

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

N° 80 14189

⑤④ Dispositif pour déterminer à chaque instant la position d'un objet en mouvement.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.³). G 01 S 17/46.

⑫② Date de dépôt..... 26 juin 1980.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 53 du 31-12-1981.

⑦① Déposant : COMPAGNIE INDUSTRIELLE DES LASERS, société anonyme, résidant en France.

⑦② Invention de : Jean Cornillaut.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Christian Lheureux, Sospì,
14-16, rue de la Baume, 75008 Paris.

Dispositif pour déterminer à chaque instant la position d'un objet en mouvement

La présente invention concerne un dispositif pour déterminer à chaque instant la position d'un objet en mouvement.

5 On connaît une méthode qui consiste à observer un objet en mouvement de façon stéréoscopique à l'aide de deux caméras de télévision et à déterminer à chaque instant la position de l'objet par corrélation des signaux de vidéofréquences issus des deux caméras. Mais cette méthode est assez complexe et difficile à mettre en oeuvre
10 avec un nombre d'images très faible, ce qui est nécessaire si l'on veut effectuer la mesure en un temps très court.

Une application particulière d'une autre méthode connue, dite méthode de moiré, est décrite dans l'article "Mesure des déformées de surfaces par projection de franges" (G. Cadoret et al) extrait
15 de la "Revue française de mécanique" n° 71, 1979, pages 11 à 19. Cette méthode consiste à projeter des lignes lumineuses sur l'objet à l'aide d'un émetteur comprenant une grille, à observer ces lignes à travers un récepteur comprenant une grille identique et à traiter les images ainsi obtenues. Cependant le système de traitement est
20 assez complexe si on désire obtenir une mesure en un temps très court. De plus, le système émetteur-récepteur doit avoir une très grande stabilité car tout décalage des grilles introduit des erreurs.

La présente invention a pour but de pallier ces inconvénients et de réaliser un dispositif relativement simple capable de déterminer
25 à chaque instant la position d'un objet en mouvement.

La présente invention a pour objet un dispositif pour déterminer à chaque instant la position d'un objet en mouvement, comportant un générateur lumineux et un récepteur, caractérisé en ce que
- le générateur lumineux est capable d'émettre un faisceau plat,
30 le plan de ce faisceau plat étant mobile autour d'un premier axe de référence situé dans ce plan,
- il comporte des moyens de balayage capable de faire subir au faisceau plat une succession de cycles relaxés, chaque cycle comprenant une rotation autour du premier axe de référence, cette rotation s'effectuant
35 d'un plan de départ à un plan d'arrivée et étant suivi d'une brusque

- 2 -

rotation en sens inverse du plan d'arrivée au plan de départ, le plan de départ et le plan d'arrivée se coupant suivant le premier axe de référence, les cycles s'effectuant à partir d'un instant initial suivant un programme temporel prédéterminé,

- 5 - le récepteur est un récepteur photoélectrique disposé pour recevoir la lumière de points situés dans un plan de réception, ce plan coupant les plans de départ et d'arrivée et passant par un deuxième axe de référence parallèle au premier axe de référence, les premier et deuxième axes de référence étant situés dans un plan de référence, le plan
- 10 de réception étant disposé de façon que son segment d'intersection avec le faisceau plat puisse couper la surface extérieure de l'objet au cours du balayage, cette surface étant alors capable de renvoyer vers le récepteur une impulsion de la lumière émise par le générateur, le récepteur délivrant en retour une impulsion électrique,
- 15 - et qu'il comporte
- . une horloge capable de mesurer l'intervalle de temps compris entre l'instant initial et l'instant de délivrance du signal électrique, cet intervalle de temps étant représentatif de l'angle entre le plan mobile et le plan de référence,
 - 20 . des moyens de calcul capables de déterminer la position du segment par rapport aux premier et deuxième axes de référence, à partir d'une part de la distance entre les premier et deuxième axe de référence et d'autre part des angles que font respectivement le plan mobile et le plan de réception avec le plan de référence
 - 25 . et des moyens pour déterminer la position des points où le segment d'intersection coupe la surface extérieure de l'objet.

Des formes particulières d'exécution de l'objet de la présente invention sont décrites ci-dessous, à titre d'exemple, en référence aux dessins annexés dans lesquels

- 30 - la figure 1 est un schéma d'un premier mode de réalisation du dispositif selon l'invention
- la figure 2 est un schéma partiel du dispositif illustré par la figure 1, montrant notamment une coupe du système de réception suivant un plan X_1X_2 perpendiculaire au plan de la figure 1,
 - 35 - les figures 3 et 4 sont des diagrammes illustrant le fonctionnement du dispositif représenté sur les figures 1 et 2,

- 3 -

- la figure 5 représente schématiquement une partie d'un deuxième mode de réalisation du dispositif selon l'invention,

- la figure 6 est un diagramme illustrant le fonctionnement du dispositif représenté sur la figure 5

5 - et la figure 7 représente schématiquement une partie d'un troisième mode de réalisation du dispositif selon l'invention.

