RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 495 797**
(A n'utiliser que pour les commandes de reproduction).

A1

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

(21) **N° 80 26103**

(54) **Système de pilotage automatique d'un véhicule terrestre autonome.**

(51) Classification internationale (Int. Cl. ³). **G 05 D 1/02; B 62 D 1/28.**

(22) Date de dépôt ..... 9 décembre 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° 23 du 11-6-1982.

(71) Déposant : OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES (ONERA), résidant en France.

(72) Invention de : Vincent Fuertes.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Martinet,
62, rue des Mathurins, 75008 Paris.

SYSTEME DE PILOTAGE AUTOMATIQUE D'UN VEHICULE TERRESTRE AUTONOME.

La présente invention, développée au Centre d'Etudes et de Recherches de Toulouse (C.E.R.T.), établissement de l'O.N.E.R.A., concerne un système de pilotage automatique d'un véhicule terrestre autonome vers un emplacement déterminé.

On entend ici par véhicule "autonome" un véhicule sans pilote doté de moyens propres de commande de démarrage, d'arrêt et de direction. L'invention s'applique à tous les véhicules autonomes à traction par moteur électrique et à commande de direction par moteur électrique et notamment aux chariots automoteurs destinés à la prise, au transfert et à la dépose de charges. Le système de l'invention a plus précisément pour objet d'une part de guider un véhicule autonome vers un emplacement déterminé quelles que soient la distance qui les sépare et l'orientation initiale du véhicule et d'autre part d'assurer une orientation déterminée dudit véhicule et son arrêt lorsque ledit emplacement est atteint. On connait déjà, comme systèmes de ce genre :

- ceux qui mettent en oeuvre des mesures de distance par détermination périodique de la durée de parcours de trains d'ondes électromagnétiques (lumineuses ou hertziennes ultracourtes) échangées entre le véhicule et des repères ou balises fixes; la nécessité de mesurer des durées extrêmement courtes limite la précision du guidage et impose de recourir à des équipements encombrants, compliqués et coûteux;

- ceux qui mettent en oeuvre la mesure de paramètres (intensité, phase) du champ électromagnétique engendré par un réseau de conducteurs aériens, souterrains ou de surface; la mesure doit être d'autant plus précise que la précision de guidage recherchée est meilleure.

Le système de pilotage automatique de l'invention ne présente aucun de ces inconvénients. Il opére au moyen de mesures de triangulation par voie optique et ne nécessite aucune autre installation de terrain qu'une base de référence de réalisation très simple. Le dispositif embarqué à bord du véhicule est robuste, peu coûteux et peu encombrant. Enfin, la précision du guidage est grandement suffisante pour les applications envisagées.

Le système de pilotage automatique de l'invention est essentiellement caractérisé en ce qu'il comprend :

- une base optique de référence géométrique constituée par trois repères optiques rétro-réflecteurs qui occupent respectivement une extrémité, le milieu et l'autre extrémité d'un segment horizontal de longueur et d'orientation déterminées (le terme "rétro-réflecteur" qualifiant un élément optique qui, lorsqu'il est éclairé par un pinceau optique, renvoie dans la direction d'incidence de ce pinceau au moins une fraction du flux lumineux qu'il en reçoit) et

- un dispositif de pilotage embarqué à bord du véhicule, comprenant d'une part des moyens électro-optiques de mesure des distances angulaires, vues du véhicule, de l'un et l'autre repères optiques d'extrémité relativement au repère optique médian et d'autre part une unité de commande qui agit sur le circuit d'alimentation du moteur de commande de direction pour orienter le véhicule en marche de telle sorte que ces distances angulaires tendent à croître en s'égalisant et qui agit en fin de parcours sur le circuit d'alimentation du moteur de traction pour arrêter le véhicule lorsque ces distances angulaires sont toutes deux égales à une valeur prédéterminée.

Le système de l'invention opère donc effectivement par triangulation et sa précision ne dépend que de la précision de réalisation de la base de référence, de la précision

de la mesure des distances angulaires et du temps de réponse du véhicule aux ordres de commande agissant sur les circuits d'alimentation.

