



CONFÉDÉRATION SUISSE
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

Int. Cl.³: G 01 C

7/06

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein



FASCICULE DU BREVET A5

11

631 012

21 Numéro de la demande: 3950/79

73 Titulaire(s):
Alcyon Equipment S.A., Renens VD

22 Date de dépôt: 26.04.1979

30 Priorité(s): 01.05.1978 US 901865

72 Inventeur(s):
Michel Farcinade, Genève

24 Brevet délivré le: 15.07.1982

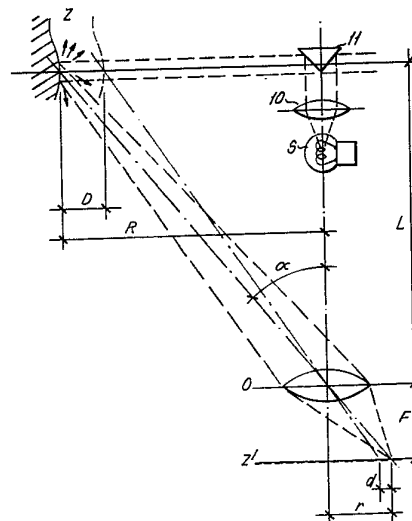
45 Fascicule du brevet
publié le: 15.07.1982

74 Mandataire:
SSIH Management Services S.A., Bienne

54 Installation pour la mesure d'espaces fermés tels que des tunnels.

57 L'installation comprend un analyseur d'image (Z') couplé optiquement (11, 10, 0) par l'intermédiaire de la paroi du profil (Z) à une source lumineuse (S). Une optique (10, 11) envoie une nappe de lumière parallèle dont la tranche frappe le profil (Z) dans un plan perpendiculaire à la paroi de ce profil. Les variations de l'image de la tache produite sur la paroi et projetée sur l'analyseur (Z') sont détectées pour signaler les déformations (D).

L'installation montée sur un véhicule peut être utilisée notamment pour l'inspection de tunnels ferroviaires ou routiers pour prévenir tout danger résultant de déformations.



REVENDEICATIONS

1. Installation de mesure de profil d'un espace fermé tel qu'un tunnel ferroviaire ou routier comportant un dispositif de mesure monté sur un véhicule, ledit dispositif comprenant un analyseur d'image optiquement couplé à une source lumineuse par l'intermédiaire du profil à mesurer de manière à permettre une suite de mesures de profils sur la longueur de l'espace fermé et à assurer une proportionnalité prédéterminée entre les dimensions de l'image projetée et celles du profil à mesurer, caractérisée par le fait que la source lumineuse est associée à des premiers moyens susceptibles de projeter une nappe de lumière parallèle dont la tranche frappe le profil et que des seconds moyens sont associés aux premiers pour commander la position angulaire horizontale des premiers moyens, ladite nappe de lumière parallèle maintenant un angle d'incidence constante par rapport audit profil.

2. Installation selon la revendication 1, caractérisée par le fait qu'elle comporte en outre des troisièmes moyens propres à détecter un déplacement de l'image projetée par rapport au profil à mesurer et à fournir des signaux de correction à l'analyseur d'image.

3. Installation selon la revendication 1, caractérisée par le fait que le véhicule est une voiture à plateau équipée de bogies pour se déplacer sur des rails.

4. Installation selon la revendication 3, caractérisée par le fait que la voiture à plateau est équipée d'une poutre pouvant pivoter dans un plan horizontal, portant la source lumineuse dans l'axe du pivot, et un récepteur d'image à son extrémité opposée au pivot.

5. Installation selon la revendication 4, caractérisée par le fait que l'axe du pivot est aligné avec l'axe du bogie avant.

6. Installation selon la revendication 5, caractérisée par le fait qu'un détecteur d'angle est associé au bogie avant pour fournir des signaux indicatifs de l'angle horizontal occupé par le bogie par rapport à l'axe longitudinal de la voiture à plateau, quand cette voiture emprunte une section de voie courbe.

7. Installation selon la revendication 6, caractérisée par le fait que l'extrémité de la poutre portant le récepteur d'image est associée à un servomécanisme répondant aux signaux du détecteur d'angle qui la maintient approximativement parallèle à l'axe du tunnel.

8. Installation selon la revendication 1, caractérisée par le fait qu'un détecteur de niveau est associé au véhicule pour détecter et mesurer toute déviation angulaire d'une surface en principe horizontale par rapport à l'horizontale de référence.

9. Installation selon la revendication 8, caractérisée par le fait qu'elle comprend un processeur d'informations répondant aux signaux du détecteur de niveau pour effectuer une correction automatique des informations reçues par l'analyseur d'image.

10. Installation selon la revendication 1, caractérisée par le fait que la source lumineuse comprend au moins une lampe à halogène associée à une optique pour produire ladite nappe de lumière parallèle.

Le problème de la mesure de profils intérieurs comme par exemple dans les tunnels par des moyens purement optiques a été discuté dans le brevet FR 2242 663. Ce document propose l'utilisation d'au moins un faisceau laser projeté sur la paroi du tunnel avec un analyseur d'image et un système optique conçu pour capter la tache apparaissant sur la paroi. L'information qui en est déduite est représentative de la distance entre le centre du tunnel et le point d'impact du faisceau laser.

