

(19)



(11)

EP 4 092 831 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
23.11.2022 Bulletin 2022/47

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H01Q 21/06 ^(2006.01) **H01Q 25/00** ^(2006.01)
H01Q 21/00 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **22173437.9**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H01Q 21/061; H01Q 21/0075; H01Q 25/002

(22) Date de dépôt: **16.05.2022**

(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

• **Centre national de la recherche scientifique**
75016 Paris (FR)

(30) Priorité: **20.05.2021 FR 2105240**

(72) Inventeurs:
• **TOURISSAUD, Anaïs**
33700 Merignac (FR)
• **GHIOTTO, Anthony**
33400 Talence (FR)
• **MAZEAU, Thierry**
33700 Merignac (FR)
• **RENARD, Christian**
78851 Elancourt Cedex (FR)

(71) Demandeurs:
• **THALES**
92400 Courbevoie (FR)
• **UNIVERSITE DE BORDEAUX**
33000 Bordeaux (FR)
• **Institut Polytechnique de Bordeaux**
33402 Talence Cedex (FR)

(74) Mandataire: **Atout PI Laplace**
Immeuble "Visium"
22, avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

(54) **ANTENNE À RÉSEAU DE DISTRIBUTION LACUNAIRE**

(57) L'invention concerne une antenne comprenant un réseau d'éléments rayonnants unitaires comprenant un réseau de ports d'excitation, l'antenne comprenant un réseau de distribution arborescent lacunaire comprenant au moins une ligne de distribution terminale inactive reliée électriquement un élément résistif.

EP 4 092 831 A1

Description

[0001] L'invention se situe dans le domaine des antennes comprenant un réseau d'éléments rayonnants unitaires.

[0002] L'invention s'applique aux antennes radiofréquences, notamment, aux antennes hyperfréquences. De telles antennes peuvent être utilisées dans différentes applications telles que les applications radar dans l'aviation et l'aérospatiale, la communication haut-débit, les balises et les technologies spatiales.

[0003] Il est en effet régulièrement nécessaire de concevoir différents réseaux de distribution qui vont être couplés à des réseaux d'éléments rayonnants différents.

[0004] Une solution est proposée dans les radars de type MIMO (« Multi Input Multi Output ») qui bénéficient d'une source d'émission par élément rayonnant unitaire. Toutefois, une telle solution met en œuvre différentes fonctions électroniques, qui ont des impacts sur le coût, la fiabilité, la consommation, le poids et la pérennité de l'antenne.

[0005] On connaît un réseau de distribution arborescent permettant de véhiculer des signaux électriques depuis une unique entrée de distribution jusqu'à des sorties de distribution couplées à un sous-ensemble d'éléments rayonnants unitaires.

[0006] La conception d'un tel réseau peut s'avérer longue et complexe compte tenu du fait que le réseau de distribution doit être adapté en impédance avec chacune des sorties de distribution d'impédance prédéterminée, ce qui impose des conditions de symétrie à l'arbre.

[0007] Par ailleurs, il est nécessaire de concevoir un réseau arborescent particulier pour chaque réseau d'éléments rayonnants à exciter ce qui implique un temps de conception particulièrement important.

[0008] Un but de l'invention est de limiter au moins un des inconvénients précités.

[0009] A cet effet, l'invention a pour objet un antenne comprenant un réseau d'éléments rayonnants unitaires, l'antenne comprenant un réseau de distribution lacunaire étant un réseau arborescent N-aire comprenant des lignes de distribution reliées entre elles en des nœuds présentant une même impédance Z prédéterminée, les lignes de distribution comprenant des lignes de distributions primaires, chaque ligne de distribution primaire étant reliée, en un nœud intermédiaire, à N^z autres lignes de distribution où z est un entier supérieur ou égal à 1 et N est un nombre premier supérieur à 1, et des lignes de distribution terminales, chaque ligne de distribution terminale étant reliée à une seule autre des lignes de distribution, les lignes de distribution terminales comprenant au moins une ligne de distribution terminale active couplée au réseau d'éléments rayonnants unitaires en un premier réseau d'au moins un port d'excitation du réseau d'éléments rayonnants unitaires de sorte à permettre d'exciter le réseau d'éléments rayonnants unitaires simultanément en l'au moins un port d'excitation du premier réseau d'au moins un port d'excitation à partir d'un

signal électrique injecté en une entrée du réseau de distribution, les lignes de distribution terminales comprenant au moins une ligne de distribution terminale inactive reliée électriquement à un élément résistif T à un élément résistif présentant une impédance de l'élément résistif égale à l'impédance Z .

[0010] Avantagusement, l'antenne comprend un premier réseau de distribution lacunaire comprenant $M1$ ligne(s) de distribution terminale(s) active(s) couplée(s) à $M1$ premiers port(s) d'excitation du réseau d'éléments rayonnants unitaires, dans lequel $M1$ est un entier supérieur ou égal à 1 différent de $N1^{x1}$, $N1$ étant un nombre premier supérieur à 1 et $x1$ étant un entier supérieur ou égal à 1, le premier réseau de distribution lacunaire étant un réseau arborescent $N1$ -aire.

