



(12) FASCICULE DE BREVET

- (11) N° de publication : **MA 35412 B1** (51) Cl. internationale : **G01V 3/17; F41H 11/136**
- (43) Date de publication : **01.09.2014**

-
- (21) N° Dépôt : **36732**
- (22) Date de Dépôt : **05.02.2014**
- (30) Données de Priorité : **06.07.2011 FR 11 56098**
- (86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT : **PCT/FR2012/000268 05.07.2012**
- (71) Demandeur(s) :
- **ECOLE POLYTECHNIQUE, Route de Saclay F-91128 Palaiseau Cedex (FR)**
 - **CHEKROUN, Claude, 16 allée des Quatre coins F-91190 Gif-sur-Yvette (FR)**
 - **DURAN, Mario, guillermo acuna 2580 providencia santiago de chile (CL)**
 - **AMESYS SAS, 1030 AVENUE GUILLIBERT DE LA LAUZERE LES MILLES 13794 AIX EN PROVENCE CEDEX 3 (FR)**
- (72) Inventeur(s) : **CHEKROUN, Claude ; BOHBOT, Olivier ; DURAN, Mario ; SENEOR, Roland**
- (74) Mandataire : **SABA & CO**

(54) Titre : **DISPOSITIF POUR DETECTEUR DES OBJETS TELS QUE DES MINES**

- (57) Abrégé : Ce dispositif est prévu, plus particulièrement, pour détecter des mines posées dans une zone susceptible d'être minée (5). Il est placé sur un véhicule (1) se déplaçant à une vitesse V. Il comporte un panneau (25) sur lequel est disposé un ensemble de rayonnement (18) et un circuit de traitement (50) pour signaler sur un écran (80) la présence de mines. L'ensemble de rayonnement (18) est formé par un alignement d'antennes (20) disposé transversalement à la vitesse V de déplacement dudit véhicule (1). Ses dimensions sont telles qu'il permet d'obtenir une bonne résolution. Celle-ci est renforcée par un traitement pour fonctionner en antenne synthétique.

ABREGE.

«Dispositif pour détecter des objets tels que des mines.»

5 Ce dispositif est prévu, plus particulièrement, pour détecter des mines posées dans une zone susceptible d'être minée (5). Il est placé sur un véhicule (1) se déplaçant à une vitesse V . Il comporte un panneau (25) sur lequel est disposé un ensemble de rayonnement (18) et un circuit de traitement (50) pour signaler sur un écran (80) la présence de mines. L'ensemble de rayonnement (18) est formé par un alignement d'antennes (20) disposé transversalement à la vitesse V de déplacement dudit véhicule (1). Ses dimensions sont telles qu'il permet d'obtenir
10 une bonne résolution. Celle-ci est renforcée par un traitement pour fonctionner en antenne synthétique.

Ref: Fig.1

Application : Détection de mines dans des terrains sablonneux.

35412
01 SEPT 2014
- 1 -

TV136732

« Dispositif pour détecter des objets tels que des mines »

La présente invention concerne un dispositif pour détecter des objets, tels que des mines, posés dans une zone à explorer, ledit dispositif étant placé sur un véhicule se déplaçant à une vitesse V et étant formé d'un panneau sur lequel est disposé un ensemble de rayonnement et d'un circuit de traitement pour fournir des indications sur la présence de tels objets.

Un tel dispositif est décrit dans le document de brevet EP 0 812 005 et vise différentes applications. Ce dispositif connu n'est pas approprié pour la détection d'objets de faibles dimensions et qui sont conçus pour être difficilement détectables. En outre, il est considéré comme désavantageux, lorsque le panneau est de grandes dimensions, par le fait que la déformation de celui-ci entraîne une incohérence entre les ondes émises et réfléchies qui est difficilement contournable même en effectuant par des circuits appropriés des mesures de ces déformations.

L'invention propose un dispositif du genre mentionné dans le préambule qui présente de bonnes performances. Ainsi, il devient possible de détecter des mines enfouies dans le sable. Ces mines sont bien souvent conçues pour être indétectables et présentent de ce fait une constante diélectrique assez proche de celle du sable dans lequel elles peuvent être enfouies. Il en découle que leur coefficient de réflexion est proche de celui du sable qui les entoure et donc, elles sont difficiles à être détectées par rayonnement électromagnétique.