Pour obtenir une information représentative d'un profil, il est nécessaire ou bien d'utiliser plusieurs faisceaux laser ou bien de décaler le faisceau unique de manière qu'il frappe une succession de points. En aucun cas on n'obtiendra un profil continu. Si l'on utilise un seul faisceau laser, le procédé sera très long, et peut être de ce fait inacceptable s'il est nécessaire d'obtenir une série de profils sur la longueur du tunnel. Si on utilise plusieurs faisceaux laser, le coût de l'appareillage sera d'autant plus élevé.

Un autre problème survient quand le tunnel est en courbe sur sa longueur ou présente une surface irrégulière et à des niveaux variables. Dans le dispositif connu où ces facteurs doivent être pris en considération, on perd à la fois en temps et en précision de la mesure.

L'installation selon la présente invention, du fait de sa grande vitesse d'acquisition d'informations, fournit un appareillage pratique pour la mesure d'un grand nombre de sections.

Si l'inspection est faite par référence à un gabarit, la programmation possible avec le nouveau dispositif permet l'émission d'avertissements immédiats s'il existe un risque de collision.

Pendant la succession des mesures de profils, un traitement électronique convertit l'information de type analogique du système optique sous forme numérique susceptible d'être immédiatement stockée dans des mémoires appropriées. Il devient ainsi possible à tout moment désiré d'utiliser des données de comparaison de référence ou étalon pour obtenir des représentations graphiques de déformations éventuelles du tunnel dans des parties prédéterminées le long de la section mesurée.

L'invention qui permet d'arriver à une solution aux différents aspects du problème évoqué sera comprise à la lumière de la description qui suit et pour l'intelligence de laquelle on se référera aux dessins parmi lesquels:

la figure 1 est une représentation schématique du système optique.

la figure 2 est une vue latérale d'un véhicule adapté à l'installation,

la figure 3 est une vue de dessus de ce véhicule engagé dans un passage en courbe,

la figure 4 est un diagramme du système de traitement de l'information,

la figure 5 illustre le principe de fonctionnement d'un exemple d'exécution de l'invention,

la figure 6 d'un second exemple d'exécution,

la figure 7 montre la détermination de la précision selon l'exemple de la figure 5.

la figure 8 selon l'exemple de la figure 6,

les figures 9, 10, 11 et 12 montrent comment des déformations de profil sont mesurées,

et la figure 13 illustre une inspection à partir d'un gabarit.

A la figure 1, on note une puissante source de lumière S qui peut de préférence prendre la forme d'une lampe à halogène. La lumière produite par la lampe traverse la lentille 10 et le faisceau de lumière parallèle qui en est issu tombe sur un cône séparateur 11 apte à produire un plan ou nappe de lumière parallèle dont la tranche trappe les parois de l'espace fermé ou du tunnel en couvrant un angle d'environ 300°. Cette nappe provoque l'illumination d'une zone Z dont l'albédo dépend de l'état physique de la paroi.

Une lentille O est disposée de manière à «voir» la zone éclairée sous un angle α et à une distance fixe L entre la lentille O et le plan médian de la nappe projetée par le cône séparateur 11. Ainsi une image de la zone Z va être projetée sur la surface Z' d'un récepteur opto-électronique permettant

la mesure de la distance r séparant l'axe de la lentille O de l'image de la zone Z .

Il est évident qu'une variation de distance D représentant une variation dans le profil du tunnel peut être lue sur la surface Z' du récepteur à partir des relations:

$$G = \frac{d}{D} = \frac{r}{R} = \frac{F}{L}$$

où d est au moins égal au pouvoir de résolution du récepteur optoélectronique, r est limité par les dimensions physiques de la surface du récepteur, L est déterminé par la longueur normale d'un moyen de transport ou véhicule disponible et susceptible de porter l'appareil.

Ainsi d détermine la limite de la plus petite variation D détectable et d , r et L déterminent le rayon maximal R qui puisse être mesuré.

Considérons maintenant le véhicule représenté aux figures 2 et 3. Il peut, par exemple, comprendre une voiture de chemin de fer conventionnelle à plateau 20 pourvue des bogies habituels 21 et se déplaçant sur des rails 22.

Fixée sur le plateau 23 de la voiture 20 se trouve une construction en treillis 24 qui peut de façon pratique être constituée de cornières et goussets métalliques perforés et réalisée de manière à offrir le maximum de rigidité à l'encontre des contraintes de flexion et de torsion. La fixation du treillis 24 se fait de préférence en trois points dont l'un 25 est proche du centre de la voiture 20 et les deux autres 26 - dont un seul est visible - au voisinage de l'extrémité avant de la voiture. Cette disposition produit jusqu'à un certain degré l'effet d'un joint universel, ce qui limite la transmission de déformations du plateau 23 vers le treillis 24.

Une poutre rigide 27 de préférence métallique est disposée dans le treillis 24. Une de ses extrémités a une articulation 28 permettant de pivoter autour d'un axe vertical aligné avec l'axe de pivotement du bogie avant. Un second support 30 à l'autre extrémité de la poutre 27 peut comporter un secteur denté en prise avec une crémaillère et est susceptible d'être actionné par un entraînement mécanique unidirectionnel, ce qui permet, dans un plan horizontal, de donner à la poutre 27 différentes positions angulaires, comme le montre la figure 3.

