



(11)

EP 2 532 046 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
18.03.2020 Bulletin 2020/12

(51) Int Cl.:
H01Q 1/32 (2006.01) **H01Q 3/04** (2006.01)
H01Q 3/26 (2006.01) **H01Q 21/00** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **11701218.7**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2011/050513

(22) Date de dépôt: **17.01.2011**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2011/095384 (11.08.2011 Gazette 2011/32)

(54) **ANTENNE PLANE À BALAYAGE POUR APPLICATION MOBILE TERRESTRE, VÉHICULE
COMPORTANT UNE TELLE ANTENNE ET SYSTÈME DE TÉLÉCOMMUNICATION PAR
SATELLITE COMPORTANT UN TEL VÉHICULE**

FLACHPLATTEN-ABTASTANTENNE FÜR LANDFAHRZEUGANWENDUNG, FAHRZEUG MIT
EINER SOLCHEN ANTENNE UND SATELLITENTELEKOMMUNIKATIONSSYSTEM MIT SOLCH
EINEM FAHRZEUG

FLAT-PLATE SCANNING ANTENNA FOR LAND MOBILE APPLICATION, VEHICLE COMPRISING
SUCH AN ANTENNA, AND SATELLITE TELECOMMUNICATION SYSTEM COMPRISING SUCH A
VEHICLE

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **05.02.2010 FR 1000473**

(43) Date de publication de la demande:
12.12.2012 Bulletin 2012/50

(73) Titulaire: **THALES**
92400 Courbevoie (FR)

(72) Inventeurs:
• **LENORMAND, Régis**
F-31700 Blagnac (FR)
• **MEROUR, Jean-Michel**
F-31620 Castelnau d'Estretfonds (FR)
• **MATEUS, Jean-Michel**
F-31200 Toulouse (FR)
• **SAULEAU, Ronan**
F-35690 Acigne (FR)
• **ETTORRE, Mauro**
I-74020 Laporano (TA) (IT)
• **RAGUENET, Gérard**
F-31600 Eaunes (FR)

(74) Mandataire: **Esselin, Sophie et al**
Marks & Clerk France
Conseils en Propriété Industrielle
Immeuble Visium
22 avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

(56) Documents cités:
WO-A1-03/043124 WO-A1-2009/144763
JP-A- 2002 033 612 JP-U- 5 006 921
US-B1- 6 873 301

- **MIYATA K ED - INSTITUTE OF ELECTRICAL AND
ELECTRONICS ENGINEERS: "A 12 GHz-band
planar waveguide array antenna for compact
range application" DIGEST OF THE ANTENNAS
AND PROPAGATION SOCIETY INTERNATIONAL
SYMPOSIUM. SEATTLE, WA., JUNE 19 - 24, 1994;
[DIGEST OF THE ANTENNAS AND
PROPAGATION SOCIETY INTERNATIONAL
SYMPOSIUM], NEW YORK, IEEE, US LNKD-
DOI:10.1109/APS.1994.407760, vol. 1, 20 juin 1994
(1994-06-20), pages 270-273, XP010142164 ISBN:
978-0-7803-2009-3**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 2 532 046 B1

Description

[0001] La présente invention concerne une antenne plane à balayage, un véhicule comportant une telle antenne et un système de télécommunication par satellite comportant un tel véhicule. Elle s'applique notamment au domaine des télécommunications par satellite et plus particulièrement aux équipements de télécommunication implantés sur des véhicules mobiles tels que des moyens de transport terrestres, maritimes ou aéronautiques pour assurer une connexion bi-directionnelle entre un terminal mobile et une station terrestre par l'intermédiaire d'un répéteur implanté sur un satellite.

[0002] Dans les moyens de transport, tels que les trains et les bus, les besoins en connexions à un service Internet à large bande et les besoins en antennes à haute performance, bas coût et de faible dimension sont croissants.

[0003] Actuellement, il est connu de réaliser un lien satellitaire entre un terminal mobile et une station terrestre pour, par exemple, assurer une connexion internet aux passagers d'un train ou d'un bus, en utilisant une antenne très peu directive fonctionnant en bande L. Le problème est qu'en bande L, il y a très peu de fréquences disponibles et que le débit de transmission des communications est donc très faible. Pour augmenter le débit, il est nécessaire d'établir des liens avec des satellites fonctionnant en bande Ku (10,5GHz à 14,5GHz) ou Ka (20 à 30 GHz) et de réaliser des antennes directives. Cependant, avec une antenne directive, il est nécessaire

de pointer en continu le satellite quelle que soit la position du véhicule.

[0004] Pour couvrir un territoire tel que l'Europe, les spécifications en émission et en réception du terminal mobile capable d'assurer les qualités de transmission requises conduisent, en bande Ku, à des gains d'antenne typiquement de l'ordre de 34 à 35 dB sur la zone couverte et l'antenne doit être en mesure d'assurer, en émission et en réception, un pointage dans un domaine angulaire compris entre 0° et 360° en azimut et entre 20° et 60° en moyenne en élévation.

[0005] Ces performances peuvent être obtenues en utilisant une antenne réseau comportant des éléments rayonnants élémentaires dont la phase est réglée pour obtenir un pointage précis dans une direction choisie. Ces antennes réseau ont l'avantage d'être planes et donc à faible encombrement dans le sens de leur hauteur, cependant le domaine angulaire à couvrir étant très important, pour obtenir de bonnes performances et éviter l'apparition de lobes de réseau dans le diagramme de rayonnement de l'antenne, il est nécessaire d'utiliser un réseau de formation de faisceaux comportant un très grand nombre de contrôles de phase, ce qui est prohibitif. Par exemple, pour une antenne en bande Ku ayant une surface de l'ordre de 1m², le nombre d'éléments rayonnants de l'antenne doit être supérieur à 15000, ce qui est rédhibitoire en termes de coût et de complexité de l'antenne pour une application aux moyens de transport.

[0006] Il est également possible de réaliser un pointage dans un large domaine angulaire en utilisant une antenne à pointage mécanique. Dans ce type d'antenne, le pointage de l'antenne en direction du satellite est réalisé par une combinaison de deux mouvements mécaniques. Un premier mouvement mécanique est obtenu par l'intermédiaire d'une plateforme tournante disposée dans un plan XY et assurant l'orientation de l'antenne en site et en azimut. Un deuxième mouvement en élévation est réalisé par un dispositif annexe, par exemple un miroir plan, solidaire de la plateforme. L'antenne comporte classiquement un réflecteur parabolique et une source rayonnante illuminant le réflecteur. Pour diminuer l'encombrement du réflecteur et réduire la hauteur de l'antenne, sa périphérie est elliptique au lieu de circulaire. Typiquement, une telle antenne actuellement déployée sur des trains à grande vitesse présente une hauteur de l'ordre de 45cm. Bien que cette hauteur soit compatible des trains actuels, elle est trop importante pour les futurs trains à grande vitesse à deux ponts pour lesquels la hauteur disponible pour l'implantation d'une antenne, entre le toit du train et les caténaires, est beaucoup plus faible.

[0007] De même, pour une application dans le domaine aéronautique, la hauteur de l'antenne a une influence sur la traînée engendrée par l'avion ainsi que sur la consommation du carburant. Par exemple, les antennes à réflecteur actuelles implantées sur les avions ont une hauteur de l'ordre de 30cm et entraînent une surconsommation de carburant équivalente à huit passagers supplémentaires.