[0011] En variante ou en sus, l'antenne comprend un deuxième réseau de distribution lacunaire comprenant $M2$ lignes de distribution terminales actives couplées à $M2$ deuxièmes ports d'excitation du réseau d'éléments rayonnants unitaires, dans lequel $M2$ est égal à $N2^{x2}$, $N2$ étant un nombre premier supérieur à 1 et $x2$ étant un entier supérieur ou égal à 1, le deuxième réseau de distribution lacunaire étant un réseau arborescent $N2$ -aire.

[0012] Dans une réalisation particulière, l'antenne comprend un réseau de distribution non lacunaire étant un réseau arborescent comprenant des lignes de distribution reliées entre elles en des nœuds présentant une même impédance prédéterminée, les lignes de distribution comprenant des lignes de distributions primaires, chaque ligne de distribution primaire étant reliée, en un nœud intermédiaire, à K^k autres lignes de distribution où k est un entier supérieur ou égal à 1 et K est un nombre premier supérieur à 1, et des lignes de distribution terminales reliées à une unique autre des lignes de distribution, les lignes de distribution terminales étant des lignes de distribution terminales actives couplées à K troisièmes ports d'excitation du réseau d'éléments rayonnants unitaires de sorte à permettre d'exciter le réseau d'éléments rayonnants unitaires simultanément en les K troisièmes ports d'excitation à partir d'un signal électrique injecté en une entrée du réseau de distribution non lacunaire.

[0013] Dans un mode de réalisation particulier, l'antenne comprend plusieurs réseaux de distribution couplés à des sous-réseaux de ports d'excitation respectifs distincts du réseau d'éléments rayonnants de façon à permettre d'émettre ou de recevoir simultanément plusieurs faisceaux électromagnétiques.

[0014] Dans un mode de réalisation particulier, l'antenne comprend plusieurs sources, les entrées des réseaux de distribution étant reliées à des sources respectives distinctes ou à des récepteurs respectifs distincts.

[0015] Dans un mode de réalisation particulier, l'antenne comprend des sous-réseaux de ports d'excitation respectifs répartis sur des couronnes concentriques.

[0016] Dans un mode de réalisation particulier, l'antenne est dépourvue de port d'excitation autre que les ports d'excitation du premier réseau d'au moins un port

d'excitation.

[0017] Avantageusement, chaque élément rayonnant unitaire comprend un des ports d'excitation du premier réseau d'au moins un port d'excitation.

[0018] Dans un mode réalisation particulier, l'antenne étant plane.

[0019] L'invention se rapporte également à un procédé de fabrication d'une antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant :

- une étape de conception du réseau d'éléments rayonnants comprenant le premier réseau de ports d'excitation,
- une étape de conception du réseau de distribution lacunaire de façon qu'il permette d'exciter le réseau d'éléments rayonnants unitaire simultanément en l'au moins un port d'excitation du premier réseau d'au moins un port d'excitation lorsqu'il est couplé au premier réseau d'au moins un port d'excitation et lorsqu'un signal électrique est injecté à l'entrée de distribution du réseau de distribution lacunaire,
- une étape de fabrication du réseau de distribution lacunaire conçu lors de l'étape de conception,
- une étape consistant à relier électriquement la ligne de distribution inactive à l'élément résistif,
- une étape de couplage du réseau de distribution lacunaire au premier réseau d'au moins un port d'excitation comprenant une étape de couplage de chaque ligne de distribution active du réseau de distribution lacunaire à un port d'excitation de l'au moins un port d'excitation du premier réseau de ports d'excitation de façon à permettre d'exciter le réseau d'éléments rayonnants au niveau du port d'excitation lorsqu'un signal électrique est injecté à l'entrée de distribution.

[0020] Avantageusement, lorsque le réseau de ports d'excitation comprend un premier ensemble de M1 premiers port(s) d'excitation tel que M1 est un entier supérieur ou égal à 1 différent de N1x1 où N1 est un nombre premier supérieur à 1 et x1 est un entier supérieur à 1, une étape de conception d'un premier réseau de distribution lacunaire comprenant M1 ligne(s) de distribution terminale(s) active(s), une étape de fabrication du premier réseau de distribution lacunaire, une étape de couplage du premier réseau de distribution lacunaire aux M1 premiers port(s) d'excitation et une étape consistant à relier électriquement la ligne de distribution terminale active à un élément résistif.

