

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 987 941

②1 N° d'enregistrement national : 12 00699

⑤1 Int Cl⁸ : H 01 Q 21/00 (2013.01)

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 08.03.12.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 13.09.13 Bulletin 13/37.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : THALES Société anonyme — FR.

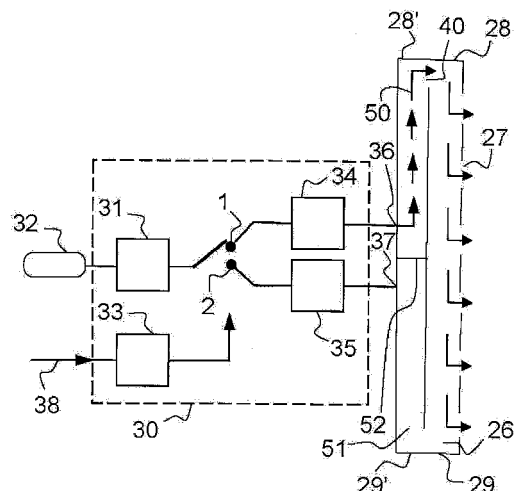
⑦2 Inventeur(s) : RAGUENET GERARD, ALMEIDA JEAN LUC et HIRSCH ANTONIN.

⑦3 Titulaire(s) : THALES Société anonyme.

⑦4 Mandataire(s) : MARKS & CLERK FRANCE Société en nom collectif.

⑤4 ANTENNE PLANE POUR TERMINAL FONCTIONNANT EN DOUBLE POLARISATION CIRCULAIRE, TERMINAL AEROPORTE ET SYSTEME DE TELECOMMUNICATION PAR SATELLITE COMPORTANT AU MOINS UNE TELLE ANTENNE.

⑤7 L'antenne comporte au moins un premier réseau de N guides d'onde rayonnants (26) comportant des éléments rayonnants (27) à double sens de polarisation circulaire, un deuxième réseau de N guides d'onde de distribution, N commutateurs hyperfréquence (30), chaque commutateur hyperfréquence (30) comportant une entrée hyperfréquence (31), une première sortie hyperfréquence (34) reliée au premier port d'entrée/sortie supérieur (40) d'un guide d'onde rayonnant (26) par l'intermédiaire de la partie supérieure (50) d'un guide d'onde de distribution (23) et une deuxième sortie hyperfréquence (35) reliée au deuxième port d'entrée/sortie inférieur du même guide d'onde rayonnant (26) par l'intermédiaire de la partie inférieure (51) du même guide d'onde de distribution, une entrée de commande (33) de position (1, 2) du commutateur (30) apte à commuter l'entrée hyperfréquence (31) du commutateur (30) sur la première ou la deuxième sortie hyperfréquence (34, 35) en fonction du sens de la polarisation circulaire.



FR 2 987 941 - A1



**Antenne plane pour terminal fonctionnant en double polarisation
circulaire, terminal aéroporté et système de télécommunication
par satellite comportant au moins une telle antenne**

5 La présente invention concerne une antenne plane pour terminal
fonctionnant en double polarisation circulaire, un terminal aéroporté et
un système de télécommunication par satellite comportant au moins
une telle antenne. Elle s'applique notamment au domaine des
10 télécommunications par satellite à haut débit et plus particulièrement
aux configurations comportant des systèmes à satellite multi-spots
fonctionnant dans une bande de fréquences Ku, K ou Ka, l'antenne
pouvant être montée sur un terminal aéroporté à bord d'un avion, d'un
hélicoptère ou d'un drone.

15 Il existe de nombreux systèmes de télécommunications par
satellite déployés ou en cours de déploiement qui fonctionnent dans les
bandes de fréquences Ku, K ou Ka. Dans le cas d'un terminal
aéroporté, les dimensions maximales admissibles pour le système
d'antennes d'émission et de réception et notamment le rapport de sa
20 hauteur sur son diamètre maximal, sont limitées par les contraintes
aérodynamiques, par des paramètres liés à la trainée de pression
aérodynamique, ainsi que par les interfaces disponibles sur le véhicule
porteur et la masse globale du système aéroporté.

25 Dans le cas d'une utilisation du terminal via un système
satellitaire multi-spots fonctionnant en polarisation circulaire, le terminal
aéroporté peut, en raison de sa mobilité, devoir changer de spot durant
sa mission pour acheminer des signaux de télécommunications en
direction de différentes zones géographiques fixes au sol. Ce
mécanisme appelé « hand over inter-spots » (en anglais), se produit
30 lorsque le terminal mobile survole une zone géographique couverte par
deux spots différents adjacents.

35 Lors du changement de spot, la polarisation circulaire définie
pour les spots couvrant différentes zones géographiques peut en outre
changer de sens, c'est-à-dire passer d'une polarisation circulaire
gauche à une polarisation circulaire droite ou l'inverse. Dans ce cas, il
est nécessaire que le terminal soit capable de modifier la polarisation

de l'antenne en même temps qu'il réalise le changement de spot, cette modification pouvant être réalisée de préférence de manière automatique, sans intervention mécanique, ni humaine.

5 Il est connu de réaliser une antenne comportant un panneau rayonnant fonctionnant en polarisation circulaire en utilisant des guides d'onde métalliques rectangulaires à fentes rayonnantes linéaires, alimentés en phase et fonctionnant en polarisation linéaire, les guides d'onde étant associés à un radôme de polarisation ou à une grille polarisante placée en avant de ce panneau. Cependant, le fait d'utiliser
10 une structure additionnelle pour obtenir la polarisation circulaire ne permet pas d'assurer le changement de polarisation lors du changement de spot.

Il est également connu d'utiliser une antenne comportant un panneau rayonnant comportant une pluralité d'éléments rayonnants constitués de patchs métalliques gravés sur un substrat multi-couches et alimentés en polarisation circulaire. Les patchs sont disposés en colonnes, les patchs d'une même colonne étant mis en série. La polarisation circulaire est obtenue en excitant chaque patch par deux signaux en quadrature de phase, c'est-à-dire déphasés de 90° , et de même amplitude. Suivant le signe du déphasage, la polarisation circulaire est droite ou gauche. Cependant, les patchs étant déposés sur des substrats diélectriques, le défaut principal de cette technologie est son rendement médiocre dû aux pertes dans les diélectriques et dans les surfaces conductrices, le rendement diminuant lorsque le
15 nombre de patchs dans chaque colonne augmente.

Il est également connu de réaliser un guide d'onde comportant des éléments rayonnants arrangés selon un motif périodique et permettant d'obtenir une polarisation circulaire sans utiliser une grille polarisante. Chaque élément rayonnant est constitué de deux fentes rayonnantes en quadrature de phase, les deux fentes rayonnantes étant disposées en chevron et formant un angle d'environ 90° entre elles. Deux éléments rayonnants adjacents sont espacés d'une distance d'environ une longueur d'onde. Ce guide d'onde est optimisé pour fonctionner dans un seul sens de propagation des ondes et donc
20 dans un seul sens de polarisation circulaire. Il présente donc un

problème de symétrie de fonctionnement et des caractéristiques de rayonnement inacceptables pour une application en double polarisation circulaire.

5 Le but de l'invention est de réaliser une antenne pour terminal fonctionnant en double polarisation circulaire ne comportant pas de grille polarisante, ayant un bon rendement, comportant un diagramme de rayonnement quasiment identique dans les deux sens de polarisation circulaire, droit et gauche, permettant un changement de
10 sens de polarisation sans dissymétrie de fonctionnement et capable de commuter d'un faisceau à un autre quel que soit le sens de polarisation desdits faisceaux.

15 Pour cela, l'invention concerne une antenne plane pour terminal fonctionnant en double polarisation circulaire, comportant au moins un panneau s'étendant selon un plan XY, le panneau de l'antenne comportant :

- un premier réseau de N guides d'onde rayonnants comportant des éléments rayonnants à double sens de polarisation circulaire, où N est un nombre entier supérieur à 1, chaque
20 guide d'onde rayonnant comportant deux ports d'entrée/sortie, respectivement supérieur et inférieur,
- un deuxième réseau de N guides d'onde de distribution respectivement couplés aux N guides d'onde rayonnants, chaque guide d'onde de distribution comportant deux parties
25 indépendantes, respectivement supérieure et inférieure,
- N commutateurs hyperfréquence, chaque commutateur hyperfréquence comportant une entrée hyperfréquence, une première sortie hyperfréquence reliée au premier port
30 d'entrée/sortie supérieur d'un guide d'onde rayonnant par l'intermédiaire de la partie supérieure d'un guide d'onde de distribution couplé au guide d'onde rayonnant et une deuxième sortie hyperfréquence reliée au deuxième port d'entrée/sortie inférieur du même guide d'onde rayonnant par
35 l'intermédiaire de la partie inférieure du même guide d'onde

de distribution couplé au guide d'onde rayonnant, une entrée de commande de position du commutateur apte à commuter l'entrée hyperfréquence du commutateur sur la première ou la deuxième sortie hyperfréquence en fonction du sens de la polarisation circulaire.

5

Avantageusement, chaque guide d'onde rayonnant équipé des éléments rayonnants est symétrique par rapport aux deux ports d'entrée/sortie.

10

Avantageusement, chaque guide d'onde de distribution comporte au moins une paroi transversale de séparation des deux parties du guide d'onde de distribution, la partie supérieure et la partie inférieure d'un même guide d'onde de distribution étant couplées à un même guide d'onde rayonnant respectivement par l'intermédiaire d'une première fente de couplage constituant le port d'entrée/sortie supérieur et par l'intermédiaire d'une deuxième fente de couplage constituant le port d'entrée/sortie inférieur.

15

De préférence, les ports d'entrée/sortie supérieur sont positionnés à une extrémité supérieure des guides d'onde rayonnants et en ce que les ports d'entrée/sortie inférieur sont positionnés à une extrémité inférieure des guides d'onde rayonnants.

20

Selon un premier mode de réalisation, les commutateurs sont positionnés sur le panneau de l'antenne à proximité du port d'entrée/sortie supérieur des guides d'onde rayonnants.

25

Selon un deuxième mode de réalisation, les commutateurs sont positionnés sur le panneau de l'antenne, au niveau d'une ligne médiane L du panneau de l'antenne, à égale distance des ports d'entrée/sortie supérieur et inférieur des guides d'onde rayonnants. Avantageusement, les deux parties supérieure et inférieure d'un même guide d'onde de distribution sont identiques et disposées symétriquement de part et d'autre de la ligne médiane L.

30

35

Alternativement, les commutateurs peuvent être décalés les uns par rapport aux autres sur le panneau de l'antenne.