[0008] Il existe des architectures permettant de réduire la hauteur de l'antenne à pointage mécanique. Selon une première architecture, l'antenne est composée de deux plaques parallèles entre lesquelles circulent des composantes de courant longitudinales et d'un réseau à une dimension de rainures continues transversales qui couplent et rayonnent l'énergie dans l'espace. Les deux plaques et le réseau de rainures sont montés sur deux plateaux coplanaires tournant mécaniquement indépendamment l'un de l'autre, les deux mouvements de rotation étant superposés et réalisés dans le même plan des plateaux. L'orientation du plateau inférieur permet de régler la direction de pointage en azimut, l'orientation du plateau supérieur permet d'obtenir une inclinaison variable des rainures et de modifier ainsi la direction de pointage en élévation du faisceau engendré par l'antenne. Cependant, cette antenne fonctionnant initialement en polarisation linéaire, il est nécessaire d'ajouter une grille de polarisation orientable supplémentaire montée sur la face supérieure de l'antenne pour contrôler le plan de polarisation de l'antenne ce qui accroît la complexité de mise en œuvre et la hauteur de l'antenne qui n'est alors pas plane.

[0009] Selon une deuxième architecture d'antenne plane à hauteur réduite, l'antenne comporte plusieurs plans alternés de substrats et de plans métalliques superposés les uns au-dessus des autres. L'antenne com-

porte un premier plan métallique inférieur, puis un premier plan de substrat comportant plusieurs sources, le premier plan de substrat comportant une extrémité latérale formant une surface parabolique sur laquelle les ondes émises par les sources se réfléchissent. Au-dessus du premier plan de substrat se trouve un deuxième plan métallique comportant des fentes de couplage du plan d'onde réfléchi, chaque fente de couplage débouchant dans des guides d'onde à fentes respectifs disposés côte à côte parallèlement les uns aux autres dans un même deuxième plan de substrat. Les ondes guidées sont ensuite émises sous forme d'un faisceau rayonné au travers d'une pluralité d'ouvertures rayonnantes pratiquées dans un troisième plan métallique supérieur. Un balayage et un dépointage du faisceau en élévation, dans un plan perpendiculaire au plan de l'antenne, est obtenu par commutation des différentes sources mais aucune modification de pointage en azimut n'est possible. Par ailleurs, ce type d'antenne très compacte présente l'inconvénient de nécessiter des moyens de commutation à haute puissance, ce qui n'est jamais simple à réaliser. En outre, la commutation des sources est discrète ce qui ne permet pas d'obtenir un pointage continu du faisceau. Enfin, cette antenne très compacte est alimentée par une unique source de puissance ce qui nécessite d'utiliser des amplificateurs de puissance volumineux qui accroissent considérablement le volume de l'antenne qui devient trop important pour une application aux moyens de transport.

[0010] Pour résoudre le problème de pointage discret de cette antenne plane, il a été proposé de n'utiliser qu'une seule source et de placer l'antenne plane sur une plateforme tournante permettant de régler le pointage en azimut, la plateforme comportant un miroir articulé sur la plateforme dont l'angle d'inclinaison par rapport au plan de la plateforme est variable par rotation. L'onde plane émise par la source illumine le miroir qui réfléchit cette onde suivant une direction de pointage choisie, l'angle d'inclinaison du miroir permettant de régler l'angle d'élévation du faisceau émis. Cette antenne est très elliptique, la dimension du miroir dans sa région articulée sur la plateforme étant très supérieure à la dimension du miroir dans sa région inclinée au-dessus de la plateforme, ce qui permet de réduire la hauteur de l'antenne à 20 ou 30cm, mais cette hauteur reste encore trop importante pour une application aux moyens de transport.

[0011] On connaît du document WO 2009/144763 et du document US 6 873 301 des systèmes d'antenne comprenant une pluralité de guides d'ondes équipés de fentes rayonnantes, et du document WO 03/043124 un système d'antenne comprenant un mécanisme de pivotement d'une partie des éléments rayonnants. On connaît par ailleurs du document JP 2002 033612 une antenne plane équipée d'un réseau de guides d'onde à fentes rayonnantes comportant deux couches superposées de guides d'onde.

[0012] Le but de l'invention est de réaliser une antenne plane à balayage ne comportant pas les inconvénients

des antennes existantes et pouvant être implantée sur un moyen de transport mobile. En particulier, le but de l'invention est de réaliser une antenne plane directive, fonctionnant en bande Ku, très compacte dans le sens de sa hauteur, simple à mettre en œuvre et à faible coût, capable de rester pointée sur un satellite en continu quelle que soit la position du moyen de transport et permettant un contrôle du plan de polarisation sans ajout d'une grille orientable.

[0013] Pour cela, l'invention concerne une antenne plane à balayage comportant au moins un réseau de guides d'onde à fentes rayonnantes, le réseau de guides d'onde à fentes rayonnantes comportant deux substrats de diélectrique, respectivement inférieur et supérieur, superposés l'un au-dessus de l'autre. Les deux substrats Sub1, Sub2, inférieur et supérieur, comportent des guides d'onde en nombre identique qui se correspondent et chaque guide d'onde du substrat supérieur communique avec un seul guide d'onde correspondant du substrat inférieur par l'intermédiaire d'une fente de couplage (13). Chaque guide d'onde du substrat supérieur Sub2 comporte en outre une pluralité de fentes rayonnantes, toutes les fentes rayonnantes étant parallèles entre elles et orientées dans une même direction parallèle à un axe longitudinal des guides d'onde et chaque guide d'onde du substrat inférieur Sub1 comporte un circuit d'alimentation individuel interne comportant un circuit électronique individuel de déphasage et d'amplification.

[0014] Selon un mode de réalisation, dans chaque substrat de diélectrique, les guides d'onde sont placés parallèlement les uns à côté des autres et comportent des parois métalliques inférieures et supérieures parallèles à un plan de l'antenne. Dans ce cas, avantageusement, les parois supérieures et inférieures de tous les guides d'onde peuvent être constituées par trois plaques métalliques planes, respectivement inférieure, intermédiaire et supérieure, parallèles au plan de l'antenne, les fentes de couplage traversant la plaque métallique intermédiaire, les fentes rayonnantes traversant la plaque métallique supérieure.

[0015] Selon un autre mode de réalisation, dans chaque substrat de diélectrique, les guides d'onde sont placés parallèlement les uns à côté des autres et comportent des parois métalliques inférieures et supérieures inclinées par rapport à un plan de l'antenne,

[0016] Avantageusement, le réseau de guides à fentes rayonnantes est monté sur une plateforme tournante en azimut.

[0017] Préférentiellement, l'antenne comporte deux réseaux identiques de guides d'onde à fentes rayonnantes dédiés respectivement à l'émission et à la réception.

[0018] Selon l'invention, l'antenne comporte à l'émission et à la réception,

- un réseau principal de guides d'onde à fentes rayonnantes et un réseau auxiliaire de guides à fentes rayonnantes, les deux réseaux comportant chacun un premier circuit de déphasage interne réglé à une

même valeur de phase, le réseau auxiliaire comportant des fentes rayonnantes orientées avec un angle incliné non nul par rapport aux fentes du réseau principal,

- un deuxième circuit de déphasage placé en entrée du réseau auxiliaire, le deuxième circuit de déphasage étant destiné à compenser une rotation du plan de polarisation d'une onde émise par le réseau principal et comportant un déphaseur à phase variable entre 0° et 180° et un amplificateur à gain variable.

[0019] Préférentiellement, l'angle d'inclinaison des fentes rayonnantes du réseau principal est compris entre 20° et 70°.

[0020] L'invention concerne aussi un véhicule comportant au moins une telle antenne et un système de télécommunication par satellite comportant au moins un tel véhicule.