[0021] Lorsque le réseau de ports d'excitation comprend un deuxième ensemble de M2 deuxièmes ports d'excitation tel que M2 est un entier supérieur à 1 égal à de N2x2 où N2 est un nombre premier supérieur à 1 et x2 est un entier supérieur à 1, le procédé comprenant :

- une étape de conception d'un deuxième réseau de distribution lacunaire comprenant M2 lignes de distribution terminales, les lignes de distribution termi-

nales étant actives, une étape de fabrication du deuxième réseau de distribution lacunaire et une étape de couplage du deuxième réseau de distribution lacunaire aux M2 deuxièmes ports d'excitation, une étape consistant à relier électriquement la ligne de distribution terminale inactive à un élément résistif,

ou,

- une étape de conception d'un réseau de distribution non lacunaire comprenant M2 lignes de distribution terminales actives et au moins une ligne de distribution terminale inactive, une étape de fabrication du deuxième réseau de distribution non lacunaire et une étape de couplage du deuxième réseau de distribution non lacunaire aux M2 deuxièmes ports d'excitation.

[0022] D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite en référence aux dessins annexés donnés à titre d'exemple et qui représentent, respectivement :

- la figure 1, représente schématiquement, en vue éclatée, différents plans d'une antenne plane,
- la figure 2, représente schématiquement en vue de dessus une antenne plane comprenant un réseau d'éléments rayonnants,
- la figure 3, représente schématiquement des diagrammes de rayonnement (en dB) de différents sous-réseaux d'éléments rayonnants selon différentes directions formées autour de la position centrale de l'antenne occupant le plan horizontal (90°, -90°), les directions étant définies par les angles, en degrés, formés par ces directions avec le plan de l'antenne, dans un plan perpendiculaire au plan d'antenne,
- la figure 4, représente schématiquement un premier exemple de réseau de distribution lacunaire selon l'invention couplé à un premier sous-réseau d'éléments rayonnants du réseau de la figure 2,
- la figure 5, représente schématiquement deuxième exemple de réseau de distribution lacunaire selon l'invention couplé à un deuxième sous-réseau d'éléments rayonnants du réseau de la figure 2,
- la figure 6, représente schématiquement un exemple de réseau de distribution non lacunaire couplé à un réseau central d'éléments rayonnants de la figure 2,
- la figure 7, représente schématiquement des courbes représentant de PIRE souhaitée et réelle en fonction d'une ouverture angulaire,

- la figure 8, représente schématiquement un autre exemple de réseau d'éléments rayonnants comprenant plusieurs sous-réseaux d'éléments rayonnants,
- la figure 9, représente schématiquement un premier réseau de distribution lacunaire couplé à un premier sous-réseau d'éléments rayonnants du réseau de la figure 8,
- la figure 10, représente schématiquement un réseau de distribution non lacunaire couplé au premier sous-réseau d'éléments rayonnants du réseau de la figure 8,
- la figure 11, représente schématiquement un réseau de distribution lacunaire couplé à un deuxième sous-réseau d'éléments rayonnants du réseau de la figure 11,
- la figure 12, représente schématiquement un réseau de distribution lacunaire couplé au troisième sous-réseau d'éléments rayonnants du réseau de la figure 11,
- la figure 13, représente schématiquement un réseau de distribution lacunaire couplé à un troisième sous-réseau d'éléments rayonnants du réseau de la figure 11,
- la figure 14, représente schématiquement un réseau de distribution lacunaire couplé à un quatrième sous-réseau d'éléments rayonnants du réseau de la figure 12.

[0023] D'une figure à l'autre les mêmes éléments sont repérés par les mêmes références.

[0024] Sur chacune des figures 4, 6 et 9 à 14, le réseau de distribution représenté sur cette figure est entouré par un cadre noir qui matérialise le périmètre de la couche de distribution contenant ce réseau.

[0025] L'invention concerne une antenne comprenant un réseau d'éléments rayonnants unitaires comprenant un réseau de ports d'excitations.

[0026] Les éléments rayonnants présentent chacun une impédance réactive (capacitive et/ou inductive).

[0027] L'antenne peut être une antenne réseau plane, par exemple imprimée, c'est-à-dire, comprenant un ensemble d'éléments rayonnants unitaires de type pavés microruban (aussi appelés patch microstrip). L'invention concerne également les antennes réseau planes à fentes à cavité aussi appelées « cavity back slot antennas » en terminologie anglo-saxonne, les antennes à guide d'onde intégré au substrat aussi appelées antennes SIW (acronyme de l'expression « Substrate integrated waveguide ») ainsi que les réseaux d'anneaux.

[0028] L'invention s'applique également aux antennes non planaires, comme par exemple, aux antennes à cor-

net, aux antennes Vivaldi, aux dipôles coaxiaux, ouvertures de guides d'ondes et aux résonateurs diélectriques, dont des éléments rayonnants sont répartis sur une surface rayonnante et couplés au réseau de distribution.

[0029] L'invention s'applique aux antennes monofaisceaux aptes à rayonner ou à recevoir simultanément un unique faisceau électromagnétique ainsi qu'aux antennes multifaisceaux permettant de rayonner et/ou recevoir simultanément plusieurs faisceaux électromagnétiques.

