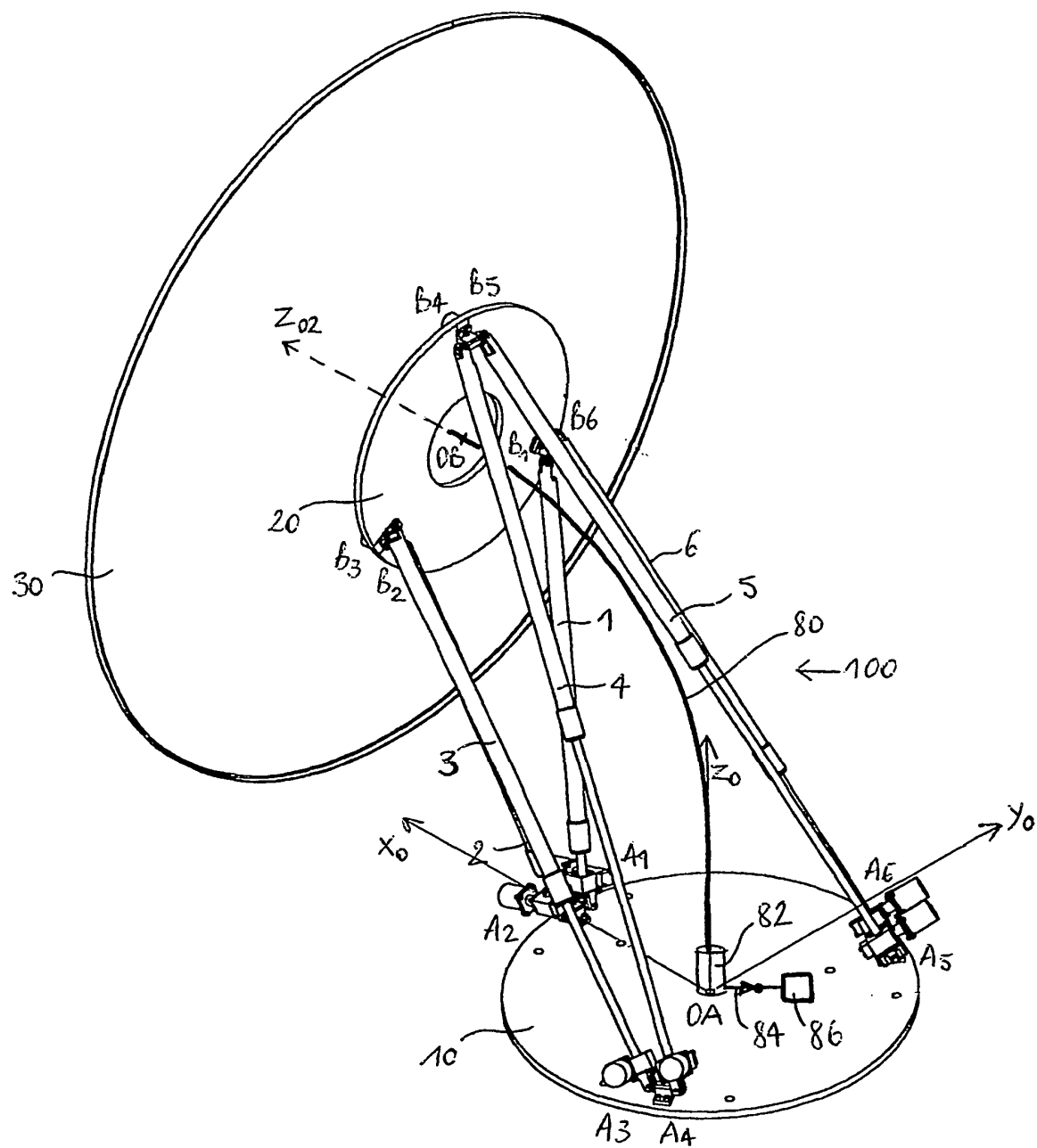


FIG 21

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 0515888 A [0002] [0003]
- EP 0266026 A1 [0007]