

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

⑪ N° de publication :

(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

**2 519 140**

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

⑯

**N° 81 24445**

⑯ Dispositif pour l'obtention de l'image topographique de la surface d'un objet tournant.

⑯ Classification internationale (Int. Cl. 3). **G 01 B 11/24; G 01 M 9/00.**

⑯ Date de dépôt..... 29 décembre 1981.

⑯ ⑯ ⑯ Priorité revendiquée :

⑯ Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 26 du 1-7-1983.

⑯ Déposant : GRIBANOV Dmitry Dmitrievich, KULESH Vladimir Petrovich, MARTYNOV Apollinary Konstantinovich et ORLOV Anatoly Antonovich. — SU.

⑯ Invention de : Dmitry Dmitrievich Gribanov, Vladimir Petrovich Kulesh, Apollinary Konstantinovich Martynov, Anatoly Antonovich Orlov, Alexandre Ivanovich Sidorov, Sergei Dmitrievich Fonov et Arkady Vasilievich Stepanov.

⑯ Titulaire : *Idem* ⑯

⑯ Mandataire : Cabinet Plasseraud,  
84, rue d'Amsterdam, 75009 Paris.

DISPOSITIF POUR L'OBTENTION DE L'IMAGE  
TOPOGRAPHIQUE DE LA SURFACE D'UN OBJET TOURNANT

La présente invention concerne les systèmes de mesure pour la détermination de la forme de la surface d'objets, et notamment les dispositifs pour l'obtention de l'image topographique de la surface d'objets tournants.

De tels dispositifs sont employés dans de diverses branches de la science et de la technique, par exemple, dans le contrôle de la qualité des produits, en tant que source d'information sur la forme de pièces à usiner, pour la détermination des déformations d'objets sous l'action de telles ou telles sollicitations, pour l'accumulation et le stockage de l'information sur la forme d'objets lors de l'étude des modifications de leur surface ou de leur orientation dans l'espace pendant un certain laps de temps, etc.

Les images topographiques du relief de la surface peuvent être obtenues à l'aide de divers dispositifs optiques, qui, d'après le procédé de conversion de l'information sur le relief de la surface, peuvent être divisés en dispositifs holographiques et non holographiques. Ces derniers, du fait de la simplicité relative de leur réalisation, ont reçu le plus d'extension (cf., par exemple, *Holographic Nondestructive Testing*, ed. R.K. Erf, Academic Press, N.Y., London, 1974).

Se rapportent aux méthodes non holographiques d'étude du relief des surfaces le procédé de la moire et le procédé dit de la projection linéaire. Le premier procédé, consistant à placer une trame à proximité de la surface à étudier, à éclairer la surface à travers cette trame et à enregistrer la distribution de l'intensité lumineuse sur la surface à travers la trame est peu applicable à l'étude d'objets se déplaçant dans l'espace, car la trame doit se trouver suffisamment près de la surface à étudier. Dans le cas contraire, par suite de la diffraction de la lumière en aval de la trame, la

qualité de l'image moirée, résultant de l'interférence de l'image de la trame et de la projection de la trame sur l'objet à étudier, sera basse et, par conséquent, l'erreur des mesures sera grande. Les dispositifs mettant en oeuvre 5 la méthode de la projection linéaire présentent des avantages déterminés: étendue large et continue de changement de la sensibilité, possibilité d'opérer en temps réel, ainsi que dans le cas de grandes distances entre l'objet à étudier et le dispositif optique. Ces deux dernières 10 circonstances sont d'importance dans l'étude de la forme de la surface d'objets en mouvement ou d'objets placés dans un milieu en mouvement ou agressif. Malheureusement, ces avantages sont exploités au maximum quand le choix des objets à étudier est optimal et quand leur surface 15 est convenablement orientée. Ceci découle du procédé lui-même de projection linéaire, consistant en ce que la surface à étudier est éclairée par un faisceau de lumière se composant d'une pluralité de surfaces lumineuses, qui, dans un cas particulier, sont des plans équidistants. 20 Les lignes d'intersection des plans lumineux avec la surface à étudier sont en fait des lignes de hauteurs égales. Il est évident que l'angle d'illumination de la surface à étudier doit être aussi près que possible de l'angle rasant, mais avec une valeur assez grande pour 25 que des portions de surface ombrée ne puissent apparaître. D'autre part, la direction de la ligne de visée du photo-enregistreur, enregistrant la distribution de l'intensité de la lumière sur la surface à étudier, doit être choisie de telle façon que la profondeur de focalisation, conditionnée par la courbure de la surface à étudier, soit minimale. Dans ce cas, la capacité informationnelle du photo-enregistreur est utilisée d'une 30 manière optimale et il est possible d'assurer une sensibilité et une étendue de mesure maximales.

Dans un dispositif connu (cf. brevet de France n° 2 184 374 C.I.B. G 02 B 11/00), constitué par un laser, par un système optique pour la formation d'une pluralité de plans lumineux, comprenant un objectif et un 5 interféromètre, et par un photo-enregistreur, la surface à étudier est éclairée par deux faisceaux cohérents de lumière, formant dans la zone d'intersection un volume de mesure. Les surfaces de maximum d'intensité de l'image d'interférence à l'intérieur du volume de mesure peuvent 10 formellement être considérées comme étant des plans lumineux. La surface ainsi illuminée est photographiée, les lignes d'intersection des plans lumineux avec la surface à étudier formant l'image topographique de cette surface. L'application de ce dispositif suppose que l'illumination et l'enregistrement 15 s'effectuent de la manière optimale exposée plus haut.