[0021] D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement dans la suite de la description donnée à titre d'exemple purement illustratif et non limitatif, en référence aux dessins schématiques annexés qui représentent :

- figures 1a et 1b: deux schémas, respectivement en perspective et en coupe parallèle au plan XZ, d'un premier exemple d'antenne plane ;
- figure 1c : une vue schématique en coupe transversale, d'un exemple d'implantation des guides d'onde dans lequel les parois des guides d'onde sont parallèles au plan XY de l'antenne;
- figure 1d : une vue schématique en coupe transversale parallèle au plan YZ, d'un exemple d'implantation des guides d'onde dans lequel les parois des guides d'ondes sont inclinées par rapport au plan XY de l'antenne ;
- figure 2 : un schéma d'un deuxième exemple d'antenne plane comportant des fonctions d'émission et de réception séparées ;
- figures 3a, 3b : un exemple de dimensionnement d'un réseau de guides d'onde à fentes rayonnantes et un diagramme de rayonnement obtenu avec une antenne plane comportant ce réseau ;
- figure 4 : un schéma d'un troisième exemple d'antenne plane comportant des fonctions d'émission et de réception séparées et un plan d'onde optimisé à l'émission, selon l'invention ;

[0022] L'antenne plane représentée sur les figures 1a, 1b, 1c comporte un réseau 5 de guides d'onde à fentes rayonnantes comportant deux substrats de diélectrique Sub1, Sub2, respectivement inférieur et supérieur, superposés l'un au-dessus de l'autre. Le substrat de diélectrique supérieur Sub2 supporte des guides d'onde à fentes rayonnantes 10, le substrat inférieur Sub1 supporte des guides d'onde 11 destinés à alimenter individuellement chaque guide d'ondes à fentes rayonnantes

10 par un signal hyperfréquence. Trois guides d'onde à fentes rayonnantes sont représentés sur la figure 1a et quatre guides d'onde à fentes rayonnantes sont représentés sur les figures 1c et 1d, mais ces nombres ne sont pas limitatifs et peuvent avoir n'importe quelle valeur supérieure ou égale à un. Préférentiellement, les guides d'onde ont une section transversale de forme rectangulaire. Dans l'exemple correspondant aux figures 1a, 1b, 1c, les plans des différentes couches de l'antenne sont parallèles à un plan XY et dans chaque couche de substrat, les guides d'onde sont placés les uns à côté des autres parallèlement au plan XY. Les parois supérieures et inférieures de tous les guides d'onde sont alors constituées par trois plaques métalliques M1, M2, M3 respectivement inférieure, intermédiaire et supérieure, parallèles au plan XY et délimitant les deux substrats de diélectrique équipés des guides d'onde, les deux substrats de diélectrique Sub1, Sub2 étant intercalés entre deux plaques métalliques consécutives. La hauteur de l'antenne est selon un axe Z orthogonal au plan XY. Les guides d'onde à fente rayonnantes 10 du substrat supérieur et les guides d'onde 11 du substrat inférieur sont en nombre identique, se correspondent deux à deux et communiquent entre eux deux à deux par l'intermédiaire de fentes de couplage pratiquées dans la plaque métallique intermédiaire M2. Ainsi, sur la figure 1a, chaque guide d'onde 11 du substrat inférieur Sub1 comporte deux parois métalliques, inférieure et supérieure, respectivement formées par les plaques métalliques inférieure M1 et intermédiaire M2 et des parois métalliques latérales reliant les deux plaques métalliques inférieure M1 et intermédiaire M2. Chaque guide d'onde 11 du substrat inférieur Sub1 comporte en outre une fente de couplage 13 traversant la plaque métallique intermédiaire M2 et débouchant dans un seul guide d'onde 10 correspondant du substrat supérieur Sub2. Les fentes de couplage 13 qui alimentent chaque guide d'onde 10 du substrat supérieur Sub2, peuvent déboucher par exemple au milieu de chaque guide d'onde 10 ou à une extrémité 16 de ces guides d'onde comme sur les figures 1a et 1b ou à un autre endroit de ces guides d'onde 10. Chaque guide d'onde 10 du substrat supérieur Sub2 comporte deux parois métalliques, inférieure et supérieure, respectivement formées par les plaques métalliques intermédiaire M2 et supérieure M3 et des parois métalliques latérales reliant les deux plaques métalliques intermédiaire M2 et supérieure M3. Les guides d'onde 10, 11 s'étendent selon un axe longitudinal parallèle à une même direction, pouvant correspondre, par exemple, à l'axe X et comportent deux extrémités opposées 15, 16 sur cet axe. Comme représenté sur la figure 1b, les guides d'onde du substrat supérieur Sub2 sont fermés à leurs deux extrémités 15, 16 par deux parois métalliques 17, 18 transversales reliant les trois plaques métalliques M1, M2, M3, alors que les guides d'onde du substrat inférieur ne sont fermés qu'à une seule extrémité 16 par la paroi transversale 17, leur extrémité ouverte 15 correspondant à une entrée de signal 19. Chaque guide d'onde 10 du substrat supérieur

Sub2 comporte en outre une pluralité de fentes rayonnantes 20 traversant la plaque métallique supérieure M3, toutes les fentes rayonnantes 20 étant parallèles entre elles et orientées dans une même direction parallèle à l'axe longitudinal des guides d'onde, par exemple la direction X, la direction Y orthogonale à la direction X dans le plan XY des fentes correspondant à un plan d'onde de polarisation linéaire. Les fentes peuvent être alignées selon l'axe longitudinal X des guides d'onde ou décalées d'une distance d_s par rapport à cet axe, comme représenté sur l'exemple de la figure 3a. Chaque guide d'onde 11 du substrat inférieur Sub1 comporte un circuit interne d'alimentation individuel 25 apte à recevoir un signal hyperfréquence entrant 19 appliqué à son extrémité ouverte, ce circuit interne d'alimentation individuel 25 comportant un circuit électronique individuel interne de déphasage et d'amplification comportant un déphaseur interne 21 pour contrôler la phase du signal à émettre et un dispositif d'amplification interne 22 du signal entrant permettant de maîtriser le rayonnement émis par l'antenne. Le signal entrant 19 peut être émis par exemple par une source externe 24, par exemple unique, puis divisé par un diviseur 26 relié en entrée de chacun des guides d'onde 11 du substrat inférieur Sub1. Après déphasage 21 et amplification 22, le signal entrant 19 dans l'un des guides d'onde 11 du substrat inférieur Sub1 est transmis dans un guide d'onde 10 correspondant du substrat supérieur Sub2 par l'intermédiaire des fentes de couplage 13 dans la plaque métallique intermédiaire M2 puis rayonné par les fentes rayonnantes 20. Un balayage et un dépointage du faisceau en élévation, dans un plan YZ perpendiculaire au plan XY de l'antenne, est obtenu par contrôle de la loi de phase et d'amplitude appliquée électroniquement par les circuits internes d'alimentation individuels de chaque guide d'onde 11 du substrat inférieur correspondant à chacun des guides d'onde 10 à fentes rayonnantes. Les guides d'onde représentés sur la figure 1a ont tous une disposition parallèle aux plaques métalliques M1, M2, M3. Selon un exemple particulier représenté schématiquement en coupe transversale selon un plan de coupe parallèle au plan YZ sur la figure 1d, pour réaliser des dépointages très importants, par exemple supérieurs à 50° , il est également possible d'incliner chaque guide d'onde d'un angle prédéterminé, par exemple entre 10° et 20° , par rapport au plan XY de l'antenne. Dans ce cas, les parois inférieures et supérieures des différents guides d'onde ne sont pas constituées par des plaques métalliques M1, M2, M3 planes mais par des parois métalliques inclinées par rapport au plan XY, les plaques métalliques M1, M2, M3 étant remplacées par des parois métalliques en dent de scie.

