



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
24.10.2018 Bulletin 2018/43

(51) Int Cl.:
H01Q 1/22 (2006.01) **H01Q 3/30 (2006.01)**
H01Q 21/00 (2006.01) **H01Q 3/46 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **18166901.1**

(22) Date de dépôt: **11.04.2018**

(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
 Etats d'extension désignés:
BA ME
 Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(72) Inventeurs:
 • **CLEMENTE, Antonio**
38180 SEYSSINS (FR)
 • **DUSSOPT, Laurent**
38100 GRENOBLE (FR)
 • **DI PALMA, Luca**
00181 ROME (IT)

(30) Priorité: **14.04.2017 FR 1753285**

(74) Mandataire: **GIE Innovation Competence Group**
310, avenue Berthelot
69372 Lyon Cedex 08 (FR)

(71) Demandeur: **COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES**
75015 Paris (FR)

(54) **CELLULE ÉLÉMENTAIRE D'UN RESEAU TRANSMETTEUR POUR UNE ANTENNE RECONFIGURABLE**

(57) Cette cellule élémentaire (1) comporte :
 - une antenne de réception (2), planaire ;
 - une antenne de transmission (3), planaire, et comprenant des première et deuxième surfaces de rayonnement (30, 31) disjointes ;
 - un premier circuit de déphasage, comprenant des premier et second commutateurs (40, 41) présentant respectivement un état passant et un état bloqué, en alternance, entre les première et deuxième surfaces de

rayonnement (30, 31) de l'antenne de transmission (3) ; et est remarquable en ce que l'antenne de réception (2) comprend des première et deuxième surfaces de captation (20, 21) disjointes ; et en ce que la cellule élémentaire (1) comporte un deuxième circuit de déphasage comprenant des premier et second commutateurs (50, 51) présentant respectivement un état passant et un état bloqué, en alternance, entre les première et deuxième surfaces de captation (20, 21) de l'antenne de réception (2).

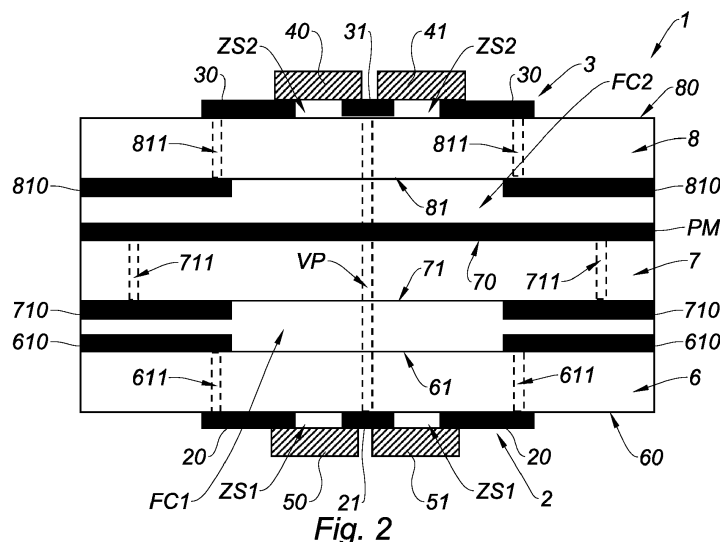


Fig. 2

Description

Domaine technique

5 [0001] L'invention concerne une cellule élémentaire d'un réseau transmetteur pour une antenne reconfigurable à une fréquence de fonctionnement, de préférence comprise entre 4 GHz et 170 GHz. L'invention concerne également une antenne reconfigurable comportant un réseau transmetteur comprenant de telles cellules élémentaires.

10 [0002] Par « reconfigurable », on entend qu'au moins une caractéristique de l'antenne peut être modifiée au cours de sa durée de vie, après sa fabrication. La ou les caractéristiques généralement modifiables sont la réponse fréquentielle (en amplitude et en phase), le diagramme de rayonnement (appelé également faisceau), et la polarisation. La reconfiguration de la réponse fréquentielle couvre différentes fonctionnalités telles que la commutation de fréquences, l'accord en fréquence, la variation de bande passante, le déphasage, le filtrage fréquentiel etc. La reconfiguration du diagramme de rayonnement couvre différentes fonctionnalités telles que le balayage angulaire de la direction de pointage du faisceau (appelé également dépointage), l'ouverture du faisceau (c'est-à-dire la concentration du rayonnement suivant une direction particulière), le filtrage spatial, la formation d'un faisceau ou d'un multifaisceau (par exemple plusieurs faisceaux étroits remplaçant un faisceau large) etc.

15 [0003] Concernant la reconfiguration du diagramme de rayonnement, il existe différents types d'antenne reconfigurable, notamment :

- 20
- une antenne réseau à commande de phase (« *Phased array antenna* » en langue anglaise),
 - une antenne à réseau réflecteur (« *Reflectarray antenna* » en langue anglaise),
 - une antenne à réseau transmetteur (« *Transmitarray antenna* » en langue anglaise).

25 [0004] Le domaine technique de l'invention concerne plus précisément une antenne reconfigurable de type réseau transmetteur.

[0005] De telles antennes reconfigurables sont particulièrement avantageusement à partir de la bande C (4-8 GHz) jusqu'à la bande D (110-170 GHz) pour les applications suivantes :

- 30
- radars automobiles d'assistance et d'aide à la conduite, dans une perspective de sécurité active,
 - systèmes d'imagerie et de surveillance à très haute résolution,
 - systèmes de communications à très haut débit en ondes millimétriques (communications inter-bâtiments ou intra-bâtiments en environnement domotique ou immotique, lien courte portée),
 - liaisons de télémétrie sol-satellite en orbite basse LEO (pour « *Low Earth Orbit* » en langue anglaise) en bande Ka, télécommunications par satellite avec source primaire reconfigurable (SOTM™ pour « *Satcom-on-the-Move* » en langue anglaise, Internet, Télévision etc.),
 - 35 - systèmes de liaison point-à-point et point-à-multipoint (réseaux métropolitains, systèmes « *Fronthaul* » et « *Backhaul* » pour les réseaux cellulaires, accès radio pour les réseaux mobiles de cinquième génération etc.).