Dans le même temps, il existe une série de problèmes, dans lesquels il faut déterminer la forme de la surface d'objets mobiles, changeant leur orientation dans l'espace. Un exemple typique est le problème de la détermination du mouvement et des déformations de flexion et torsion des pales du rotor de sustentation. Outre le mouvement autour de l'axe de rotation du rotor, la pale exécute un mouvement compliqué par rapport aux charnières: de levée, de trainée et longitudinale, et subit 20 des déformations de flexion et de torsion. Une particularité caractéristique des problèmes de ce genre consiste en ce que, s'agissant de la forme de la surface et de ses variations dans son sens large, il y a superposition 25 des caractéristiques inconnues de la surface devant être déterminée et des caractéristiques conditionnées par le mouvement de rotation, lesquelles provoquent une variation continue de l'orientation et de la position de la surface à étudier. En définitive, quand on applique les 30 dispositifs susmentionnés, l'étendue de mesure se trouve 35

- 4 -

surchargée d'information insignifiante, aussi la précision et l'étendue de mesure sont-elles faibles.

On connaît des dispositifs pour l'obtention de l'image topographique de la surface d'un objet tournant

- 5 (brevet des Etats-Unis n° 3 907 438 C.I.B. G 01 B 11/24), comprenant un laser, un système optique pour la formation d'une pluralité de plans lumineux et un photo-enregistreur dont le plan d'enregistrement est conjugué optiquement avec la surface à étudier. Dans ces dispositifs, la surface tournante à étudier est disposée de telle façon que la génératrice d'une surface cylindrique est toujours parallèle aux plans lumineux coupant la surface à étudier et formant l'image topographique sur l'image, proprement dite de cette surface.
- 10 15 Cette prescription restreint notablement la classe des surfaces à étudier. Notamment, elle ne permet pas l'étude d'objets dont l'axe de rotation est incliné par rapport à la surface à étudier et peut changer son orientation par rapport à la surface à étudier, tel que, par exemple, l'axe de rotation du rotor de sustentation par rapport à la pale de celui-ci. L'emploi de ces dispositifs dans ce cas conduit soit à la perte de précision des mesures, soit à la diminution de l'étendue de mesure, car les conditions d'illumination seront loin 20 25 des conditions optimales.

Pour assurer une grande précision et une étendue de mesure suffisante, il est nécessaire que l'orientation des plans lumineux soit proche de l'orientation optimale, quelle que soit la position angulaire de l'objet à étudier, et que, de surcroît, elle soit liée à ladite position angulaire d'une manière connue.

L'objectif de l'invention était de créer un dispositif de grande précision pour l'obtention de l'image topographique de la surface d'un objet tournant, qui 30 35 assurerait l'obtention de l'image topographique de la

- 5 -

surface dans une plage étendue de variation de la position et de l'orientation de l'objet tournant.

La solution consiste en un dispositif pour l'obtention de l'image topographique de la surface d'un objet 5 tournant, comprenant un laser pulsé, un système optique pour la formation d'une pluralité de plans lumineux et un photo-enregistreur dont le plan d'enregistrement est optiquement conjugué à l'objet tournant à étudier, dispositif dans lequel, d'après l'invention, il est prévu 10 un système de synchronisation de l'émission du laser avec le passage de l'objet tournant en un point prédéterminé de sa trajectoire, le laser est monté sur une tourelle tournante, dont l'axe est confondu avec l'axe de rotation de l'objet tournant, et un réflecteur disposé 15 sur cet axe dirige le rayonnement du laser sur l'objet tournant.

Cela permet d'assurer une orientation optimale du système de plans lumineux quel que soit la position angulaire de l'objet tournant, et, par conséquent, d'ac-20 croître la précision et l'étendue de mesure des coordonnées des points de la surface de l'objet tournant d'après l'image topographique de cette surface.

Il est avantageux que le système de synchronisation comprenne une source de rayonnement dirigée sur le 25 point prédéterminé de la trajectoire de l'objet tournant, et un récepteur de rayonnement enregistrant le signal quand l'objet tournant passe au point prédéterminé de la trajectoire et élaborant un signal de synchronisation pour le déclenchement du laser pulsé, la-30 dite source et ledit récepteur étant fixés sur la tourelle.

Cela assure la synchronisation spatiale de la pluralité de plans lumineux par rapport au plan de rotation de l'objet en rotation pour diverses positions angulaires de celui-ci. 35

- 6 -

Le système optique pour la formation de la pluralité de plans lumineux peut être monté sur l'objet tournant lui-même.

Cela rend possible l'enregistrement de l'image topographique de la surface de l'objet tournant en temps réel.

Le système optique pour la formation de la pluralité de plans lumineux peut être un réseau de diffraction.

10 Cela donne la possibilité de diminuer notablement la complexité et l'encombrement du dispositif pour la formation de la pluralité de plans lumineux.

Un système de focalisation peut être monté sur l'axe optique du laser pulsé.

15 Cela permet de diminuer l'influence de la divergence du rayonnement du laser pulsé, surtout quand la distance entre le laser et l'objet à étudier est assez grande, sur l'épaisseur effective des plans lumineux.

Il est avantageux que le système de focalisation 20 comprenne un collimateur et une lentille cylindrique solidaire du système optique pour la formation de la pluralité de plans lumineux.

Cela assure une orientation constante des plans lumineux par rapport à la surface à étudier quand celle- 25 -ci tourne autour de l'axe de rotation.

Le système de synchronisation de l'émission du laser avec le passage de l'objet tournant au point pré-déterminé peut comprendre un capteur de passage de l'objet tournant à la position angulaire pré-déterminée, 30 relié à une horloge dont la sortie est reliée au laser pulsé.

Cela permet d'obtenir une série d'images topographiques de l'objet tournant pour diverses positions angulaires de celui-ci, avec une phase initiale pré-déterminée de ladite série.

Il est avantageux que le système de synchronisation comprenne une bascule, dont l'entrée de mise à l'état unité est reliée à la sortie du capteur de passage de l'objet tournant à la position angulaire pré-déterminée, et la 5 sortie, à l'horloge, ainsi qu'un compteur d'impulsions, dont l'entrée est reliée à l'horloge, et la sortie, à l'entrée de mise de la bascule à l'état zéro.