La présente invention propose différentes mesures pour détecter des objets difficilement détectables et qui permettent, donc, une détection de mines de tailles diverses : mines anti-personnelles ou mines anti-char, ces mines pouvant être dans des sols qui ne favorisent pas cette détection.

Selon un aspect de l'invention, l'ensemble de rayonnement comporte un alignement d'antennes disposé transversalement à la vitesse V de déplacement dudit véhicule. La grandeur de l'ensemble de cet alignement est en dépendance de la taille des objets à détecter.

Un autre aspect de l'invention prévoit des moyens de duplexage pour que l'ensemble de rayonnement soit utilisé tant en émission pour illuminer ladite zone à explorer qu'en réception pour recueillir les ondes réfléchies depuis cette zone. On obtient un premier avantage que le nombre d'antenne est réduit de moitié et qu'une plus grande cohérence dans le traitement des ondes émises et des ondes reçues est obtenue apportant ainsi de meilleures performances. Un deuxième avantage par rapport au dispositif connu est que l'on s'affranchit des déformations du panneau lors du survol des zones à explorer.

Selon un troisième aspect de l'invention, ledit véhicule survole ladite zone à explorer à une altitude de l'ordre de 10 m, la dimension transversale de l'alignement étant de l'ordre de 7 m tandis que la fréquence d'illumination s'étend de 2 à 4 GHz. Ces différents paramètres sont importants. Notamment le choix de la fréquence d'émission ou d'illumination est favorable à une meilleure pénétration de l'onde dans des sols sablonneux et de ce fait permet une meilleure détection des mines qui y sont enfouies.

La description suivante accompagnée des dessins ci-annexés, le tout donné à titre d'exemple non limitatif, fera bien comprendre comment l'invention peut être réalisée. Dans les dessins :

- la figure 1 montre un dispositif pour détecter des objets, embarqué sur un aéronef, un hélicoptère notamment,
- la figure 2 montre un schéma d'un dispositif de l'invention,
- la figure 3 explicite le balayage d'une zone à explorer et la formation d'une antenne synthétique,
- les figures 4 et 5 sont destinées à expliciter les paramètres impliqués dans le traitement du signal.

Les éléments communs dans toutes les figures portent les mêmes références.

A la figure 1, la référence 1 indique un hélicoptère se déplaçant à une vitesse V dans lequel est embarqué le dispositif de l'invention. Par ce dispositif, on se propose d'explorer le sol d'une zone 5 à explorer, considérée dans le cadre de l'exemple décrit, comme une zone minée. Dans cette zone (5), des mines 11, 12, 13, ... sont disséminées et peuvent être enfouies. La grande difficulté pour détecter ces mines survient lorsque celles-ci sont enfouies dans le sable sec. En effet, les mines sont conçues pour être le moins détectable

possible et sont faites en un matériau dont la constante diélectrique est proche de celle du sable qui les entoure. Ces constantes diélectriques ont des valeurs respectives approximatives de 2,7 et 3,1 à 3,4. Les coefficients de réflexion qui en découlent sont liés directement à ces constantes et sont donc assez proches l'un de l'autre. Ceci entraîne que le traitement doit être fait de manière judicieuse.

Pour surmonter cette difficulté, on a prévu un ensemble de rayonnement 18 formé d'un alignement d'antennes 20 disposées sur un panneau 25 fixé à la queue de l'hélicoptère 1. De préférence, ces antennes sont du type Vivaldi. Cet hélicoptère survole la zone minée 5 à une vitesse V compatible au traitement de détection à effectuer et à une hauteur telle que les antennes peuvent être considérées en zone proche. On rappelle que dans la zone de champ proche (zone de Fresnel), le champ électrique et le champ magnétique ne sont pas dans un rapport constant et leur répartition dans l'espace varie avec la distance par rapport à l'antenne. Sur la figure 1, on a montré une flèche 27 qui illustre le fait qu'une onde d'illumination est dirigée vers la zone et est réfléchi sur celle-ci.

La figure 2 montre le schéma du dispositif de détection d'objets, conforme à l'invention.