[0023] Chaque guide d'onde 11 du substrat inférieur Sub1 étant alimenté individuellement par un circuit interne 25 et comportant un circuit électronique individuel interne de déphasage 21 et d'amplification 22, le contrôle de phase est réalisé de manière continue ce qui permet de maîtriser continûment la direction de rayonnement de l'antenne en élévation. Par ailleurs, l'amplification est ré-

partie dans chaque guide d'onde 11 ce qui permet une utilisation d'amplificateurs à faible puissance et de s'affranchir d'un circuit d'amplification externe complexe et volumineux. En outre, aucun moyen de commutation de source à haute énergie n'est nécessaire pour réaliser un balayage continu du faisceau.

[0024] En plaçant l'antenne plane 6 ainsi obtenue sur une plateforme 7 tournante en azimut, le pointage du faisceau en azimut est réalisé par rotation de la plateforme et le pointage du faisceau en élévation est donné par la loi de phase appliquée sur les signaux entrant 19. Cette loi de phase est obtenue par la commande des déphaseurs internes 21 et des amplificateurs internes 22 intégrés dans chacun des guides d'onde 11 du substrat inférieur Sub1. Avantagusement, les guides d'onde 10 à fentes rayonnantes fonctionnant dans une faible bande passante, il est possible de scinder les fonctions d'émission et de réception et d'utiliser comme représenté sur la figure 2, un système d'antennes planes 6, 8 comportant un premier réseau de guides d'onde à fentes dédié à l'émission et un deuxième réseau de guides d'onde à fentes, non représenté, dédié à la réception, les deux réseaux de guides d'onde à fentes étant identiques et montés sur la même plateforme 7 tournante en azimut.

Le pointage en élévation de chacune des antennes d'émission et de réception du système d'antennes planes monté sur la plateforme tournante est réalisé par une amplification et un contrôle électronique des phases de chacun des signaux circulant dans les guides à fentes formant les réseaux de rayonnement des deux antennes.

[0025] La figure 3b montre un exemple non limitatif de diagramme de rayonnement obtenu avec une antenne plane ayant une structure conforme aux figures 1a et 1b et comportant un réseau de $N_y=21$ guides d'onde à fentes et $N_x=70$ fentes par guide d'onde, les fentes étant réparties uniformément le long de chaque guide d'onde. Comme représenté sur la figure 3a, dans cet exemple, les guides d'onde ont une constante diélectrique ϵ_r de 2,2 et une section rectangulaire de $a=12\text{mm}$ de long et de $b=1,575\text{mm}$ de haut. Les fentes sont rectangulaires et leurs dimensions sont de $l_s=15\text{mm}$ de long selon la direction X et de $w_s=1\text{mm}$ de large selon la direction Y. L'espacement entre deux fentes consécutives est de $dx=11,82\text{mm}$ dans le sens de la longueur selon la direction X. Deux fentes consécutives peuvent être décalées l'une par rapport à l'autre selon la direction Y. Sur la figure 3, le décalage est de $d_s=0,14\text{mm}$ par rapport à la médiane séparant deux fentes. L'antenne ainsi obtenue a des dimensions de 840mm de long et de 242mm de large. La hauteur de l'antenne sans la plateforme tournante sur laquelle elle est montée est de quelques millimètres. La hauteur totale de l'antenne avec la plateforme tournante est quasiment égale à la hauteur de la plateforme tournante soit de l'ordre de 2 à 3cm. Cette antenne rayonne une onde polarisée linéairement, le plan d'onde rayonné étant parallèle aux fentes. Le diagramme de rayonnement obtenu avec cette antenne comporte un lobe principal ayant une amplitude maximale à $36,2\text{dB}$ correspon-

dant à la directivité maximale de l'antenne et une largeur de bande à 3dB d'angle Theta égal à $1,5^\circ$ dans le plan XZ et à 5° dans le plan YZ.

[0026] Cet exemple de dimensionnement montre donc que l'antenne plane ainsi réalisée répond aux conditions de hauteur imposées pour une implantation sur un moyen de transport et notamment sur un train à grande vitesse futur. Cependant lorsqu'une antenne émet un plan d'onde polarisée linéairement dans une direction donnée, le satellite reçoit cette onde selon une direction qui dépend de la position relative du satellite par rapport à la verticale locale du véhicule équipé de l'antenne et de la position relative du véhicule par rapport à la verticale locale au sol. Le satellite voit donc une onde dont la polarisation a subi une rotation d'un angle Psi par rapport au plan de polarisation de l'onde émise par l'antenne. Si le véhicule se déplace dans une zone géographique comportant des pentes inférieures à 10% , la valeur de Psi reste à des valeurs inférieures à 15° . Si cette rotation n'est pas compensée, elle a pour effet d'engendrer deux composantes d'énergie croisées au niveau du satellite. Le satellite reçoit alors une composante d'énergie principale parallèle au plan de polarisation de l'onde émise et une composante d'énergie additionnelle dans une direction perpendiculaire au plan de polarisation principal. Cette composante d'énergie additionnelle pouvant créer une interférence pour des utilisateurs utilisant cet autre plan de polarisation, il faut compenser l'angle de rotation Psi pour que le satellite ne reçoive qu'une onde dont la polarisation est parfaitement alignée. Cet angle de rotation Psi variant en permanence lorsque le véhicule équipé de l'antenne se déplace, la compensation doit être réalisée en permanence. Pour limiter les interférences, cette compensation doit être réalisée aussi bien à l'émission qu'à la réception.

[0027] Pour réaliser une compensation de la rotation du plan de polarisation à l'émission, selon une caractéristique additionnelle de l'invention, une antenne plane auxiliaire d'émission 9 et une antenne plane auxiliaire de réception 14, comportant la même structure que les antennes principales d'émission 6 et de réception 8 sont montées sur la plateforme 7 tournante comme représenté sur la figure 4.

[0028] Chaque antenne plane auxiliaire 9, 14 comporte un réseau auxiliaire 30 de guides à fentes alimenté de manière identique que celle du réseau d'émission principal c'est-à-dire par un circuit de déphasage 31 et d'amplification 32 interne implanté dans les guides d'onde du substrat inférieur du réseau auxiliaire, le déphasage étant réglé à la même valeur que celle du réseau principal 5. L'orientation des fentes rayonnantes 33 du réseau auxiliaire 30 fait un angle α non nul, de préférence compris entre 20° et 70° , par rapport aux fentes rayonnantes 20 du réseau d'émission principal 5 de façon à émettre une onde secondaire ayant un plan de polarisation 2 incliné par rapport au plan de polarisation 1 de l'onde principale émise par le réseau principal 5.

[0029] Le réseau auxiliaire 30 permet d'obtenir, dans

la direction du faisceau émis par le réseau principal, un faisceau secondaire possédant des caractéristiques d'amplitude, de phase et de polarisation indépendantes du réseau principal. Les composantes de polarisation des deux plans d'ondes 1, 2 émis par les deux réseaux principal 5 et auxiliaire 30 vont se combiner vectoriellement en une onde résultante globale ayant un plan de polarisation 3.

[0030] L'onde plane émise par l'antenne auxiliaire 9, 14 étant polarisée selon un plan d'onde perpendiculaire à la direction d'orientation des fentes 33 de l'antenne auxiliaire 9, 14 elle comporte donc deux composantes de polarisation parallèles aux axes X et Y.

[0031] En ajustant les paramètres de polarisation, de phase et d'amplitude de l'onde émise par le réseau auxiliaire 30, il est alors possible d'obtenir, au niveau du satellite, une onde résultante globale dont le plan de polarisation 3 est aligné avec le plan de polarisation 1 de l'onde principale émise et de compenser ainsi l'angle de rotation Psi de la polarisation de l'onde principale reçue par le satellite. Par exemple, en appliquant une phase égale à 180° à l'onde émise par le réseau auxiliaire 30, ce qui correspond au plan de polarisation 4, l'onde résultante globale a un plan de polarisation selon la direction 12.