Avantageusement :

- les moyens optiques du dispositif de pilotage embarqué comprennent d'une part un phare qui délivre un pinceau lumineux qui pivote dans un plan horizontal en balayant la base et d'autre part un capteur opto-électronique exposé aux flux lumineux envoyés par les repères optiques lorsque ceux-ci sont atteints par ce pinceau lumineux et
- l'unité de commande comporte des moyens de mesurer les écarts des positions occupées successivement par le pinceau lumineux lorsque le capteur délivre des signaux impulsionnels correspondant respectivement aux flux lumineux renvoyés par les trois repères.

Les mesures des distances angulaires des trois repères se réduisent ainsi à des mesures de la position angulaire du pinceau lumineux relativement à un axe lié au véhicule.

Avantageusement, en outre, le phare comprend une source lumineuse fixe (par exemple un laser à gaz) délivrant un pinceau lumineux horizontal, un premier réflecteur fixe disposé sur le trajet de ce pinceau pour le réfléchir dans une direction verticale et un réflecteur tournant disposé sur le trajet du pinceau ainsi réfléchi pour le renvoyer dans un plan horizontal de balayage. La source lumineuse est ainsi liée rigidement au véhicule et le seul organe mobile du dispositif de pilotage est le réflecteur tournant qu'il est facile de réaliser avec une très grande précision.

Avantageusement, en outre, le réflecteur tournant est entraîné par un moteur électrique à vitesse constante (par exemple muni d'un volant d'inertie ou encore piloté par une base de temps de synchronisation) et les moyens de mesure des écarts de positions angulaires sont des moyens chronométriques qui mesurent les intervalles de temps qui séparent les instants où le capteur délivre les signaux impulsionnels. Les mesures d'écarts angulaires se réduisent ainsi à des mesures chronométriques qu'il est aisé de réaliser d'une façon très précise au moyen de compteurs numériques.

On remarquera, d'une façon générale, que les distances angulaires mesurées deviennent d'autant plus grandes que le véhicule se rapproche de la base, la précision relative des mesures angulaires par les moyens chronométriques croissant dans les mêmes proportions. Le guidage est donc plus précis au fur et à mesure que le véhicule se rapproche de son but. Cet avantage est particulièrement précieux lorsque ce véhicule est un chariot de manutention muni de moyens automatiques de pose et de dépose de charge qui exigent une mise en place et une orientation précises du chariot relativement aux emplacements de chargement et de déchargement.

D'autres dispositions, relatives notamment à la constitution de l'unité de commande, seront exposées dans la description qui suit d'un exemple de réalisation du système de pilotage de l'invention. Cette description se réfère aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue générale du système montrant de profil un véhicule équipé du dispositif de pilotage et en perspective la base de référence;
- la figure 2 est un diagramme de blocs montrant les éléments essentiels de l'unité de commande du dispositif de pilotage;
- la figure 3 est un diagramme de signaux impulsionnels de mesure de temps;
- la figure 4 est un diagramme géométrique;
- la figure 5 est un diagramme cinétique.

Dans les figures 1 et 2 ne sont montrées que les dispositions nécessaires à la compréhension de l'invention. Le véhicule, en particulier, est réduit à ses organes moteurs et aux organes du dispositif de pilotage.

On considère d'abord la figure 1. Le véhicule ou chariot 10 comporte un plateau 11 supporté par un essieu moteur arrière à deux roues telles que 12 et par une roue avant directrice folle 13. L'essieu des roues 12 est entraîné par un moteur électrique 14 tandis que le pivot directeur 131 de la roue 13 est actionné au moyen d'un moteur-réducteur 15 à deux sens de fonctionnement. Au moins un accumulateur électrique 16 alimente le moteur 14 par l'intermédiaire d'un circuit

de commande d'alimentation 17 et le moteur 15 par l'intermédiaire d'un circuit de commande d'alimentation 18.