[0030] Chaque élément rayonnant unitaire comprend, par exemple, un port d'excitation. L'antenne comprend donc un réseau de ports d'excitation.

[0031] Par sous-réseau de ports d'excitation on entend un réseau formé par un sous-ensemble comprenant au moins un des ports d'excitation du réseau de ports d'excitation.

[0032] De façon générale, l'antenne comprend au moins un réseau de distribution permettant de distribuer un signal électrique d'excitation radiofréquence, par exemple hyperfréquence, depuis une entrée de distribution jusqu'à une sortie de distribution ou des sorties de distribution, et réciproquement en sens inverse, couplée(s) au port de distribution ou, respectivement, aux ports d'excitation respectifs du réseau de ports d'excitation, ou d'un sous-réseau de ports d'excitation du réseau de ports d'excitation de l'antenne, de façon à permettre d'exciter le réseau d'éléments rayonnants unitaires au niveau des ports d'excitation du sous-réseau lorsqu'un signal est injecté à l'entrée de distribution.

[0033] Il est à noter que lorsqu'un réseau de distribution est apte à exciter le réseau d'éléments rayonnants unitaires au niveau des ports d'excitation du réseau de ports d'excitation, ou au niveau des ports d'excitation d'un sous-réseau de ports, lorsqu'un signal est injecté à l'entrée de distribution, il est forcément, de façon réciproque, apte à générer, à la réception, un signal électrique au niveau de l'entrée du réseau de distribution à partir de signaux simultanément générés par les ports d'excitation du réseau de ports d'excitation, ou respectivement par les ports d'excitation du sous-réseau de ports d'excitation. Dans la suite de la description, nous ne mentionnerons donc systématiquement, pour des raisons de concision, que l'aptitude du réseau à exciter les ports d'excitation auxquels il est couplé à partir d'un signal injecté à son entrée et nous ne mentionnerons que cette aptitude dans les revendications.

[0034] Une antenne multifaisceaux comprend plusieurs sous-réseaux de ports d'excitation couplés à des réseaux de distribution distincts, les sous-réseaux de ports d'excitation ne présentant pas de ports d'excitation en commun. Cela permet de rayonner et/ou de recevoir simultanément différents faisceaux au moyen d'un même réseau d'éléments rayonnants.

[0035] Lorsque l'antenne comprend plusieurs réseaux de distribution, les réseaux de distribution sont avantageusement intégrés dans plusieurs couches de distribution empilées selon un axe d'empilement. Avantageusement, les différents réseaux de distribution occupent des

couches distinctes. Cela permet d'éviter des croisements entre des lignes de distribution de différents réseaux de distribution et, par conséquent, de simplifier la conception de ces derniers.

[0036] En variante, l'antenne planaire ou non planaire comprend au moins une couche de distribution, chaque couche de distribution comprenant un ou plusieurs réseaux de distribution.

[0037] Sur la figure 1, on a représenté en vue éclatée, différents plans d'une antenne planaire A1, dont des couches de distribution de cette antenne. Cette antenne est multicouche. Elle comprend une pluralité de couches empilées selon un axe z d'empilement.

[0038] L'antenne planaire A1 comprend un réseau RE d'éléments rayonnants unitaires E répartis sur une surface plane d'une première couche CO1. Les éléments rayonnants E unitaires sont, dans l'exemple non limitatif de la figure 1, des pastilles conductrices électriquement.

[0039] La première couche CO1 est, par exemple réalisée en polytétrafluoroéthylène PTFE, à base de Téflon renforcé de fibres de verre, en composite de résine époxyde renforcé en fibre de verre ou en céramique.

[0040] L'antenne comprend un empilement d'une pluralité de couches de distribution D1, D2, D3 comprenant chacune un réseau de distribution non visible sur la figure 1.

[0041] La première couche CO1 et les couches de distribution D1, D2, D3 sont empilées selon l'axe z.

[0042] Ces différentes couches sont séparées deux à deux par des plans métalliques servant de plans de masse non représentés sur la figure 1. Les différentes couches de l'antenne sont séparées deux à deux par des couches isolantes.

[0043] Les réseaux de distribution sont, par exemple, couplés aux éléments rayonnants par des trous métallisés aussi appelés vias métallisés.

[0044] L'antenne A1 comprend avantageusement, mais non nécessairement, une couche CE contenant une électronique radiofréquence, par exemple des circuits d'émission et/ou de réception. Les couches de distribution D1, D2, D3 sont interposées entre la première couche CO1 et la couche CE contenant l'électronique radiofréquence, selon l'axe z.

[0045] En variante, l'électronique radiofréquence est déportée en dehors de l'empilement, par exemple, sur une carte électronique interconnectée avec l'empilement, notamment avec les réseaux de distribution, par des câbles coaxiaux via des connecteurs comme, par exemple, des connecteurs coaxiaux, par exemple connecteurs de SMA (acronyme de l'expression anglo-saxonne SubMiniature version A).