Dans le plan de la figure 1 est disposé un générateur laser 1 qui peut être par exemple du type hélium-néon. Une lentille cylindrique 2 est placée à la sortie du générateur 1 pour transformer le faisceau cylindrique émis par ce générateur en un faisceau plat 3 suivant un plan perpendiculaire au plan de la figure. Un miroir plan 4, également perpendiculaire au plan de la figure, réfléchit le faisceau plat 3 suivant un autre faisceau plat 5 dirigé vers un objet cylindrique 6. Cet objet se déplace le long de son axe dans une direction 7, par exemple parallèle au faisceau 3. Le miroir 4 est monté en rotation autour d'un axe de référence 8 perpendiculaire au plan de la figure. Cette rotation est commandée par un moteur 9 alimenté par un circuit d'alimentation 10.

Un système optique tel qu'une lentille convergente 12 est centré sur un axe 11 disposé dans le plan de la figure 1. Un récepteur photo-électrique 13 est placé dans le plan focal de la lentille 12. Le plan de réception passant par l'axe 11 et perpendiculaire au plan de la figure passe par un deuxième axe de référence 14 parallèle à l'axe 8. La sortie électrique du récepteur 13 est reliée à un registre à décalage 15 connecté à un circuit de commande 16. La sortie du registre 15 est connectée d'une part à une horloge 17 reliée au circuit d'alimentation 10 et d'autre part à une autre horloge 18 reliée au circuit 16. La sortie de l'horloge 17 est connectée à un circuit de calcul 27 et la sortie de l'horloge 18 est connectée à un autre circuit de calcul 28. Les circuits 27 et 28 sont reliés entre eux.

Sur la figure 2 est représentée une coupe du récepteur 13, effectuée suivant un plan X_1X_2 perpendiculaire au plan de la figure 1. On voit que le récepteur 13 est constitué par une rangée de photodétecteurs formant une barrette parallèle à l'axe 14, chacun des photodétecteurs de la barrette étant relié au registre à décalage 15. On a également représenté sur la figure 2 la trace circulaire de l'objet 6 dans le plan X_1X_2 .

- 4 -

Le dispositif représenté sur les figures 1 et 2 fonctionne de la manière suivante.

Le moteur 9 entraîne le miroir 4 alternativement dans un sens et dans l'autre de façon à faire subir au faisceau plat 5 une succession 5 de cycles relaxés. Chaque cycle comprend une rotation du faisceau 5 autour de l'axe 8 dans un sens prédéterminé 21, d'un plan de départ 19 à un plan d'arrivée 20, cette rotation étant suivie d'une brusque rotation inverse dans le sens du plan 20 au plan 19. Le plan mobile du faisceau plat 5, le plan de départ 19 et le plan d'arrivée 20 10 se coupent suivant l'axe 8 et les plans 19 et 20 coupent le plan de réception 11.

La figure 3 représente, en fonction du temps t , la variation de l'angle A que fait, au cours d'un cycle, le plan du faisceau 5 avec le plan de référence 22 passant par les deux axes de référence 8 15 et 14. La vitesse de balayage du faisceau 5 est grande par rapport à la vitesse de déplacement de l'objet 6 qui peut être considéré comme fixe pendant un cycle. Le circuit 10 commande la rotation du moteur 9 de façon à obtenir une succession de cycles de rotations suivant un programme prédéterminé.

20 Au cours du balayage du faisceau 5, le récepteur 13 ne reçoit de la lumière du faisceau 5 qu'au moment où elle est diffusée par la surface de l'objet 6. Or le champ de réception du récepteur 13 est contenu en pratique dans le plan de réception coupant perpendiculairement en 11 le plan de la figure 1. Le plan mobile 5 coupe le plan 25 de réception suivant un segment tel que 23 coupant lui-même l'objet 6 en deux points B_1 et B_2 . Au moment du passage en 23 du faisceau 5, la surface de l'objet renvoie vers le récepteur 13 deux impulsions lumineuses provenant respectivement des points B_1 et B_2 . La lentille 12 forme l'image des points lumineux issus de B_1 et B_2 sur les photodé- 30 tecteurs 24 et 25 du récepteur 13.

Le circuit 16 qui commande le registre à décalage 15 permet d'effectuer, suivant un autre programme prédéterminé, une séquence d'explorations de la rangée des photodétecteurs du récepteur 13. Si l'un (ou plusieurs, tels que 24 et 25) de ces photodétecteurs 35 a reçu une impulsion lumineuse pendant le temps qui sépare deux explo-

- 5 -

rations successives, la charge de ce photodétecteur est transférée vers la sortie 26 (figure 2) du registre 15. La vitesse de ces explorations est nettement plus rapide que celle du balayage du faisceau mobile 5, de sorte qu'on peut considérer que le faisceau 5 est fixe pendant une exploration de la rangée de photodiodes.