Le dispositif de pilotage embarqué 20 est logé dans une tourelle 21 fixée à l'avant du plateau 11. Il comprend :

- un laser à éclairement continu 22 situé à la partie supérieure de la tourelle 21 et projetant horizontalement un pinceau lumineux P,
- un premier réflecteur fixe 23 renvoyant ce pinceau lumineux verticalement vers le bas,
- un réflecteur tournant 24 renvoyant ce pinceau lumineux dans un plan horizontal et supporté par l'axe vertical d'un moteur électrique 25,
- un deuxième réflecteur fixe 26 qui est disposé entre les réflecteurs 23 et 24, orienté de façon à réfléchir vers l'arrière du chariot les flux lumineux collectés successivement par le miroir tournant 24 durant sa rotation et dans lequel est ménagée une fenêtre transparente 261 qui permet la transmission du pinceau lumineux P entre les réflecteurs 23 et 24,
- un premier capteur ou transducteur opto-électronique 27 sur lequel une optique 271 focalise les flux de retour collectés par le réflecteur 24 et défléchis par le réflecteur 26,
- un deuxième capteur opto-électronique 28 sur lequel une optique 281 focalise le pinceau P lorsque celui-ci est réfléchi en direction de cette optique à chaque tour du réflecteur 24,
- enfin une unité de commande 40 qui reçoit par des liaisons 401 et 402 les signaux respectifs de sortie des capteurs 27 et 28 à partir desquels elle élabore des signaux de commande transmis respectivement aux circuits d'alimentation 17 et 18.

Quant à la base de référence optique 60, elle est constituée par une règle horizontale 61 reposant sur le sol par un statif 65 ou fixée à une structure non représentée (par exemple un casier de stockage). Cette règle porte trois repères optiques 62, 63 et 64 qui sont rétro-réflecteurs

c'est-à-dire qui, lorsqu'ils reçoivent un flux lumineux, réfléchissent au moins une fraction de ce flux dans la direction d'incidence. Ces trois repères pourraient être réalisés au moyen de petites plages d'un revêtement réfléchissant et diffusant (éventuellement fluorescent), mais, pour des raisons de rendement lumineux, on a intérêt à les constituer par des catadioptres, ce qui permet au système de fonctionner dans un éclairage d'ambiance naturel ou artificiel. Les repères 62 et 64 sont disposés chacun à une extrémité de la règle 61, le repère 63 étant disposé au milieu de cette règle, à égale distance des deux autres.

La figure 2 montre les éléments essentiels de l'unité de commande 40, tout au moins ceux qui concourent à la commande de direction du véhicule. Ce sont :

- un circuit de mise en forme (largeur et amplitude) des impulsions de sortie des capteurs 27 et 28,
- un circuit d'acquisition de temps 42 constitué par trois compteurs numériques (non représentés) qui sont tous trois synchronisés par une base de temps 43; qui sont tous trois ré-initialisés à chaque tour du réflecteur 24 par l'impulsion de sortie du capteur 28 et qui sont respectivement arrêtés par les trois impulsions de sortie successives du capteur 27 qui correspondent aux impulsions lumineuses renvoyées par la base 60,
- un calculateur numérique programmable 44 qui élabore, à partir des données fournies par le circuit 42, des signaux de commande qui sont transcrits analogiquement par un circuit d'interface 45 et qui sont délivrés au circuit de commande 17 du moteur 14 par un amplificateur 46 (s'il s'agit de commander la marche ou l'arrêt du véhicule) et au circuit de commande 18 du moteur 15 par des amplificateurs 47 (s'il s'agit d'infléchir la direction du véhicule).

La figure 3 illustre le fait que les durées TV1, TV2 et TV3 respectivement mesurées par les trois compteurs du

circuit 42 à partir de l'origine déterminée à chaque tour du miroir 24 par le capteur 28 (impulsion V0) fournissent par différence au calculateur 44 les durées qui séparent les impulsions V1, V2 et V3 successivement délivrées par le capteur 27 à réception des impulsions lumineuses successivement renvoyées par les repères 62, 63 et 64.