5 Selon une variante de réalisation, chaque guide d'onde de distribution comporte deux parois de séparation disposées de part et d'autre de la ligne médiane L et chaque commutateur est monté dans un guide d'onde de distribution respectif entre les deux parois.

10 Avantageusement, les N guides d'onde rayonnants forment N lignes rayonnantes disposées parallèlement les unes à côté des autres, chaque guide d'onde rayonnant s'étendant selon une direction longitudinale X, ayant une largeur P correspondant au pas du réseau selon une direction Y et ayant une section transversale YZ rectangulaire.

15 De préférence, les éléments rayonnants de chaque guide d'onde rayonnant sont alignés, gravés périodiquement et régulièrement espacés d'une même distance D selon la direction longitudinale X du guide d'onde rayonnant, chaque élément rayonnant étant constitué
20 d'une ou plusieurs fentes rayonnantes gravées selon un motif géométrique rayonnant directement en double polarisation circulaire.

25 Avantageusement, le motif gravé de chaque élément rayonnant a une forme choisie parmi un cercle, un carré ou une combinaison d'une croix et d'un chevron symétrique.

30 L'invention concerne aussi un terminal aéroporté et un système de télécommunication par satellite comportant au moins une telle antenne plane.

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 :

- figure 1a : un schéma en perspective d'un exemple d'antenne comportant deux panneaux rayonnants, selon l'invention ;
- figure 1b : un schéma illustrant les différents mouvements de rotation d'un panneau de l'antenne, selon l'invention ;
- 5 - figure 2a : un schéma en perspective, d'un exemple de panneau rayonnant d'une antenne, selon un premier mode de réalisation de l'invention;
- figure 2b : une vue schématique partielle de la partie supérieure du panneau rayonnant, selon le premier mode de réalisation de l'invention;
- 10 - figures 3a, 3b : deux vues schématiques partielles de détail montrant un exemple de couplage entre le niveau de guides d'onde rayonnants et le niveau de guides d'onde de distribution, selon l'invention;
- 15 - figure 4: un exemple schématique d'un commutateur hyperfréquence, selon l'invention ;
- figures 5a, 5b : deux schémas illustrant l'acheminement d'un signal d'alimentation entre un commutateur hyperfréquence et un guide d'onde rayonnant, pour un premier sens, respectivement pour un deuxième sens, de polarisation circulaire, selon le premier mode de réalisation de l'invention;
- 20 - figure 6a : un schéma en perspective, d'un exemple de panneau rayonnant d'une antenne, selon un deuxième mode de réalisation de l'invention;
- 25 - figure 6b : une vue schématique partielle de la partie médiane du panneau rayonnant, selon le deuxième mode de réalisation de l'invention;
- figures 7a, 7b : deux schémas illustrant l'acheminement d'un signal d'alimentation entre un commutateur hyperfréquence et un guide d'onde rayonnant, pour un premier sens, respectivement pour un deuxième sens, de polarisation circulaire, selon le deuxième mode de réalisation de l'invention;
- 30

- figure 7c : un schéma illustrant le montage d'un commutateur dans un guide d'onde de distribution, entre deux parois de séparation, selon l'invention ;
- 5 - figure 7d : un schéma illustrant une variante d'implantation des commutateurs par rapport à la ligne médiane du panneau de l'antenne, selon l'invention ;
- figures 8a, 8b : deux vues schématiques, respectivement en perspective et de face, d'un premier exemple de motif gravé pour un élément rayonnant apte à fonctionner en polarisation circulaire droite et gauche, selon l'invention ;
- 10 - figure 8c : une vue en perspective d'un premier exemple de guide rayonnant équipé de plusieurs éléments rayonnants dont le motif gravé correspond à celui de la figure 8a, selon l'invention ;
- 15 - figure 9: une vue schématique en perspective d'un deuxième exemple de motif gravé pour un élément rayonnant apte à fonctionner en polarisation circulaire droite et gauche, selon l'invention,
- figure 10a : une vue schématique en perspective, d'un
- 20 troisième exemple de motif gravé pour un élément rayonnant apte à fonctionner en polarisation circulaire droite et gauche, selon l'invention ;
- figure 10b : une vue en perspective d'un deuxième exemple de guide rayonnant équipé de plusieurs éléments rayonnants
- 25 dont le motif gravé correspond à celui de la figure 10a, selon l'invention.

La figure 1a montre un exemple d'antenne pouvant être montée sur un terminal aéroporté. L'antenne comporte un premier panneau 10

30 comportant une première surface rayonnante fonctionnant en émission TX et un deuxième panneau 11 comportant une deuxième surface rayonnante fonctionnant en réception RX, les deux panneaux 10, 11 de l'antenne étant montés sur une plate-forme azimutale commune 12, actionnée en rotation autour d'un axe central azimutal 17 par un

35 premier moteur 13. Chaque panneau 10, 11 de l'antenne est en outre

actionné en rotation autour d'un premier, respectivement d'un deuxième, axe d'élévation 18 par un deuxième, respectivement par un troisième, moteur 14, 15. Chaque panneau 10, 11 est une antenne active sur un axe de dépointage électronique, par exemple horizontal, et réalise donc un balayage 16 électronique des faisceaux selon cet axe de dépointage. La figure 1b sur laquelle est représenté un seul panneau, illustre les différents mouvements de rotation de chaque panneau de l'antenne.

Les figures 2a et 2b sont deux schémas en perspective d'un exemple de réalisation d'un panneau d'une antenne, selon un premier mode de réalisation de l'invention. Le panneau de l'antenne comporte un support 20 comportant une face avant plane, disposée parallèlement à un plan XY, sur laquelle est fixé un réseau rayonnant 21 et une face arrière, opposée à la face avant, sur laquelle est fixée une carte électronique 22 comportant des dispositifs actifs de commande et de contrôle du fonctionnement du réseau rayonnant 21. Des passages sont aménagés dans le support 20 et des interfaces de transition sont disposées entre le support 20 et le réseau rayonnant 21 de l'antenne pour permettre aux signaux de commande, de contrôle et d'alimentation de l'antenne de traverser le support et pour assurer les liaisons entre les dispositifs actifs et le réseau rayonnant. Le support 20 peut comporter des moyens de refroidissement, tels que des caloducs 25, permettant de dissiper la chaleur des dispositifs actifs du panneau.

Le réseau rayonnant 21 comporte un premier niveau rayonnant constitué d'un réseau de N guides d'onde rayonnants 26, où N est un nombre entier supérieur à 1, disposés parallèlement les uns à côté des autres et un deuxième niveau de distribution comportant un réseau de N guides d'onde de distribution 23 disposés parallèlement les uns à côté des autres, le premier niveau rayonnant étant superposé au-dessus du deuxième niveau de distribution. Chaque guide d'onde rayonnant 26 est couplé à un guide d'onde de distribution 23 qui lui est dédié, par l'intermédiaire d'au moins deux fentes de couplage constituant des ports d'entrée/sortie 40, 41, du guide d'onde rayonnant,

comme représenté par exemple sur les figures 3a et 3b et sur les figures 5a et 5b.

Les N guides d'onde rayonnants 26 forment N lignes rayonnantes disposées parallèlement les unes à côté des autres, chaque guide d'onde rayonnant 26 du réseau rayonnant 21 s'étendant
5 selon une direction longitudinale X, ayant une largeur P correspondant au pas du réseau selon une direction Y et ayant une section transversale YZ rectangulaire. Chaque guide d'onde rayonnant 26 comporte une paroi avant longitudinale constituant une face rayonnante
10 du guide, une paroi arrière longitudinale opposée à la face avant, et deux parois transversales, l'ensemble des faces rayonnantes des N guides d'onde formant une surface rayonnante du panneau de l'antenne. La paroi avant de chaque guide d'onde rayonnant 26 comporte plusieurs éléments rayonnants 27 alignés, gravés
15 périodiquement et régulièrement espacés d'une même distance D selon la direction longitudinale X du guide d'onde. Chaque élément rayonnant 27 est constitué d'une ou plusieurs fentes rayonnantes gravées dans la paroi supérieure du guide d'onde selon un motif géométrique préalablement choisi. Chaque guide d'onde rayonnant 26 comporte un
20 premier port d'entrée/sortie 40 constitué par une première fente de couplage et un deuxième port d'entrée/sortie 41 constitué par une deuxième fente de couplage, un signal d'alimentation du guide d'onde rayonnant 26 pouvant être appliqué soit sur le premier port d'entrée/sortie 40 pour obtenir un rayonnement selon un premier sens
25 de polarisation circulaire, par exemple circulaire droit, soit sur le deuxième port d'entrée/sortie 41 pour obtenir un rayonnement selon un deuxième sens de polarisation circulaire, par exemple circulaire gauche. Les éléments rayonnants 27 choisis sont aptes à rayonner directement en double polarisation circulaire, sans ajout d'une grille polarisante, le sens de la polarisation circulaire dépendant du sens
30 d'alimentation du guide d'onde rayonnant 26. Le premier port d'entrée/sortie 40 peut être disposé par exemple à une extrémité supérieure 28 du guide d'onde rayonnant 26 et le deuxième port d'entrée/sortie 41 peut être situé par exemple à une extrémité inférieure
35 29 du guide d'onde rayonnant 26. Pour que les rayonnements émis

dans les deux sens de polarisation soient symétriques, chaque guide d'onde rayonnant 26 équipé des éléments rayonnants 27 est de préférence symétrique par rapport aux deux ports d'entrée/sortie 40, 41.

5 Comme représenté partiellement sur les figures 3a et 3b, les fentes de couplage correspondant aux ports d'entrée/sortie 40, 41 sont aménagées dans les parois longitudinales superposées de chaque guide d'onde de distribution 23 et de chaque guide d'onde à fentes rayonnantes 26 correspondants. La première fente de couplage
10 constituant le premier port d'entrée/sortie 40 est placée à l'extrémité supérieure 28 du guide d'onde rayonnant 26 et la deuxième fente de couplage constituant le deuxième port d'entrée/sortie 41 est placée à l'extrémité inférieure 29 du guide d'onde rayonnant 26. Chaque guide d'onde rayonnant est alimenté par l'intermédiaire d'un guide d'onde de
15 distribution 23 correspondant et par l'intermédiaire soit de la fente de couplage supérieure correspondant au port 40, soit de la fente de couplage inférieure correspondant au port 41, selon le sens de la polarisation circulaire sélectionné.