Le comptage de l'horloge 17 commence au moment où elle reçoit un signal de début des cycles de balayage, ce signal provenant du circuit 10. Le comptage se termine au moment où l'horloge 17 reçoit le signal électrique sortant du registre 15. L'intervalle de temps mesuré par l'horloge 17 est donc représentatif de l'angle A que fait le plan mobile 5 avec le plan de référence 22, au moment où est émis le signal électrique sortant du registre 15. Le circuit de calcul 27 permet de déterminer, à partir de la distance connue entre les axes 8 et 14 et de l'angle A mesuré, la distance entre l'axe de référence 14 et le segment 23.

Dans le cas de la figure 1 où l'angle entre l'axe 11 et le plan de référence 22 est égal à 90° , cette distance suffit à déterminer la position du segment 23 par rapport aux axes de référence 8 et 14. Dans le cas plus général où cet angle n'est pas droit, le circuit 27 permet de résoudre le triangle 8-14-23 (figure 1) et délivre des signaux représentatifs de la position du segment 23 par rapport aux axes de référence 8 et 14 du dispositif.

Le comptage de l'horloge 18 commence au moment où elle reçoit un signal de début d'exploration, ce signal provenant du circuit 16. Ce comptage se termine au moment où l'horloge 18 reçoit le signal électrique sortant du registre 15. L'intervalle de temps mesuré par l'horloge 18 est donc représentatif de la distance d entre le photodétecteur par lequel l'exploration a commencé et le photodétecteur tel que 24 ou 25 qui a reçu une impulsion lumineuse. Mais la position des points tels que B_1 et B_2 sur le segment 23 dépend non seulement de la distance d, mais aussi de la distance entre le segment 23 et le plan de référence 22. Le circuit de calcul 28, dont les signaux de sortie sont représentatifs de la position des points B_1 et B_2 sur le segment 23, reçoit donc non seulement le signal de sortie de l'horloge 18 mais aussi celui du circuit 27.

- 6 -

Le diagramme de la figure 4 représente les signaux S des photo-détecteurs en fonction du temps t. L'échelle des temps de ce diagramme est identique à celle du diagramme de la figure 3, de façon à montrer sur la figure 4 l'ensemble des signaux S délivrés au cours du cycle
5 de balayage illustré sur la figure 3.

Une exploration complète des photodétecteurs est représentée sur la figure 4 par un rectangle tel que 29. On voit qu'au début du balayage, le segment 23 ne coupe pas la surface de l'objet, de sorte qu'aucune raie signalant la présence d'un photodétecteur illuminé
10 n'est visible sur les rectangles tels que 29 correspondant aux deux premières explorations. Une raie 30 est visible sur le rectangle 31 indiquant que le segment 23 est tangent à l'objet 6 au cours de la troisième exploration. Sur chacun des rectangles suivants 32, 33, 34 et 35 apparaissent deux raies dont l'écartement croît avec le
15 temps. Ces raies correspondent aux points tels que B_1 et B_2 où le segment 23 coupe la surface de l'objet 6. Il est évident que l'appareil ne peut pas détecter les points d'intersection du segment 23 avec l'objet lorsqu'ils sont cachés par l'objet lui-même.

Comme il a été dit plus haut, la position temporelle des raies
20 détectées au cours de chaque exploration est représentative de la distance entre le photodétecteur correspondant au début de l'exploration et le photodétecteur illuminé.

L'appareil décrit ci-dessus et illustré par les figures 1 et 2 délivre, à la sortie des circuits de calcul 27 et 28, des signaux
25 représentatifs de la position de plusieurs points de l'objet en mouvement, ces points étant disposés dans le plan X_1X_2 de la figure 1.

Le dispositif illustré sur la figure 5 permet de mesurer la position d'autres points disposés dans des plans parallèles au plan
 X_1X_2 .

30 Ce dispositif comporte tous les éléments du dispositif illustré par la figure 1, ces éléments étant désignés par les mêmes références. Il comporte en outre un miroir plan 36 passant par l'axe 14 et capable de tourner autour de cet axe à l'aide d'un moteur 37, et un miroir plan 38 passant par un axe 39 parallèle à l'axe 8 et capable de tourner
35 autour de l'axe 39 à l'aide d'un moteur 40. Les moteurs 37 et 40 sont connectés respectivement à la sortie de deux circuits d'ali-

mentation 41 et 42 reliés à un circuit de synchronisation 43. Pour simplifier la figure 5, on n'a pas représenté les circuits électroniques reliés au moteur 9 et au récepteur 13 qui sont identiques à ceux montrés sur la figure 1.