Etat de la technique antérieure

40 [0006] Une cellule élémentaire d'un réseau transmetteur pour une antenne reconfigurable, connue de l'état de la technique, notamment du document WO 2012/085067, comporte :

- 45
- une antenne de réception, planaire, destinée à recevoir une onde incidente ;
 - une antenne de transmission, planaire, destinée à transmettre l'onde incidente avec un déphasage, et comprenant des première et deuxième surfaces de rayonnement disjointes ;
 - un circuit de déphasage, configuré pour définir un couple d'états de phase pour l'onde incidente ; le circuit de déphasage comprenant des premier et second commutateurs présentant respectivement un état passant et un état bloqué, en alternance ; les états passant ou bloqué correspondant à une circulation d'un courant, respectivement autorisée ou bloquée, entre les première et deuxième surfaces de rayonnement disjointes de l'antenne de transmission.

50

[0007] Une telle cellule élémentaire de l'état de la technique n'est pas entièrement satisfaisante dans la mesure où elle ne peut générer que deux états de phase pour la transmission de l'onde incidente. Les deux états de phase sont séparés de 180° dans la mesure où les premier et second commutateurs, présentant respectivement un état passant et un état bloqué et commandés en alternance, excitent l'antenne de transmission en phase ou en opposition de phase avec l'antenne de réception. En d'autres termes, la phase de transmission est contrôlée avec une quantification de 1 bit, c'est-à-dire deux états de phase à 0° ou 180°. Cette quantification sur 1 bit est susceptible de limiter les performances

de l'antenne reconfigurable de type réseau transmetteur, notamment en termes de directivité, et par conséquent de gain, et de niveau des lobes secondaires (SLL pour « Side Lobe Level » en langue anglaise).

Exposé de l'invention

5

[0008] L'invention vise à remédier en tout ou partie aux inconvénients précités. A cet effet, l'invention a pour objet une cellule élémentaire d'un réseau transmetteur pour une antenne reconfigurable à une fréquence de fonctionnement, la cellule élémentaire comportant :

- 10
- une antenne de réception, planaire, destinée à recevoir une onde incidente ;
 - une antenne de transmission, planaire, destinée à transmettre l'onde incidente avec un déphasage, et comprenant des première et deuxième surfaces de rayonnement disjointes ;
 - un premier circuit de déphasage, configuré pour définir un premier couple d'états de phase pour l'onde incidente ;
- 15
- le premier circuit de déphasage comprenant des premier et second commutateurs présentant respectivement un état passant et un état bloqué, en alternance ; les états passant ou bloqué correspondant à une circulation d'un courant, respectivement autorisée ou bloquée, entre les première et deuxième surfaces de rayonnement disjointes de l'antenne de transmission ;

20

la cellule élémentaire étant remarquable en ce que l'antenne de réception comprend des première et deuxième surfaces de captation disjointes ; et en ce que la cellule élémentaire comporte un deuxième circuit de déphasage, configuré pour définir un second couple d'états de phase pour l'onde incidente ; le deuxième circuit de déphasage comprenant des premier et second commutateurs présentant respectivement un état passant et un état bloqué, en alternance ; les états passant ou bloqué correspondant à une circulation d'un courant, respectivement autorisée ou bloquée, entre les première et deuxième surfaces de captation disjointes de l'antenne de réception.

25

[0009] Ainsi, une telle cellule élémentaire selon l'invention permet, grâce à une telle antenne de réception et au deuxième circuit de déphasage, d'obtenir un deuxième couple d'états de phase pour la transmission de l'onde incidente. Une telle cellule élémentaire peut donc générer quatre états de phase pour la transmission de l'onde incidente. Les états de phase au sein de chaque couple sont séparés de 180° dans la mesure où les commutateurs des premier et deuxième circuits de déphasage excitent l'antenne de transmission (respectivement l'antenne de réception) en phase

30

ou en opposition de phase avec l'antenne de réception (respectivement l'antenne de transmission). En d'autres termes, la phase de transmission est contrôlée avec une quantification de 2 bits, et non simplement 1 bit comme dans l'état de la technique. Cette quantification sur 2 bits permet d'envisager une amélioration des performances de l'antenne reconfigurable de type réseau transmetteur, notamment en termes de directivité, et par conséquent de gain, et de niveau de lobes secondaires.

35

Définitions

[0010]

- 40
- Par « disjointes », on entend que les première et deuxième surfaces de rayonnement (et de captation) sont séparées entre elles par une zone de séparation de manière à être électriquement isolées.
 - Par « en alternance », on entend que le premier commutateur alterne entre l'état passant et l'état bloqué, tandis que, simultanément, le second commutateur appartenant au même circuit de déphasage alterne entre l'état bloqué et l'état passant. En d'autres termes, à tout instant, les premier et second commutateurs appartenant au même
- 45
- circuit de déphasage présentent deux états opposés, soit passant/bloqué, soit bloqué/passant. Les états passant/passant ou bloqué/bloqué ne sont pas autorisés.

[0011] La cellule élémentaire selon l'invention peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.

50

[0012] Selon une caractéristique de l'invention, la cellule élémentaire comporte une ligne à retard configurée de sorte que le second couple d'états de phase est déphasé de 90° par rapport au premier couple d'états de phase.

[0013] Par « ligne », on entend une piste réalisée dans un matériau électriquement conducteur.

[0014] Par « électriquement conducteur », on entend que le matériau présente une conductivité électrique à 300 K supérieure à 10³ S/cm.

55

[0015] Ainsi, un avantage procuré est d'obtenir les quatre états de phase suivants : 0°, 90°, 180° et 270°. Ces quatre états de phase sont particulièrement avantageux car ils permettent d'améliorer la capacité de focalisation du réseau transmetteur et par conséquent le gain.

[0016] Selon une caractéristique de l'invention, la ligne à retard s'étend à partir de l'antenne de réception.

[0017] Ainsi, il est préférable d'intégrer la ligne à retard avec l'antenne de réception plutôt qu'au sein des circuits de

déphasage. En effet, la ligne à retard présente une longueur adaptée au déphasage souhaité. En cas de correction ou de modification du déphasage souhaité, l'antenne de réception demeure facilement accessible pour modifier la ligne à retard, au contraire des circuits de déphasage agencés au sein de l'architecture de la cellule élémentaire.