Chaque antenne 20 est reliée à un système de commutation 28 formé par des commutateurs haute fréquence de type SP32T ou autre que l'on trouve dans le commerce. Sur la figure on a montré quatre de ces commutateurs 31, 32, 33 et 34 qui gèrent, chacun, sur des accès dits accès amont, trente-deux accès de sorte que le nombre d'antennes s'élève à 128. A ces quatre accès amont de ces commutateurs, correspond un seul accès aval. Les accès aval de ces commutateurs 31 à 34 sont reliés à des accès amont d'un cinquième commutateur 40.

Tous ces commutateurs 31-34, 40 sont sur la dépendance d'un circuit de traitement 50 et plus précisément d'un organe de traitement 52 qui gère tous les processus de fonctionnement du dispositif de l'invention.

Comme les antennes 20 travaillent tant en émission qu'en réception, on a prévu des moyens de duplexage 55 faisant partie du circuit de traitement 50 et constitués par au moins un circulateur, ce qui permet de séparer les ondes à émettre et les ondes reçues. Un accès de ce circulateur est relié à l'accès aval du commutateur 40.

D'une manière préférentielle, le système de commutation 28, et le circulateur 55 sont placés sur le panneau 25 proche donc des antennes 20.

Les ondes à émettre sont élaborées à partir d'un oscillateur à commande de fréquences par tension (VCO) portant la référence 60. Avant d'être appliquée au circulateur 55, l'onde de sortie de l'oscillateur 60 transite par un amplificateur 62 qui donne la puissance nécessaire à l'onde qui va être finalement émise par les antennes 20 et par un coupleur directif 64 qui va prélever une petite partie de l'onde à la sortie de l'amplificateur 62.

Un autre accès du circulateur 55 recueille l'onde reçue qui est tout d'abord amplifiée par un amplificateur 66 avant d'être appliquée à un détecteur en quadrature 70 formé de deux mélangeurs 71 et 72 à deux entrées dont une reçoit le signal de sortie de l'amplificateur 66 et l'autre une réplique du signal de l'oscillateur 60 via le coupleur 64. Les répliques appliquées aux entrées des deux mélangeurs sont déphasées de 90° respectivement. Ceci est obtenu par un coupleur 3dB 75 branché adéquatement. Les signaux de sortie I et Q du détecteur 70 sont ensuite traités par l'organe 52.

Cet organe de traitement 52 fournit, par exemple sur un écran 80 une carte de la zone explorée sur laquelle apparaissent, en surbrillance, les mines détectées.

L'organe de traitement 52 élabore cette carte sur la base d'une ouverture synthétique de l'antenne comme cela est montré à la figure 3. Cette figure illustre la zone à explorer 5 et la trace 85 de l'antenne synthétique découlant du traitement effectué par l'organe de traitement 52. Cette trace 85 se déplace sur la zone à la vitesse V qui est celle de l'hélicoptère et T représente la cadence du balayage obtenu par la commutation séquentielle des différentes antennes 20 en agissant sur les commutateurs 31-34 et 40. Cette antenne synthétique donne les résolutions nécessaires, de l'ordre de 7cm correspondant à des mines. L'altitude est alors de 10m et la fréquence d'illumination variant entre 2 et 3 GHz.

Selon un mode de réalisation, la fréquence de l'oscillateur peut changer toutes les 2 ou 3 microsecondes de sorte que la perception des points brillants change. Si une mine ne donne pas de point brillant pour une fréquence, elle pourra en donner un pour une autre fréquence différente du fait de l'effet Doppler induit par la commutation des éléments du réseau d'antennes. Pour cela la fréquence de l'oscillateur 60 peut changer selon une des fréquences f_1 , f_2 ou f_3 sous la commande de l'organe de traitement 52.

Le dispositif de l'invention fonctionne de la manière suivante.