5 Grâce au circuit 43, on fait subir au plan de réflexion 44 et au plan 45 du faisceau plat des rotations synchronisées respectivement dans le sens des flèches 46 et 47, de façon à déplacer parallèlement à lui même le segment d'intersection 48, par exemple dans le sens de la flèche 49.

10 On peut par exemple faire subir au miroir 36 une rotation continue autour de l'axe 14 et faire tourner le miroir 38 d'un petit angle à intervalle de temps réguliers. La figure 6 donne ainsi la loi de variation en dents de scie de l'angle C des plans 44 et 45 en fonction du temps t.

15 Le dispositif représenté sur la figure 5 permet de déterminer la position de divers points de l'objet situés sur une surface définie par une pluralité de lignes parallèles correspondant à diverses positions de la droite d'intersection.

A titre d'exemple, on peut mesurer, avec une précision de 1 mm, 20 la position de 4000 points situés sur un objet placé à une distance du dispositif comprise entre 300 et 500 mm. On utilise pour cela une barrette de 64 photodiodes explorée à une fréquence d'horloge de 10 MHz. Le temps d'exploration de la barrette est de $64 \cdot 10^{-7}$ s. Il suffit de prévoir 200 explorations par balayage laser dont la 25 durée est alors de

$$200 \times 64 \times 10^{-7} = 1,28 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

On forme 64 lignes parallèles à l'aide des miroirs auxiliaires 36 et 38, ce qui conduit à un temps de mesure total de :

$$64 \times 1,28 \cdot 10^{-3} = 0,08 \text{ seconde}$$

30 Le dispositif représenté sur la figure 5 permet aussi de suivre le déplacement de l'objet entre deux points de sa trajectoire. Il suffit pour cela de commander la rotation des miroirs 36 et 38 de façon à faire subir au segment d'intersection 48 un déplacement synchronisé avec celui de l'objet.

35 On peut également suivre l'objet en disposant le dispositif illustré par la figure 1 ou celui illustré par la figure 5 sur un chariot mobile le long d'un rail parallèle à la trajectoire de l'objet, et en déplaçant le chariot à une vitesse comparable à celle de l'objet.

- 8 -

Les signaux de sortie des dispositifs représentés sur les figures 1 ou 5 peuvent être utilisés par exemple pour commander un système de guidage d'objets en cours de fabrication, déplacés sur un tapis roulant entre les différents postes de travail d'une usine.

5 Bien entendu l'invention n'est nullement limitée aux modes de réalisation décrits qui n'ont été donnés qu'à titre d'exemple. En particulier on peut, sans sortir du cadre de l'invention, remplacer certains moyens techniques par des moyens équivalents.

10 C'est ainsi que pour réaliser le balayage du faisceau plat, on peut utiliser, comme représenté sur la figure 7, une pluralité de lasers à semi-conducteur 50, 51, 52, 53, 54, 55 et 56 disposés en faisceau dans un même plan, une lentille cylindrique telle que 58 étant disposée à la sortie de chaque laser. Les axes d'émission tels que 59 des différents lasers coupent perpendiculairement l'axe de 15 référence 8. Un dispositif électronique 57 permet de commander l'émission successive des différents lasers. Cette disposition permet de supprimer, dans le dispositif représenté sur la figure 1, le miroir oscillant 4 et le moteur 9, le système 57 remplaçant le circuit 10.

20 On peut aussi remplacer la barrette de photodétecteurs par un détecteur unique en utilisant comme générateur lumineux une matrice d'émetteurs laser à semi-conducteur. Pour cela, en se rapportant à la figure 7, on dispose une pluralité de lasers dans des plans d'émission tel que 60, ces plans passant par l'axe 8 et par les différents lasers 50 à 56, les axes d'émission de ces lasers étant sensiblement 25 parallèles entre eux dans un même plan d'émission. Ces plans d'émission correspondent ainsi à différentes positions du faisceau plat du dispositif illustré par la figure 1, les lentilles cylindriques étant bien entendu supprimées. Le dispositif comporte en outre des moyens pour commander, dans chaque plan d'émission, plusieurs cycles successifs 30 d'émission des différents émetteurs laser de ce plan, ainsi qu'une horloge pour mesurer l'intervalle de temps compris entre le début du cycle et l'instant où le récepteur délivre une impulsion électrique, cet intervalle de temps étant représentatif de la position, sur le segment, des points d'intersection du segment avec la surface extérieure 35 de l'objet. De plus, le dispositif comporte des moyens pour commander

- 9 -

successivement des cycles d'émission dans les différents plans d'émission,
de façon à réaliser le balayage du faisceau plat.