[0018] Selon une caractéristique de l'invention, la cellule élémentaire comporte un premier substrat diélectrique comprenant :

- une première surface, munie de l'antenne de réception ;
- une seconde surface, opposée à la première surface, et munie de lignes de polarisation agencées pour polariser les premier et second commutateurs du deuxième circuit de déphasage.

[0019] Par « substrat diélectrique », on entend un substrat réalisé dans un matériau présentant une conductivité électrique à 300 K inférieure à 10^8 S/cm.

[0020] Ainsi, un avantage procuré est d'autoriser une polarisation des commutateurs avec un encombrement minimal, et sans perturber le diagramme de captation de l'antenne de réception.

[0021] Selon une caractéristique de l'invention, la cellule élémentaire comporte un deuxième substrat diélectrique comprenant :

- une première surface, munie d'un plan de masse ;
- une seconde surface, opposée à la première surface.

[0022] Ainsi, un avantage procuré par le plan de masse est de former un blindage électromagnétique entre l'antenne de réception et l'antenne de transmission.

[0023] Selon une caractéristique de l'invention, la seconde surface du deuxième substrat diélectrique est munie de lignes quart d'onde électriquement connectées au plan de masse.

[0024] Par « ligne quart d'onde », on entend une ligne possédant une longueur égale au quart de la longueur d'onde de fonctionnement de l'antenne.

[0025] Ainsi, un avantage procuré par de telles lignes est de former un circuit ouvert (impédance tend vers l'infini) à la fréquence de fonctionnement.

[0026] Selon une caractéristique de l'invention, la cellule élémentaire comporte un premier film de collage agencé pour coller la seconde surface du deuxième substrat diélectrique sur la seconde surface du premier substrat diélectrique.

[0027] Ainsi, un avantage procuré par un tel film de collage est de pouvoir solidariser les premier et deuxième substrats diélectriques avec un encombrement minimal.

[0028] Selon une caractéristique de l'invention, la cellule élémentaire comporte un troisième substrat diélectrique comprenant :

- une première surface, munie de l'antenne de transmission ;
- une seconde surface, opposée à la première surface, et munie de lignes de polarisation agencées pour polariser les premier et second commutateurs du premier circuit de déphasage.

[0029] Ainsi, un avantage procuré est d'autoriser une polarisation des commutateurs avec un encombrement minimal, et sans perturber le diagramme de rayonnement de l'antenne de transmission.

[0030] Selon une caractéristique de l'invention, la cellule élémentaire comporte un second film de collage agencé pour coller la seconde surface du troisième substrat diélectrique sur la première surface du deuxième substrat diélectrique.

[0031] Ainsi, un avantage procuré par un tel film de collage est de pouvoir solidariser les deuxième et troisième substrats diélectriques avec un encombrement minimal.

[0032] Selon une caractéristique de l'invention, la cellule élémentaire comporte un trou d'interconnexion principal, agencé pour connecter électriquement l'antenne de réception et l'antenne de transmission ; le trou d'interconnexion principal traversant les premier, deuxième, et troisième substrats diélectriques ainsi que les premier et second films de collage ; le trou d'interconnexion principal étant électriquement isolé du plan de masse ; le trou d'interconnexion principal étant connecté aux lignes quart d'onde.

[0033] L'invention a également pour objet une antenne reconfigurable à une fréquence de fonctionnement, comportant un réseau transmetteur comprenant un ensemble de cellules élémentaires conformes à l'invention.

Breve description des dessins

[0034] D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront dans l'exposé détaillé de différents modes de réalisation de l'invention, l'exposé étant assorti d'exemples et de référence aux dessins joints.

Figure 1 est une vue schématique d'une antenne reconfigurable à réseau transmetteur.

Figure 2 est une vue schématique en coupe d'une cellule élémentaire selon l'invention.

Figure 3 est une vue schématique en perspective éclatée et en transparence d'une cellule élémentaire selon l'invention.

5 Figure 4 est une vue schématique partielle, de dessus, d'une cellule élémentaire selon l'invention, illustrant la première surface du deuxième substrat diélectrique munie d'un plan de masse.

Figure 5 est une vue schématique partielle, de dessus, d'une cellule élémentaire selon l'invention, illustrant la seconde surface du deuxième substrat diélectrique munie de lignes quart d'onde.

10 Figure 6 est une vue schématique partielle, de dessus, d'une cellule élémentaire selon l'invention, illustrant la seconde surface du premier substrat diélectrique munie de lignes de polarisation des commutateurs.

Figure 7 est une vue schématique partielle, de dessus, d'une cellule élémentaire selon l'invention, illustrant la première surface du premier substrat diélectrique munie d'une antenne de réception.

Exposé détaillé des modes de réalisation

15 [0035] Les éléments identiques ou assurant la même fonction porteront les mêmes références pour les différents modes de réalisation, par souci de simplification.

[0036] Un objet de l'invention est une cellule élémentaire 1 d'un réseau transmetteur RT pour une antenne reconfigurable à une fréquence de fonctionnement, la cellule élémentaire 1 comportant :

- 20
- une antenne de réception 2, planaire, destinée à recevoir une onde incidente E_i ;
 - une antenne de transmission 3, planaire, destinée à transmettre l'onde incidente E_i avec un déphasage (l'onde transmise E_t déphasée étant illustrée à la figure 1), et comprenant des première et deuxième surfaces de rayonnement 30, 31 disjointes ;
 - 25 - un premier circuit de déphasage 4, configuré pour définir un premier couple d'états de phase pour l'onde incidente E_i ; le premier circuit de déphasage 4 comprenant des premier et second commutateurs 40, 41 présentant respectivement un état passant et un état bloqué, en alternance ; les états passant ou bloqué correspondant à une circulation d'un courant, respectivement autorisée ou bloquée, entre les première et deuxième surfaces de rayonnement 30, 31 disjointes de l'antenne de transmission 3 ;

30 la cellule élémentaire 1 étant remarquable en ce que l'antenne de réception 2 comprend des première et deuxième surfaces de captation 20, 21 disjointes ; et en ce que la cellule élémentaire 1 comporte un deuxième circuit de déphasage 5, configuré pour définir un second couple d'états de phase pour l'onde incidente E_i ; le deuxième circuit de déphasage 5 comprenant des premier et second commutateurs 50, 51 présentant respectivement un état passant et un état bloqué, en alternance ; les états passant ou bloqué correspondant à une circulation d'un courant, respectivement autorisée ou bloquée, entre les première et deuxième surfaces de captation 20, 21 disjointes de l'antenne de réception 2.