20 Le sens d'alimentation de chaque guide d'onde rayonnant 26 est sélectionné par l'intermédiaire d'un commutateur hyperfréquence 30 dédié dont un exemple est représenté schématiquement sur la figure 4, le nombre N de commutateurs étant égal au nombre N de guides d'onde rayonnants. Chaque commutateur hyperfréquence 30 comporte
25 une entrée hyperfréquence 31 destinée à recevoir un signal d'alimentation hyperfréquence 32, une entrée de commande 33 destinée à recevoir un signal de commande 38 de sélection du sens de la polarisation, une première sortie 34 destinée à délivrer le signal d'alimentation à un premier port d'entrée/sortie 36 d'un guide de distribution 23, et une deuxième sortie 35 destinée à délivrer le signal
30 d'alimentation à un deuxième port d'entrée/sortie 37 d'un guide de distribution 23. Les deux sorties 34, 35 du commutateur hyperfréquence 30 sont respectivement reliées, par l'intermédiaire de moyens de transitions non représentés, aux premier et deuxième ports d'entrée/sortie 36, 37 d'un guide de distribution. Selon le sens, droit ou
35 gauche, de polarisation souhaité, le signal de commande de la

polarisation appliqué sur l'entrée de commande 33 du commutateur hyperfréquence 30 sélectionne la position 1, 2 du commutateur 30 et relie l'entrée hyperfréquence 31 du commutateur 30 à la première sortie 34 ou à la deuxième sortie 35 du commutateur 30. Un signal d'alimentation hyperfréquence 32 appliqué sur l'entrée hyperfréquence 31 du commutateur 30 est alors transmis soit au premier port d'entrée/sortie 36, soit au deuxième port d'entrée/sortie 37, du guide de distribution auquel le commutateur 30 est relié, selon la position 1, 2 du commutateur 30 sélectionnée.

Selon le premier mode de réalisation de l'invention représenté sur les figures 2a et 2b, les N commutateurs 30 associés respectivement aux N guides de distribution 23 et aux N guides d'onde rayonnants 26 sont montés sur la face avant du support 20, dans un logement 24 aménagé dans une partie supérieure du panneau de l'antenne. Comme représenté schématiquement sur les figures 5a et 5b, le guide d'onde de distribution 23 comporte deux parties de guide, supérieure 50 et inférieure 51, distinctes séparées par une paroi interne transversale 52, chaque partie 50, 51 de guide de distribution étant respectivement couplée au guide d'onde rayonnant 26 correspondant par l'intermédiaire soit de la fente de couplage supérieure correspondant au premier port d'entrée/sortie 40, soit de la fente de couplage inférieure correspondant au deuxième port d'entrée/sortie 41. Dans ce premier mode de réalisation, la paroi interne transversale 52 est disposée près de l'extrémité supérieure 28 du guide rayonnant 26, juste en aval de la fente de couplage supérieure. Les deux parties supérieure 50 et inférieure 51 du guide de distribution 23 ont donc des longueurs très différentes. La première sortie 34 du commutateur 30 est connectée au premier port d'entrée/sortie supérieur 40 d'un guide d'onde rayonnant 26 par l'intermédiaire de la partie supérieure 50 du guide de distribution 23. La deuxième sortie 35 du commutateur 30 est connectée au deuxième port d'entrée/sortie inférieur 41 du même guide d'onde rayonnant 26 par l'intermédiaire de la partie inférieure 51 du guide de distribution 23.

Dans un premier sens de polarisation circulaire, par exemple droit, un signal d'alimentation appliqué sur l'entrée hyperfréquence du

commutateur 30 est transmis sur la première sortie du commutateur 30, par exemple supérieure 34, sélectionnée par le signal 38 de commande de position du commutateur 30 et appliqué sur le port d'entrée/sortie supérieur 40 d'un guide d'onde rayonnant 26 par l'intermédiaire de la partie supérieure 50 d'un guide d'onde de distribution 23 correspondant auquel le commutateur 30 est relié. L'énergie du signal se propage ensuite dans le guide d'onde rayonnant 26, du port supérieur 40 vers l'extrémité inférieure 29 du guide d'onde rayonnant 26, puis est rayonnée par les différents éléments rayonnants 27 gravés dans la paroi avant dudit guide d'onde rayonnant 26 correspondant de l'antenne.

Dans un deuxième sens de polarisation circulaire, par exemple gauche, un signal d'alimentation 32 appliqué sur l'entrée hyperfréquence 31 du commutateur 30 est transmis sur la deuxième sortie du commutateur, par exemple inférieure 35, sélectionnée par le signal 38 de commande de position du commutateur et appliqué sur l'entrée de la partie inférieure du guide d'onde de distribution 51 auquel le commutateur 30 est relié. Le signal d'alimentation se propage alors dans le guide d'onde de distribution inférieur 51 jusqu'au port d'entrée/sortie inférieur 41 constitué par la fente de couplage inférieure couplant le guide d'onde de distribution inférieur 51 au guide d'onde rayonnant 26 correspondant. L'énergie du signal transmise par l'intermédiaire de la fente de couplage inférieure se propage ensuite dans le guide d'onde rayonnant correspondant en sens inverse de celui correspondant à la polarisation circulaire droite, c'est-à-dire dans le cas présent, du port d'entrée/sortie inférieur 41 vers l'extrémité supérieure 28 du guide d'onde rayonnant, puis est rayonnée par les différents éléments rayonnants 27 gravés dans la paroi avant dudit guide d'onde rayonnant correspondant de l'antenne.

Ce premier mode de réalisation présente plusieurs inconvénients. D'une part, l'alimentation du réseau rayonnant dans les deux sens de polarisation circulaire ne peut pas être symétrique en raison du déséquilibre de positionnement des commutateurs 30. En effet, les commutateurs 30 étant positionnés à proximité du port

d'entrée/sortie supérieur 40 des guides d'onde rayonnants 26, ce port d'entrée/sortie supérieur 40 est favorisé du point de vue des pertes hyperfréquences RF. Au contraire, les commutateurs 30 sont éloignés du port inférieur 41 des guides d'onde rayonnants 26 ce qui entraîne des pertes hyperfréquences RF additionnelles par rapport au port d'entrée/sortie supérieur 40. D'autre part, ce premier mode de réalisation ne permet pas d'optimiser la surface rayonnante de l'antenne en raison de l'encombrement des commutateurs 30 qui occupent la partie supérieure de la face avant du panneau de l'antenne, ce qui provoque une perte de directivité de l'antenne qui ne peut occuper toute la surface physique du panneau.

Selon un deuxième mode de réalisation préféré de l'invention représenté sur les figures 6a et 6b, le panneau de l'antenne comporte, monté sur sa face avant, un premier niveau rayonnant comportant N guides d'onde rayonnants 26 disposés parallèlement les uns à côté des autres et un deuxième niveau de distribution comportant N guides d'onde de distribution 23 disposés parallèlement les uns à côté des autres, le premier niveau rayonnant étant superposé au-dessus du deuxième niveau de distribution, chaque guide d'onde rayonnant 26 étant couplé à un guide d'onde de distribution 23 correspondant. Chaque guide d'onde de distribution 23 est séparé, en son milieu, au niveau d'une ligne médiane L du panneau de l'antenne, la ligne L étant parallèle à l'axe Y, en deux parties de guides d'onde de distribution, respectivement supérieure 50 et inférieure 51, par exemple au moyen d'une paroi de séparation transversale 52 s'étendant à l'intérieur du guide d'onde de distribution 23 et formant un court-circuit avec les parois du guide d'onde de distribution 23. Dans ce deuxième mode de réalisation, les deux parties, supérieure 50 et inférieure 51, constituent deux demi-guides d'onde de distribution identiques et indépendants entre eux. Comme représenté partiellement sur les figures 6a et 6b, chaque guide d'onde rayonnant 26 est couplé aux deux demi-guides d'onde, supérieur 50 et inférieur 51, du guide de distribution 23 correspondant par l'intermédiaire d'au moins deux fentes de couplage, supérieure et inférieure, aménagées dans les parois longitudinales

superposées de chaque demi-guide de distribution supérieur 50 et inférieur 51 et du guide d'onde à fentes rayonnantes 26 correspondants. La première fente de couplage est placée à l'extrémité supérieure du guide d'onde rayonnant 26 et la deuxième fente de couplage est placée à l'extrémité inférieure du guide d'onde rayonnant 26. Les deux fentes de couplage, supérieure et inférieure constituent respectivement les premier et deuxième ports d'entrée/sortie 40, 41 des guides d'onde rayonnants 26. Les N guides d'onde rayonnants 26 et les N guides d'onde de distribution 23 sont fermés par une paroi transversale formant un court-circuit à leurs deux extrémités respectives, supérieure 28' et inférieure 29'.

Selon ce deuxième mode de réalisation de l'invention, les N commutateurs hyperfréquences 30 associés respectivement aux N guides d'onde rayonnants 26 sont montés sur la face avant du support du panneau de l'antenne, au niveau de la ligne médiane du panneau de l'antenne et au niveau de la paroi de séparation 52 des demi-guides d'onde de distribution 50, 51, et les deux sorties 34, 35 de chaque commutateur 30 sont respectivement reliées à deux entrées correspondantes 36, 37 aménagées dans chaque demi-guide d'onde de distribution 23, de part et d'autre de la paroi de séparation 52 entre deux demi-guides d'onde 50, 51 d'un même guide de distribution 23. Les N commutateurs 30 peuvent être localisés dans un logement aménagé entre le support 20 du panneau de l'antenne et les deux niveaux de guides d'onde de distribution et de guides d'onde rayonnants.

Alternativement, comme représenté schématiquement sur la figure 7c, les N commutateurs 30 peuvent être localisés dans un logement aménagé à l'intérieur de chaque guide d'onde de distribution 23. Dans ce cas, la paroi de séparation transversale 52 des demi-guides d'onde de distribution supérieur et inférieur est remplacée par deux parois de séparation transversales 60, 61, espacées l'une de l'autre, l'espace entre les deux parois de séparation formant le logement dans lequel est inséré chaque commutateur 30.

Une telle configuration d'alimentation du réseau rayonnant par le milieu du panneau de l'antenne permet d'une part, de symétriser

parfaitement les comportements hyperfréquences du réseau rayonnant de l'antenne pour les deux sens de polarisation circulaire, et d'autre part, une utilisation complète de la surface du panneau à des fins de rayonnement.