- 10 -

REVENDEICATIONS

1/ Dispositif pour déterminer à chaque instant la position d'un objet en mouvement, comportant un générateur lumineux et un récepteur, caractérisé en ce que

- 5 - le générateur lumineux est capable d'émettre un faisceau plat, le plan de ce faisceau plat étant mobile autour d'un premier axe de référence situé dans ce plan,
- il comporte des moyens de balayage capable de faire subir au faisceau plat une succession de cycles relaxés, chaque cycle comprenant une
- 10 rotation autour du premier axe de référence, cette rotation s'effectuant d'un plan de départ à un plan d'arrivée et étant suivi d'une brusque rotation en sens inverse du plan d'arrivée au plan de départ, le plan de départ et le plan d'arrivée se coupant suivant le premier axe de référence, les cycles s'effectuant à partir d'un instant initial
- 15 suivant un programme temporel prédéterminé,
- le récepteur est un récepteur photoélectrique disposé pour recevoir la lumière de points situés dans un plan de réception, ce plan coupant les plans de départ et d'arrivée et passant par un deuxième axe de
- 20 référence parallèle au premier axe de référence, les premier et deuxième axes de référence étant situés dans un plan de référence, le plan de réception étant disposé de façon que son segment d'intersection avec le faisceau plat puisse couper la surface extérieure de l'objet au cours du balayage, cette surface étant alors capable de renvoyer vers le récepteur une impulsion de la lumière émise par le générateur,
- 25 le récepteur délivrant en retour une impulsion électrique,
- et qu'il comporte
- . une horloge capable de mesurer l'intervalle de temps compris entre l'instant initial et l'instant de délivrance du signal électrique, cet intervalle de temps étant représentatif de l'angle entre le plan
- 30 mobile et le plan de référence,
- . des moyens de calcul capables de déterminer la position du segment par rapport aux premier et deuxième axes de référence, à partir d'une part de la distance entre les premier et deuxième axe de référence et d'autre part des angles que font respectivement le plan mobile
- 35 et le plan de réception avec le plan de référence

- 11 -

. et des moyens pour déterminer la position des points où le segment d'intersection coupe la surface extérieure de l'objet.

2/ Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le récepteur comporte un système optique capable de former dans son plan focal l'image des impulsions lumineuses apparaissant sur les segments d'intersection, et une rangée de photodétecteurs disposés dans le plan focal pour recevoir ces images, et que lesdits moyens pour déterminer la position des points où le segment d'intersection coupe la surface extérieure de l'objet comportent un registre à décalage relié aux photodétecteurs pour effectuer, suivant un autre programme prédéterminé, une séquence d'explorations de la rangée de photodétecteurs au cours de chaque balayage et une deuxième horloge pour déterminer l'intervalle de temps compris entre le début de chaque exploration et l'instant de cette exploration où un photodétecteur ayant reçu une impulsion lumineuse et détecté, cet intervalle étant représentatif de la position, sur le segment, des points où ce segment coupe la surface extérieure de l'objet.

3/ Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que le générateur comporte un émetteur laser et une lentille cylindrique disposée à la sortie de l'émetteur laser et que lesdits moyens de balayage comportent d'une part un premier réflecteur monté en rotation autour du premier axe de référence, ce premier réflecteur recevant le faisceau sortant de la lentille cylindrique, et d'autre part des moyens pour entraîner en rotation le premier réflecteur autour du premier axe de référence.

4/ Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comporte en outre

- un deuxième réflecteur plan monté en rotation autour du deuxième axe de référence pour renvoyer la lumière provenant du plan de réception vers la rangée de photodiodes,
- des moyens pour entraîner en rotation le deuxième réflecteur plan autour du deuxième axe de référence,
- un troisième réflecteur plan disposé sur le trajet du faisceau sortant de la lentille cylindrique et monté en rotation autour d'un troisième axe parallèle aux premier et deuxième axes de référence
- et des moyens pour entraîner en rotation le troisième réflecteur