La figure 4 montre d'une manière simplifiée les éléments essentiels pour l'explication du traitement du signal. On considère, à la figure 4 la zone 5 qui est la zone à analyser et la trace 85 de l'antenne synthétisée. La trace de l'antenne 85 s'étend sur une largeur W et sur une longueur L définie à partir de la vitesse « V » de l'aéronef. Cette zone est décomposée en un ensemble de points J disposés selon deux dimensions x et y respectivement: dans le sens de la largeur et dans le sens du déplacement de l'aéronef. Chacun de ces points réfléchit l'onde émise depuis l'aéronef et la renvoie vers l'ensemble de rayonnement 18 comportant l'alignement d'antennes 20... On appelle r_j l'onde réfléchie en un point j. Au niveau d'une antenne 20, dont l'emplacement est défini par un point de référence M de l'alignement 20, le signal $S(t)$ reçu peut s'écrire :

$$S(t) = \sum_J \frac{\exp\left(i \frac{2\pi}{\lambda} (\bar{u}(t) - \bar{r}_j)\right)}{(\bar{u}(t) - \bar{r}_j)^2} \quad (1)$$

équation dans laquelle :

- J donne l'emplacement du point de ladite zone 5,
- $\bar{u}(t)$ donne la place de l'antenne A dans l'alignement 20 et aussi en fonction du temps t définissant la commutation de celle-ci.
- λ est la longueur d'onde du rayonnement de l'onde.
- i étant tel que $i^2 = -1$

Ce signal comporte la contribution des ondes reçues par les différentes antennes du réseau 20.

Pour déterminer la réflexion en un point donné du sol : A_j , on utilise la formule suivante :

$$A_j = \sum_i S(t) \cdot \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda} (\bar{u}(t) - r\theta_j + f(e, \varepsilon, \theta(t)_j))\right] \quad (2)$$

Cette formule (2) représente l'opération inverse de la précédente mais a subi un filtrage adaptatif c'est-à-dire qu'on a supprimé la contribution des autres ondes réfléchies hors du point considéré en « j ».

Dans cette dernière formule : $\exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda} (r0_j)\right]$ correspond donc au filtrage adapté et

$$5 \quad f(e, \varepsilon, \theta(t)_j) = e \cdot \sqrt{\varepsilon} \cdot \left[1 + \frac{(\theta(t)_j)^2}{2 \cdot \varepsilon} \right] \quad (3)$$

Dans la formule (3) les paramètres impliqués sont explicités à l'aide de la figure 5:

- θ représente l'angle sous lequel le point au sol est perçu et qui correspond à l'angle d'incidence de l'onde au niveau du point considéré.
- e est l'épaisseur du sable dans lequel est enfouie la mine.
- 10 - ε est la constante diélectrique de ce sable.


Il est à noter que la hauteur H à laquelle survole l'aéronef détermine la valeur du module de r .

C'est la valeur de A qui donnera pratiquement l'indication, par des variations de luminance sur l'écran 80, de la présence de mines.

15 Bien qu'on ait décrit un détecteur de mines apte à détecter les mines dans des conditions non favorables, l'invention s'applique encore mieux pour la détection d'objets dans des circonstances plus favorables que celles décrites ci-dessus.

20 Il est à noter que le processus sera, d'une manière préférentielle, répété pour trois fréquences différentes suffisamment espacées. Les images obtenues présentent des surbrillances ou des extinctions dues aux différentes combinaisons des coefficients de réflexion des interfaces du sol et de la mine.

REVENDECATIONS.

- 5 1- Dispositif pour détecter des objets, tels que des mines (11, 12, 13...) posées dans une zone à explorer (5), ledit dispositif étant placé sur un véhicule (1) se déplaçant à une vitesse V et, étant formé, d'un panneau (25) sur lequel est disposé un ensemble de rayonnement (18) pour émettre des signaux à une fréquence d'illumination et pour recevoir des signaux réfléchis depuis ladite zone (5) et, d'un circuit de traitement (50) pour fournir des indications sur la présence desdits objets après traitement des signaux réfléchis, caractérisé en ce que l'ensemble de rayonnement (18) comporte un alignement d'antennes (20) disposé transversalement à la vitesse V de déplacement dudit véhicule (1).
- 10 2- Dispositif pour détecter des objets selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il est prévu des moyens de duplexage (55) pour que l'ensemble de rayonnement (18) soit utilisé tant pour l'émission des signaux à fréquence d'illumination qu'en réception pour recueillir lesdits signaux réfléchis.
- 15 3- Dispositif pour détecter des objets selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le véhicule (1) est à une distance de la zone à explorer (5) telle que lesdites antennes (20) fonctionnent en zone proche.
- 4- Dispositif pour détecter des objets selon l'une des revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que les moyens de duplexage (55) sont constitués par au moins un circulateur.
- 20 5- Dispositif pour détecter des objets selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que lesdites antennes sont constituées à partir d'antennes de type Vivaldi.
- 6- Dispositif pour détecter des objets selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il est prévu un système de commutation (28) pour mettre en œuvre chacune desdites antennes (20).
- 25 7- Dispositif pour détecter des objets selon la revendication 6, caractérisé en ce que le système de commutation (28) est disposé sur ledit panneau (25).
- 8- Dispositif pour détecter des objets selon l'une des revendications 2 à 7, caractérisé en ce que les moyens de duplexage (55) sont disposés sur ledit panneau (25).
- 