Cette variation angulaire doit correspondre à celle du bogie avant par rapport à la voiture lorsque celle-ci passe dans une courbe des rails. L'effet recherché est de maintenir l'axe optique du système qui est parallèle à la poutre 27 constamment perpendiculaire au rayon vecteur de la courbe où l'on passe. De cette manière, la bande lumineuse produite par le système optique de la source et l'albédo en résultant seront toujours perpendiculaires à l'axe longitudinal du tunnel même lors de variations de courbure de ce dernier.

La commande de la position angulaire de la poutre 27 peut être réalisée au moyen d'un détecteur d'angle qui lit les variations angulaires de l'axe du bogie avant et, de là, fournit les signaux nécessaires à un servomoteur approprié pour actionner le mécanisme de commande du secteur denté.

La source S est située au-dessus du centre de rotation 28 de la poutre 27 si bien que la trace lumineuse peut être considérée comme ayant son origine en ce point. Bien que comme déjà dit, cette source peut comprendre une lampe à halogène continue, dans certaines circonstances on peut utiliser des lasers si l'on est surtout intéressé par l'obtention d'informations point par point, ou quand un laser à émission continue peut être disposé de manière à explorer la surface à mesurer. Dans tous les cas, les critères de conception pour une application donnée doivent tenir compte de la sensibilité du récepteur, de la nature de la surface, et dans le cas d'un laser, de la sécurité de l'opérateur.

L'autre extrémité de la poutre 27 va porter le récepteur 31

qui peut prendre des formes diverses compatibles avec le principe de la figure 1. Ainsi, par exemple, un tube de caméra de télévision avec une grande surface réceptrice pour augmenter la définition peut fonctionner en relation avec un convertisseur analogique-numérique pour fournir des valeurs numériques correspondant aux coordonnées cartésiennes X et Y des variations lumineuses lues par le tube de la caméra.

Dans un exemple pratique, l'exploration peut se faire à la cadence de 25 balayages d'image par seconde, ce qui permet la mesure d'un grand nombre de sections et ne laisse qu'une partie relativement faible de surface non inspectée. Ainsi, pour un tunnel de 200 m de longueur où l'appareillage avance de 1 m/s, il sera possible de lire et stocker des informations pour 5000 sections, c'est-à-dire tous les 40 mm de longueur du tunnel. Evidemment si l'on a besoin de moins d'informations, il n'y a pas de problème pour imposer d'autres limites et on peut, par exemple, se contenter simplement de moyennes dans des parties prédéterminées du tunnel. Cependant, le grand intérêt de l'utilisation du tube de caméra en liaison avec une trace continue réside dans le fait qu'il n'y aura pas de zone d'incertitude.

Comme déjà évoqué, cependant, la méthode présente certaines limites inhérentes à la construction du tube lui-même où le pouvoir de résolution d , le rayon r de la surface réceptrice et la limite de L imposée par la longueur de la voiture vont déterminer le rayon maximal mesurable R de même que la plus petite variation détectable D . Ainsi il peut être nécessaire, en mesurant des tunnels particulièrement larges à double voie, de faire deux passages pour effectuer une mesure complète.

Une alternative au tube de caméra peut être l'utilisation de barres-supports portant plusieurs photo-diodes. Une telle disposition peut être préférée dans le cas où une inspection point par point est suffisante. Les barres-supports peuvent être disposées de manière à fournir le meilleur compromis possible pour les profils conventionnels de tunnels connus. Les mêmes résultats mesurés ne peuvent être obtenus que dans le cas du tube de caméra, cependant certaines zones non explorées subsisteront entre les rayons de lumière incidents.

Le dispositif de traitement des informations, comme représenté sous forme de schéma à la figure 4, est constitué essentiellement d'éléments conventionnels. Sur le plateau de la voiture lui-même, la majeure partie de l'appareillage utilisé pourra être installée à l'exception peut-être d'un traceur de courbes 32 qui peut être programmé pour représenter graphiquement les profils du tunnel pour qu'ils puissent être comparés à un profil de référence. Ainsi, comme déjà dit, la caméra de télévision 31, en réponse aux variations reçues de traces lumineuses, fournit des signaux vidéo analogiques correspondants. Ces signaux analogiques sont ensuite transformés en valeurs numériques ordonnées par le convertisseur analogique-numérique 33.

Un comparateur 34 compare les informations en provenance du convertisseur analogique-numérique 33 avec les informations reçues d'un processeur 35 dans lequel sont mises en mémoire les instructions de travail et les données de référence à partir d'un organe d'entrée 36. Le résultat des comparaisons va représenter les différences entre ce qui est désiré selon le programme 36 et ce qui existe en réalité. Ainsi quand on utilise un gabarit de référence, un signal d'alerte peut être émis par un dispositif approprié 37 à temps pour prévenir l'opérateur d'un danger en avant. En même temps, l'information peut être stockée dans une mémoire appropriée 38.

La console de l'opérateur 39 permet à celui-ci de procéder à la commande de l'appareillage et d'introduire des modifications ou additions au programme, si c'est souhaitable.