On considère maintenant la figure 4. On y retrouve, vus de dessus et très schématiquement, d'une part le chariot 10 avec son plateau 11, ses roues arrières motrices 12 et sa roue directrice 13, d'autre part la base 60 avec ses trois réflecteurs 62, 63 et 64 portés par la règle 61. On suppose que l'axe du pivot vertical de la roue 13 coïncide avec l'axe de rotation du miroir 24 (fig. 1) et que le capteur 28 est aligné sur l'axe longitudinal du chariot. Si l'on appelle :

d : la distance de l'axe du miroir 24 au réflecteur 63,

b : (longueur de base) la distance qui sépare les réflecteurs 62 et 64,

I : l'angle d'incidence du pinceau limineux réfléchi par le miroir 24 lorsqu'il frappe le réflecteur 63 (angle fait avec la normale NN),

A1 et A2 : les distances angulaires (vues de l'axe du miroir 24) qui séparent respectivement le réflecteur 62 du réflecteur 63 et celui-ci du réflecteur 64,

on vérifie par le calcul que l'état du véhicule à un instant donné, défini par les variables d et I , peut être connu par les valeurs de A1 et A2 puisque :

$$2 \operatorname{tg} I = \operatorname{cotg} A2 - \operatorname{cotg} A1 \qquad (1)$$

et

$$d = b \cos I(\operatorname{cotg} A2 + \operatorname{cotg} A1)/4 \qquad (2)$$

Par conséquent, pour une longueur de base b déterminée et un empattement E déterminé du véhicule, le calculateur est en mesure de rectifier après chaque rotation du miroir 24 l'angle de braquage R de la roue 13 puisque la valeur des

angles A1 et A2 lui est donnée par les différences de temps (TV2 - TV1) et (TV3 - TV2). Le programme qui lui est assigné doit être tel que, en fin de trajectoire, l'axe longitudinal LL du véhicule coïncide avec la normale NN et que les valeurs des angles A1 et A2 soient toutes deux égales à une valeur prédéterminée qui fixe l'emplacement sur lequel ledit véhicule doit stationner.

On ne donnera pas ici d'exemple de programme de calcul puisque ce programme dépend de la constitution du calculateur et notamment, s'il s'agit d'un micro-ordinateur dont l'unité arithmétique et logique est constituée par un micro-processeur, du jeu d'instructions disponibles pour celui-ci. Un tel programme est d'ailleurs à la portée de tout spécialiste disposant des informations nécessaires. On signalera seulement que, pour améliorer la stabilité de fonctionnement du système, il est avantageux de décaler vers l'arrière l'axe du miroir 25 par rapport à l'axe de la roue directrice 13 ou encore d'introduire dans le programme un paramètre simulant un tel décalage.

La figure 5 illustre un exemple des résultats obtenus au moyen du système de l'invention. La courbe T représente la trajectoire du véhicule entre le point de départ O1 et la base 60, dans un système de coordonnées (X1,Y). Les valeurs correspondantes des angles R (braquage) et A (écart angulaire de l'axe LL par rapport à la droite qui joint l'axe de la roue 13 au milieu de la base 60) sont indiquées par rapport à un axe des abscisses O2-X2. On voit que, en fin de parcours, ces deux angles s'annulent simultanément, ce qui signifie que le véhicule se trouve placé perpendiculairement au milieu de la base 60.

Pour terminer la présente description, on notera que, étant donné la constitution du système de l'invention, celui-ci peut aisément s'appliquer au pilotage de véhicules déjà munis de dispositifs de reconnaissance d'adresses de charges du

genre connu qui mettent en oeuvre la lecture à distance de codes constitués par des alignements de repères optiques.

REVENDICATIONS.

1. Système de pilotage automatique d'un véhicule autonome muni d'un moteur électrique de traction, d'un moteur électrique de commande de direction et de circuits d'alimentation de ces moteurs, caractérisé en ce qu'il comprend, pour diriger le véhicule (10) vers un emplacement déterminé et pour l'arrêter dans une orientation déterminée lorsqu'il a atteint cet emplacement :

- une base optique de référence géométrique (60) constituée par trois repères optiques rétro-réflecteurs (62,63,64) qui occupent respectivement une extrémité, le milieu et l'autre extrémité d'un segment horizontal de longueur et d'orientation déterminées et

- un dispositif de pilotage embarqué à bord du véhicule, comprenant d'une part des moyens électro-optiques (20) de mesure des distances angulaires, vues du véhicule, de l'un et de l'autre repère optique d'extrémité relativement au repère optique médian et d'autre part une unité de commande (40) agissant sur le circuit d'alimentation (18) du moteur de commande de direction (15) pour orienter le véhicule en marche de telle sorte que ces distances angulaires tendent à croître en s'égalisant et agissant en fin de parcours sur le circuit d'alimentation (17) du moteur de traction (15) pour arrêter le véhicule lorsque ces distances angulaires sont devenues toutes deux égales à une valeur prédéterminée.