Cela permet de fixer la longueur de la série d'images topographiques, ainsi que d'éviter leur superposition 10 aux révolutions suivantes de l'objet.

Le système de synchronisation peut comprendre une ligne à retard commandée, intercalée entre le capteur de passage de l'objet tournant à la position angulaire pré-déterminée et la bascule, ainsi qu'un second compteur d' 15 impulsions, dont l'entrée est reliée à la sortie du premier compteur d'impulsions, et la sortie, à l'entrée numérique de commande de la ligne à retard.

Cela permet d'obtenir une série d'images topographiques embrassant deux et plus de deux révolutions de 20 l'objet tournant.

Il est avantageux que le dispositif comprenne un sous-ensemble de commande de la position de la tourelle, constitué par un capteur de position actuelle de la tourelle, un dispositif de consigne pour la position pré-déterminée de la tourelle et un circuit de comparaison 25 des signaux, relié également à la sortie du récepteur de rayonnement, la sortie du circuit de comparaison étant reliée au laser pulsé, lequel se déclenche ainsi quand les signaux à l'entrée du circuit de comparaison sont 30 égaux et le récepteur de rayonnement délivre un signal à sa sortie.

Cela permet d'accélérer le processus d'enregistrement des images topographiques de la surface de l'objet tournant à ses différentes positions angulaires.

La source de rayonnement du système de synchronisation peut être un laser à rayonnement continu, équipé d'un obturateur, et la sortie du circuit de comparaison peut être reliée au laser pulsé, à l'obturateur du laser à rayonnement continu et à l'obturateur du photo-enregistreur.

Ceci supprime l'illumination du photo-enregistreur par le rayonnement du laser continu, accroît la précision de synchronisation de l'émission du laser pulsé avec le passage de l'objet tournant à la position angulaire pré-déterminée.

Dans ce qui suit, l'invention est expliquée par des exemples concrets de réalisation et par des dessins annexés, dans lesquels:

15 la figure 1 représente schématiquement un dispositif, conforme à l'invention, pour l'obtention de l'image topographique de la surface d'un objet tournant;

la figure 2 représente l'image topographique de la surface de l'objet à étudier, par exemple la pale d'un 20 modèle de rotor de sustentation, obtenue à l'aide du dispositif conforme à l'invention;

la figure 3 représente le schéma synoptique d'un 25 système de synchronisation, conforme à l'invention, assurant l'obtention de l'image topographique de la surface de l'objet tournant à la position angulaire pré-déterminée;

la figure 4 représente schématiquement, en perspective, un dispositif, conforme à l'invention, dans lequel le système pour la formation de la pluralité de plans 30 lumineux est situé sur l'axe de rotation de l'objet à étudier;

la figure 5 représente le schéma synoptique du 35 système de synchronisation, conforme à l'invention, pour l'obtention d'une série d'images topographiques à un certain nombre de positions angulaires de l'objet à étudier;

- 9 -

la figure 6 représente le diagramme temporel de fonctionnement du dispositif de synchronisation, conforme à l'invention, pour l'obtention d'une série d'images topographiques;

5 la figure 7 représente le schéma d'un dispositif, conforme à l'invention, dans lequel, pour obtenir la pluralité de plans lumineux, on utilise un hologramme tridimensionnel;

10 la figure 8 représente schématiquement le schéma optique, conforme à l'invention, pour l'obtention de l'hologramme tridimensionnel.

15 Le dispositif, conforme à l'invention, pour l'obtention de l'image topographique de la surface d'un objet tournant comprend: un laser pulsé 1 (figure 1), un système optique 2 pour la formation d'une pluralité de plans lumineux, un photo-enregistreur 3 dont le plan d'enregistrement 4 est optiquement conjugué avec l'objet 5 à étudier, par exemple la pale d'un modèle de rotor de sustentation, un système 6 de synchronisation, un réflecteur 7 situé sur l'axe de rotation de l'objet 5 à étudier. Le laser 1, le système optique 2 pour la formation de la pluralité de plans lumineux, le système 6 de synchronisation, le photo-enregistreur 3 sont montés sur une tourelle tournante 8, dont l'axe de rotation est confondu avec l'axe de rotation de l'objet 5 à étudier. Le système 6 de synchronisation comprend une source 9 de rayonnement, par exemple un laser à rayonnement continu, dirigée sur un point prédéterminé de la trajectoire de l'objet tournant 5, et un récepteur 10 de rayonnement. Dans le cas d'utilisation d'un laser, ce récepteur 10 est un récepteur photoélectrique, dont la sortie est reliée à l'entrée de déclenchement du laser pulsé 1, par l'intermédiaire d'un amplificateur-formeur 11 et d'un élément logique "2ET" 12. Les axes optiques 30 du laser pulsé 1, du système 2 pour la formation de la

35

pluralité de plans lumineux, du photo-enregistreur 3, de la source 9 de lumière du système 6 de synchronisation et du photo-récepteur 10 sont de préférence situés dans un même plan, perpendiculaire aux plans lumineux. Pour ob-  
5 tenir l'image topographique de la surface de l'objet tournant 5, on fait tourner la tourelle 8 jusqu'à une position angulaire prédéterminée. Quand l'objet 5, ani-  
mé d'un mouvement de rotation, coupe le faisceau lumineux 13 du laser 9, la lumière diffusée par la surface  
10 arrive au récepteur photoélectrique 10, dans lequel elle est convertie en signal électrique qui, après normali-  
sation par l'amplificateur-formeur 11, passe à travers l'élément logique "2ET" 12, si la seconde entrée de ce-  
lui-ci est attaquée par le signal d'autorisation, et  
15 déclenche le laser pulsé 1. Le faisceau 14 du laser pul-  
ssé 1 est transformé par le système optique 2 en une plu-  
ralité de plans lumineux 15, qui sont dirigés sur la sur-  
face de l'objet 5 à étudier à l'aide du réflecteur 7. Les  
traces 16 d'intersection des plans lumineux avec la sur-  
face de l'objet 5 constituent l'image topographique  
20 (figure 2), qui est enregistrée par le photo-enregistreur 3. L'image topographique obtenue porte l'information sur la forme de la surface de l'objet à étudier, en l'occur-  
rence la pale du modèle de rotor de sustentation, ainsi  
25 que sur sa position dans l'espace. Ensuite, on met la tourelle 8 à une nouvelle position azimutale et on ré-  
pète le cycle d'enregistrement. Etant donné, que le système de synchronisation est situé sur la tourelle 8,  
30 l'enregistrement de l'image topographique s'effectue avec une position relative constante du système 2 pour la formation de la pluralité de plans lumineux et du réflecteur 7, ce qui accroît la précision des mesures.  
En tant que système 2 pour la formation de la pluralité de plans lumineux, il est commode d'utiliser  
35 un système optique constitué par un interféromètre