L'imprimante 40 fournit un enregistrement imprimé des

opérations entreprises ainsi que de celles qui sont associées avec le processeur 35.

Un compteur linéaire 41, en liaison avec le processeur 35, permet l'identification des divers profils enregistrés sur la longueur du tunnel surveillé.

Un générateur électrique 42 fournit une source d'alimentation indépendante aux divers organes de l'appareillage.

La présence d'un organe détecteur de constance du niveau 43 sera expliquée plus loin. D'autres organes, par exemple un lecteur de mémoire 44 associé au traceur de courbes 32, peuvent être ajoutés et certaines modifications apportées selon les circonstances. Il est ainsi évident que certaines modifications sont souhaitables dans le cas d'utilisation de barres-supports de diodes à la place du tube de caméra 31.

Considérons maintenant les figures 5 et 7 qui montrent respectivement le principe des mesures point par point utilisant des barres de diodes et des coordonnées polaires et la détermination de la précision qui peut être obtenue en utilisant un tel appareillage. Les barres de diodes peuvent être obtenues par un procédé apparenté à ceux utilisés pour la fabrication de circuits intégrés et, dans un exemple pratique, les diodes constituant les barres peuvent être séparées par une distance de 16 μm . Il est apparent sur la figure 5 que, dans le cas d'une source ponctuelle en S qui explore la paroi du tunnel ou de plusieurs sources ponctuelles fixes, l'excitation de la diode extrême externe va indiquer le rayon maximal et l'excitation de la diode extrême interne le rayon minimal. Bien que les barres de diodes puissent être placées très près les unes des autres, radialement en éventail, il y aura cependant des zones le long de la paroi du tunnel qui ne seront pas inspectées.

Comme le montre la figure 7, avec une longueur L de la source S à la lentille O de 9 m, un rayon de mesure maximal admissible R de 10 m, un rayon minimal admissible R' de 2,50 m et un diamètre de cible T de 29 mm, la relation optique sera:

$$\frac{R-R'}{T} = \frac{L}{F} \text{ soit } \frac{7\,500}{29} = \frac{9\,000}{F} \text{ donc } F = 35 \text{ mm.}$$

En théorie, la plus petite déformation détectable D sera:

$$\frac{D}{d} = \frac{L}{f} \text{ ou } \frac{D}{0,016} = \frac{9\,000}{35} \text{ soit } D = 4 \text{ mm.}$$

De ce qui précède, on comprendra qu'avec un diamètre de cible T de 29 mm et un pouvoir de résolution de 16 μm , chaque barre de diodes va nécessiter théoriquement 1812 diodes. En pratique, il a été jugé utile de prévoir 30 diodes additionnelles à chaque extrémité, ce qui porte le total à 1872.

Avec l'appareillage qui précède, tout profil peut être mesuré en 50 ms, donc si le véhicule avance à la vitesse de 1 m/s, les informations concernant 20 profils peuvent être obtenues et stockées pour chaque mètre de la longueur du tunnel, c'est-à-dire pour un profil tous les 50 mm.

Dans le cas du système tel que décrit en référence à la figure 1, avec une trace continue et un tube vidéo de caméra adapté à exécuter l'exploration, le dispositif peut être celui représenté à la figure 6. Ici l'analyse se fait plutôt en coordonnées cartésiennes que polaires et, comme déjà dit, toute la surface à mesurer est effectivement explorée. La figure 6 montre ce dispositif avec le récepteur 31 sous la forme d'un tube vidéo de caméra et S une source lumineuse continue, comme déjà décrit.

Pour déterminer la précision qui peut être obtenue avec le dispositif de la figure 6, la figure 8 indique les paramètres à considérer: \varnothing = diamètre de la surface effective de la caméra = 50 mm; dimensions de l'ouverture image: 39x29 mm; pouvoir de résolution en X et Y: 50 μm ; longueur totale du

chemin optique: M = 9 m; distance focale variable de la lentille: F de 30 à 80 mm.

Le pouvoir de détection est inversement proportionnel à la distance focale utilisée. Ainsi:

$$\frac{M-F}{F} = \frac{D}{d} = \frac{H}{39} = \frac{W}{29}$$

et si

$$\begin{aligned} 10 \quad F = 30 \text{ mm, } D = 15 \text{ mm, } H = 12 \text{ m et } W = 9 \text{ m;} \\ F = 80 \text{ mm, } D = 5,57 \text{ mm, } H = 4,34 \text{ m et } W = 3,23 \text{ m;} \\ F = 60 \text{ mm, } D = 7,45 \text{ mm, } H = 5,80 \text{ m et } W = 4,32 \text{ m.} \end{aligned}$$

Il est possible en fonction de l'ouverture image de choisir un grandissement optique de manière à permettre le pouvoir de détecteur maximal.

La dispersion entre deux mesures sera d'environ 0,5% de \varnothing .

Dans le cas présent, il est possible d'obtenir des informations pour 25 profils par seconde, c'est-à-dire un profil tous les 40 mm de longueur de tunnel.