Antenne de réception

40 [0037] La cellule élémentaire 1 comporte avantageusement un premier substrat diélectrique 6 comprenant :

- une première surface 60, munie de l'antenne de réception 2 ;
- une seconde surface 61, opposée à la première surface 60, et munie de lignes de polarisation 610 agencées pour polariser les premier et second commutateurs 50, 51 du deuxième circuit de déphasage 5.

45 [0038] A titre d'exemple non limitatif, le premier substrat diélectrique 6 peut présenter une épaisseur de l'ordre de 254 μm lorsque la fréquence de fonctionnement est 29 GHz. A titre d'exemple non limitatif, le premier substrat diélectrique 6 peut être réalisé dans un matériau commercial tel que le RT/duroid® 6002.

50 [0039] L'antenne de réception 2 est une antenne planaire («*patch*» en langue anglaise). Les première et deuxième surfaces de captation 20, 21 sont agencées pour capter l'onde incidente E_i . Les première et deuxième surfaces de captation 20, 21 sont disjointes au sens où elles sont séparées entre elles par une zone de séparation ZS1 de manière à être électriquement isolées entre elles. A cet effet, une fente est avantageusement ménagée dans l'antenne de réception 2 pour isoler électriquement les première et deuxième surfaces de captation 20, 21. La fente définit la zone de séparation ZS1. La fente est préférentiellement annulaire, à section rectangulaire. Bien entendu, d'autres formes sont envisageables pour la fente, telles qu'une forme elliptique ou circulaire. Selon une variante d'exécution, l'isolation électrique des première et deuxième surfaces de captation 20, 21 peut être assurée par un matériau diélectrique.

55 [0040] Les première et deuxième surfaces de captation 20, 21 présentent avantageusement un axe de symétrie afin de ne pas dégrader la polarisation de l'onde incidente E_i . La première surface de captation 20 forme préférentiellement

un anneau à section rectangulaire. La deuxième surface de captation 21 forme préférentiellement une bande rectangulaire. La deuxième surface de captation 21 est avantageusement circonscrite par la première surface de captation 20 afin d'éviter la formation de courants parasites. Les première et deuxième surfaces de captation 20, 21 sont préférentiellement réalisées dans un matériau métallique, plus préférentiellement le cuivre. Des surfaces de captation additionnelles peuvent être avantageusement empilées sur les première et deuxième surfaces de captation 20, 21 afin d'augmenter la bande passante de l'antenne de réception 2.

[0041] La cellule élémentaire 1 comporte avantageusement une ligne à retard LR configurée de sorte que le second couple d'états de phase est déphasé de 90° par rapport au premier couple d'états de phase. Pour ce faire, la ligne à retard LR présente une longueur adaptée de sorte que le second couple d'états de phase est déphasé de 90° par rapport au premier couple d'états de phase. La ligne à retard LR s'étend avantageusement à partir de l'antenne de réception 2. Plus précisément, comme illustré à la figure 3, la ligne à retard LR s'étend à partir de la première surface de captation 20 de l'antenne de réception 2. La ligne à retard LR est préférentiellement réalisée dans un matériau métallique, plus préférentiellement le cuivre.

Plan de masse

[0042] La cellule élémentaire 1 comporte avantageusement un deuxième substrat diélectrique 7 comprenant :

- une première surface 70, munie d'un plan de masse PM ;
- une seconde surface 71, opposée à la première surface 70.

[0043] A titre d'exemple non limitatif, le deuxième substrat diélectrique 7 peut présenter une épaisseur de l'ordre de 254 μm lorsque la fréquence de fonctionnement est 29 GHz. A titre d'exemple non limitatif, le deuxième substrat diélectrique 7 peut être réalisé dans un matériau commercial tel que le RT/duroid® 6002.

[0044] Le plan de masse PM est préférentiellement réalisé dans un matériau métallique, plus préférentiellement le cuivre. A titre d'exemple non limitatif, le plan de masse PM peut présenter une épaisseur de l'ordre de 17 μm lorsque la fréquence de fonctionnement est 29 GHz.

[0045] La seconde surface 71 du deuxième substrat diélectrique 7 est avantageusement munie de lignes quart d'onde 710 électriquement connectées au plan de masse PM par l'intermédiaire d'un trou d'interconnexion 711 traversant le deuxième substrat diélectrique 7. Les lignes quart d'onde 710 sont préférentiellement réalisées dans un matériau métallique, plus préférentiellement le cuivre.

Antenne de transmission

[0046] La cellule élémentaire 1 comporte avantageusement un troisième substrat diélectrique 8 comprenant :

- une première surface 80, munie de l'antenne de transmission 3 ;
- une seconde surface 81, opposée à la première surface 80, et munie de lignes de polarisation 810 agencées pour polariser les premier et second commutateurs 40, 41 du premier circuit de déphasage 4.

[0047] A titre d'exemple non limitatif, le troisième substrat diélectrique 8 peut présenter une épaisseur de l'ordre de 508 μm lorsque la fréquence de fonctionnement est 29 GHz. A titre d'exemple non limitatif, le troisième substrat diélectrique 8 peut être réalisé dans un matériau commercial tel que le RT/duroid® 6002.

[0048] L'antenne de transmission 3 est une antenne planaire (« patch » en langue anglaise). Les première et deuxième surfaces de rayonnement 30, 31 sont disjointes au sens où elles sont séparées entre elles par une zone de séparation ZS2 de manière à être électriquement isolées entre elles. A cet effet, une fente est avantageusement ménagée dans l'antenne de transmission 3 pour isoler électriquement les première et deuxième surfaces de rayonnement 30, 31. La fente définit la zone de séparation ZS2. La fente est préférentiellement annulaire, à section rectangulaire. Bien entendu, d'autres formes sont envisageables pour la fente, telles qu'une forme elliptique ou circulaire. Selon une variante d'exécution, l'isolation électrique des première et deuxième surfaces de rayonnement 30, 31 peut être assurée par un matériau diélectrique.