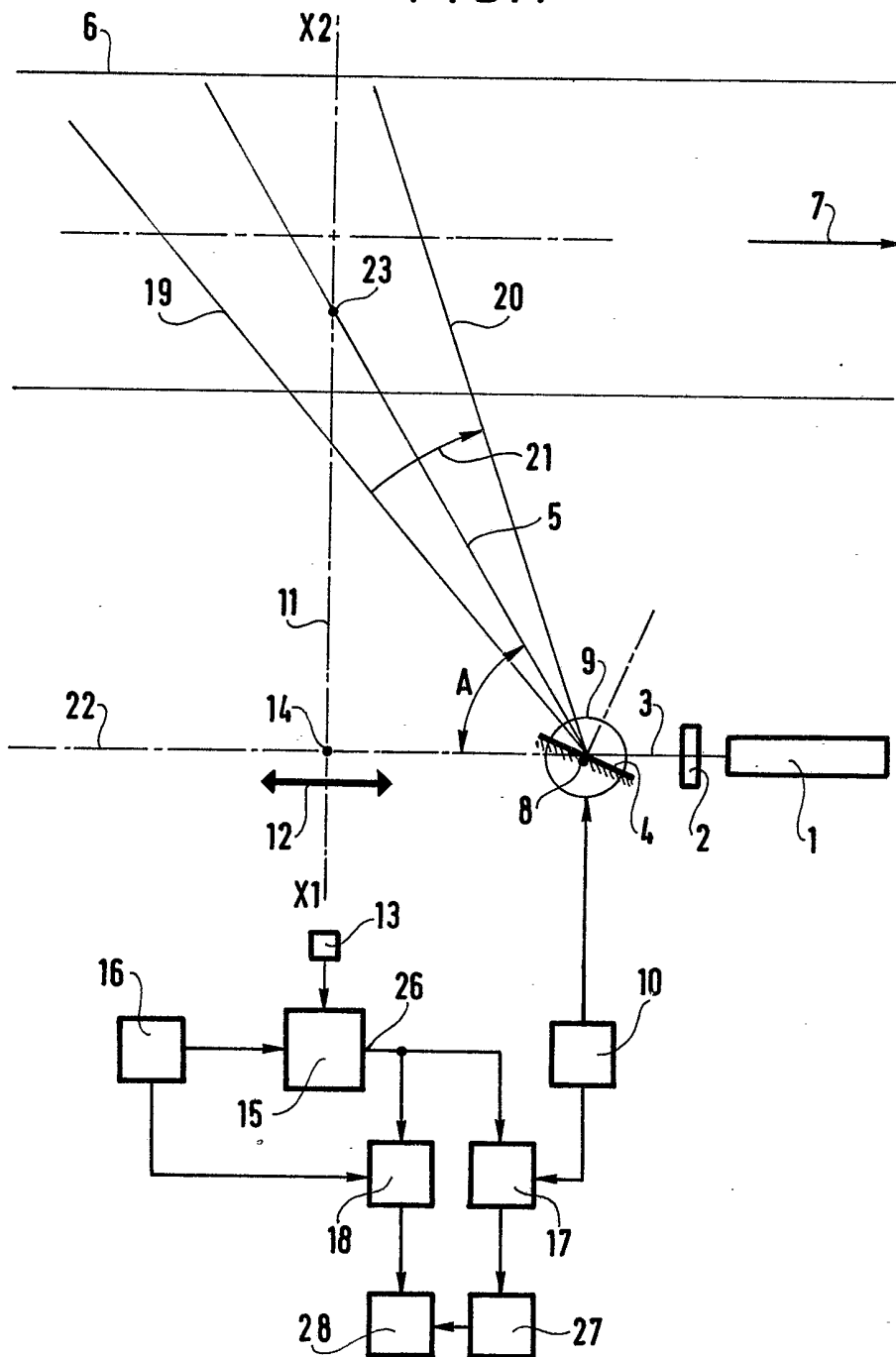
- 12 -

plan autour du troisième axe, ces moyens étant synchronisés avec lesdits moyens pour entraîner en rotation le deuxième réflecteur plan, de façon à déplacer le segment d'intersection parallèlement à lui-même.

- 5 5/ Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le générateur lumineux comporte un émetteur laser associé à une lentille cylindrique disposée à la sortie de l'émetteur, et que lesdits moyens de balayage comportent une pluralité d'autres émetteurs laser associés chacun à une lentille cylindrique, ces émetteurs laser formant un
- 10 faisceau dont les axes d'émission sont disposés dans un même plan coupant perpendiculairement le premier axe de référence, ces moyens de balayage comportant en outre des moyens pour commander l'émission successive des émetteurs laser.
- 15 6/ Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le générateur lumineux comporte une matrice d'émetteurs laser, de façon à former une pluralité de plans d'émission se coupant suivant le premier axe de référence, chaque plan comportant une pluralité d'émetteurs laser dont les axes d'émission sont sensiblement perpendiculaires
- 20 à une position du faisceau plat, que les moyens pour déterminer la position des points où le segment d'intersection coupe la surface extérieure de l'objet comportent des moyens pour commander dans chaque plan d'émission plusieurs cycles d'émission successive des différents émetteurs laser contenus dans ce plan et une deuxième horloge pour
- 25 mesurer l'intervalle de temps compris entre le début d'un cycle d'émission et l'instant où le récepteur délivre une impulsion électrique, et que les moyens de balayage comportent des moyens pour commander successivement des cycles d'émission dans les différents plans d'émission.