[0032] Pour cela, un deuxième circuit de déphasage destiné à compenser une rotation du plan de polarisation d'une onde émise par le réseau principal, est placé en entrée du réseau auxiliaire 30. Le deuxième circuit de déphasage comporte un déphaseur 34 à phase variable entre 0° et 180° et un amplificateur 35 à gain variable.

[0033] A titre d'exemple non limitatif, comme représenté sur la figure 4, les fentes rayonnantes 33 du réseau auxiliaire 30 peuvent être choisies orientées à 45° par rapport aux fentes rayonnantes 20 du réseau principal 5. Le déphaseur d'entrée 34 à phase variable entre 0° et 180° et l'amplificateur d'entrée 35 à gain variable permettent d'ajuster l'amplitude et la phase du signal délivré par la source d'émission et dérivé, par l'intermédiaire d'un diviseur de puissance 36, vers le réseau auxiliaire 30 et de contrôler ainsi l'orientation du plan de polarisation 3 de l'onde résultante émise qui est issue de la combinaison des deux ondes rayonnées par les deux réseaux rayonnants principal 5 et auxiliaire 30. L'onde secondaire étant uniquement destinée à compenser l'angle de rotation Psi, elle n'a pour seule utilité que de créer une composante de plan d'onde perpendiculaire au plan d'onde principal et l'amplitude de l'onde qu'elle émet peut donc être beaucoup plus faible que l'amplitude de l'onde principale. L'antenne auxiliaire 9, 14 peut donc être de dimensions beaucoup plus faibles que celles de l'antenne principale 6, 8 et par conséquent, les nombres de guides d'ondes et de fentes de l'antenne secondaire peuvent être très inférieurs à ceux de l'antenne principale.

[0034] Bien que l'invention ait été décrite en liaison avec des exemples et des modes de réalisation particuliers, il est bien évident qu'elle n'y est nullement limitée et qu'elle comprend tous les équivalents techniques des

moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci entrent dans le cadre de l'invention, qui est définie par les revendications.

Revendications

1. Antenne plane à balayage comportant, à l'émission et à la réception, au moins un réseau principal (5) de guides d'onde à fentes rayonnantes, le réseau principal (5) de guides d'onde à fentes rayonnantes comportant deux substrats de diélectrique, respectivement inférieur (Sub1) et supérieur (Sub2), superposés l'un au-dessus de l'autre, les deux substrats inférieur (Sub1) et supérieur (Sub2), comportant des guides d'onde (10, 11) en nombre identique qui se correspondent, chaque guide d'onde (10) du substrat supérieur (Sub1) communiquant avec un seul guide d'onde (11) correspondant du substrat inférieur (Sub2) par l'intermédiaire d'une fente de couplage (13), **caractérisé en ce que** :

- chaque guide d'onde (10) du substrat supérieur (Sub2) comporte en outre une pluralité de fentes rayonnantes (20), toutes les fentes rayonnantes (20) étant parallèles entre elles et orientées dans une même direction parallèle à un axe longitudinal (X) des guides d'onde,
- chaque guide d'onde (11) du substrat inférieur (Sub1) comporte un circuit interne (25) d'alimentation individuel comportant un circuit électronique individuel interne de déphasage (21) et d'amplification (22),
- l'antenne comporte en outre, à l'émission et à la réception:

- un réseau auxiliaire (30) de guides à fentes rayonnantes, le réseau principal (5) et le réseau auxiliaire (30) comportant chacun un premier circuit de déphasage interne (21, 22), (31, 32) réglé à une même valeur de phase, le réseau auxiliaire (30) comportant des fentes rayonnantes (33) orientées avec un angle (α) incliné non nul par rapport aux fentes (20) du réseau principal (5),
- un deuxième circuit de déphasage placé en entrée du réseau auxiliaire (30), le deuxième circuit de déphasage étant destiné à compenser une rotation du plan de polarisation d'une onde émise par le réseau principal (5) et comportant un déphaseur (34) à phase variable entre 0° et 180° et un amplificateur (35) à gain variable.

2. Antenne plane selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** dans chaque substrat de diélectrique, les guides d'onde sont placés parallèlement les uns à côté des autres et comportent des parois métalli-

ques inférieures et supérieures parallèles à un plan (XY) de l'antenne.

3. Antenne plane selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** les parois supérieures et inférieures de tous les guides d'onde sont constituées par trois plaques métalliques planes, respectivement inférieure (M1), intermédiaire (M2) et supérieure (M3), parallèles au plan (XY) de l'antenne, les fentes de couplage (13) traversant la plaque métallique intermédiaire (M2), les fentes rayonnantes (20) traversant la plaque métallique supérieure (M3).
4. Antenne plane selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** dans chaque substrat de diélectrique, les guides d'onde sont placés parallèlement les uns à côté des autres et comportent des parois métalliques inférieures et supérieures inclinées par rapport à un plan (XY) de l'antenne,
5. Antenne plane selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le réseau principal (5) et le réseau auxiliaire (30) sont montés sur une plateforme (7) tournante en azimut.
6. Antenne plane selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** les deux réseaux (5, 30) de guides d'onde à fentes rayonnantes dédiés respectivement à l'émission et à la réception sont identiques.
7. Antenne selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'angle (α) d'inclinaison des fentes rayonnantes (33) du réseau auxiliaire (30) est compris entre 20° et 70°.
8. Véhicule comportant au moins une antenne selon l'une des revendications précédentes.
9. Système de télécommunication par satellite comportant au moins une antenne montée sur un véhicule selon la revendication 8.

Patentansprüche

1. Flachplatten-Abtastantenne, beinhaltend bei Sendung und Empfang, mindestens ein Hauptnetz (5) von Hohlwellenleitern mit Strahlschlitz, wobei das Hauptnetz (5) von Hohlwellenleitern mit Strahlschlitz zwei Dielektrikum-Substrate beinhaltet, jeweils ein unteres (Sub1) und ein oberes (Sub2), welche übereinander angeordnet sind, wobei die beiden Substrate, das untere (Sub1) und das obere (Sub2), Hohlwellenleiter (10, 11) in identischer Anzahl beinhalten, welche einander entsprechen, wobei jeder Hohlwellenleiter (10) des oberen Substrates (Sub1) mit einem einzigen entsprechenden Hohlwellenleiter (11) des unteren Substrates (Sub2) über einen

Kopplungsschlitz (13) kommuniziert, **dadurch gekennzeichnet, dass:**

- jeder Hohlwellenleiter (10) des oberen Substrates (Sub2) zudem eine Vielzahl von Strahlschlitzten (20) beinhaltet, wobei alle Strahlschlitzte (20) zueinander parallel und in eine gleiche Richtung, parallel zu einer Längsachse (X) der Hohlwellenleiter, ausgerichtet sind,
- jeder Hohlwellenleiter (11) des unteren Substrates (Sub1) einen individuellen internen Versorgungsschaltkreis (25) beinhaltet, welcher einen individuellen internen elektronischen Phasenverschiebungs- (21) und Verstärkungsschaltkreis (22) beinhaltet,
- die Antenne zudem bei Sendung und Empfang Folgendes beinhaltet:

o ein Hilfsnetz (30) von Hohlwellenleitern mit Strahlschlitzten, wobei das Hauptnetz (5) und das Hilfsnetz (30) jeweils einen ersten internen Phasenverschiebungsschaltkreis (21, 22), (31, 32) beinhalten, welcher auf einen selben Phasenwert eingestellt ist, wobei das Hilfsnetz (30) Strahlschlitzte (33) beinhaltet, welche mit einem schrägen Winkel (α) ungleich null in Bezug auf die Schlitzte (20) des Hauptnetzes (5) ausgerichtet sind,

o einen zweiten Phasenverschiebungsschaltkreis, welcher am Eingang des Hilfsnetzes (30) platziert ist, wobei der zweite Phasenverschiebungsschaltkreis dazu bestimmt ist, eine Rotation der Polarisations-ebene einer durch das Hauptnetz (5) ausgesendeten Welle zu kompensieren, und welcher einen Phasenschieber (34) mit variabler Phase zwischen 0° und 180° und einen Verstärker (35) mit variabler Verstärkung beinhaltet.