2. Système de pilotage selon la revendication 1, caractérisé en ce que :

- lesdits moyens électro-optiques (20) comprennent d'une part un phare (22,23,24) qui délivre un pinceau lumineux qui pivote dans un plan horizontal en balayant la base 60 et d'autre part un capteur opto-électronique (27) exposé aux flux lumineux renvoyés par les repères optiques (62,63,64) lorsque ceux-ci sont atteints par le pinceau lumineux et

- en ce que l'unité de commande (40) comporte des moyens de mesurer les écarts des positions angulaires occupées successivement par le pinceau lumineux de balayage lorsque le

capteur 27 délivre des signaux impulsionnels correspondant respectivement aux flux lumineux renvoyés par le premier repère d'extrémité - c'est-à-dire le premier rencontré au cours d'un balayage - (62) par le repère médian (63) et par le deuxième repère d'extrémité (64).

3. Système de pilotage selon la revendication 2, caractérisé en ce que le phare comprend une source lumineuse (22) délivrant un pinceau lumineux horizontal, un premier réflecteur fixe (23) disposé sur le trajet de ce pinceau pour le réfléchir dans une direction verticale et un réflecteur tournant (24) disposé sur le trajet du pinceau ainsi réfléchi pour le renvoyer dans un plan horizontal de balayage.

4. Système de balayage selon la revendication 3, caractérisé en ce que le réflecteur tournant (24) est entraîné par un moteur électrique à vitesse constante (25) et en ce que les moyens de mesure desdits écarts des positions angulaires du pinceau lumineux de balayage sont des moyens chronométriques (42) qui mesurent les intervalles de temps séparant les instants où le capteur (27) délivre lesdits signaux.

5. Système de pilotage selon la revendication 3 ou la revendication 4, caractérisé en ce que le dispositif de pilotage comporte en outre un deuxième réflecteur fixe (26) interposé entre le réflecteur fixe (23) et le réflecteur pivotant (24), comportant une fenêtre transparente traversée par le pinceau lumineux réfléchi par le réflecteur (23) et incliné de telle sorte qu'il réfléchit vers le capteur (27) les flux lumineux collectés par ledit réflecteur pivotant (24).

6. Système de pilotage selon la revendication 4 ou selon la revendication 4 et la revendication 5 caractérisé en ce que le dispositif de pilotage comporte en outre un deuxième capteur opto-électronique (28) disposé dans le plan du pinceau lumineux réfléchi par le réflecteur tournant (24) et délivrant à l'unité de commande (40) un signal d'origine de mesure de temps lorsqu'il est atteint par ledit pinceau lumineux.

7. Système de pilotage selon la revendication 4 ou selon la revendication 4 et la revendication 5 ou selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'unité de commande (40) comporte des compteurs numériques d'impulsions constituant les moyens chronométriques (22), un calculateur numérique (44) élaborant des signaux numériques de commande à partir des signaux numériques transmis par lesdits compteurs et un interface (45) transformant lesdits signaux numériques de commande en signaux analogiques de commande destinés aux circuits d'alimentation (15,18).