[0049] Les première et deuxième surfaces de rayonnement 30, 31 présentent avantageusement un axe de symétrie afin de ne pas dégrader la polarisation de l'onde transmise E_t par l'antenne de transmission 3 en minimisant l'excitation de modes de résonance non désirés. La première surface de rayonnement 30 forme préférentiellement un anneau à section rectangulaire. La deuxième surface de rayonnement 31 forme préférentiellement une bande rectangulaire. La deuxième surface de rayonnement 31 est avantageusement circonscrite par la première surface de rayonnement 30 afin d'éviter la formation de courants parasites. Les première et deuxième surfaces de rayonnement 30, 31 sont préférentiellement réalisées dans un matériau métallique, plus préférentiellement le cuivre. Des surfaces de rayonnement

additionnelles peuvent être avantageusement empilées sur les première et deuxième surfaces de rayonnement 30, 31 afin d'augmenter la bande passante de l'antenne de transmission 3.

[0050] L'antenne de réception 2 et l'antenne de transmission 3 peuvent avantageusement être orientées l'une par rapport à l'autre de manière à modifier la polarisation de l'onde incidente E_i . Ainsi, une rotation de l'antenne de transmission 3 de 90° relativement à l'antenne de réception 2 permet de passer, par exemple, d'une polarisation verticale de l'onde incidente E_i à une polarisation horizontale de l'onde transmise E_t .

Circuits de déphasage

[0051] Le premier circuit de déphasage 4 comporte des lignes de polarisation 810 agencées pour polariser les premier et second commutateurs 40, 41. Les lignes de polarisation 810 sont des pistes électriquement conductrices, formant des moyens de commande des premier et second commutateurs 40, 41. Les lignes de polarisation 810 sont préférentiellement réalisées dans un matériau métallique, plus préférentiellement le cuivre. Comme évoqué précédemment, les lignes de polarisation 810 du premier circuit de déphasage 4 sont avantageusement agencées à la seconde surface 81 du troisième substrat diélectrique 8. Les lignes de polarisation 810 du premier circuit de déphasage 4 sont électriquement connectées à l'antenne de transmission 3, plus précisément à la première surface de rayonnement 30 de l'antenne de transmission 3, par l'intermédiaire d'un trou d'interconnexion 811 traversant le troisième substrat diélectrique 8. Comme illustré à la figure 3, les lignes de polarisation 810 du premier circuit de déphasage 4 peuvent être reliées à des plots de contact ou circuits de découplage 812. Les plots de contact ou circuits de découplage 812 sont préférentiellement réalisés dans un matériau métallique, plus préférentiellement le cuivre.

[0052] De la même façon, le deuxième circuit de déphasage 5 comporte des lignes de polarisation 610 agencées pour polariser les premier et second commutateurs 50, 51. Les lignes de polarisation 610 sont des pistes électriquement conductrices, formant des moyens de commande des premier et second commutateurs 50, 51. Les lignes de polarisation 610 sont préférentiellement réalisées dans un matériau métallique, plus préférentiellement le cuivre. Comme évoqué précédemment, les lignes de polarisation 610 du deuxième circuit de déphasage 5 sont avantageusement agencées à la seconde surface 61 du premier substrat diélectrique 6. Les lignes de polarisation 610 du deuxième circuit de déphasage 5 sont électriquement connectées à l'antenne de réception 2, plus précisément à la première surface de captation 20 de l'antenne de réception 2, par l'intermédiaire d'un trou d'interconnexion 611 traversant le premier substrat diélectrique 6. Comme illustré aux figures 3 et 6, les lignes de polarisation 610 du deuxième circuit de déphasage sont avantageusement reliées à des circuits de découplage 612. Les circuits de découplage 612 sont préférentiellement réalisés dans un matériau métallique, plus préférentiellement le cuivre.

[0053] Les premier et second commutateurs 40, 41 du premier circuit de déphasage 4 peuvent s'étendre sur les première et deuxième surfaces de rayonnement 30, 31 de l'antenne de transmission 3. A titre de variante, les premier et second commutateurs 40, 41 du premier circuit de déphasage 4 peuvent être formés à la première surface 80 du troisième substrat diélectrique 8, dans la zone de séparation ZS2 des première et deuxième surfaces de rayonnement 30, 31 de l'antenne de transmission 3. Les premier et second commutateurs 40, 41 du premier circuit de déphasage 4 sont avantageusement formés à la première surface 80 du troisième substrat diélectrique 8, dans la zone de séparation ZS2, de manière monolithique avec l'antenne de transmission 3. Par « monolithique », on entend que l'antenne de transmission 3 et les premier et second commutateurs 40, 41 du premier circuit de déphasage 4 partagent un unique substrat, en l'espèce le troisième substrat diélectrique 8. Les premier et second commutateurs 50, 51 du deuxième circuit de déphasage 5 peuvent s'étendre sur les première et deuxième surfaces de captation 20, 21 de l'antenne de réception 2. A titre de variante, les premier et second commutateurs 50, 51 du deuxième circuit de déphasage 5 peuvent être formés à la première surface 60 du premier substrat diélectrique 6, dans la zone de séparation ZS1 des première et deuxième surfaces de captation 20, 21 de l'antenne de réception 2. Les premier et second commutateurs 50, 51 du deuxième circuit de déphasage 5 sont avantageusement formés à la première surface 60 du premier substrat diélectrique 6, dans la zone de séparation ZS1, de manière monolithique avec l'antenne de réception 2. Par « monolithique », on entend que l'antenne de réception 2 et les premier et second commutateurs 50, 51 du deuxième circuit de déphasage 5 partagent un unique substrat, en l'espèce le premier substrat diélectrique 6.

[0054] A titre d'exemples non limitatifs, les premier et second commutateurs 40, 41 ; 50, 51 des premier et deuxième circuits de déphasage 4, 5 peuvent être des diodes de type p-i-n, des MEMS (« *Micro Electro-Mechanical Systems* » en langue anglaise), des NEMS (« *Nano Electro-Mechanical Systems* » en langue anglaise). Les diodes de type p-i-n peuvent être réalisées en AlGaAs.