La description mathématique d'un profil déterminé P_0 mesuré au temps T_0 peut être schématisée par une suite de points A_0 définis par rapport à une origine O_0 et qui peut être définie sous forme numérique appropriée à une mise en mémoire. La figure 9 montre deux dispositions possible notamment en système cartésien où chaque point est déterminé par un couple de nombres correspondant aux coordonnées X, Y et en système polaire ou un couple de données correspond au rayon vecteur \vec{V}_1 et à l'angle polaire α_1 .

Pour diverses raisons, par exemple tassement de la voie ou de l'assise de la chaussée, affaissement du ballast, l'image fournie par une source lumineuse S peut subir un déplacement représenté par exemple par un vecteur \vec{V} , et une nouvelle suite de points enregistrés A_1 sera définie par rapport à une nouvelle origine O_1 à un nouveau temps T_1 .

Pour déterminer s'il y a ou non des déformations, c'est-à-dire par comparaison de la suite A_0 et de la suite A_1 , il est nécessaire de déterminer le vecteur \vec{V} pour amener en coïncidence les profils P_0 et P_1 . L'impossibilité d'obtenir une telle coïncidence indiquera la présence de déformations.

Par l'utilisation du système de coordonnées polaires, comme il est recommandé en liaison avec les récepteurs à barres de diodes, la figure 10 montre qu'à partir de l'origine O, le système O, X, Y peut être déplacé en O_1, X_1, Y_1 par le rayon vecteur \vec{V} sous un angle α . En mesurant et calculant selon la formule:

$$\Sigma = \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2}$$

pour différents vecteurs, une suite $\Sigma_0, \Sigma_1, \Sigma_2, \text{ etc. } \dots$ peut être obtenue, la meilleure adaptation étant obtenue lorsqu'on arrive à une valeur Σ de valeur minimale. Ainsi, en partant de l'origine O, le vecteur \vec{V} est déterminé pour que, pour un déplacement du système O, X, Y, la meilleure adaptation des profils soit obtenue. Les déformations sont alors mesurées par des comparaisons point par point.

La figure 11 illustre la méthode de mesure en coordonnées cartésiennes qui est la mieux adaptée à la mesure et à l'analyse en utilisant un récepteur à caméra vidéo.

Ainsi pour les profils P_0 et P_1 , les points suivants sont déterminés: H_0 et H_1 , correspondant à la hauteur maximale de l'image. La distance V ainsi obtenue est égale à la composante verticale du vecteur \vec{V} ; C_0 et C_1 correspondant à la distance horizontale maximale. La distance H ainsi obtenue correspond à la composante horizontale du vecteur \vec{V} .

Le vecteur \vec{V} étant obtenu, la superposition immédiate des axes X_0, Y_0 et X_1, Y_1 va indiquer la coïncidence ou son absence entre les profils P_0 et P_1 .

Avec l'un ou l'autre de ces systèmes, il est nécessaire d'avoir un point de référence pour assurer la cohérence dans les procédures de mesure entre le phénomène réel représenté par le tunnel mesuré et l'équipement d'inspection installé sur le plateau de la voiture. Par exemple, dans le cas de tunnels en courbe, l'inclinaison nécessaire du remblai va provoquer une inclinaison de l'équipement de mesure, comme illustré à la figure 12.

Il est donc nécessaire de disposer d'un détecteur de niveau comme celui qui a déjà été évoqué à propos de la figure 4. Cet équipement mesure à chaque instant le taux d'inclinaison et fournit des signaux représentatifs de cette inclinaison au processeur.

Le processeur utilise ces informations relatives à l'inclinaison pour corriger les informations reçues de l'appareillage

de mesure du profil de tunnel de sorte qu'une telle information soit automatiquement et immédiatement convertie dans un système à origine et axes de coordonnées de référence.

La figure 13 illustre l'inspection avec un gabarit de référence, dans laquelle le programme en mémoire ne considère que le gabarit défini au début de l'opération. Dans la mesure où il n'y a pas de perturbation due à l'apparition soudaine d'une transition lumineuse à sa surface, rien ne se passe dans l'appareillage du traitement de l'information. Cependant, si une transition survient du fait d'une protubérance dans le tunnel éclairé par le système optique, l'alerte est immédiatement déclenchée. En même temps, les informations relatives à la protubérance peuvent être mises en mémoire de même que sa localisation précise par rapport au gabarit et la section exacte du tunnel.

Fig. 1.