FIG.1

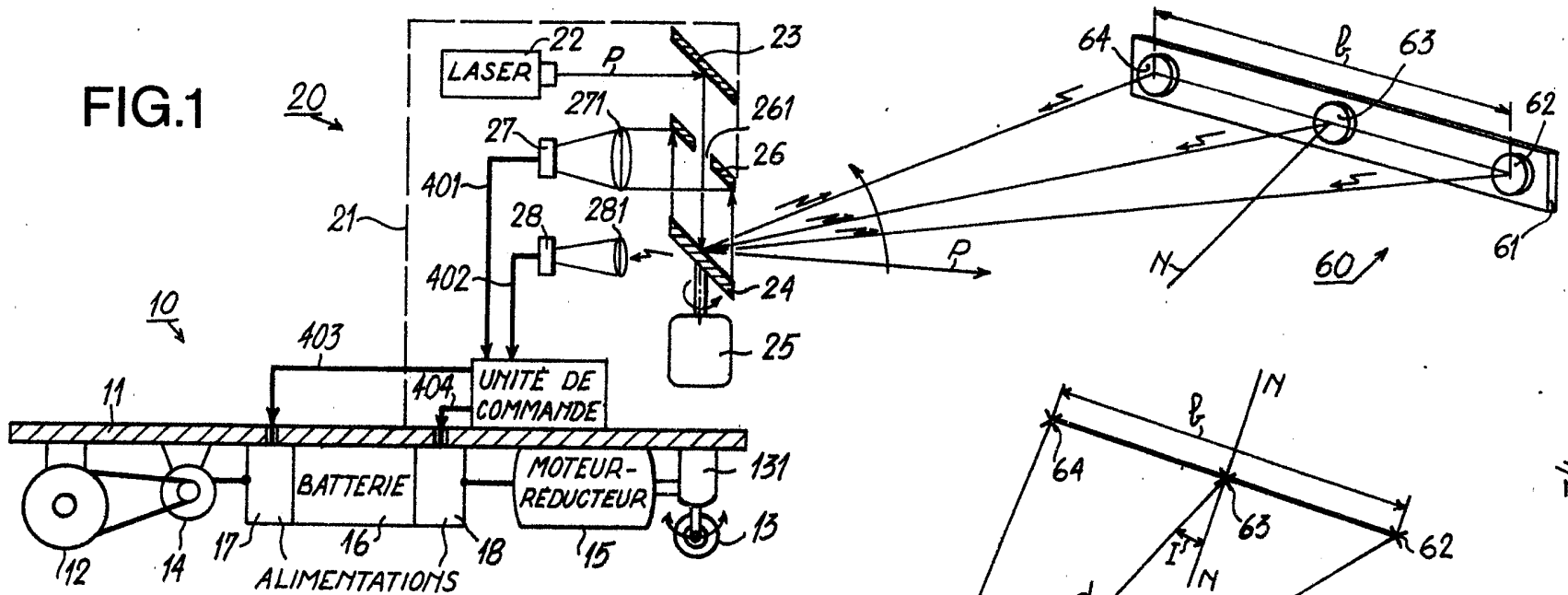
20
LASER
22
P
23
271
261
27
26
401
21
28
281
402
24
25
10
403
404
UNITÉ DE COMMANDE
11
BATTERIE
MOTEUR-REDUCTEUR
131
13
12
14
17
16
18
15
ALIMENTATIONS
64
63
62
61
60
N
P