[0046] La figure 2 représente schématiquement, en vue de dessus, un exemple d'application d'une antenne A comprenant un réseau R d'éléments rayonnants étant une matrice de 32*32 éléments rayonnants E régulièrement répartis sur une surface plane en lignes et en colonnes, les lignes étant perpendiculaires aux colonnes.

[0047] Dans la suite du texte, on suppose que chaque

élément rayonnant E de la figure 2 comprend un seul port d'excitation PE mais tout ou partie des éléments rayonnants pourrait en variante comprendre plusieurs ports d'excitation.

[0048] Dans un premier mode de réalisation de l'invention, l'antenne A comprend un ensemble de réseaux de distribution configurés pour permettre d'exciter de façon indépendante trois sous-réseaux de ports d'excitation SC, S1, et S2 respectivement répartis sur des surfaces SUC, SU1, SU2 respectives concentriques de centre C et contigües. La première surface SU1 entoure complètement la surface centrale SUC et la deuxième surface SU2 entoure complètement la première surface SU1. Autrement dit, les surfaces SU1 et SU2 sont des couronnes ou cadres concentriques.

[0049] Le sous-réseau central SC est constitué de quatre ports d'excitation disposés aux sommets d'un carré répartis sur la surface SUC. Ces quatre ports correspondent, par exemple mais non nécessairement, aux centres des quatre éléments rayonnants centraux.

[0050] Le premier sous-réseau S1 de ports d'excitation est constitué de M=60 ports d'excitation répartis sur la surface SU1. Il s'agit, par exemple, mais non nécessairement, des centres des éléments rayonnants formant la matrice de huit lignes et huit colonnes comprenant le centre C, à l'exception des éléments rayonnants comprenant les ports du sous-réseau central SC. Le premier sous-réseau S1 présente une largeur de 3 colonnes et de 3 lignes de ports d'excitation.

[0051] Le deuxième sous-réseau S2 est constitué de M2= 960 ports d'excitation répartis sur la surface SU2. Il s'agit des centres des éléments rayonnants formant la matrice de 32 lignes et 32 colonnes, à l'exception des éléments rayonnants constituant la matrice de huit lignes et huit colonnes comprenant le centre C. Le deuxième sous-réseau présente une largeur de 12 colonnes et de 12 lignes de ports d'excitation.

[0052] Cette configuration permet de rayonner ou de recevoir des faisceaux concentriques de tailles différentes comme visible sur la figure 3 représentant respectivement de gauche à droite, les diagrammes de rayonnement du sous-réseau central SC, du premier sous-réseau S1 et du deuxième sous-réseau S2. L'excitation des éléments rayonnants répartis sur la surface SUC seuls permet, comme visible à gauche de la figure 3, de rayonner ou recevoir un faisceau large tandis que l'excitation des éléments rayonnants répartis sur la surface SU1 permet, comme visible au centre de la figure 3, de rayonner ou recevoir un faisceau plus fin et celle des éléments rayonnants répartis sur la surface SU2 permet, comme visible à droite de la figure 3, de rayonner ou recevoir un faisceau encore plus fin. L'excitation de l'ensemble des éléments rayonnants permet de générer un faisceau encore plus fin que celui qui est généré par l'alimentation de la surface SU2. Cette architecture est donc adaptable à différents besoins à partir d'un réseau d'une taille déterminée.

[0053] Les formes et dimensions des sous-réseaux de

ports d'excitation ne sont pas limitatives. On peut imaginer des formes diverses qui sont adaptées en fonction des besoins en termes de formes des faisceaux, d'ouvertures des faisceaux, de gain, de puissance rayonnée. On peut, par exemple, envisager des couronnes formées d'une ou de plusieurs lignes et colonnes, de ports d'excitation.

[0054] La figure 4 représente schématiquement un premier réseau de distribution RP1 configuré et couplé au réseau R de façon à permettre d'exciter les ports d'excitation du premier sous-réseau S1 de M ports d'excitation répartis sur la première surface SU1 à partir d'un signal d'excitation injecté en une première entrée de distribution E1.

[0055] Le premier réseau de distribution RP1 est un réseau de distribution arborescent N-aire avec N est un nombre premier supérieur à 1. N est égal à 2 dans l'exemple de la figure 4.

[0056] Un réseau de distribution arborescent relie une unique entrée de distribution E1 à une pluralité de nœuds terminaux NF représentés, sur les figures par des carrés matérialisant les positions et formes des éléments rayonnants auxquels les nœuds terminaux NF respectifs sont couplés. En pratique, les nœuds terminaux NF sont, par exemple sensiblement ponctuels, ils peuvent en variante présenter des formes et dimensions variées.

[0057] De préférence, les nœuds terminaux présentent des dimensions inférieures à celles de l'élément rayonnant.