2. Flachantenne nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** in jedem Dielektrikum-Substrat die Hohlwellenleiter parallel nebeneinander platziert sind und untere und obere metallische Wände beinhalten, welche parallel zu einer Ebene (XY) der Antenne sind.
3. Flachantenne nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die oberen und unteren Wände aller Hohlwellenleiter aus drei flachen metallischen Platten gebildet sind, jeweils einer unteren (M1), einer mittleren (M2) und einer oberen Platte (M3), welche parallel zur Ebene (XY) der Antenne sind, wobei die Kopplungsschlitzte (13) die mittlere metallische Platte (M2) durchqueren, und wobei die Strahlschlitzte (20) die obere metallische Platte (M3) durchqueren.

4. Flachantenne nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** in jedem Dielektrikum-Substrat die Hohlwellenleiter parallel nebeneinander platziert sind und untere und obere metallische Wände beinhalten, welche zu einer Ebene (XY) der Antenne geneigt sind.
5. Flachantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Hauptnetz (5) und das Hilfsnetz (30) auf einer im Azimut drehenden Plattform (7) montiert sind.
6. Flachantenne nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden Netze (5, 30) von Hohlwellenleitern mit Strahlschlitzten, welche jeweils der Sendung und dem Empfang zugeordnet sind, identisch sind.
7. Antenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Neigungswinkel (α) der Strahlschlitzte (33) des Hilfsnetzes (30) zwischen 20° und 70° beträgt.
8. Fahrzeug, welches mindestens eine Antenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche beinhaltet.
9. Satelliten-Telekommunikationssystem, beinhaltend mindestens eine auf einem Fahrzeug nach Anspruch 8 montierte Antenne.

Claims

1. Flat scanning antenna comprising, at transmission and at reception, at least one main array (5) having waveguides with radiating slots, wherein the main array (5) having waveguides with radiating slots comprises two dielectric substrates, namely the lower substrate (Sub1) and the upper substrate (Sub2) respectively, one superposed above the other, the two, lower (Sub1) and upper (Sub2) substrates comprising the same number of waveguides (10, 11) corresponding thereto, each waveguide (10) of the upper substrate (Sub1) communicating with a corresponding single waveguide (11) of the lower substrate (Sub2) via a coupling slot (13), **characterized in that:**
 - each waveguide (10) of the upper substrate (Sub2) further includes a plurality of radiating slots (20), all the radiating slots (20) being mutually parallel and oriented in the same direction parallel to a longitudinal axis (X) of the waveguides;
 - each waveguide (11) of the lower substrate (Sub1) includes an individual internal supply circuit (25) comprising an individual internal phase-shift (21)/amplification (22) electronic circuit,

- the antenna further includes, at transmission and at reception:
- an auxiliary array (30) having waveguides with radiating slots, the main array (5) and the auxiliary array (30) each comprising a first internal phase-shift circuit (21, 22), (31, 32) set to the same phase value, the auxiliary array (30) having radiating slots (33) oriented at a non-zero angle (α) inclined to the slots (20) of the main array (5);
 - a second phase-shift circuit placed at the input of the auxiliary array (30), the second phase-shift circuit being intended to compensate for a rotation of the plane of polarization of a wave transmitted by the main array (5) and comprising a phase shifter (34) having a variable phase between 0° and 180°, and a variable-gain amplifier (35).
2. Flat antenna according to claim 1, **characterized in that**, in each dielectric substrate, the waveguides are placed so as to be mutually parallel, one beside another, and comprise upper and lower metal walls parallel to a plane (XY) of the antenna.
3. Flat antenna according to claim 2, **characterized in that** the upper and lower walls of all the waveguides are formed by three flat metal plates, a lower metal plate (M1), an intermediate metal plate (M2) and an upper metal plate (M3) respectively, which are parallel to the plane (XY) of the antenna, the coupling slots (13) passing through the intermediate metal plate (M2) and the radiating slots (20) passing through the upper metal plate (M3).
4. Flat antenna according to claim 1, **characterized in that**, in each dielectric substrate, the waveguides are placed so as to be parallel, one beside another, and comprise upper and lower metal walls inclined to a plane (XY) of the antenna.
5. Flat antenna according to one of the preceding claims, **characterized in that** the main array (5) and the auxiliary array (30) are mounted on a platform (7) rotating azimuthally.
6. Flat antenna according to claim 1, **characterized in that** the two arrays (5, 30), having waveguides with radiating slots which are dedicated to transmission and to reception respectively, are identical,
7. Antenna according to one of the preceding claims, **characterized in that** the angle (α) of inclination of the radiating slots (33) of the auxiliary array (30) is between 20° and 70°.
8. Vehicle having at least one antenna according to one
9. Satellite telecommunication system comprising at least one antenna mounted on a vehicle according to claim 8.