9- Dispositif pour détecter des objets selon l'une des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que le système de commutation (28) coopère avec un organe de traitement (52) pour réaliser une antenne synthétique.

5 10- Dispositif pour détecter des objets selon la revendication 9 embarqué dans un véhicule de type aéronef caractérisé en ce que l'organe de traitement (52) est prévu pour qu'à partir d'un signal reçu s'écrivant sous la forme :

$$S(t) = \sum_J \frac{\exp\left(i \frac{2\pi}{\lambda} (\bar{u}(t) - \bar{r}_j)\right)}{(\bar{u}(t) - \bar{r}_j)^2}$$

équation dans laquelle :

- j appartient en un ensemble J de points définissant des points de la zone à analyser

10 - $\bar{u}(t)$ donne la place de l'antenne (20, 21, ...) dans l'alignement 20 à l'instant t.

- λ est la longueur d'onde du rayonnement de l'onde.

- i étant tel que $i^2 = -1$


il élabore, après un filtrage adapté, un signal A_j représentatif de la réflexion d'un point j tel que :

15
$$A_j = \sum_t S(t) \cdot \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda} (\bar{u}(t) - r_j + f(e, \varepsilon, \theta(t)_j))\right]$$

dans cette dernière formule :

- θ représente l'angle sous lequel le point au sol est perçu et qui correspond à l'angle d'incidence de l'onde au niveau du point considéré

20 - \bar{r}_j étant le vecteur réflexion du point considéré défini aussi par l'altitude H de l'aéronef survolant la zone

$$f(e, \varepsilon, \theta(t)_j) = e \cdot \sqrt{\varepsilon} \cdot \left[1 + \frac{(\theta(t)_j)^2}{2 \cdot \varepsilon} \right]$$


où:

- e est l'épaisseur du milieu dans lequel est enfouie l'objet à détecter.
- ϵ est le constant diélectrique de ce milieu.

5 11- Dispositif pour détecter des objets selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que lorsque ledit véhicule survole ladite zone (5), la dimension transversale de l'alignement est telle à obtenir une résolution correspondant aux objets tandis que la fréquence d'illumination s'étendant de 2 à 4 GHz.