5 Comme représenté schématiquement sur les figures 7a et 7b, le fonctionnement de l'antenne est similaire à celui correspondant au premier mode de réalisation. Dans un premier sens de polarisation circulaire, par exemple droit, un signal d'alimentation 32 appliqué sur l'entrée hyperfréquence 31 du commutateur 30 est transmis sur la
10 première sortie du commutateur, par exemple supérieure 34, sélectionnée par le signal 38 de commande de position du commutateur 30 et appliqué sur l'entrée 36 du demi-guide d'onde de distribution supérieur 50 auquel le commutateur 30 est relié. Le signal d'alimentation se propage alors dans le demi-guide d'onde de
15 distribution supérieur 50 jusqu'à la fente de couplage supérieure correspondant au port d'entrée/sortie supérieur 40 d'un guide d'onde rayonnant 26 correspondant. L'énergie du signal transmise par l'intermédiaire de la fente de couplage supérieure se propage ensuite dans le guide d'onde rayonnant 26, du port d'entrée/sortie supérieur 40
20 vers l'extrémité inférieure 29 du guide d'onde rayonnant, puis est rayonnée par les différents éléments rayonnants 27 gravés dans la paroi avant dudit guide d'onde rayonnant de l'antenne.

Dans un deuxième sens de polarisation circulaire, par exemple gauche, un signal d'alimentation 32 appliqué sur l'entrée
25 hyperfréquence 31 du commutateur 30 est transmis sur la deuxième sortie du commutateur, par exemple inférieure 35, sélectionnée par le signal 38 de commande de position du commutateur et appliqué sur l'entrée 37 du demi-guide d'onde de distribution inférieur 51 auquel le commutateur 30 est relié. Le signal d'alimentation se propage alors
30 dans le demi-guide d'onde de distribution inférieur 51 jusqu'à la fente de couplage inférieure couplant le demi-guide d'onde de distribution inférieur 51 à un guide d'onde rayonnant 26 correspondant. L'énergie du signal transmise par l'intermédiaire de la fente de couplage inférieure se propage ensuite dans le guide d'onde rayonnant 26 en
35 sens inverse de celui correspondant à la polarisation circulaire droite,

c'est-à-dire dans le cas présent, du port d'entrée/sortie inférieur 41 vers l'extrémité supérieure 28 du guide d'onde rayonnant, puis est rayonnée par les différents éléments rayonnants 27 gravés dans la paroi avant dudit guide d'onde rayonnant 26 de l'antenne.

5 Dans ce second mode de réalisation de l'invention, les N commutateurs 30 étant localisés entre le support 20 du panneau de l'antenne et les deux niveaux de guides d'onde de distribution et de guides d'onde rayonnants, cela permet de disposer de la totalité de la surface du panneau pour la surface rayonnante. En outre, les N
10 commutateurs 30 étant localisés dans la zone médiane de l'antenne, au niveau des parois de séparation 52 des demi-guides d'onde de distribution, supérieurs et inférieurs, la propagation des signaux et les performances de l'antenne dans les deux sens de polarisation sont parfaitement symétriques. Cette configuration d'antenne présente donc
15 un avantage au niveau des performances radiofréquence, de la directivité et du gain de l'antenne et permet d'augmenter la densité d'énergie rayonnée par l'antenne sans augmenter son encombrement, ce qui est d'autant plus critique que les terminaux sont de petites tailles et fonctionnent en mobilité.

20 Le montage des commutateurs au niveau de la ligne médiane du panneau de l'antenne permet un équilibrage parfait des comportements de l'antenne selon chacune des polarisations. Cependant, pour des raisons d'implantation ou d'encombrement, d'autres aménagements des différents commutateurs sont possibles. En particulier, les
25 commutateurs peuvent ne pas être tous positionnés selon une même ligne et, par exemple, il est possible de disposer les commutateurs en quinconce de part et d'autre de la ligne médiane du panneau de l'antenne, ou de les décaler les uns par rapport aux autres de façon à simplifier leur logement au sein du panneau de l'antenne. Le décalage
30 des commutateurs peut être réalisé à partir de la ligne médiane vers le haut du panneau de l'antenne et se rapprocher du port d'entrée/sortie supérieur 40 ou vers le bas du panneau de l'antenne et se rapprocher du port d'entrée/sortie inférieur 41 ou alternativement vers le haut puis vers le bas du panneau de l'antenne.

La figure 7d illustre notamment un exemple dans lequel trois commutateurs successifs sont décalés à partir de la ligne médiane vers le haut du panneau de l'antenne. Ainsi, un premier commutateur est positionné au niveau de la ligne médiane L du panneau, un deuxième commutateur est décalé vers le haut du panneau, légèrement au-dessus de la ligne médiane et un troisième commutateur est décalé vers le haut de façon plus importante, au-dessus de la ligne médiane.

Le décalage des commutateurs à partir de la ligne médiane et dans un même sens, par exemple vers le haut du panneau, peut être réalisé sur quelques commutateurs successifs, par exemple quatre commutateurs successifs, puis reproduit à l'identique sur les quatre commutateurs suivants, le cinquième commutateur étant placé au niveau de la ligne médiane, et ainsi de suite jusqu'au dernier commutateur.

Le motif des éléments rayonnants 27 gravés doit avoir une géométrie permettant un rayonnement en double polarisation circulaire sans ajout de grille polarisante. Différentes géométries sont possibles. Selon un premier exemple de géométrie représenté sur les figures 8a à 8c, chaque élément rayonnant peut être constitué d'un motif gravé comportant deux premières fentes identiques disposées en croix symétrique et formant un angle de 90° entre elles et de deux secondes fentes identiques disposées en chevron symétrique et formant un angle de 90° entre elles. La croix et le chevron d'un même motif sont gravés de part et d'autre d'une ligne médiane longitudinale de la paroi avant du guide d'onde à fentes et ont un même axe de symétrie perpendiculaire à ladite ligne médiane et passant par le centre de la croix. Ledit axe de symétrie correspond alors au centre de phase du signal rayonné par l'élément rayonnant correspondant, dans les deux sens de polarisation circulaire droit et gauche.

Alternativement, selon des deuxième et troisième exemples de géométrie représentés respectivement sur les figures 9, 10a et 10b, le motif gravé de chaque élément rayonnant peut comporter une forme géométrique carrée ou circulaire, cette forme géométrique pouvant être centrée ou décalée par rapport à une ligne médiane du guide d'onde

rayonnant ou pouvant être combinée avec une autre forme géométrique de fentes, par exemple en croix ou en chevron. Sur la figure 9, la fente circulaire est décalée par rapport à la ligne médiane longitudinale de la paroi avant du guide d'onde rayonnant. Sur la figure 10a, la fente carrée est également décalée par rapport à la ligne médiane longitudinale de la paroi avant du guide d'onde rayonnant.

Les guides d'onde utilisés peuvent être réalisés en technologie des guides d'onde métalliques usinés ou en technologie des cartes de circuits imprimés PCB (en anglais Printed Circuit Board). Selon cette technologie, connue sous le nom SIW (en anglais : Substrate Integrated Waveguide) ou sous le nom de laminé (en anglais : laminated), les guides d'ondes sont imprimés dans une couche de diélectrique située entre deux plans métalliques d'une structure multi-couches, les deux plans métalliques constituant les parois longitudinales avant et arrière des guides d'ondes, et les parois transversales des guides d'onde sont réalisées par des arrangements réguliers de trous métallisés traversant le diélectrique et reliant les deux plans métalliques. Dans ce cas, les éléments rayonnants sont réalisés par un procédé de photolithographie permettant à l'endroit des fentes du motif rayonnant, de retirer localement la couche métallique supérieure dans le plan métallique supérieur de chaque guide d'onde rayonnant.

Le commutateur utilisé peut être de différentes technologies. Le choix est réalisé en fonction de l'encombrement disponible, des pertes acceptables, et de la facilité d'interfaçage avec une structure mécanique et électrique. A titre d'exemple non limitatif le commutateur peut être un commutateur à ferrites ce qui permet de minimiser les pertes de commutation ou un commutateur électromécanique ce qui permet de minimiser son encombrement.

Bien que l'invention ait été décrite en liaison avec 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.

REVENDICATIONS

1. Antenne plane pour terminal fonctionnant en double polarisation circulaire, comportant au moins un panneau s'étendant selon un plan XY, caractérisée en ce que le panneau de l'antenne comporte :
- un premier réseau de N guides d'onde rayonnants (26) comportant des éléments rayonnants (27) à double sens de polarisation circulaire, où N est un nombre entier supérieur à 1, chaque guide d'onde rayonnant (26) comportant deux ports d'entrée/sortie, respectivement supérieur (40) et inférieur (41),
 - un deuxième réseau de N guides d'onde de distribution (23) respectivement couplés aux N guides d'onde rayonnants (26), chaque guide d'onde de distribution (23) comportant deux parties indépendantes, respectivement supérieure (50) et inférieure (51),
 - N commutateurs hyperfréquence (30), chaque commutateur hyperfréquence (30) comportant une entrée hyperfréquence (31), une première sortie hyperfréquence (34) reliée au premier port d'entrée/sortie supérieur (40) d'un guide d'onde rayonnant (26) par l'intermédiaire de la partie supérieure (50) d'un guide d'onde de distribution (23) couplé au guide d'onde rayonnant (26) et une deuxième sortie hyperfréquence (35) reliée au deuxième port d'entrée/sortie inférieur (41) du même guide d'onde rayonnant (26) par l'intermédiaire de la partie inférieure (51) du même guide d'onde de distribution (23) couplé au guide d'onde rayonnant (26), une entrée de commande (33) de position (1, 2) du commutateur (30) apte à commuter l'entrée hyperfréquence (31) du commutateur (30) sur la première ou la deuxième sortie hyperfréquence (34, 35) en fonction du sens de la polarisation circulaire.
2. Antenne plane selon la revendication 1, caractérisée en ce que chaque guide d'onde rayonnant (26) équipé des éléments rayonnants (27) et des deux ports d'entrée/sortie (40, 41) est symétrique.