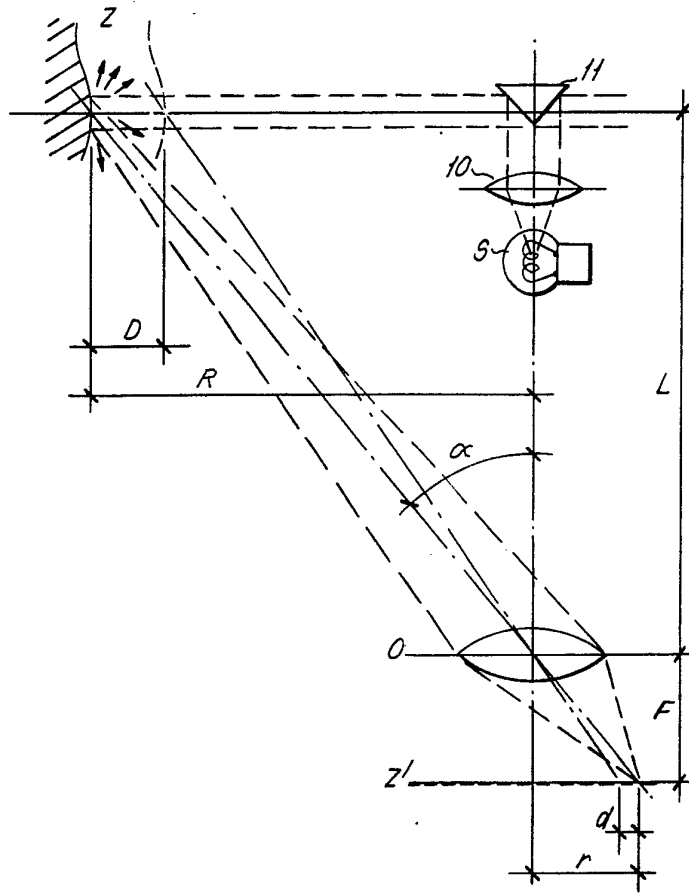


Fig. 2.

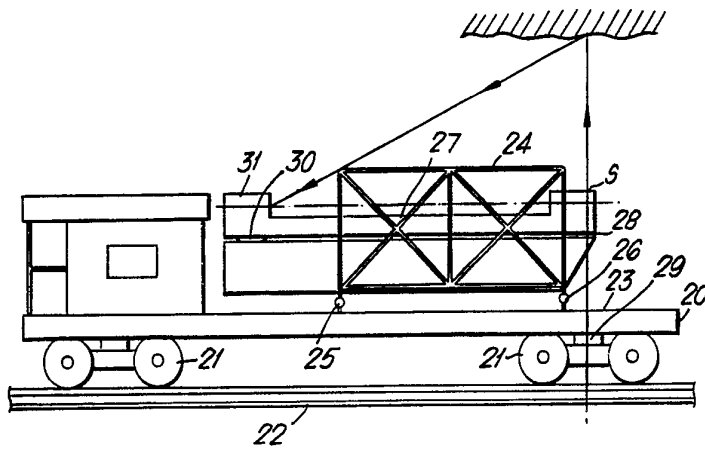
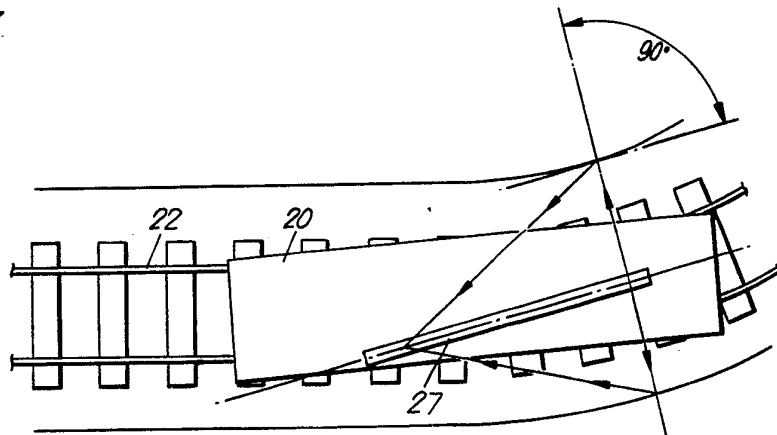


Fig. 3.



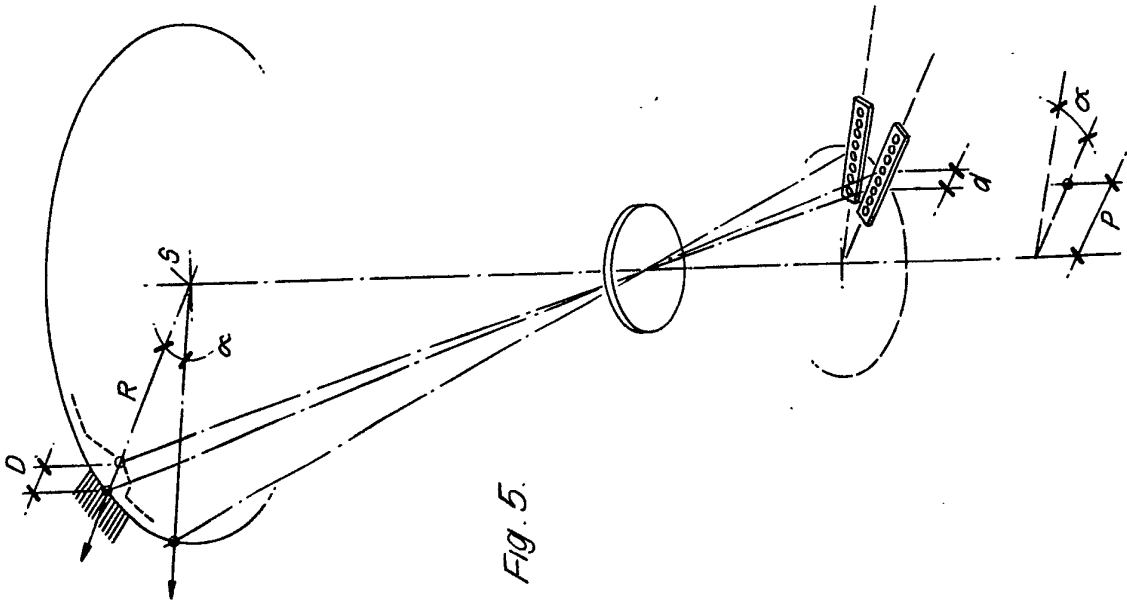


Fig. 5.