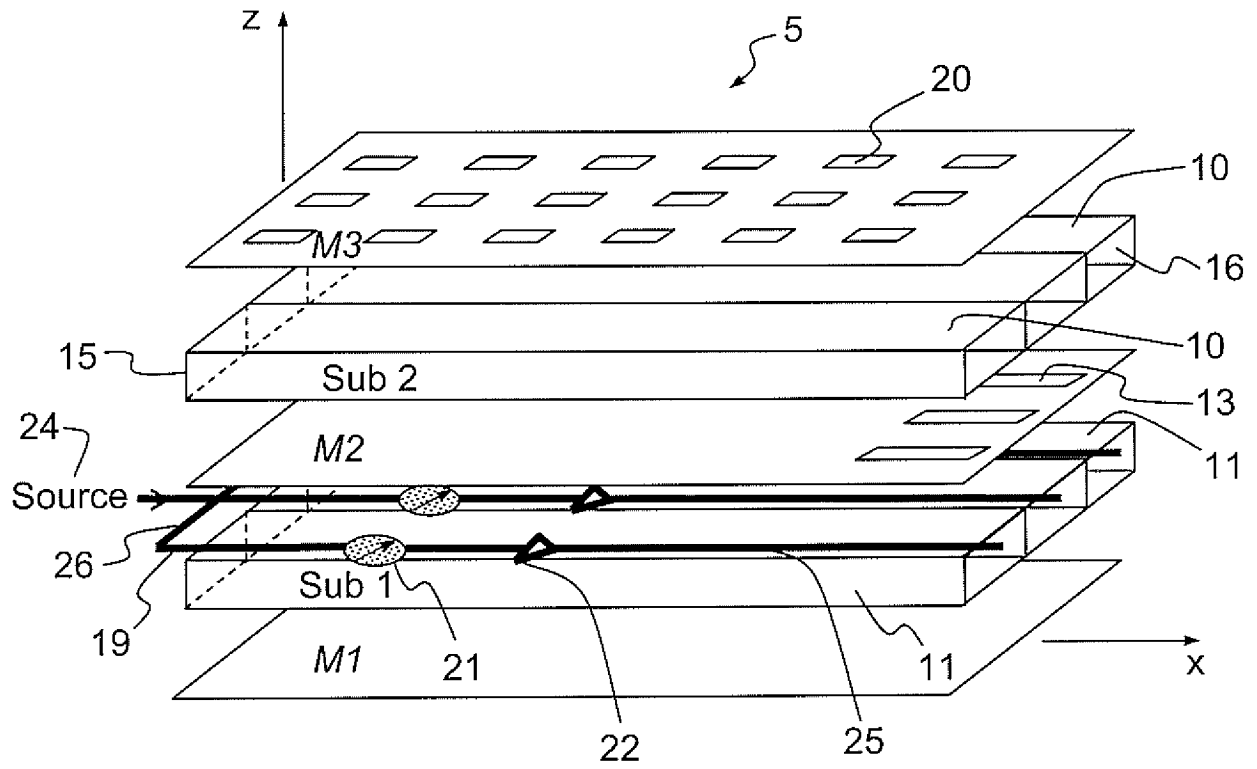


FIG. 1a

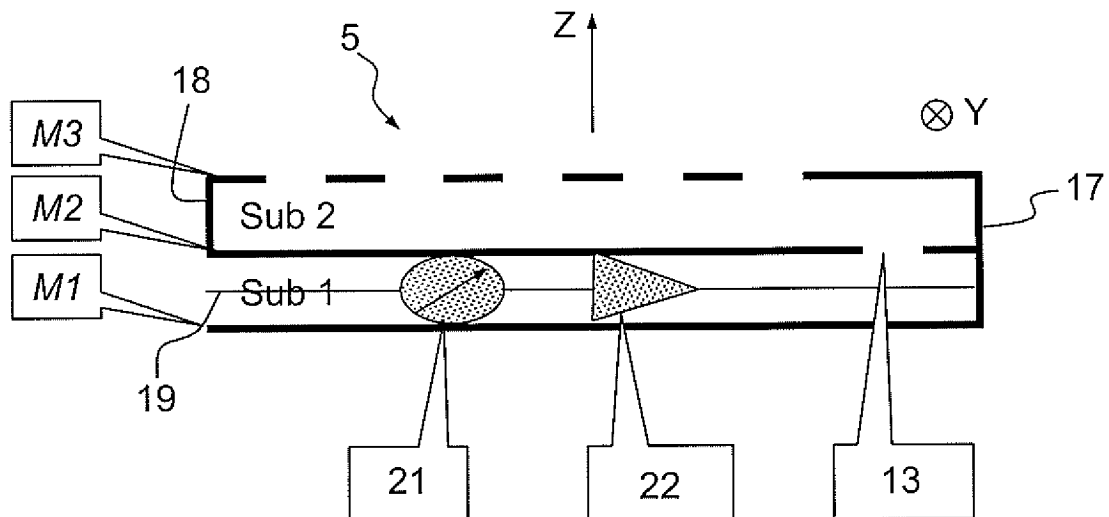


FIG. 1b

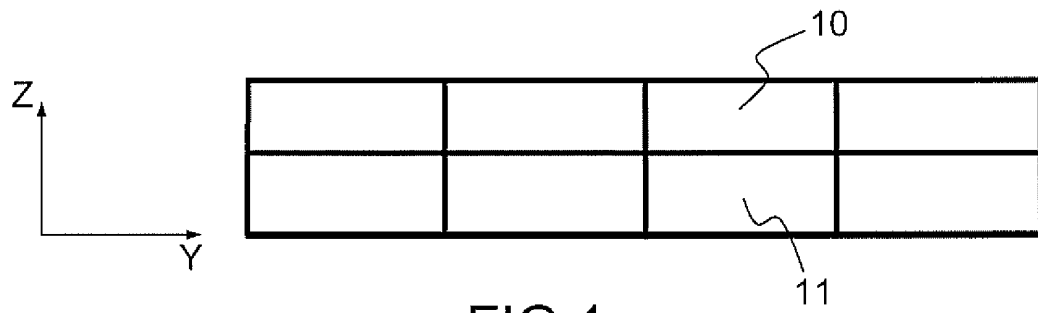


FIG. 1c

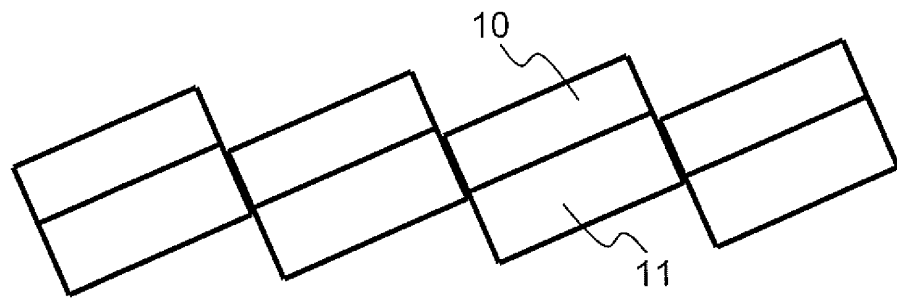


FIG. 1d

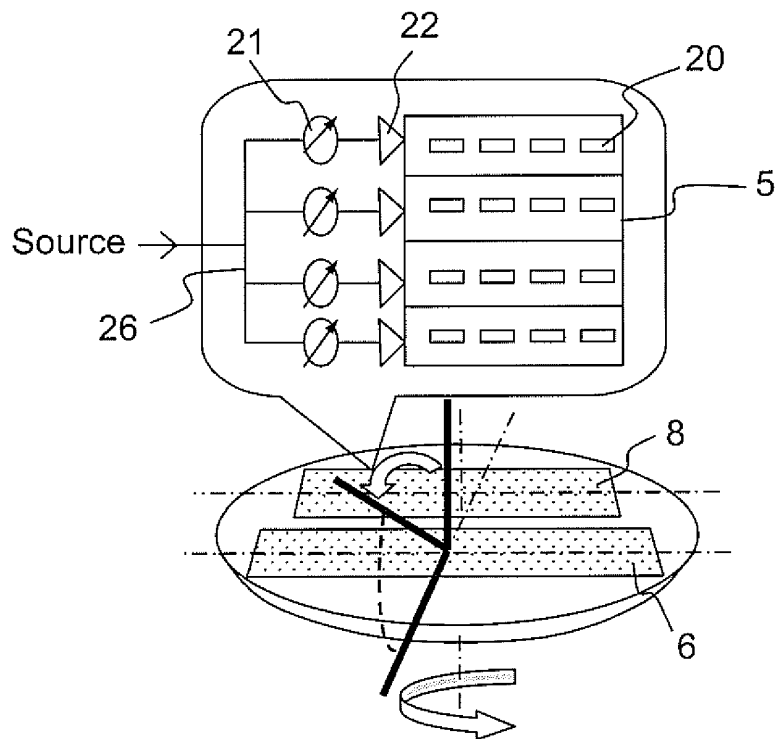


FIG. 2

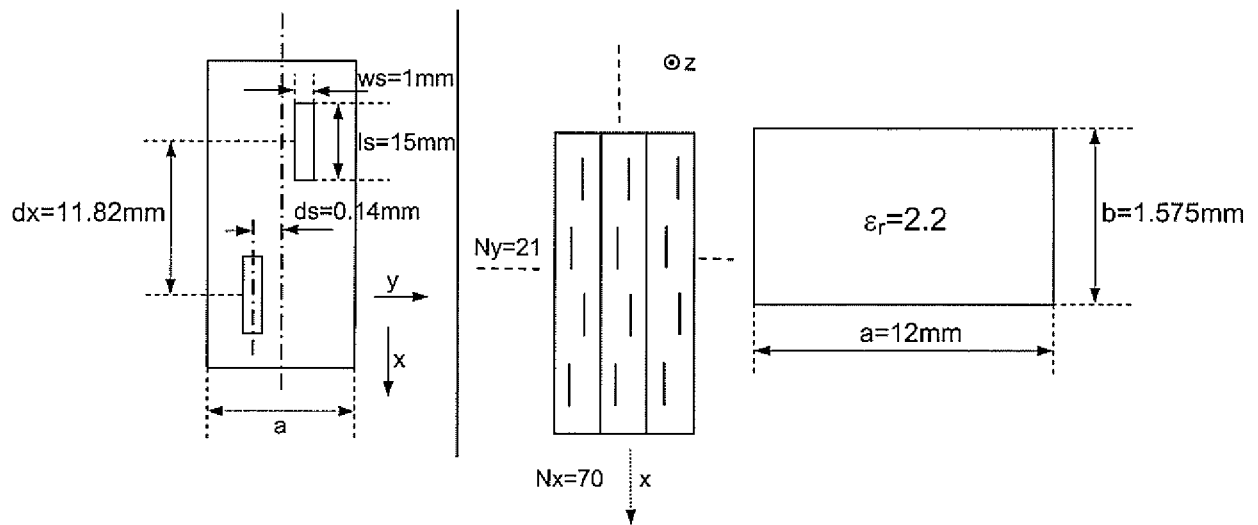