3. Antenne plane selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce que chaque guide d'onde de distribution (23) comporte au moins une paroi transversale (52) de séparation des deux parties du guide d'onde de distribution (50, 51), la partie supérieure (50) et la partie inférieure (51) d'un même guide d'onde de distribution (23) étant couplées à un même guide d'onde rayonnant (26) respectivement par l'intermédiaire d'une première fente de couplage constituant le port d'entrée/sortie supérieur (40) et par l'intermédiaire d'une deuxième fente de couplage constituant le port d'entrée/sortie inférieur (41).
5
 4. Antenne plane selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que les ports d'entrée/sortie supérieurs (40) sont positionnés à une extrémité supérieure (28) des guides d'onde rayonnants (26) et en ce que les ports d'entrée/sortie inférieurs (41) sont positionnés à une extrémité inférieure (29) des guides d'onde rayonnants (26).
10
 5. Antenne plane selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que les commutateurs (30) sont positionnés sur le panneau de l'antenne au niveau des ports d'entrée/sortie supérieurs (40) des guides d'onde rayonnants (26).
15
 6. Antenne plane selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que les commutateurs (30) sont positionnés sur le panneau de l'antenne, au niveau d'une ligne médiane L du panneau de l'antenne, à égale distance des ports d'entrée/sortie supérieurs (40) et inférieurs (41) des guides d'onde rayonnants (26).
20
 7. Antenne plane selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que les commutateurs (30) sont positionnés sur le panneau de l'antenne et décalés les uns par rapport aux autres à partir d'une ligne médiane L du panneau de l'antenne.
25
 8. Antenne plane selon la revendication 6, caractérisée en ce que les deux parties supérieure (50) et inférieure (51) d'un même guide d'onde
30
- 35

de distribution (23) sont identiques et disposées symétriquement de part et d'autre de la ligne médiane L.

- 5 9. Antenne plane selon la revendication 6, caractérisée en ce que chaque guide d'onde de distribution (23) comporte deux parois de séparation (60, 61) disposées de part et d'autre de la ligne médiane L et en ce que chaque commutateur (30) est monté dans un guide d'onde de distribution (23) respectif entre les deux parois (60, 61).
- 10 10. Antenne plane selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que les N guides d'onde rayonnants (26) forment N lignes rayonnantes disposées parallèlement les unes à côté des autres, chaque guide d'onde rayonnant (26) s'étendant selon une direction longitudinale X, ayant une largeur P correspondant au pas du réseau
15 selon une direction Y et ayant une section transversale YZ rectangulaire.
- 20 11. Antenne plane selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que les éléments rayonnants (27) de chaque guide d'onde rayonnant (26) sont alignés, gravés périodiquement et régulièrement espacés d'une même distance D selon la direction longitudinale X du guide d'onde rayonnant (26), chaque élément rayonnant (27) étant constitué d'une ou plusieurs fentes rayonnantes gravées selon un motif géométrique rayonnant directement en double
25 polarisation circulaire.
- 30 12. Antenne plane selon la revendication 11, caractérisée en ce que le motif gravé de chaque élément rayonnant a une forme choisie parmi un cercle, un carré ou une combinaison d'une croix et d'un chevron symétrique.
13. Terminal aéroporté comportant au moins une antenne plane selon l'une des revendications précédentes.

14. Système de télécommunication par satellite comportant au moins une antenne plane selon l'une des revendications 1 à 12.