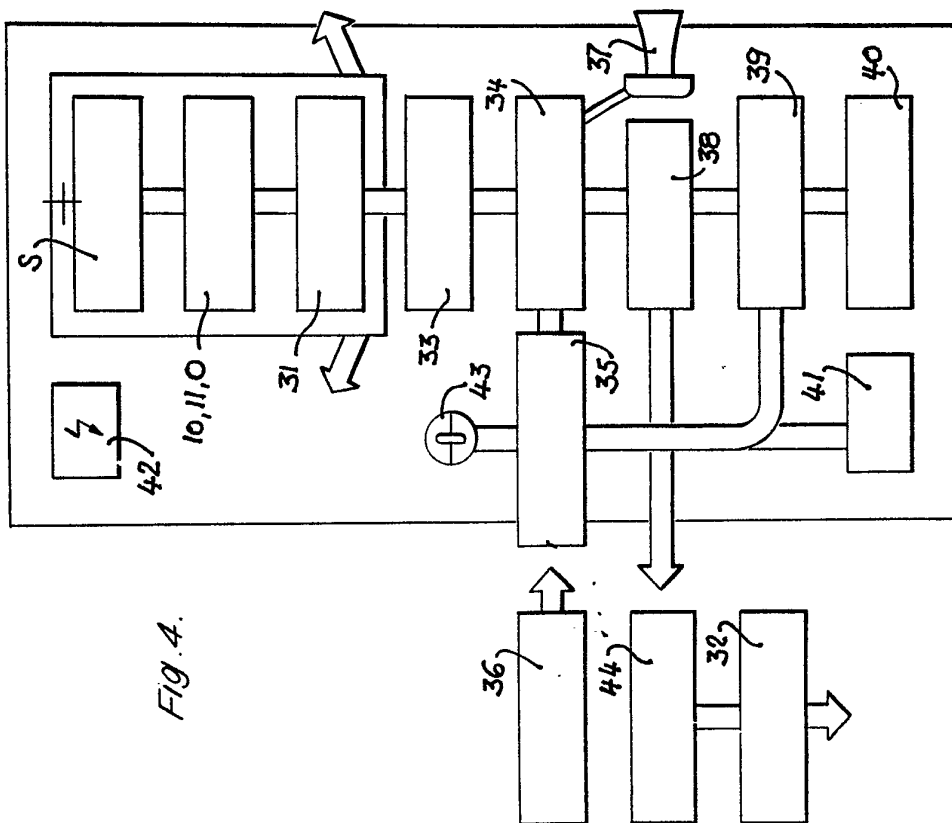


Fig. 4.