[0058] Les nœuds terminaux NF sont par exemple, situés en regard des ports d'excitation PE auxquels ils sont respectivement couplés, c'est-à-dire aux centres des carrés de la figure 4 dans les exemples non limitatif des figures. Les nœuds terminaux NF constituent les sorties de distribution du réseau de distribution arborescent.

[0059] Par réseau de distribution arborescent de type N-aire ou arbre N-aire, on entend un réseau arborescent ou arbre constitué de lignes de distribution reliées entre elles en des nœuds NI, NR, NF. Les lignes de distribution comprennent des lignes de distribution primaires LP. Chaque ligne de distribution primaire LP est reliée, en un nœud intermédiaire NI à un nombre N² d'autres lignes de distribution pouvant être des lignes de distribution primaires LP ou des lignes de distribution terminales LA, LI ou pouvant comprendre au moins une ligne de distribution primaire LP et au moins une ligne de distribution terminale LA, LI.

[0060] Par ligne de distribution terminale LA, LI, on entend une ligne de distribution reliée à une unique autre ligne de distribution du réseau de distribution.

[0061] Cette autre ligne de distribution est une ligne de distribution primaire LP.

[0062] Chaque ligne de distribution terminale LA, LI relie un nœud terminal NF aussi appelé nœud feuille à un nœud intermédiaire NI.

[0063] Dans un réseau arborescent de type N-aire, N est un nombre premier supérieur à 1 et z est un entier supérieur ou égal à 1. Les différentes lignes primaires

peuvent être reliées à des nombres N² respectifs d'autres lignes de distribution différents. A titre d'exemple, un arbre binaire peut comprendre des nœuds où une ligne de distribution est reliée à 2 autres lignes de distribution et des nœuds où une ligne de distribution est reliée à 4 autres lignes de distribution.

[0064] Chaque ligne de distribution primaire LP relie donc un nœud père à un nœud fils et chaque nœud père est relié à une ligne de distribution primaire et N² lignes de distribution filles. Chaque ligne de distribution fille peut être une ligne de distribution primaire ou terminale.

[0065] Le réseau arborescent comprend une première ligne primaire LP reliant l'entrée E1 à un premier nœud appelé nœud racine NR qui est aussi un nœud intermédiaire.

[0066] Le nœud racine NR est situé au centre C dans l'exemple non limitatif de la figure 4.

[0067] Le premier réseau de distribution RP1 est conçu de façon que les nœuds NR, NF, NI, du premier réseau de distribution RP1 présentent tous la même impédance Z prédéterminée.

[0068] Les lignes de distribution sont adaptées en impédance aux nœuds du réseau auxquels elles sont reliées.

[0069] Notons Z, l'impédance de chaque nœud et P = N² le nombre de lignes de distribution filles de ce nœud, alors afin d'avoir une impédance Z à chaque nœud fils de ce nœud, chaque ligne de distribution fille doit présenter une impédance caractéristique Z0 donnée par :

$$Z_0 = (P-1) * Z$$

[0070] Avantagusement ; l'impédance Z est aussi l'impédance de chacun des éléments rayonnants E.

[0071] L'impédance Z est réelle et positive.

[0072] Dans l'exemple non limitatif de la figure 4, l'arbre RP1 est un arbre binaire. En variante, un arbre présentant un N supérieur à 2 est tout à fait envisageable.

[0073] Dans la réalisation non limitative de la figure 4, l'arbre est strict. En d'autres termes, tous les nœuds possèdent zéro ou deux fils et chaque nœud terminal présente la même profondeur.

[0074] La hauteur de l'arbre est la profondeur maximale d'un nœud de l'arbre. La profondeur d'un nœud est le rang du nœud, sachant que le rang du nœud racine NR est le rang 1 et que le rang est incrémenté, à chaque nœud fils, jusqu'à un nœud feuille. NF en se déplaçant uniquement dans le sens du nœud racine NR vers le nœud feuille NF.

[0075] Dans la réalisation non limitative de la figure 4, l'arbre présente une hauteur de 7.

[0076] Le premier réseau de distribution RP1 est couplé aux M ports d'excitation du premier sous-réseau RP1 de M ports d'excitation de façon à permettre d'exciter le réseau R d'éléments rayonnants simultanément au niveau des M ports d'excitation du sous-réseau au moyen d'un signal d'excitation injecté sur la première entrée de

distribution E1, et donc réciproquement, de générer un signal de réception au niveau de la première entrée de distribution E1, à partir de signaux électromagnétiques reçus simultanément par chacun des M ports d'excitation.

[0077] A cet effet, le réseau RP1 est configuré pour comprendre M lignes de distribution terminales, dites actives, LA étant chacune couplée à un des M ports d'excitation de façon à permettre d'exciter le réseau d'éléments rayonnants simultanément en les M ports d'excitation à partir d'un signal injecté en entrée du réseau de distribution.

[0078] Selon l'invention, l'antenne comprend un réseau de distribution arborescent N-aire lacunaire dont le premier réseau de distribution RP1 est un exemple.