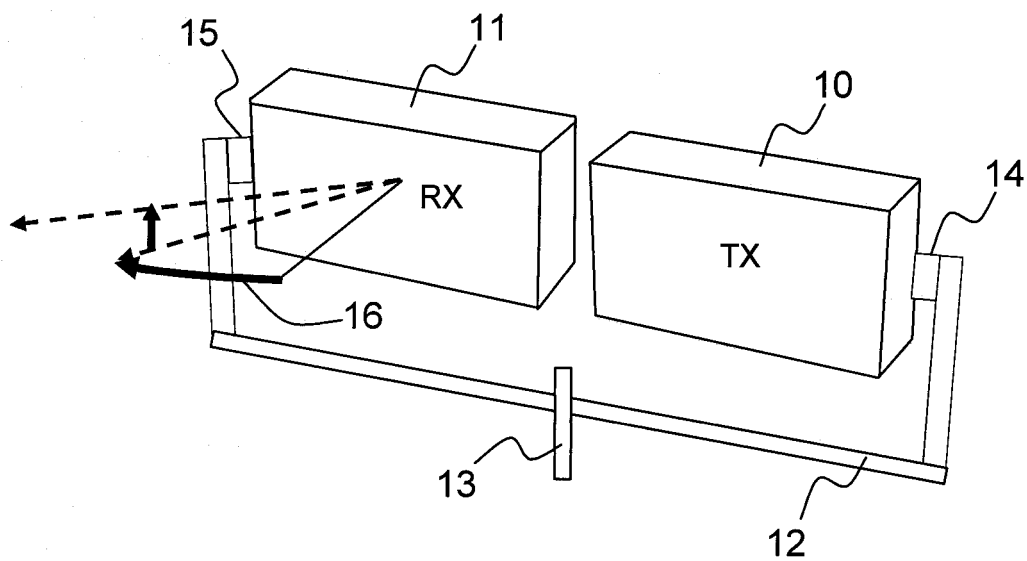


FIG. 1a

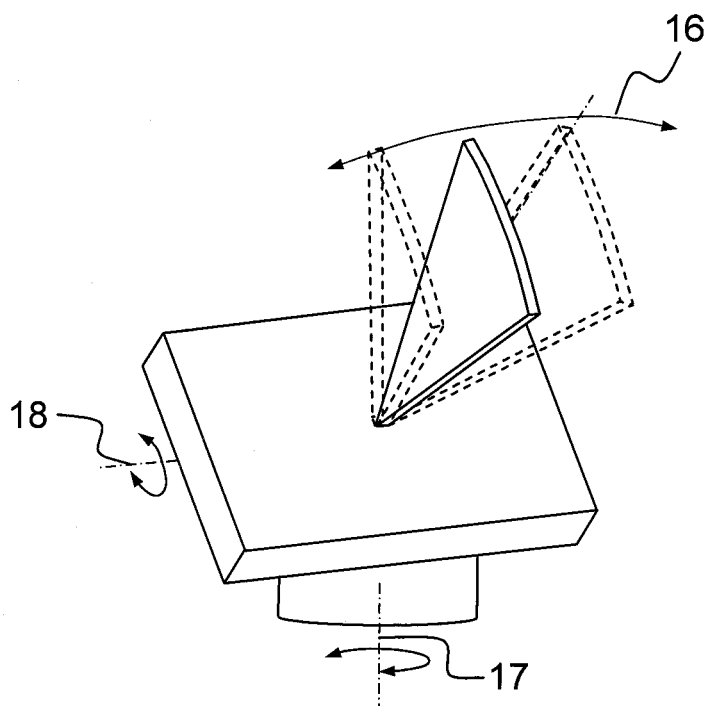


FIG. 1b

2/10

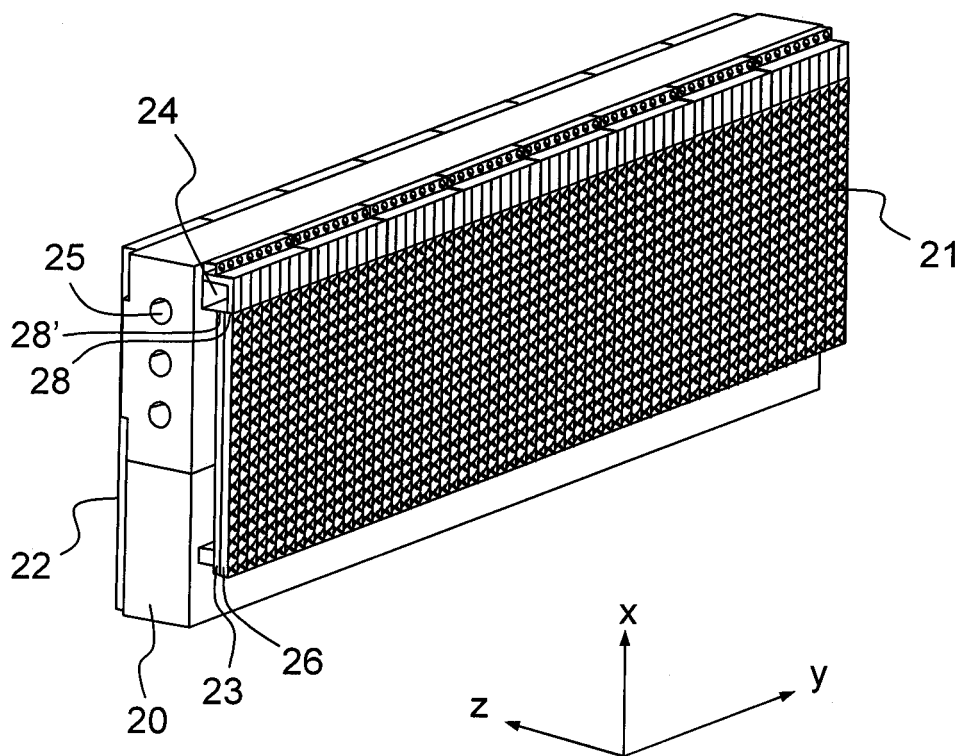


FIG. 2a

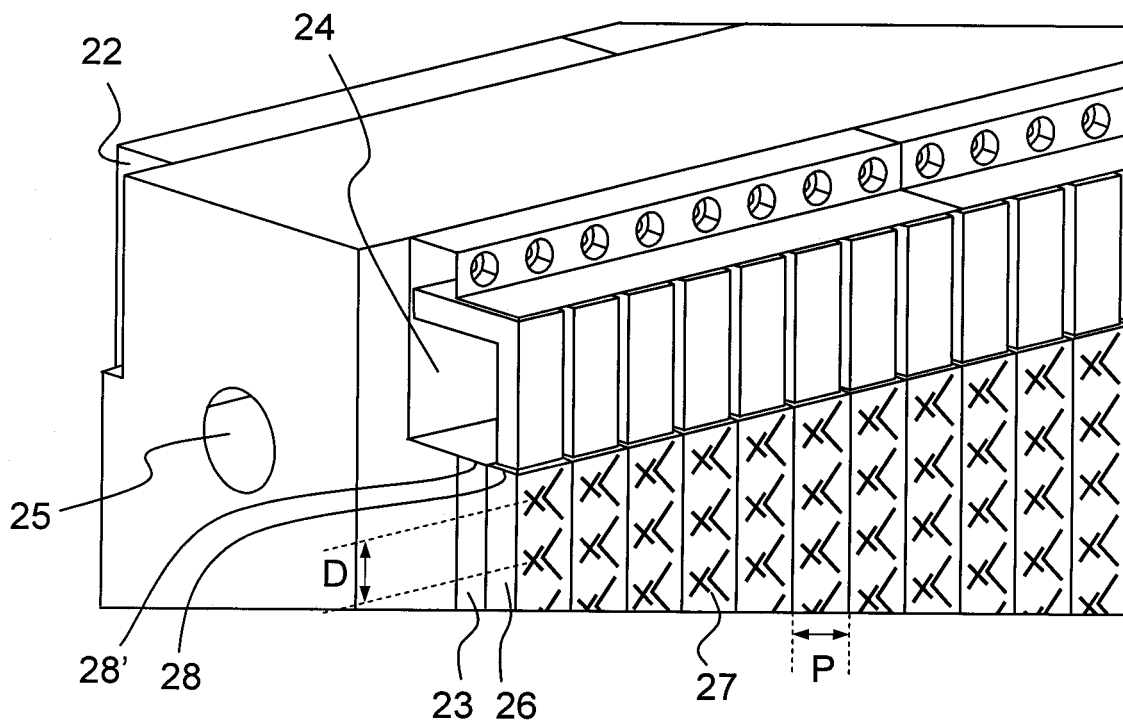


FIG. 2b

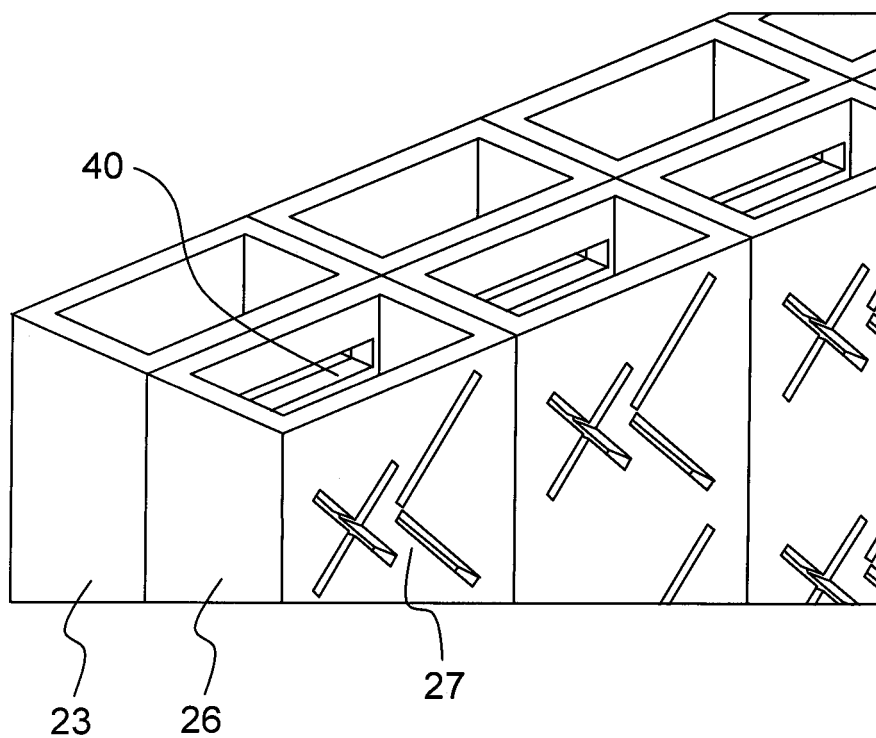


FIG. 3a