FIG.3a

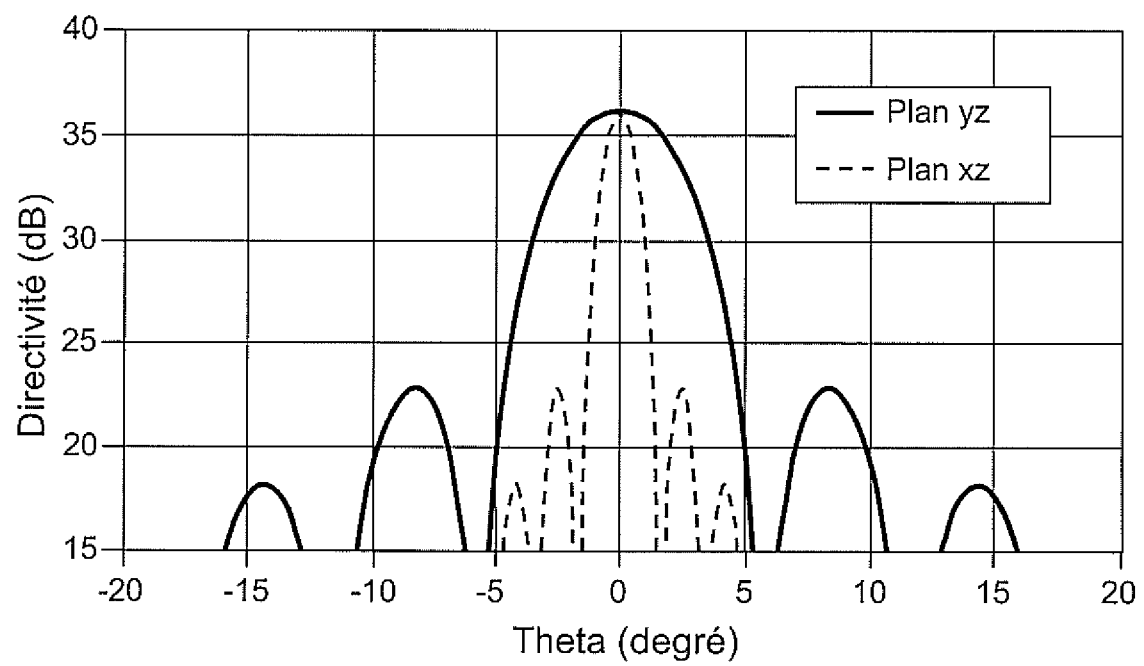


FIG.3b

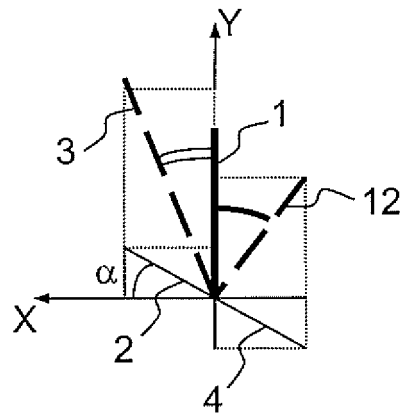
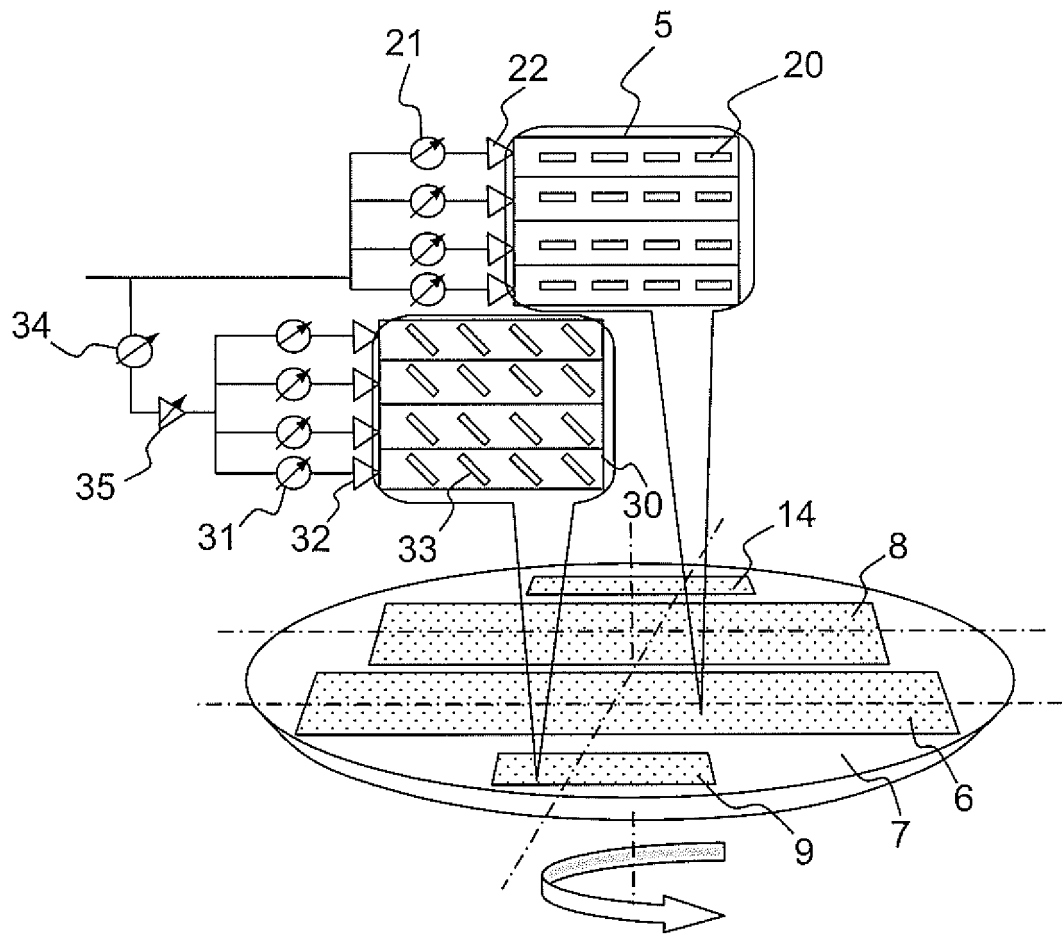


FIG.4

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- WO 2009144763 A [0011]
- US 6873301 B [0011]
- WO 03043124 A [0011]
- JP 2002033612 A [0011]