- 11 -

(non représenté sur la figure), formant deux faisceaux lumineux cohérents croisés, et par un objectif (non représenté sur la figure), élargissant ces faisceaux jusqu'au diamètre voulu et les réunissant à proximité de la 5 surface à étudier. Les faisceau cohérents se croisant à proximité de la surface à étudier forment un volume de mesure, constitué par une pluralité de plans lumineux: les maximums de l'image interférentielle. On peut montrer que la distribution de l'exposition  $I_F(x,y)$ , (voir 10 figure 2) dans le plan de l'image de la surface à étudier peut être décrite par une expression du genre:

$$I_F(x,y) \approx I_0 \left[ 1 + B_\Sigma(\bar{\omega}) \cos(\Omega_3 F(x,y) + \int_0^x \Omega_x \xi d\xi) \right]$$

dans laquelle  $\Omega_3, \Omega_x$  sont les composantes différentes de zéro du vecteur  $\Omega$  fréquence de la modulation spatiale de l'intensité lumineuse dans le volume de mesure,  $F(x,y)$  15 est une fonction décrivant la forme de la surface à étudier,  $I_0$  est l'exposition moyenne dans le plan de l'image,  $B_\Sigma(\omega)$  est la caractéristique amplitude-fréquence du photo-enregistreur 3,  $\bar{\omega} \approx \Omega_3 \text{grad} F + \Omega_x$  est la fréquence moyenne de modulation de l'image topographique. 20

Les lignes 16 d'intersection des plans lumineux avec la surface à étudier sont décrites par le système d'équations:

$$\Omega_3 F(x_N, y_N) + \int_0^{x_N} \Omega_x \xi d\xi = 2\pi N,$$

dans lequel  $N = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  ;

- 12 -

$x_N, y_N$  sont les coordonnées des points appartenant à la  $N^e$  ligne d'intersection,  
d'où il vient:

$$F(x_N, y_N) = \frac{2\pi N - \int_0^{x_N} \Omega x \xi d\xi}{\Omega} \quad (2)$$

De la sorte, pour déterminer la forme de la surface  
5 d'après son image topographique, il faut déterminer la  
distribution de  $\Omega$  dans le volume de mesure et trou-  
ver les coordonnées des franges d'interférence sur  
l'image topographique. Pour cela, on analyse l'image to-  
pographique, par exemple à l'aide d'un micrōphotomètre  
10 (non représenté sur la figure), et on trouve les coor-  
données des extréums d'exposition. L'erreur  $\sigma_N$  de  
détermination des extréums, exprimée par rapport aux  
franges d'interférence, peut être évaluée comme étant

$$\sigma_N \approx \frac{1}{B_d(\bar{\omega}) B_{\Sigma}(\bar{\omega})} \cdot \sqrt{\frac{G_0}{S}} \quad (2)$$

$G_0$  étant la puissance spectrale du bruit de l'image to-  
15 graphique;

$B_d(\bar{\omega})$ ,  $S$ , la caractéristique amplitude-fréquence et  
la surface effective de l'ouverture du dis-  
positif de balayage du micrōphotomètre (non  
représenté sur la figure).

20 Les équations (1) et (2) font apparaître que l'erre-  
ur  $\sigma_f$  de mesure des coordonnées des points de la  
surface (si  $\Omega$  est connu avec précision et que l'erreur  
de mesure des coordonnées peut être négligée), peut être  
évaluée comme étant:

$$\sigma_f \approx \frac{2\pi}{\Omega B_{\Sigma}(\bar{\omega}) B_d(\bar{\omega})} \cdot \sqrt{\frac{G_0}{S}} \mathcal{F}^o \quad (3)$$

$B_{\Sigma}(\bar{\omega})$ ,  $B_d(\bar{\omega})$  sont des fonctions à décroissance monotone de la fréquence de la modulation spatiale  $\bar{\Omega}$ , aussi l'équation (3) fait-elle apparaître qu'il existe un  $\bar{\Omega}$  assurant une erreur de mesure minimale.

- 5 L'évaluation venant d'être faite montre la nécessité d'un choix optimal des directions d'illumination et d'enregistrement pour obtenir une précision de mesure maximale. Dans le dispositif faisant l'objet de l'invention, cela est assuré grâce au fait que l'orientation des
- 10 plans lumineux 15 et du photo-enregistreur 3 est maintenue constante, avec une grande précision, par rapport à l'objet tournant 5 à étudier, quelle que soit sa position angulaire.