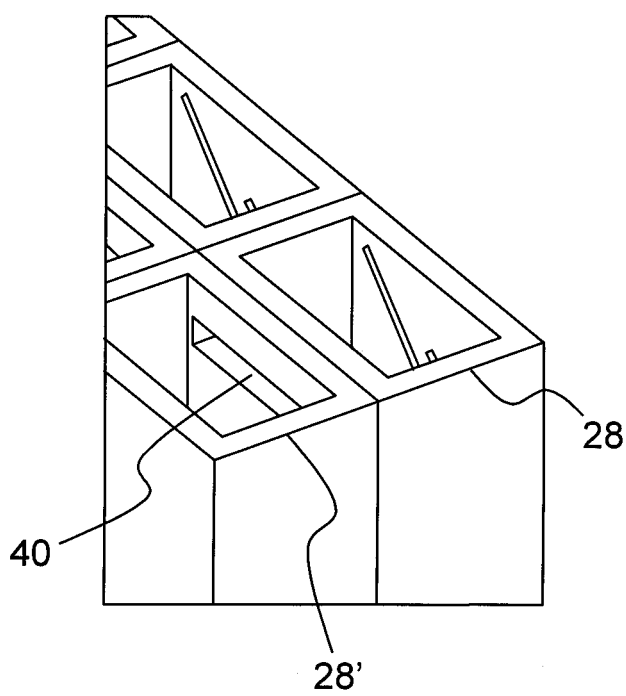


FIG. 3b

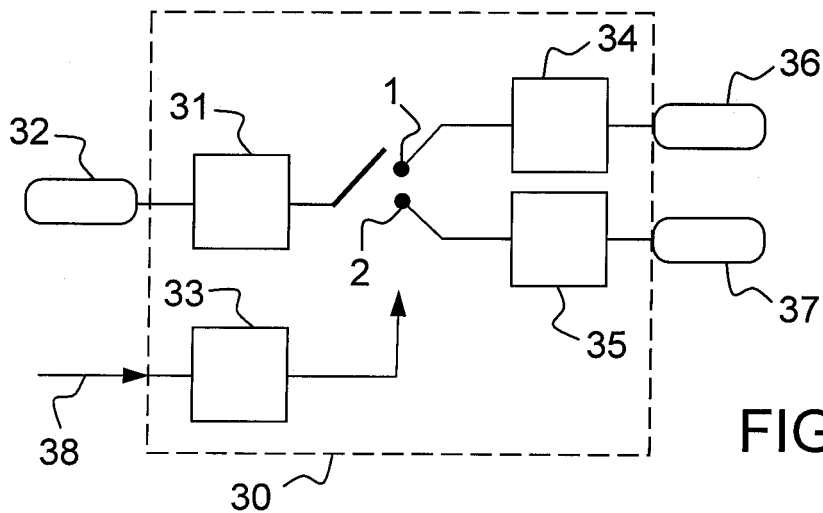


FIG. 4

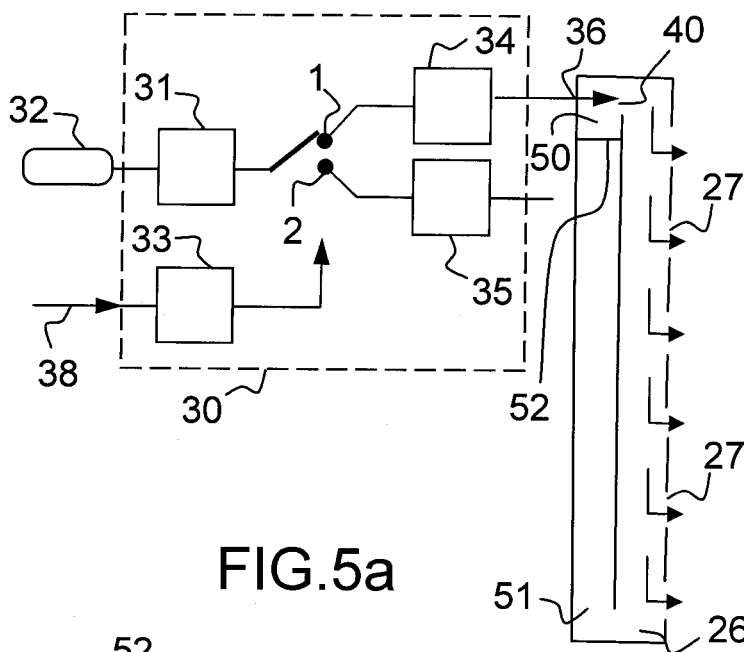


FIG. 5a

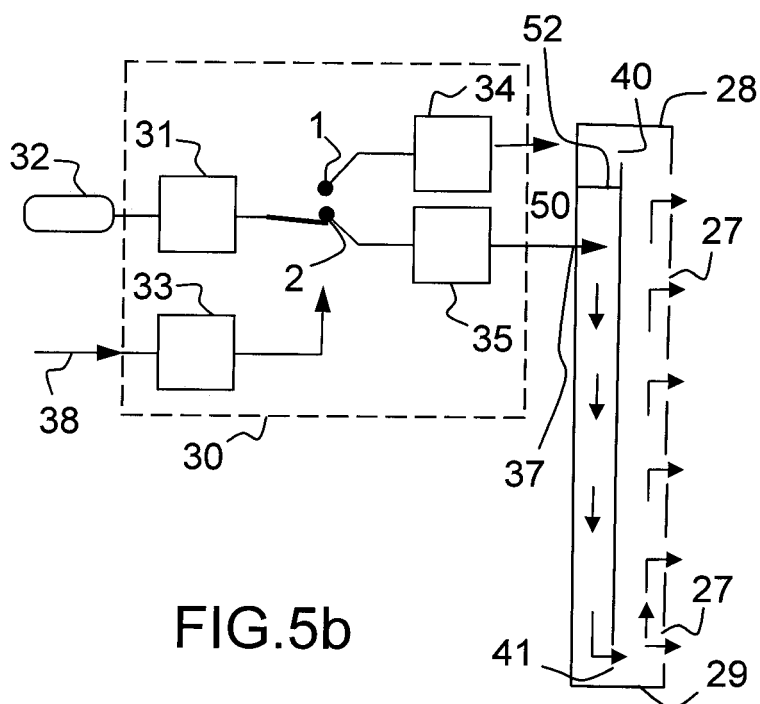


FIG. 5b

5/10

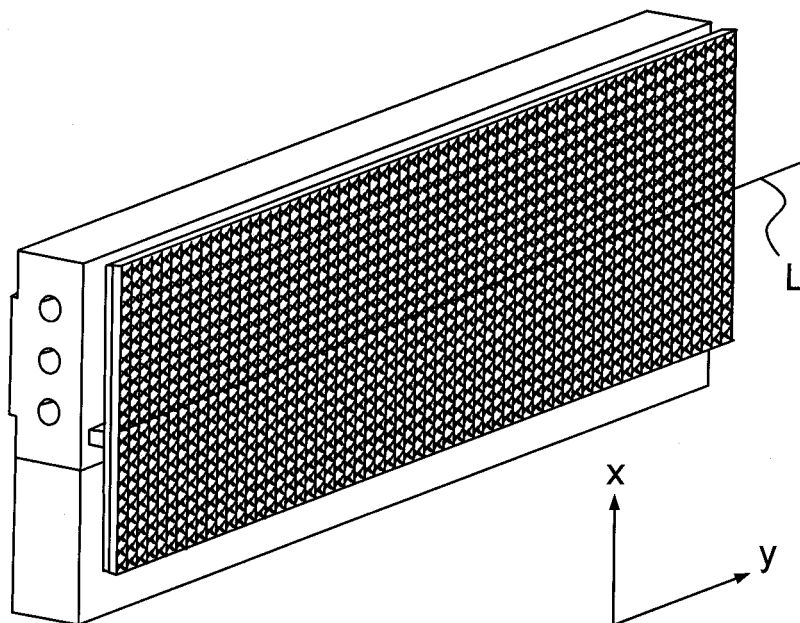
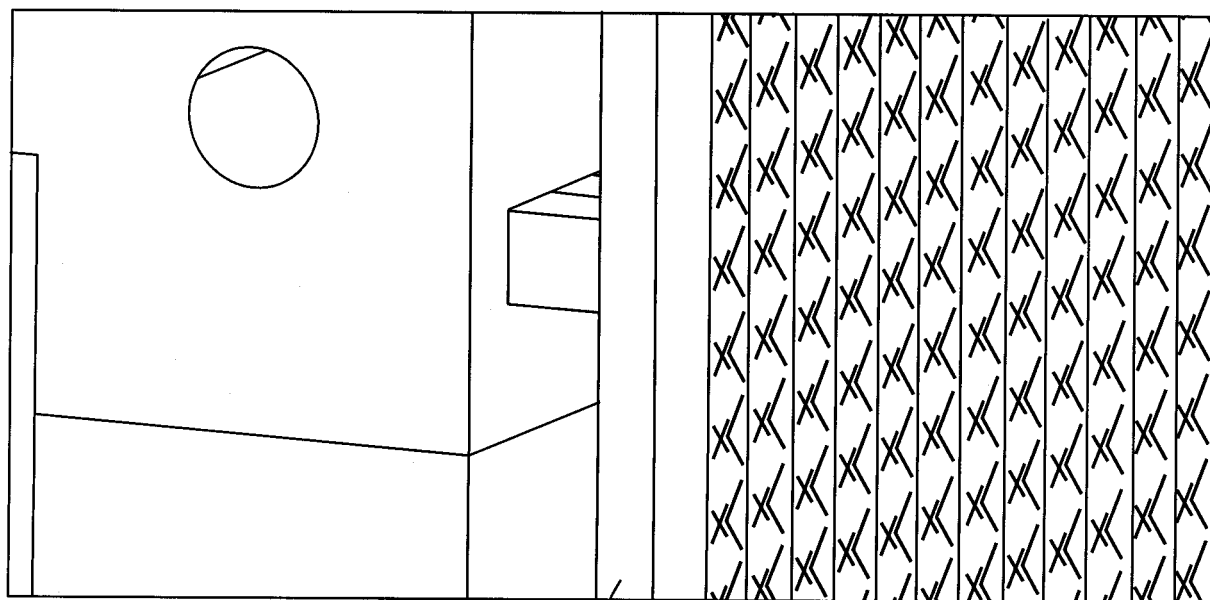