[0079] Par réseau de distribution arborescent N-aire lacunaire, on entend un réseau de distribution arborescent N-aire comprenant M lignes de distribution terminales actives LA, et P autre(s) ligne(s) de distribution terminale(s), dites ligne(s) inactive(s) LI, avec P entier supérieur ou égal à 1.

[0080] Chaque ligne de distribution terminale inactive LI est reliée électriquement, au niveau du nœud terminal NF auquel elle est reliée, à un élément résistif T, représenté par une zone ovale qui masque le nœud terminal NF sur la figure 4, adaptée en impédance à la ligne de distribution terminale inactive.

[0081] Autrement dit, l'élément résistif T présente une impédance, dite impédance de l'élément résistif, égale à l'impédance Z prédéterminée des nœuds du réseau NR, NI, NF.

[0082] L'impédance de l'élément résistif T est résistive. Elle est, par ailleurs, réelle.

[0083] L'impédance de l'élément résistif T est égale à sa résistance (exprimée en ohms).

[0084] L'élément résistif T présente l'impédance que la ligne de distribution inactive LI aurait vu si elle avait été couplée à un élément rayonnant E situé en regard de l'élément résistif T.

[0085] A l'émission, l'élément résistif T adapte en impédance la ligne de distribution inactive en impédance et absorbe, par effet Joule, l'énergie véhiculée par la ligne de distribution terminale inactive LI.

[0086] A la réception, l'élément résistif T adapte en impédance la ligne de distribution terminale inactive.

[0087] Ainsi, l'élément résistif T permet d'éviter des transferts d'énergie parasite due à des ondes stationnaires de la ligne de distribution inactive à l'élément rayonnant et inversement.

[0088] Par ailleurs, l'antenne est dépourvue de moyens de couplage du type permettant de coupler la ligne de distribution terminale inactive à un élément rayonnant du réseau d'éléments rayonnants de sorte à empêcher la ligne de distribution inactive d'exciter tout élément rayonnant du réseau à partir d'un signal injecté en entrée du réseau de distribution.

[0089] Ainsi, tout transfert d'énergie entre la ligne de distribution terminale inactive LI et le réseau rayonnant

est empêché.

[0090] Par exemple, dans la réalisation des figures 2 et 4, l'antenne est dépourvue de moyens de couplage entre la ligne de distribution terminale inactive LI et un élément rayonnant situé en regard de l'élément résistif T ce qui, couplé à la présence de l'élément résistif, empêche tout transfert d'énergie entre cette ligne de distribution terminale inactive LI et l'élément rayonnant situé en regard de l'élément résistif T.

[0091] L'élément résistif est par exemple un composant électrique, aussi appelé résistance, ou bien une couche résistive.

[0092] Chaque ligne de distribution terminale inactive LI est reliée électriquement, au niveau du nœud terminal NF auquel elle est reliée, à un élément résistif T, représenté par une zone ovale qui masque le nœud terminal NF sur la figure 4, adaptée en impédance à la ligne de distribution terminale inactive.

[0093] Dans la réalisation de la figure 4, la présence des lignes inactives LI provient du fait que M est différent de N^x avec x est un entier supérieur ou égal à 1. En effet, M est égal à 60 et N égal à 2, M est différent d'une puissance de 2.

[0094] L'arbre RP1 comprend un ensemble de 64 lignes dont 60 lignes actives LA et quatre lignes inactives LI.

[0095] Les quatre lignes actives LI comprennent chacune un élément résistif T situé en regard d'un des ports d'excitation des quatre éléments rayonnants centraux (répartis sur la surface centrale SC) du réseau R d'éléments rayonnants de la figure 2.

[0096] Chacune des lignes actives LA est couplée au port d'excitation de l'élément rayonnant E situé en regard de la ligne inactive LA de façon à permettre un transfert d'énergie depuis l'entrée du réseau de distribution lacunaire jusqu'au port d'excitation, et inversement.

[0097] Les branches de chaque arbre sont des lignes de distribution. Elles peuvent être réalisées, dans le cas d'une antenne planaire, selon technologies de circuits imprimés connues de l'homme du métier. Les lignes de distribution peuvent être de type microruban (aussi appelé microstrip) ou triplaque (aussi appelé stripline) ou de type guide d'onde intégré au substrat aussi appelé SIW.

[0098] Le couplage entre les lignes de distribution actives et les ports respectifs est réalisé de façon connue par l'homme du métier. Ce couplage est, par exemple réalisé, par couplage électromagnétique par fente. En variante, le couplage est réalisé en connectant électriquement l'extrémité d'une ligne de transmission à un point d'excitation par exemple, par via métallisé. Le couplage peut en variante être effectué sur le plan même de l'élément rayonnant plan, ou « patch » en l'attaquant directement par une ligne imprimée microruban ou « microstrip », connectée au bord de l'élément rayonnant. L'excitation peut aussi être réalisée par couplage par proximité à une ligne « microstrip » imprimée à un niveau situé entre le « patch » et la couche formant le

plan de masse.