- En règle générale, il est intéressant d'obtenir
- 15 l'image topographique de la surface d'un objet tournant pour différentes positions angulaires de celui-ci, par exemple dans l'étendue de 0 à 360°, à un pas, par exemple, de 5 à 10°. Pour accélérer le processus d'enregistrement, le dispositif est équipé d'un sous-ensemble électronique de commande de la position de la tourelle 8 (figure 3), comprenant un capteur 17 de position actuelle de la tourelle 8, un dispositif 18 de consigne de position de la tourelle 8, un circuit 19 de comparaison des signaux du capteur 17 et du dispositif 18 de consigne, relié à la seconde entrée de l'élément logique "2ET" 12. Pour supprimer l'illumination indésirable du photo-enregistreur 3 par le rayonnement du laser 9 de synchronisation, la sortie du circuit 19 de comparaison est aussi reliée à un obturateur 20, monté devant le
- 20 laser 9 de synchronisation, et à l'obturateur 21 du photo-enregistreur 3. La position angulaire requise de la tourelle 8 est affichée au dispositif 18 de consigne, puis la tourelle 8 est mise en mouvement. Dès que les
- 25 signaux issus des éléments 17 et 18 s'égalisent, le cir-

cuit 19 de comparaison délivre, à sa sortie un signal qui autorise le passage du signal de synchronisation pour le déclenchement du laser pulsé 1. Le signal issu du circuit 19 de comparaison provoque également l'ouverture des obturateurs 20 et 21, qui se ferment après le passage du signal de synchronisation.

I'exposé ci-dessus fait apparaître que, lorsque l'objet 5 à étudier tourne à de grandes vitesses angulaires, il effectue plusieurs révolutions entre deux cycles successifs d'enregistrement, aussi l'information sur le comportement de l'objet 5 à étudier dans toute l'étendue des angles de rotation ne peut-elle être obtenue que si le mouvement est stationnaire. Or, il existe des problèmes dans lesquels il faut obtenir une information sur la forme de la surface de l'objet et sur ses variations durant une seule révolution. Dans ce cas, le système optique pour la formation de la pluralité de plans lumineux doit se trouver sur l'objet tournant 5 (cf. figure 4), sur son axe de rotation, ce qui assurera une orientation optimale des plans lumineux. Pour l'étude d'objets tournant à de grandes vitesses angulaires, le système pour la formation de la pluralité de plans lumineux doit être suffisamment compact et rigide. Pour respecter cette condition, le système employé peut être un réseau 22 de diffraction. Sur l'axe optique du laser pulsé 1, on monte un système de focalisation, comprenant un collimateur 23 qui peut être placé sur la tourelle 8, et une lentille cylindrique 24, placée devant le réseau 22 de diffraction. Le déclenchement du laser pulsé 1 est assuré par une horloge 25, laquelle, à son tour, est déclenchée par le signal venant d'un capteur 26 de passage de l'objet tournant 5 à la position angulaire prédéterminée. Les paramètres du collimateur 23 sont choisis de façon que le faisceau laser 27 soit focalisé à proximité de l'objet à étudier. La lentille cylindri-

- 15 -

que 24 ouvre le faisceau focalisé 27 dans un plan, et la diffraction de la lumière dans le réseau 22 engendre la pluralité de plans lumineux: la suite diffractive 28.

Pour diminuer les pertes de lumière dans le réseau 22 de 5 diffraction, ce qui, de pair, diminue l'éventualité de sa dégradation par le puissant rayonnement pulsé du laser 1, ainsi que pour assurer une distribution plus uniforme de la lumière dans les surfaces de la suite diffractive, on peut, par exemple, utiliser un réseau de diffraction 10 de phase.

La période de récurrence des impulsions d'horloge et leur nombre sont choisis de façon à assurer la fréquence requise d'échantillonnage du processus à étudier. Dans les cas où le processus à étudier dure plus d'une 15 période de révolution de l'objet, le système de synchronisation peut être réalisé de la façon suivante. Entre le capteur 26 (figure 5) de passage de l'objet tournant à la position angulaire prédéterminée et l'horloge 25 sont intercalés en série une ligne 29 à retard commandée 20 en code numérique et une bascule 30, la sortie de la ligne 29 à retard étant connectée à l'entrée 31 de mise à l'état unité de la bascule 30. La sortie 32 de l'horloge est reliée non seulement au laser 1, mais aussi à l'entrée d'un premier compteur 33 d'impulsions, dont la 25 sortie est à son tour reliée à l'entrée d'un second compteur 34 et à l'entrée 35 de mise à zéro de la bascule 30. Les sorties du second compteur 34 sont reliées à la ligne 29 à retard commandée en code. Le diagramme temporel de fonctionnement du dispositif est représenté en 30 figure 6. Avant le commencement du cycle d'enregistrement, les compteurs 33, 34 sont mis à zéro et l'obturateur du photo-enregistreur 3 est ouvert. Dans cet état, la ligne 29 à retard commandée assure un retard nul. Quand l'objet à étudier atteint la position angulaire prédé- 35 terminée, un signal 36 de synchronisation apparaît. Ce

signal 36 passe par la ligne 29 à retard et met la bascule 30 à l'état unité 37. Ceci provoque le déclenchement de l'horloge 25, dont les impulsions 38 provoquent le déclenchement du laser pulsé 1 et sont comptées par le premier 5 compteur 33. Après remplissage du premier compteur 33, celui-ci délivre à sa sortie un signal 39, qui remet la bascule 30 à l'état zéro 40 et fait basculer le second compteur 34. Le changement de code qui en résulte à la 10 sortie du second compteur 34 augmente le temps de retard de la ligne 29 d'un incrément  $\Delta T \ll T$  ( $T$  étant la période de récurrence des impulsions d'horloge). De la sorte, le signal 41 de synchronisation suivant met la bascule 30 à l'état unité avec un retard  $\Delta t$ , et les impulsions 42 d'horloge seront elles aussi retardées en conséquence. Au 15 cycle suivant de comptage, les impulsions d'horloge seront retardées de  $2\Delta t$ , et ainsi de suite. Une telle organisation du système de synchronisation permet au photo-enregistreur 3 d'enregistrer sur un même photogramme du photo-enregistreur 3 l'image topographique de l'objet à étudier 20 durant 2, 3 et plus de 3 révolutions dudit objet.