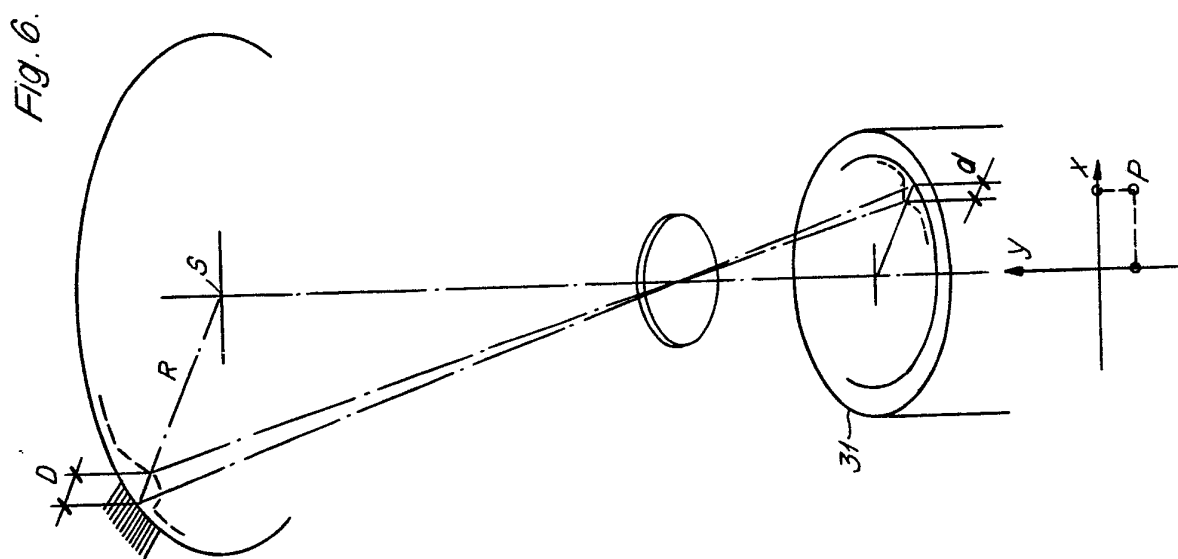
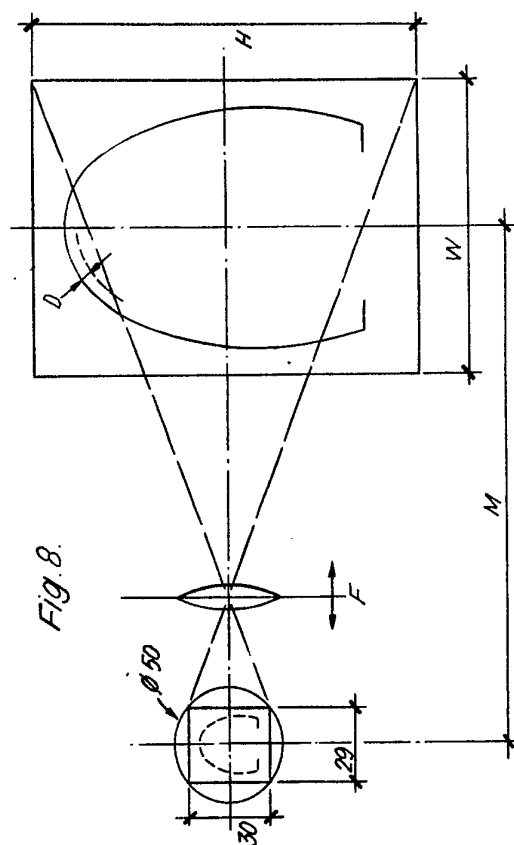
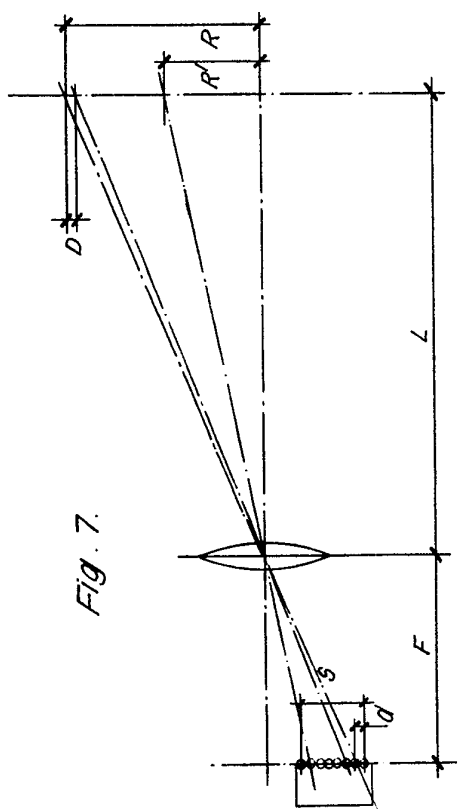


Fig. 9.

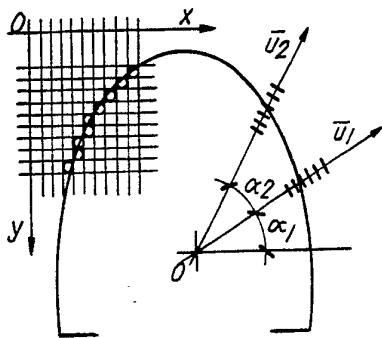


Fig. 11.

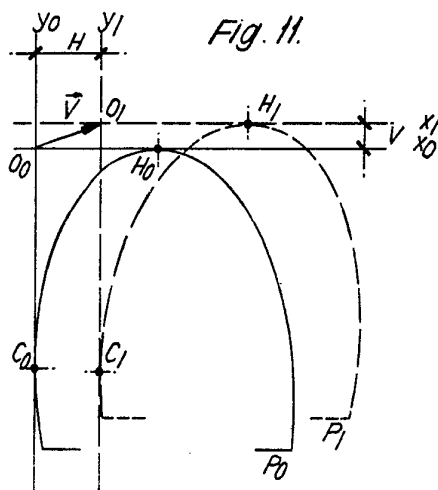


Fig. 10.

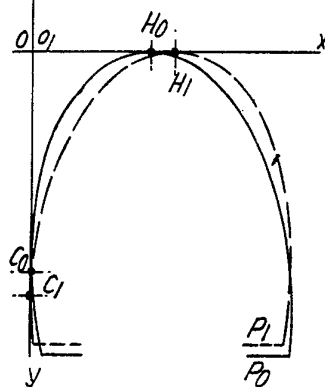
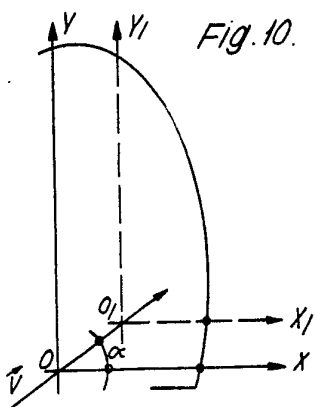


Fig. 12.

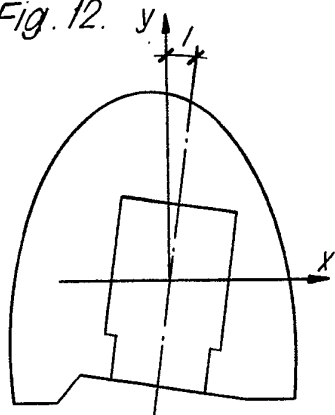


Fig. 13.