[0055] D'autres formes d'exécution sont envisageables pour les commutateurs. A titre d'exemples non limitatifs, des commutateurs radiofréquence de type diodes, transistors, photodiodes, phototransistor sont possibles. Le choix d'un dispositif pour commander les commutateurs dépend de la technologie choisie. A titre d'exemples, les dispositifs suivants peuvent être utilisés :

- une fibre optique pour un commutateur de type photoélectrique,

- un faisceau laser généré par des moyens extérieurs et excitant un commutateur de type photoélectrique,
- une onde électromagnétique selon les principes de la télé-alimentation connus du domaine de la RFID (« *Radio Frequency Identification* » en langue anglaise).

5 [0056] Le premier commutateur 40 du premier circuit de déphasage 4 alterne entre l'état passant et l'état bloqué, tandis que, simultanément, le second commutateur 41 du premier circuit de déphasage 4 alterne entre l'état bloqué et l'état passant. En d'autres termes, à tout instant, les premier et second commutateurs 40, 41 appartenant au premier circuit de déphasage 4 présentent deux états opposés, soit passant/bloqué, soit bloqué/passant. Les états passant/passant ou bloqué/bloqué ne sont pas autorisés. De la même façon, le premier commutateur 50 du deuxième circuit de déphasage 5 alterne entre l'état passant et l'état bloqué, tandis que, simultanément, le second commutateur 51 du deuxième circuit de déphasage 5 alterne entre l'état bloqué et l'état passant. En d'autres termes, à tout instant, les premier et second commutateurs 50, 51 appartenant au deuxième circuit de déphasage 5 présentent deux états opposés, soit passant/bloqué, soit bloqué/passant. Les états passant/passant ou bloqué/bloqué ne sont pas autorisés. Comme illustré dans le tableau ci-après, il est donc possible d'obtenir quatre états de phase. L'état passant est noté « 1 » tandis que l'état bloqué est noté « 0 ».

Premier Commutateur 40	Second Commutateur 41	Premier Commutateur 50	Second Commutateur 51	Etat de phase
1	0	1	0	0°
1	0	0	1	90°
0	1	1	0	180°
0	1	0	1	270°

Connexion électrique entre les antennes de réception et de transmission

30 [0057] L'antenne de réception 2 et l'antenne de transmission 3 sont électriquement connectées entre elles, afin de pouvoir les alimenter et de les coupler, en partie par l'intermédiaire d'un trou d'interconnexion (« *via* » en langue anglaise) principal VP, de préférence central, de préférence métallique. Le trou d'interconnexion principal VP traverse une ouverture ménagée dans le plan de masse PM. Le trou d'interconnexion principal VP n'est pas en contact avec le plan de masse PM de sorte que le trou d'interconnexion principal VP est électriquement isolé du plan de masse PM. Le trou d'interconnexion principal VP est avantageusement connecté aux lignes quart d'onde 710. A titre d'exemple, pour une fréquence de fonctionnement de 29 GHz, le trou d'interconnexion principal VP présente un diamètre de l'ordre de 150 μm.

35 [0058] Le trou d'interconnexion principal VP est préférentiellement connecté à l'antenne de réception 2 par un premier point de connexion. Le trou d'interconnexion principal VP est préférentiellement connecté à l'antenne de transmission 3 par un second point de connexion. De manière générale, la position des premier et second points de connexion varie selon la géométrie spécifique des antennes de réception et de transmission 2, 3 de manière à exciter le mode fondamental de résonance. Dans le cas des géométries illustrées à la figure 3, les premier et second points de connexion sont respectivement situés près du centre de l'antenne de réception 2 et de l'antenne de transmission 3, c'est-à-dire au centre de la deuxième surface de captation 21 de l'antenne de réception 2 et au centre de la deuxième surface de rayonnement 31 de l'antenne de transmission 3. Les premier et second commutateurs 40, 41 du premier circuit de déphasage 4 s'étendent de part et d'autre du second point de connexion. Les premier et second commutateurs 50, 51 du deuxième circuit de déphasage 5 s'étendent de part et d'autre du premier point de connexion.

45 [0059] Plus précisément, le trou d'interconnexion principal VP traverse les premier, deuxième, et troisième substrats diélectriques 6, 7, 8. En outre, le trou d'interconnexion principal VP relie le centre de la deuxième surface de captation 21 au centre de la deuxième surface de rayonnement 31 de l'antenne de transmission 3. Le trou d'interconnexion principal VP s'étend suivant une direction correspondant à la normale à la deuxième surface de captation 21, et à la normale à la deuxième surface de rayonnement 31.

Films de collage

55 [0060] La cellule élémentaire 1 comporte avantageusement un premier film de collage FC1 agencé pour coller la seconde surface 71 du deuxième substrat diélectrique 7 sur la seconde surface 61 du premier substrat diélectrique 6. Ainsi, le premier film de collage FC1 est interposé entre les premier et deuxième substrats diélectriques 6, 7. A titre d'exemple non limitatif, le premier film de collage FC1 peut présenter une épaisseur de l'ordre de 114 μm lorsque la fréquence de fonctionnement est 29 GHz.

[0061] La cellule élémentaire 1 comporte avantageusement un second film de collage FC2 agencé pour coller la seconde surface 81 du troisième substrat diélectrique 8 sur la première surface 70 du deuxième substrat diélectrique 7. Ainsi, le second film de collage FC2 est interposé entre les deuxième et troisième substrats diélectriques 7, 8. A titre d'exemple non limitatif, le second film de collage FC1 peut présenter une épaisseur de l'ordre de 114 μm lorsque la fréquence de fonctionnement est 29 GHz.

[0062] A titre d'exemples non limitatifs, les premier et second films de collage FC1, FC2 peuvent être réalisés dans un matériau de type copolymère thermoplastique tel que le chlorotrifluoroéthylène (CTFE). On peut citer comme films de collage commerciaux le CuClad® 6700.

[0063] Il est à noter que le trou d'interconnexion principal VP traverse également les premier et second films de collage FC1, FC2.

Réseau transmetteur

[0064] Comme illustré à la figure 1, le réseau transmetteur RT comporte au moins une source de rayonnement S, émettant de préférence dans un domaine spectral compris entre 4 GHz et 170 GHz. La ou les sources de rayonnement S sont agencées pour irradier un ensemble de cellules élémentaires 1.