Ce qui vient d'être exposé fait apparaître que, dans le cas de décalage relatif des axes du laser pulsé 1 et de l'axe de rotation de l'objet tournant 5 à étudier, les 25 plans lumineux 15 coupant sa surface se déplacent, ce qui peut être la cause d'erreurs de détermination de la forme de l'objet à étudier. Pour assurer l'invariance du dispositif vis-à-vis des décalages linéaires, en tant que système optique pour la formation de la pluralité de plans lumineux on utilise un hologramme tridimensionnel 30 43 (cf. figure 7), placé sur l'axe de rotation de l'objet à étudier, et l'on place sur l'axe optique du laser pulsé 1 un collimateur 23. Pour obtenir l'hologramme tridimensionnel 43, on utilise un système optique, représenté en figure 8, comprenant un laser 44, un diviseur 45 35 de faisceau, des miroirs 46 et 47, un système optique 48

pour la formation d'une pluralité de plans lumineux, un collimateur 49 et une plaque holographique 50. Le faisceau collimaté 51 est utilisé en tant que faisceau de référence, et les faisceaux lumineux issus du système 48

5 constituent le front d'onde objet. Lors de la restitution de l'hologramme ainsi obtenu, le faisceau collimaté 51 engendre des plans 52 analogues à ceux issus du système 48. Il est évident que le système restitué de plans lumineux est invariant vis-à-vis des décalages linéaires relatifs 10 du faisceau collimaté et de l'axe de rotation de l'objet à étudier.

Le dispositif faisant l'objet de l'invention peut être utilisé pour l'obtention des images topographiques de la surface d'une vaste classe d'objets. Par exemple, 15 il peut être utilisé pour l'étude des déformations de l'aile d'un modèle d'avion dans une soufflerie ou pour l'étude de la forme des surfaces de pièces compliquées devant être illuminées de différents côtés. Dans ce cas, comme on l'a noté plus haut, afin d'assurer des conditions optimales d'illumination et d'orientation, il est nécessaire de changer l'orientation des plans lumineux 20 d'illumination. Le système de synchronisation utilisé dans le dispositif permet de réaliser avec une grande précision et une grande reproductibilité la synchronisation, 25 tant temporelle que spatiale, de l'orientation des plans lumineux par rapport à la surface à étudier.

I'enregistrement de la forme de la surface de l'objet, c'est-à-dire l'obtention de l'image topographique de sa surface lors de l'étude de processus rapides, implique en règle générale des prescriptions supplémentaires concernant le laser et le photo-enregistreur. 30 Outre la grande énergie et la courte durée de chaque impulsion, il est nécessaire d'assurer aussi une haute fréquence de récurrence des impulsions engendrées et une 35 fréquence correspondante de prise de vue par le photo-

- 18 -

-enregistreur. Dans le dispositif décrit, grâce à la distribution optimale de l'énergie du rayonnement laser sur la surface à étudier, tant dans le temps que dans l'espace, les difficultés techniques surgissant lors de la 5 résolution de problèmes de ce genre sont dans une large mesure éludées.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif pour l'obtention de l'image topographique de la surface d'un objet tournant, comprenant un laser pulsé(1), un système optique(2) pour la formation, 5 d'une pluralité de plans lumineux et un photo-enregistreur(3), dont le plan d'enregistrement est optiquement conjugué à l'objet tournant(5), caractérisé en ce qu'il comporte un système(6) de synchronisation de l'émission du laser(1) avec le passage de l'objet tournant(5) en un point prédéterminé de sa trajectoire, que le laser(1) est monté sur une tourelle(8), dont l'axe est confondu avec l'axe de rotation de l'objet tournant(5), et qu'un réflecteur(7) disposé sur cet axe dirige le rayonnement du laser(1) sur l'objet tournant(5).
- 15 2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le système(6) de synchronisation comprend une source(9) de rayonnement dirigée sur le point prédéterminé de la trajectoire de l'objet tournant(5), et un récepteur(10) de rayonnement enregistrant le signal 20 quand l'objet tournant(5) passe au point prédéterminé de la trajectoire et élaborant un signal de synchronisation pour le déclenchement du laser(1), ladite source(9) et ledit récepteur(10) étant fixés sur la tourelle(8).
- 25 3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le système optique(2) pour la formation de la pluralité de plans lumineux(15) est monté sur l'objet tournant(5) lui-même.
- 30 4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que le système optique(2) pour la formation de la pluralité de plans lumineux(15) est un réseau(22) de diffraction.

- 20 -

5. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'un système de focalisation est monté sur l'axe optique du laser pulsé(1).

5 6. Dispositif selon les revendications 4 et 5, caractérisé en ce que le système de focalisation comprend un collimateur(23) et une lentille cylindrique(20), solidaire du système optique(2) pour la formation de la pluralité de plans lumineux(15).

10 7. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que le système optique(2) pour la formation de la pluralité de plans lumineux(15) est un hologramme tridimensionnel(43).

15 8. Dispositif selon les revendications 3 à 7, caractérisé en ce que le système de synchronisation de l'émission du laser avec le passage de l'objet au point prédéterminé de la trajectoire comprend un capteur(26) de passage de l'objet tournant(5) à la position angulaire prédéterminée, relié à une horloge(25) dont la sortie est reliée au laser pulsé(1).

20 9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que le système(6) de synchronisation comprend une bascule(30), dont l'entrée(31) de mise à l'état unité est reliée à la sortie du capteur(26) de passage de l'objet tournant(5) à la position angulaire prédéterminée, et la sortie, à l'horloge(25), ainsi qu'un compteur(33) d'impulsions, dont l'entrée est reliée à l'horloge(25), et la sortie, à l'entrée(35) de mise de la bascule(30) à l'état zéro.

30 10. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend un sous-ensemble de commande de la position de la tourelle(8), constitué par un capteur(17) de position actuelle de la tourelle(8), un dispositif(18) de consigne pour la position de la tourelle(8) et un circuit(19) de comparaison des signaux, 35 relié également à la sortie du récepteur(10) de rayonnement, le circuit(19) de comparaison étant relié par

sa sortie au laser pulsé(1) et basculant ainsi quand les signaux à ses entrées sont égaux et le récepteur de rayonnement délivre un signal à sa sortie.