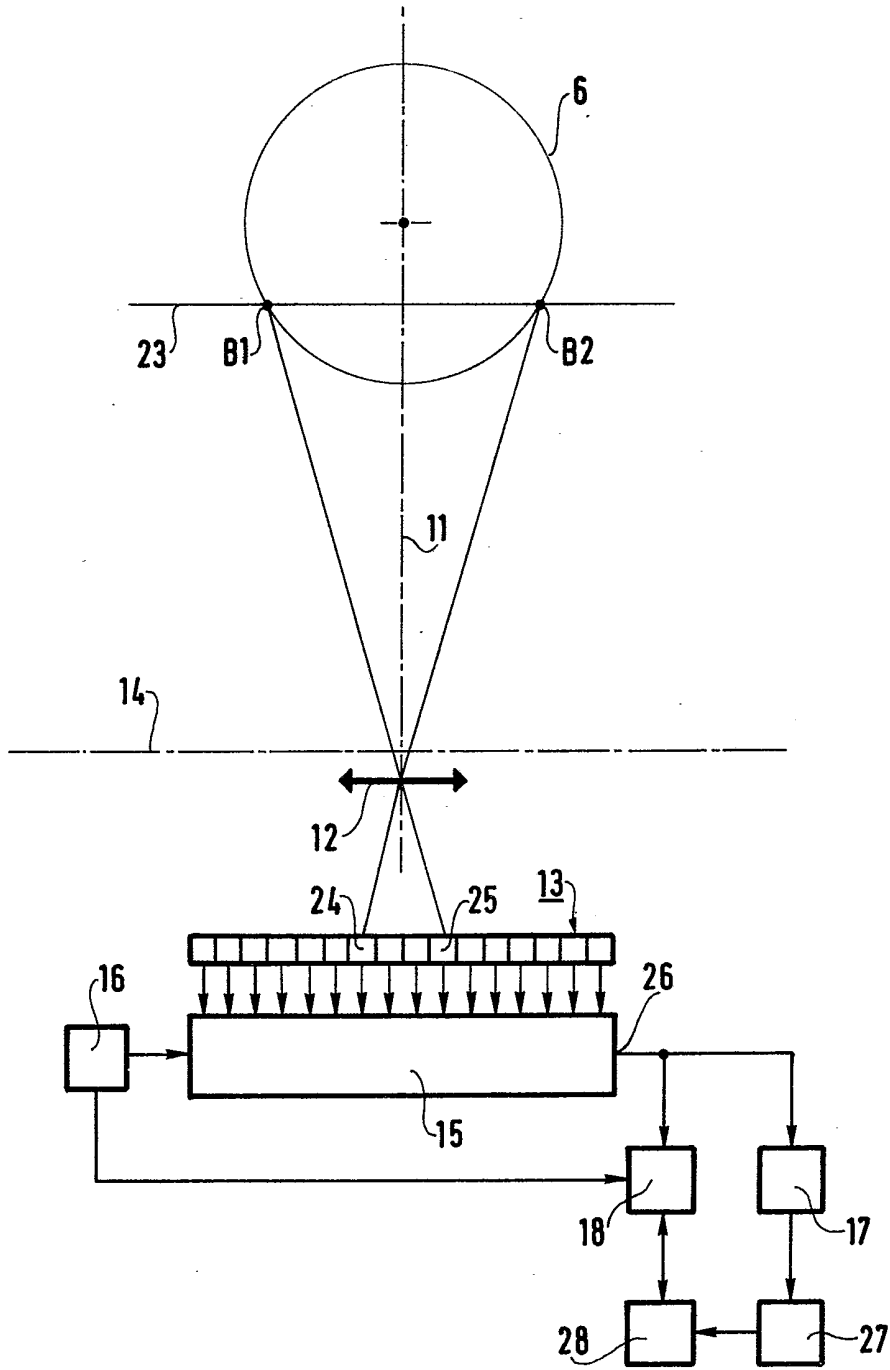
1/4

FIG. 1

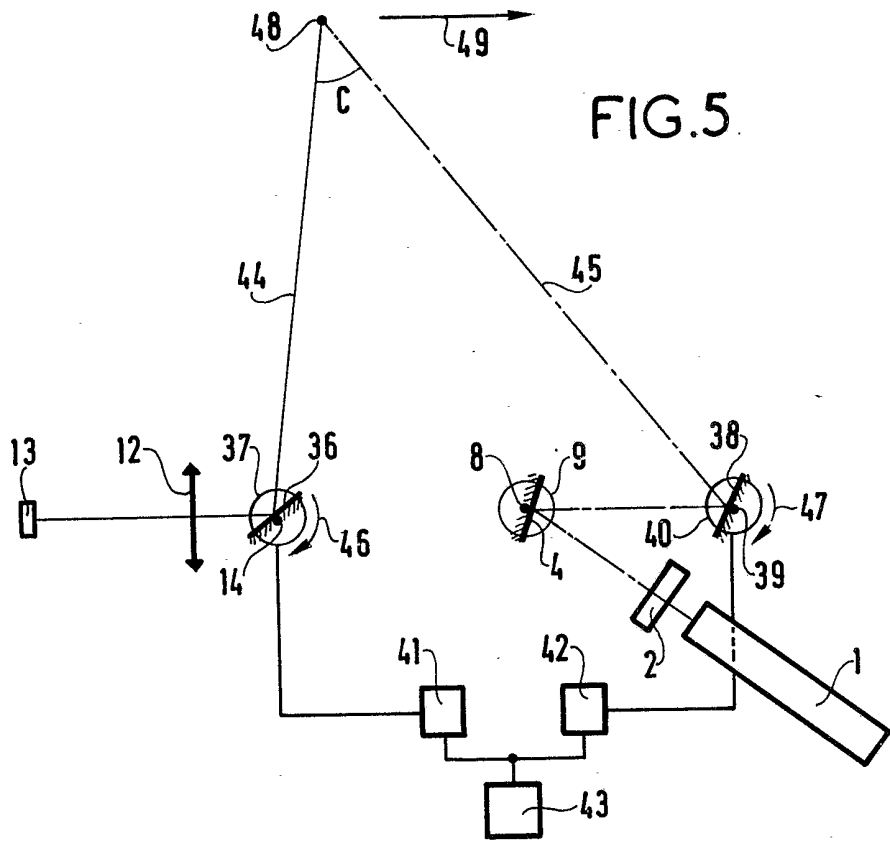
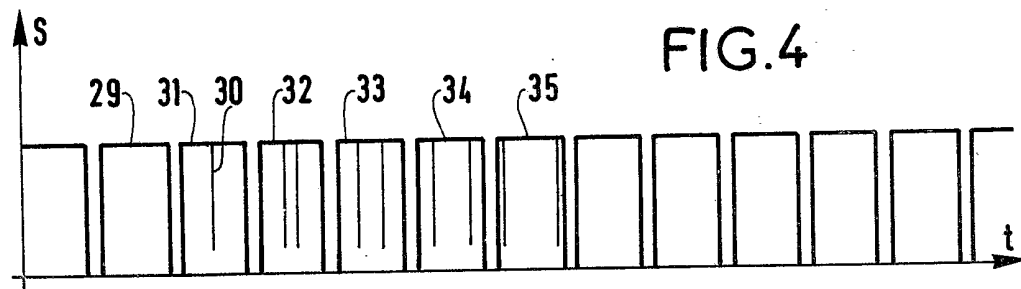