[0065] Les résultats obtenus pour l'architecture décrite aux figures 2 et 3 (trois substrats diélectriques 6, 7, 8 et six niveaux de métallisation), et à la fréquence de fonctionnement de 29 GHz, permettent par rapport à l'état de la technique et pour un réseau carré de 400 cellules élémentaires 1 :

- d'augmenter la directivité de 2,3 dBi (décibel isotrope),
- d'augmenter le gain de 2,3 dBi,
- d'augmenter le SLL (« Side Lobe Level») de 5,0 dB.

[0066] En outre, la bande de transmission est relativement large (>10%) et les pertes d'insertion sont faibles (<3 dB).

[0067] L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation exposés. L'homme du métier est mis à même de considérer leurs combinaisons techniquement opérantes, et de leur substituer des équivalents.

Revendications

1. Cellule élémentaire (1) d'un réseau transmetteur (RT) pour une antenne reconfigurable à une fréquence de fonctionnement, la cellule élémentaire (1) comportant :

- une antenne de réception (2), planaire, destinée à recevoir une onde incidente (E_i) ;
- une antenne de transmission (3), planaire, destinée à transmettre l'onde incidente (E_i) avec un déphasage, et comprenant des première et deuxième surfaces de rayonnement (30, 31) disjointes ;
- un premier circuit de déphasage (4), configuré pour définir un premier couple d'états de phase pour l'onde incidente (E_i) ; le premier circuit de déphasage (4) comprenant des premier et second commutateurs (40, 41) présentant respectivement un état passant et un état bloqué, en alternance ; les états passant ou bloqué correspondant à une circulation d'un courant, respectivement autorisée ou bloquée, entre les première et deuxième surfaces de rayonnement (30, 31) disjointes de l'antenne de transmission (3) ;

la cellule élémentaire (1) étant **caractérisée en ce que** l'antenne de réception (2) comprend des première et deuxième surfaces de captation (20, 21) disjointes ; **et en ce que** la cellule élémentaire (1) comporte un deuxième circuit de déphasage (5), configuré pour définir un second couple d'états de phase pour l'onde incidente (E_i) ; le deuxième circuit de déphasage (5) comprenant des premier et second commutateurs (50, 51) présentant respectivement un état passant et un état bloqué, en alternance ; les états passant ou bloqué correspondant à une circulation d'un courant, respectivement autorisée ou bloquée, entre les première et deuxième surfaces de captation (20, 21) disjointes de l'antenne de réception (2).

2. Cellule élémentaire (1) selon la revendication 1, comportant une ligne à retard (LR) configurée de sorte que le second couple d'états de phase est déphasé de 90° par rapport au premier couple d'états de phase.

3. Cellule élémentaire (1) selon la revendication 2, dans laquelle la ligne à retard (LR) s'étend à partir de l'antenne de réception (2).

4. Cellule élémentaire (1) selon l'une des revendications 1 à 3, comportant un premier substrat diélectrique (6)

comprenant :

- une première surface (60), munie de l'antenne de réception (2) ;
- une seconde surface (61), opposée à la première surface (60), et munie de lignes de polarisation (610) agencées pour polariser les premier et second commutateurs (50, 51) du deuxième circuit de déphasage (5).

5 5. Cellule élémentaire (1) selon la revendication 4, comportant un deuxième substrat diélectrique (7) comprenant :

- une première surface (70), munie d'un plan de masse (PM) ;
- une seconde surface (71), opposée à la première surface (70).

10 6. Cellule élémentaire (1) selon la revendication 5, dans laquelle la seconde surface (71) du deuxième substrat diélectrique (7) est munie de lignes quart d'onde (710) électriquement connectées au plan de masse (PM).

15 7. Cellule élémentaire (1) selon la revendication 5 ou 6, comportant un premier film de collage (FC1) agencé pour coller la seconde surface (71) du deuxième substrat diélectrique (7) sur la seconde surface (61) du premier substrat diélectrique (6).

20 8. Cellule élémentaire (1) selon l'une des revendications 5 à 7, comportant un troisième substrat diélectrique (8) comprenant :

- une première surface (80), munie de l'antenne de transmission (3) ;
- une seconde surface (81), opposée à la première surface (80), et munie de lignes de polarisation (810) agencées pour polariser les premier et second commutateurs (40, 41) du premier circuit de déphasage (4).

25 9. Cellule élémentaire (1) selon la revendication 8 en combinaison avec la revendication 7, comportant un second film de collage (FC2) agencé pour coller la seconde surface (81) du troisième substrat diélectrique (8) sur la première surface (70) du deuxième substrat diélectrique (7).

30 10. Cellule élémentaire (1) selon la revendication 9 en combinaison avec la revendication 6, comportant un trou d'interconnexion principal (VP), agencé pour connecter électriquement l'antenne de réception (2) et l'antenne de transmission (3); le trou d'interconnexion principal (VP) traversant les premier, deuxième, et troisième substrats diélectriques (6, 7, 8) ainsi que les premier et second films de collage (FC1, FC2) ; le trou d'interconnexion principal (VP) étant électriquement isolé du plan de masse (PM); le trou d'interconnexion principal (VP) étant connecté aux lignes quart d'onde (710).

35 40 11. Antenne reconfigurable à une fréquence de fonctionnement, comportant un réseau transmetteur (RT) comprenant un ensemble de cellules élémentaires (1) selon l'une des revendications 1 à 10.