11. Dispositif selon la revendication 10, ca -

5 r a c t é r i s é en ce que la source de rayonnement du système(6) de synchronisation est un laser(9) à rayonnement continu, équipé d'un obturateur(20), et que la sortie du circuit(19) de comparaison est reliée au laser pulsé(1), à l'obturateur(20) du laser à rayonnement continu et à l'obturateur(21) du photo-enregistreur(3) pour supprimer l'illumination du photo-ensegistre(3) par le rayonnement du laser continu(9) du système(6) de synchronisation.

12. Dispositif selon la revendication 9, c a -

15 r a c t é r i s é en ce que le système(6) de synchronisation comprend une ligne(29) à retard commandée, intercalée entre le capteur(26) de passage de l'objet tournant(5) à la position angulaire prédéterminée et la bascule(30), ainsi qu'un second compteur(34) d'impulsions 20 dont l'entrée est reliée à la sortie du premier compteur(33) d'impulsions, et la sortie, à l'entrée numérique de commande de la ligne(29) à retard.

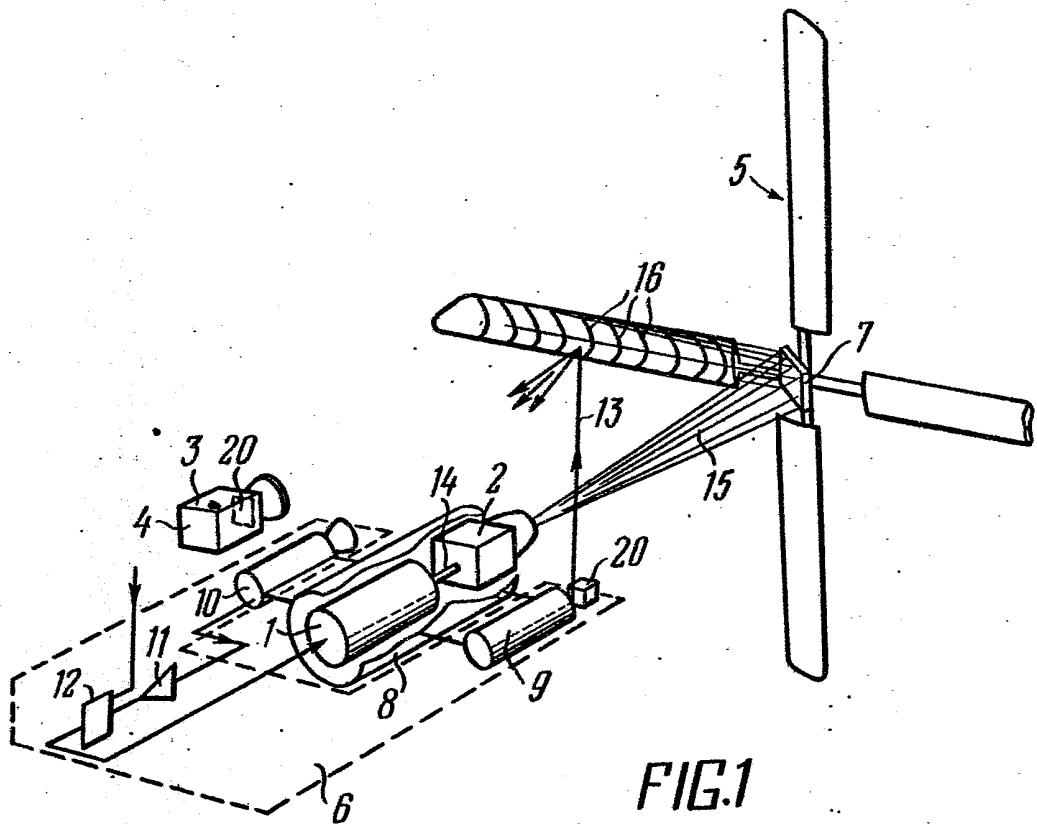


FIG.1

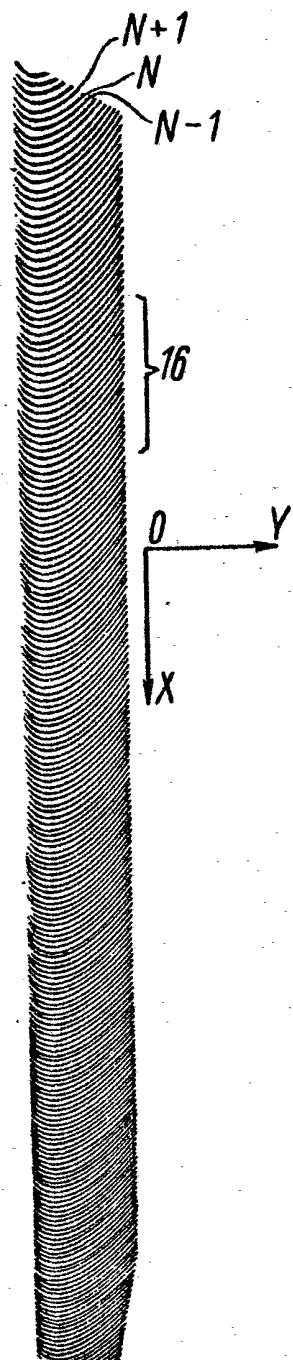


FIG 2

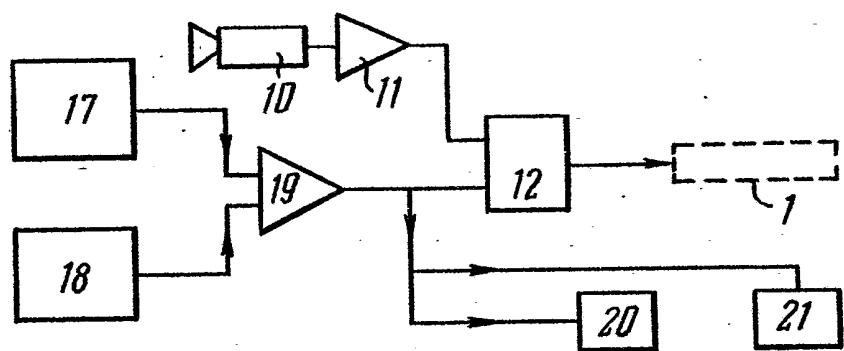


FIG.3

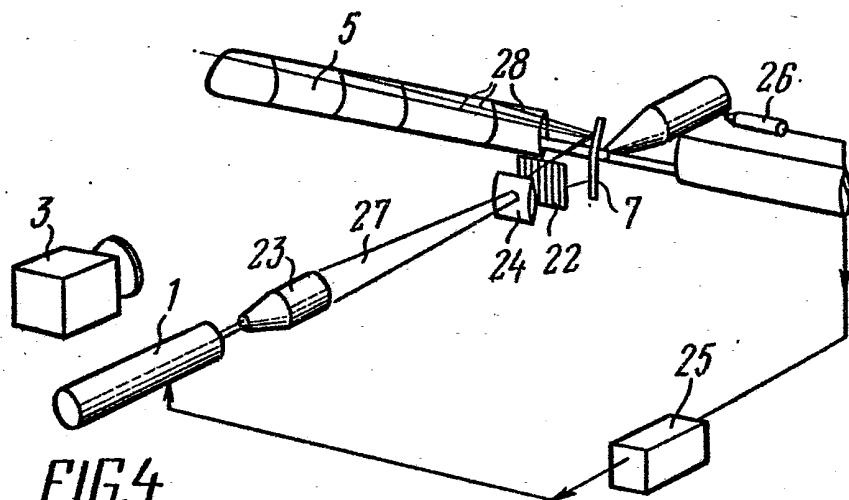


FIG.4

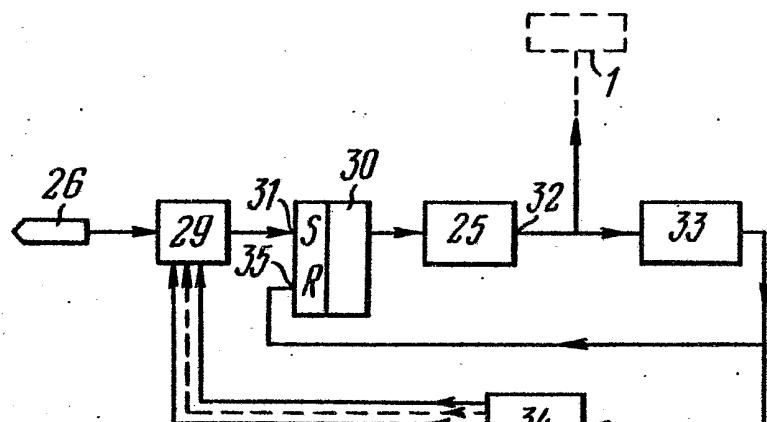
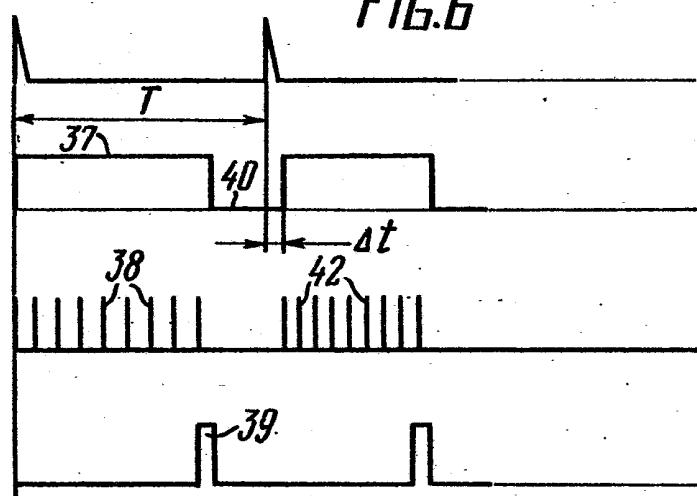


FIG.5

FIG.6



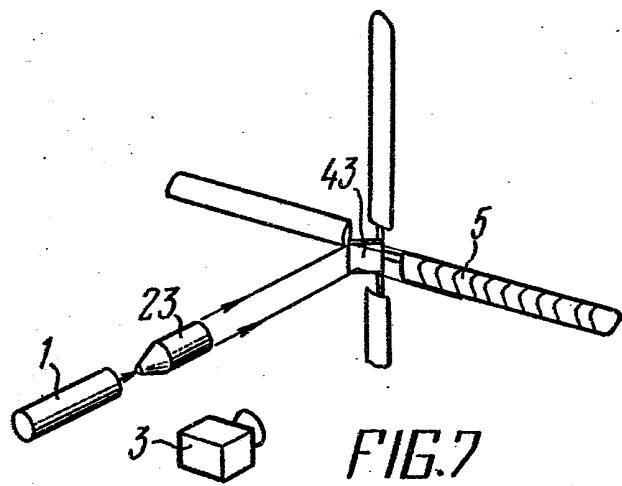


FIG.7

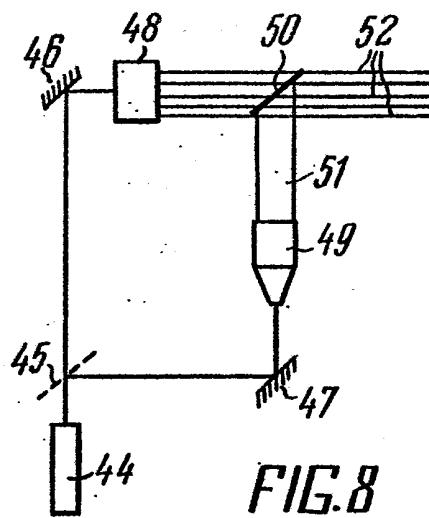


FIG.8