FIG.4

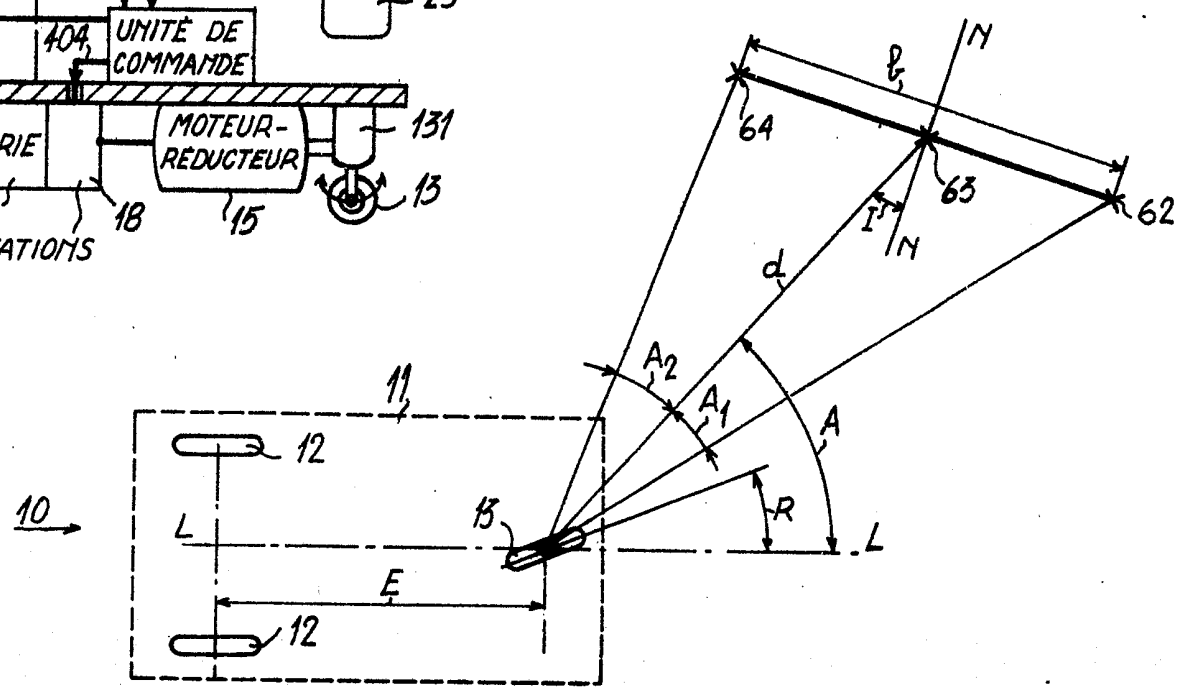
10
11
12
L
E
13
64
63
62
N
I
d
A2
A1
A
R
L

FIG.2

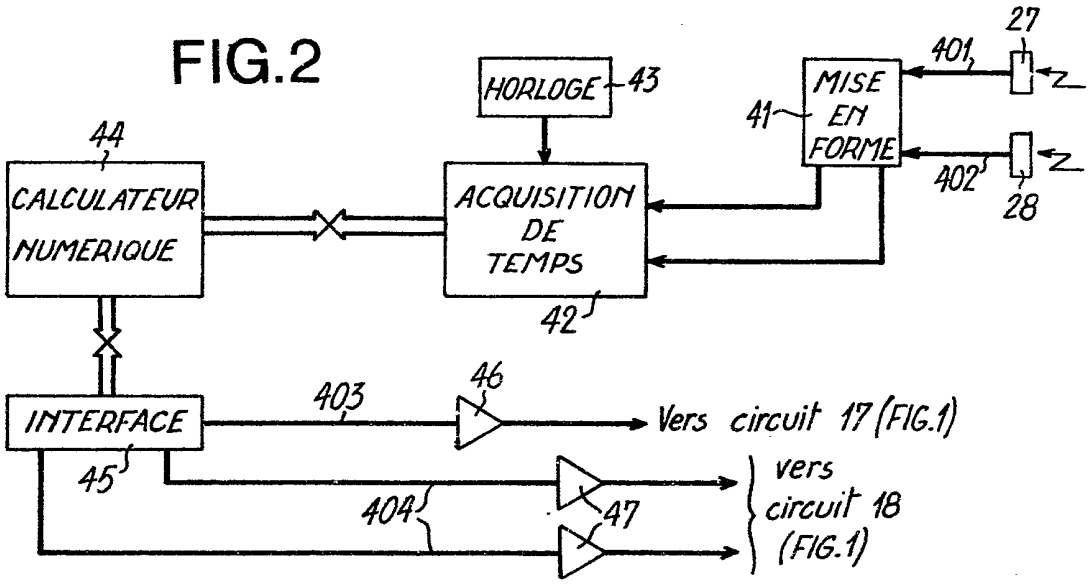

FIG.3

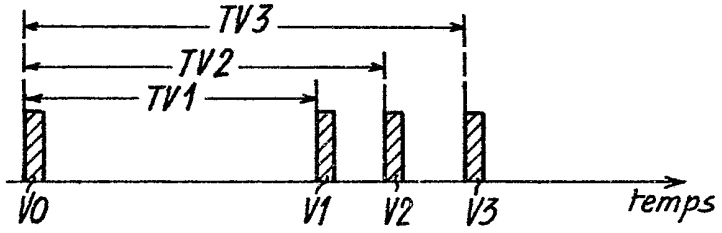

FIG.5