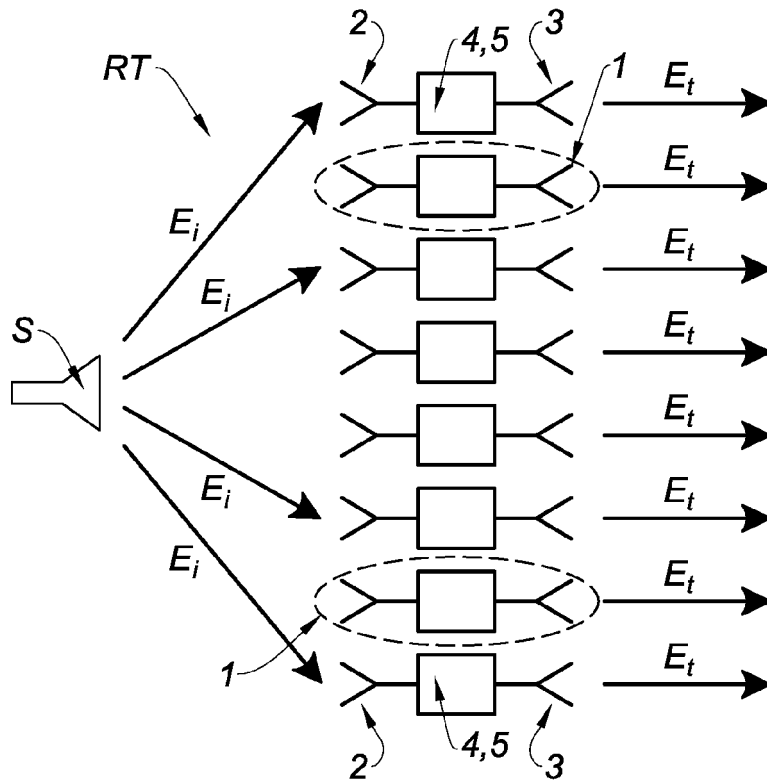


Fig. 1

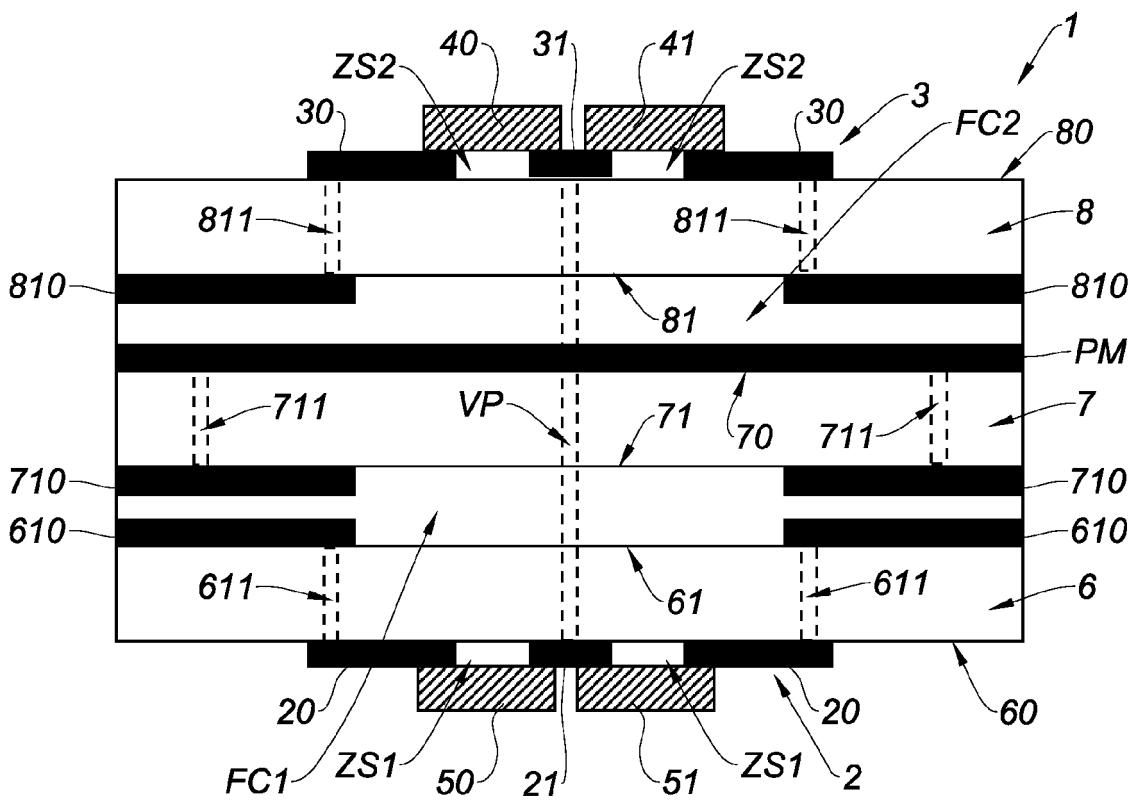


Fig. 2



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 18 16 6901

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X,D	FR 2 969 832 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]; DUSSOPT LAURENT [FR]; CLEMENTE ANT) 29 juin 2012 (2012-06-29)	1,4,5, 7-11	INV. H01Q1/22 H01Q3/30 H01Q21/00 H01Q3/46
Y	* page 15 - page 18; figure 4 *	2,3,6	
Y	US 7 030 824 B1 (TAFT WILLIAM JOSEPH [US] ET AL) 18 avril 2006 (2006-04-18) * colonne 9; figure 3A *	2,3	
Y	FR 2 445 036 A1 (THOMSON CSF) 18 juillet 1980 (1980-07-18) * page 5; figure 1 *	6	
A	US 6 184 828 B1 (SHOKI HIROKI [JP]) 6 février 2001 (2001-02-06) * colonne 37 - colonne 38 *	1-11	
A	US 6 556 168 B1 (MARUMOTO TSUNEHISA [JP] ET AL) 29 avril 2003 (2003-04-29) * colonne 15 *	1-11	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01Q
2 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 13 août 2018	Examineur Taddei, Ruggero
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 03.02 (P04C02)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.

EP 18 16 6901

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

13-08-2018

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2969832 A1	29-06-2012	EP 2656438 A1 FR 2969832 A1 US 2013271346 A1 WO 2012085067 A1	30-10-2013 29-06-2012 17-10-2013 28-06-2012
US 7030824 B1	18-04-2006	AUCUN	
FR 2445036 A1	18-07-1980	DE 2960650 D1 EP 0013222 A1 FR 2445036 A1 JP S5590102 A JP S6239561 B2 US 4305052 A	12-11-1981 09-07-1980 18-07-1980 08-07-1980 24-08-1987 08-12-1981
US 6184828 B1	06-02-2001	JP H06326510 A US 6184828 B1	25-11-1994 06-02-2001
US 6556168 B1	29-04-2003	CA 2356854 A1 EP 1146593 A1 JP 3481482 B2 JP 2000196330 A NO 20013114 A US 6556168 B1 WO 0039892 A1	06-07-2000 17-10-2001 22-12-2003 14-07-2000 24-08-2001 29-04-2003 06-07-2000

EPO FORM P0480

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

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 2012085067 A [0006]