FIG.6a



23

FIG.6b

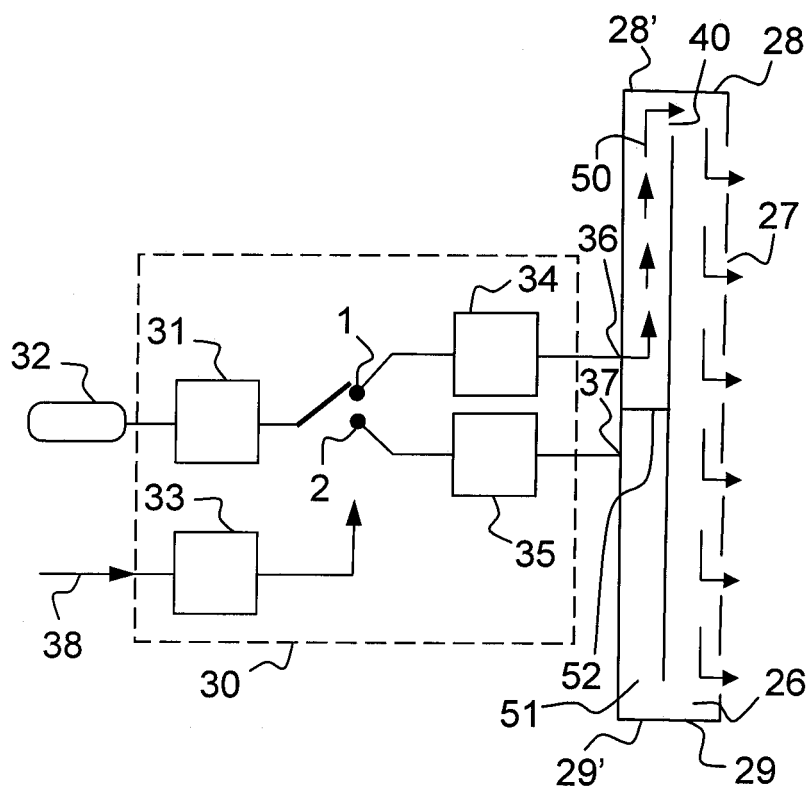


FIG.7a

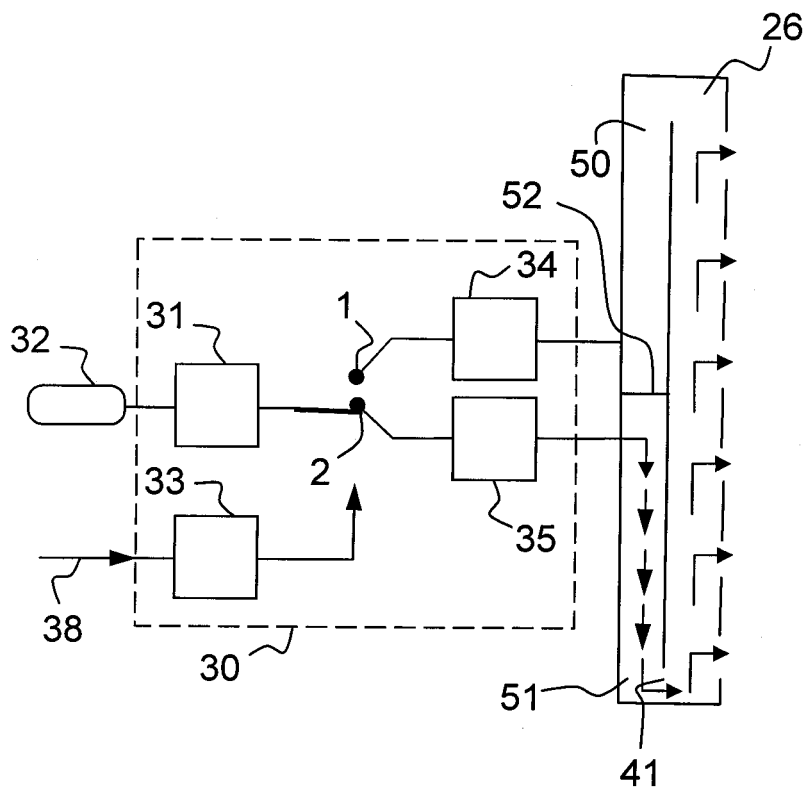


FIG.7b

7/10

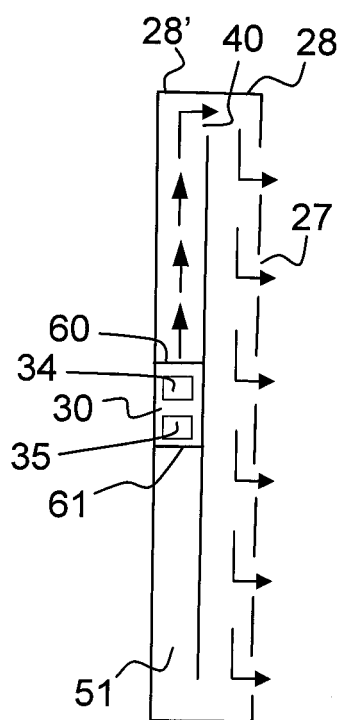


FIG. 7c

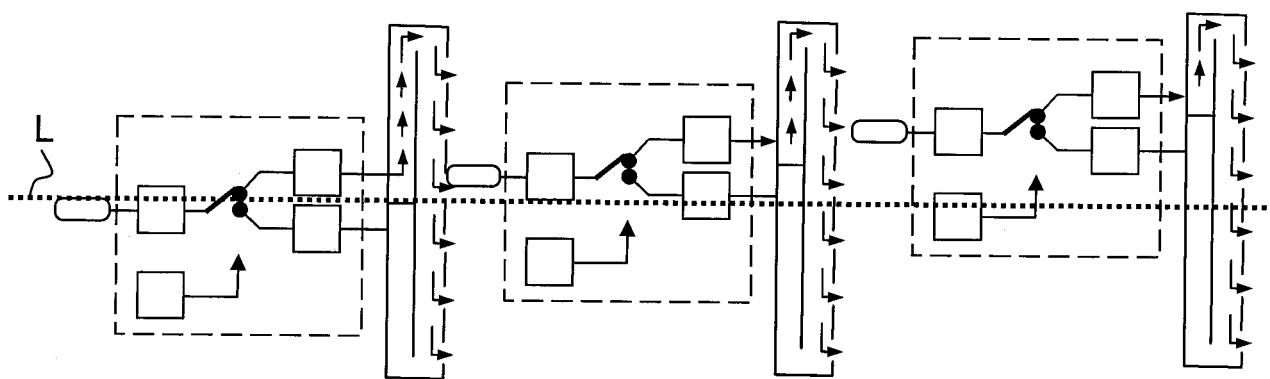


FIG. 7d

8/10

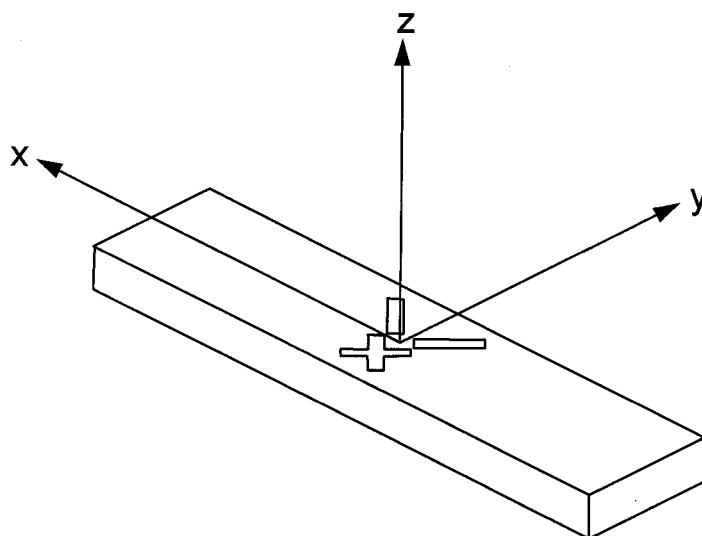


FIG.8a

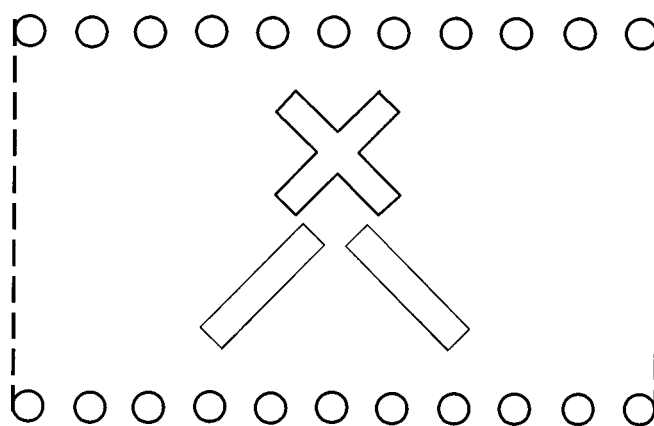


FIG.8b

9/10

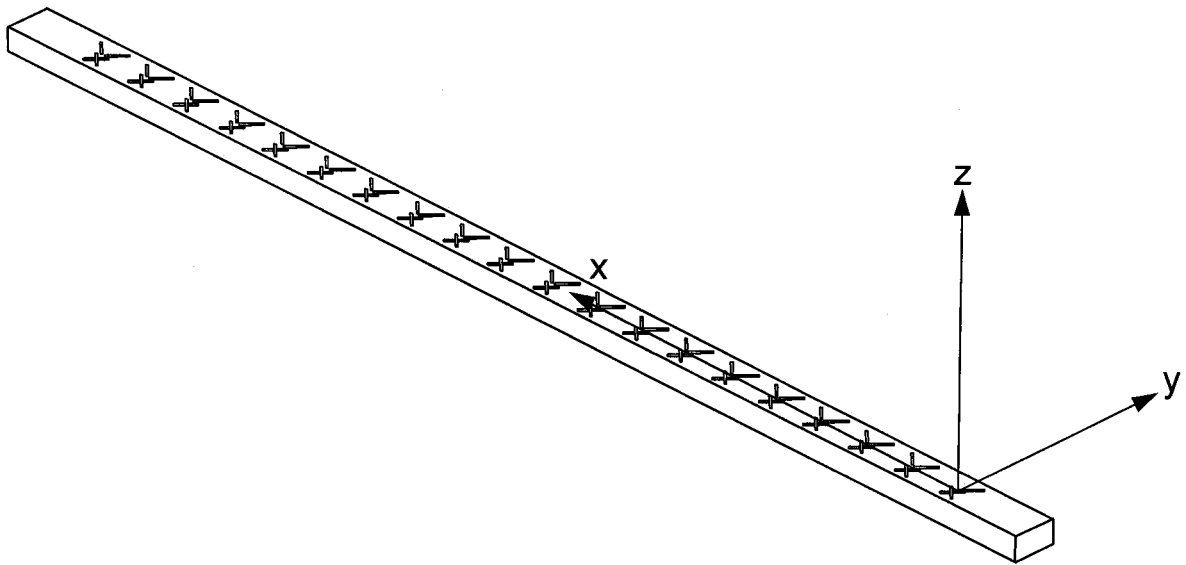


FIG.8c

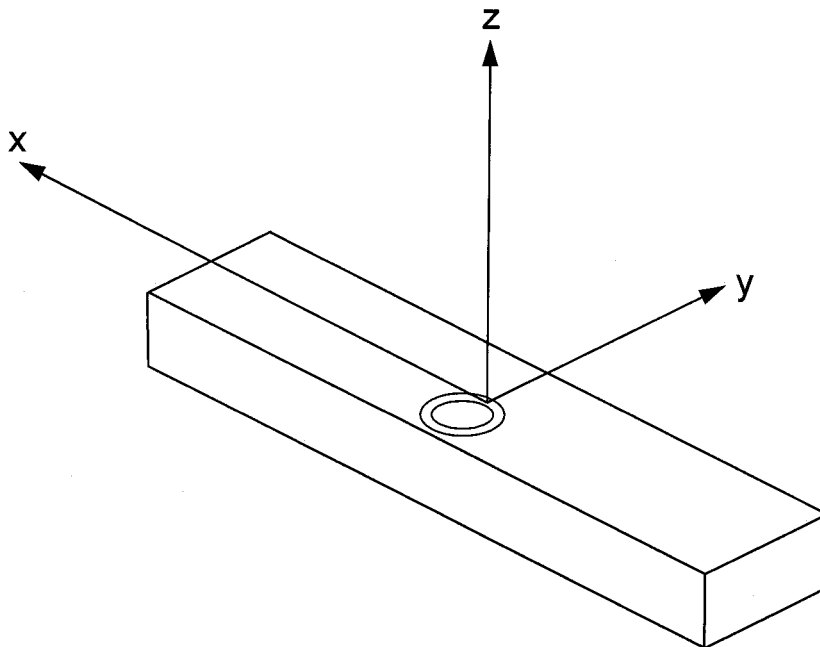


FIG.9

10/10

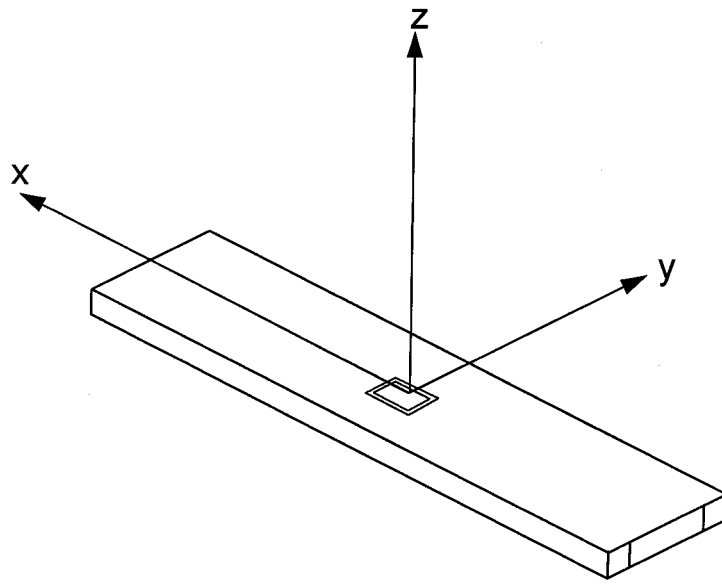


FIG.10a

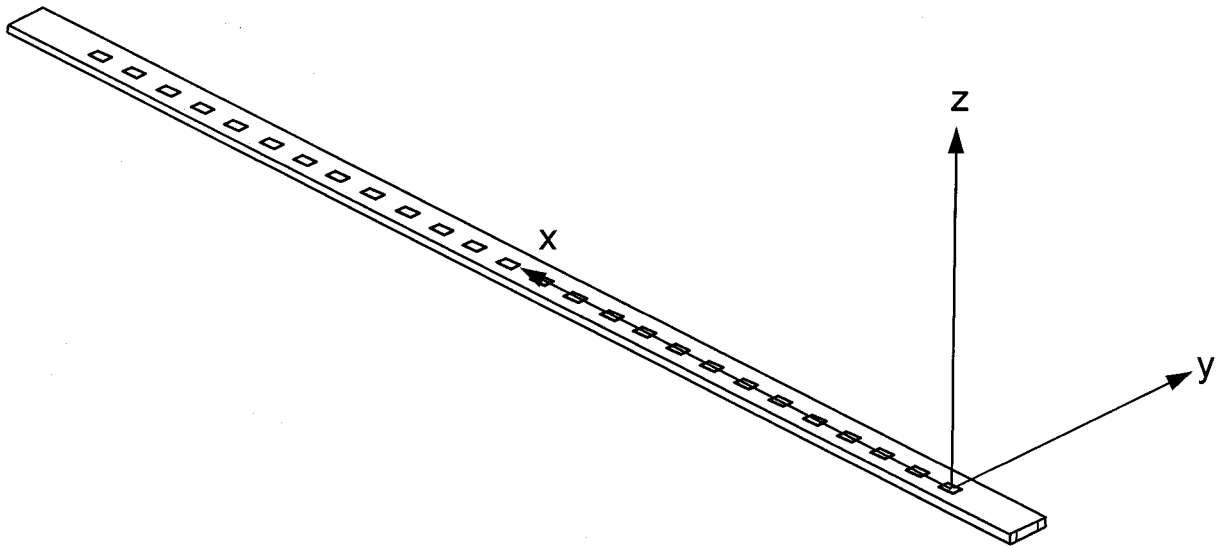


FIG.10b



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 766972
FR 1200699

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 7 436 371 B1 (PAULSEN LEE M [US]) 14 octobre 2008 (2008-10-14) * colonne 1, ligne 7-32,51-61 * * colonne 2, ligne 4-16 * * colonne 3, ligne 16 - colonne 6, ligne 62 * * figures 1,9-11 * -----	1	H01Q21/00
A	KUNIO SAKAKIBARA ET AL: "A Two-Beam Slotted Leaky Waveguide Array for Mobile Reception of Dual-Polarization DBS", IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 48, no. 1, 1 janvier 1999 (1999-01-01), XP011063804, ISSN: 0018-9545 * le document en entier * -----	1	
A	US 2005/146477 A1 (KELLY KENNETH C [US] ET AL) 7 juillet 2005 (2005-07-07) * colonnes 47-61 * * figures 1,2A-2D,3,4A-4F * -----	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	WO 2009/084050 A1 (SELEX COMMUNICATIONS SPA [IT]; CADILI TINDARO [IT]; GENOVESE ANNA [IT]) 9 juillet 2009 (2009-07-09) * page 5, ligne 8 - page 16, ligne 13 * * figures 1-6 * -----	1	H01Q
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
17 janvier 2013		Kruck, Peter	
<p style="text-align: center;">CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul</p> <p>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie</p> <p>A : arrière-plan technologique</p> <p>O : divulgation non-écrite</p> <p>P : document intercalaire</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention</p> <p>E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.</p> <p>D : cité dans la demande</p> <p>L : cité pour d'autres raisons</p> <p>.....</p> <p>& : membre de la même famille, document correspondant</p> </div> </div>			

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1200699 FA 766972**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **17-01-2013**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 7436371	B1	14-10-2008	AUCUN	

US 2005146477	A1	07-07-2005	AUCUN	

WO 2009084050	A1	09-07-2009	EP 2245704 A1	03-11-2010
			WO 2009084050 A1	09-07-2009