1/3

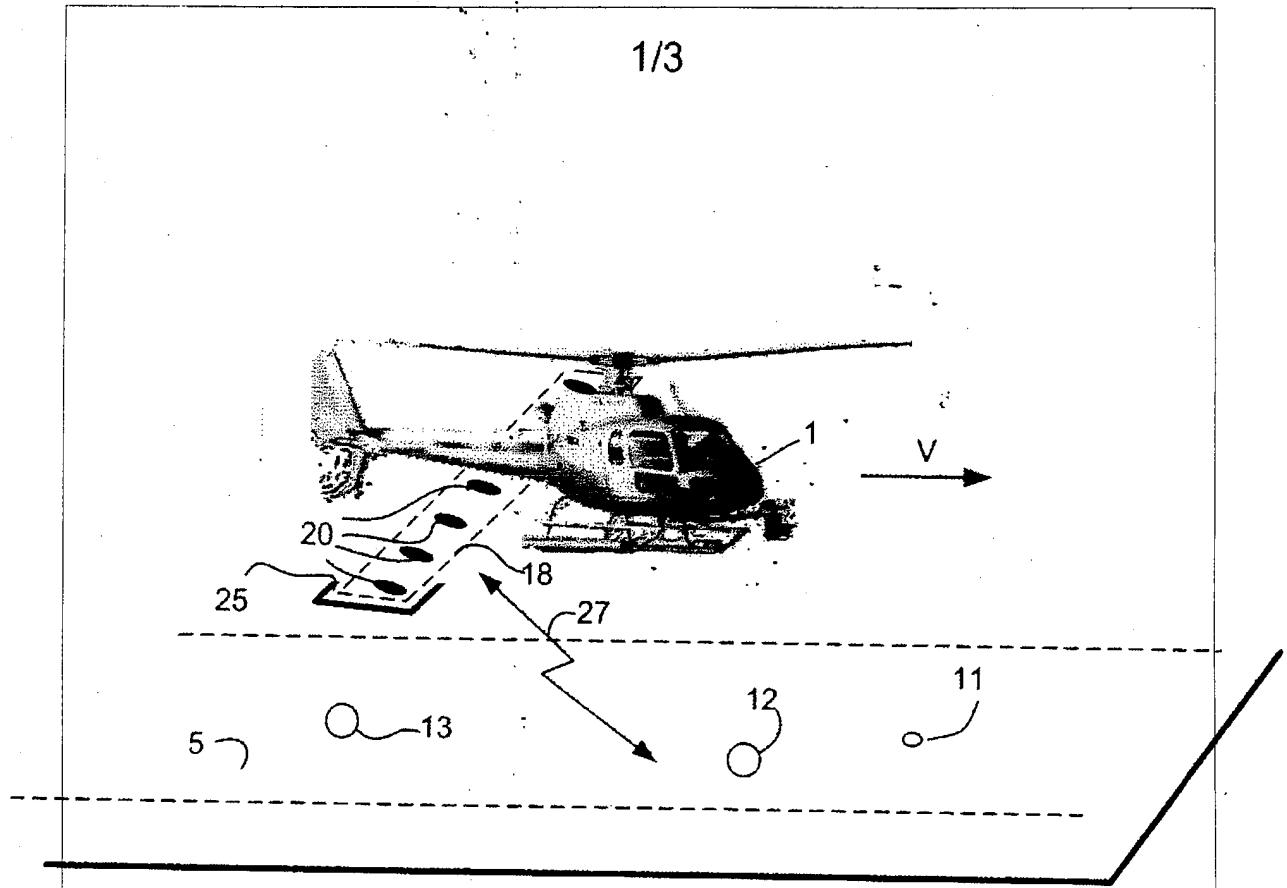


FIG. 1

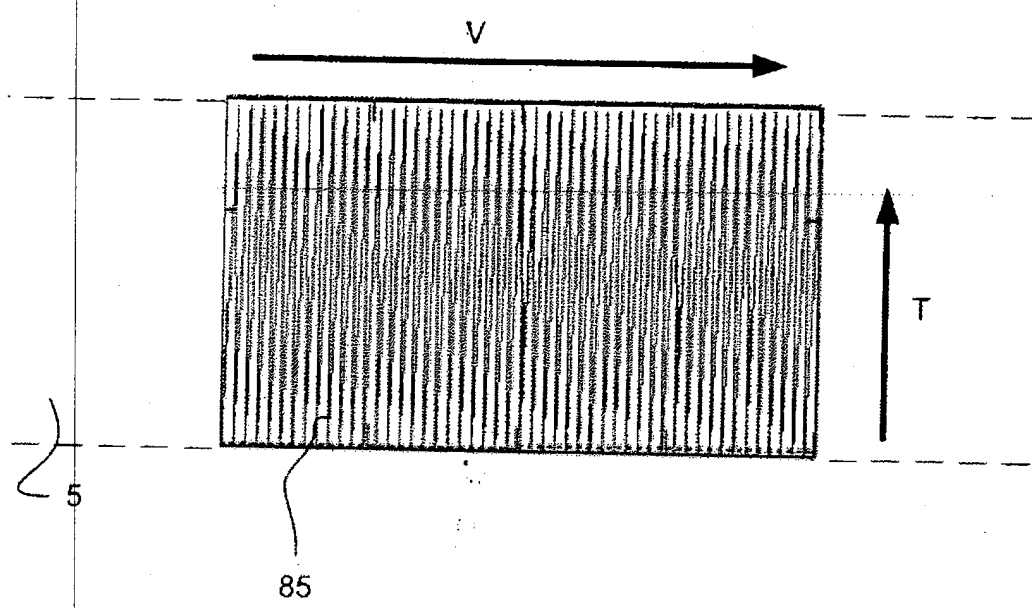


FIG. 3