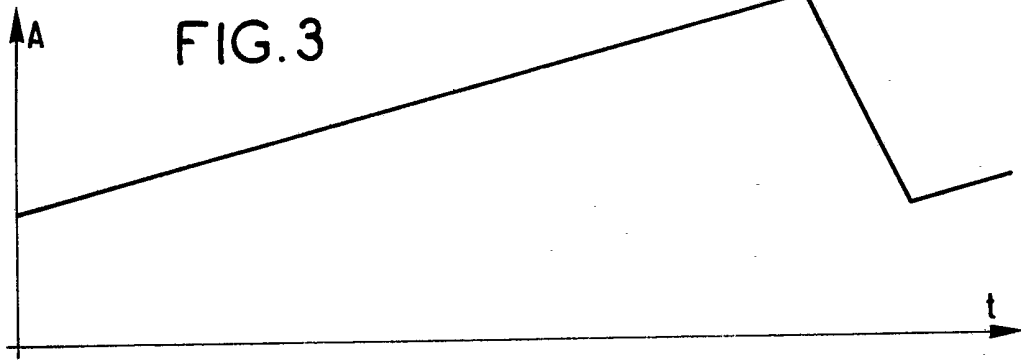


2/4

FIG. 2



3/4



4/4

FIG. 6

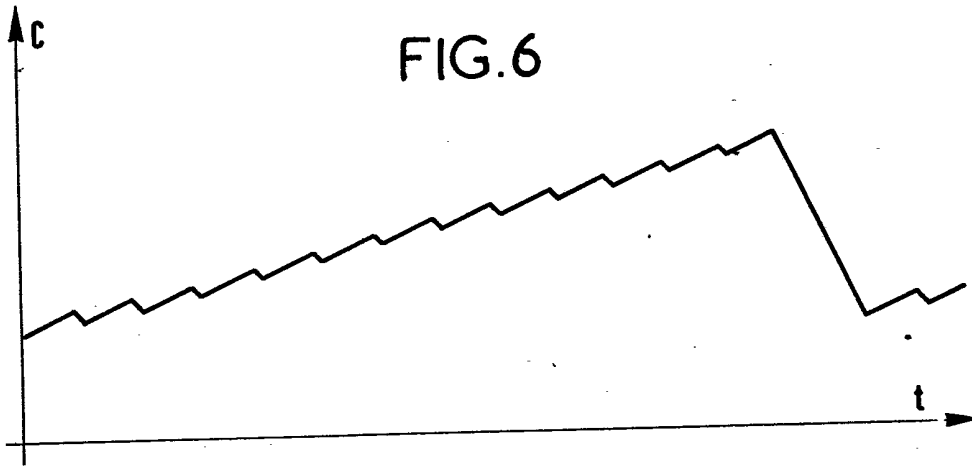


FIG. 7