[0099] La conception d'un réseau de distribution de type arbre N-aire apte à exciter un nombre de ports d'excitation différent de N^x est longue et complexe. Le fait de prévoir des lignes inactives empêchant ces lignes d'exciter des éléments rayonnants de l'antenne permet de simplifier cette conception de façon significative. L'arbre est ainsi réalisé comme un arbre N-aire présentant N^x (avec x est un entier supérieur ou égal à 1) lignes de distribution et certaines lignes de distribution sont désactivées par liaison à un élément résistif T.

[0100] Dans la réalisation de la figure 4, les ports d'excitation du premier sous-réseau S1 de ports d'excitation sont répartis selon un sous-réseau présentant un centre de symétrie C.

[0101] Dans la réalisation de la figure 4, le réseau d'éléments rayonnants comprend un sous-ensemble central SC d'éléments rayonnants comprenant N^x - M éléments rayonnants répartis selon un sous-réseau central complètement entouré par la première surface. Avantageusement, l'arbre du premier réseau de distribution lacunaire RP1 est tout d'abord conçu de façon à permettre d'exciter simultanément les éléments rayonnants du premier sous-ensemble S1 et du sous-ensemble central SC à partir d'un signal d'excitation injecté à la première entrée E1, et réciproquement. Certaines lignes de distribution terminales sont ensuite rendues inactives de façon à empêcher le réseau RP1 de permettre d'exciter les ports du sous-réseau central S. Cette configuration permet de concevoir simplement un arbre de distribution.

[0102] Avantageusement, le nœud racine du premier réseau RP1 est situé au centre de symétrie C. Cela permet de faciliter le traçage du réseau de distribution et de concevoir facilement un réseau de distribution permettant d'exciter les M éléments rayonnants de façon équilibrée (c'est-à-dire par des signaux présentant même phase et amplitude).

[0103] En variante, l'antenne comprend un réseau de distribution lacunaire, c'est-à-dire du type arbre N-aire, comprenant au moins une ligne terminale inactive LI, ce réseau de distribution lacunaire apte à exciter un sous-ensemble de ports d'excitation pouvant comprendre un nombre de ports d'excitation égal à N^x (avec x est un entier supérieur ou égal à 1), comme nous le verrons dans la suite du texte. Cela permet également de simplifier la conception de l'arbre N-aire.

[0104] La figure 5 représente schématiquement un deuxième réseau de distribution RP2 configuré et couplé au réseau R de façon à être apte à exciter simultanément les éléments rayonnants du deuxième sous-ensemble d'éléments rayonnants S2 répartis sur la deuxième surface SU2 visible sur la figure 2, à partir d'un signal d'excitation injecté en une deuxième entrée d'excitation E2, et réciproquement.

[0105] Le nombre d'éléments rayonnants unitaires M2 du deuxième sous-réseau d'éléments rayonnants étant différent de N^x (avec x est un entier supérieur ou égal à 1), le deuxième réseau de distribution RP2 est avanta-

geusement un réseau de distribution lacunaire.

[0106] Le deuxième réseau de distribution lacunaire RP2 diffère du premier réseau de distribution lacunaire RP1 en ce qu'il n'est pas strict et par sa hauteur due au nombre M2 plus élevé d'éléments rayonnants unitaires du deuxième sous-ensemble d'éléments rayonnants unitaires. La hauteur du deuxième réseau de distribution est de 10.

[0107] Le deuxième réseau de distribution lacunaire RP2 comprend 960 lignes de distribution terminales actives LA et 4 lignes de distribution terminales inactives LI, chaque ligne inactive LI est reliée à un élément résistif T représenté par une zone ovale blanche sur la figure 5, empêchant la ligne inactive LI d'exciter le réseau R d'éléments rayonnants à partir d'un signal injecté à la deuxième entrée de distribution E2 et de transmettre un signal vers la deuxième entrée de distribution lorsque l'un quelconque des éléments rayonnants reçoit un signal électromagnétique.

[0108] Les quatre lignes inactives LI comprennent chacune un nœud feuille NF situé en regard de la zone SU1.

[0109] Dans la réalisation de la figure 5, les ports d'excitation PE du deuxième sous-ensemble de ports d'excitation S2 sont répartis selon un sous-réseau présentant un centre de symétrie C. Avantageusement, le nœud racine du deuxième réseau RP2 est situé au centre de symétrie C. Cela permet de faciliter le traçage du réseau de distribution.

[0110] La conception du deuxième réseau de distribution lacunaire RP2 est relativement simple et, le fait qu'il ne soit pas parfait, c'est-à-dire que tous les nœuds feuilles NF ne présentent pas la même hauteur, permet d'éviter d'avoir à désactiver des lignes de distribution situées en regard de chacun des éléments rayonnants des sous-ensembles S1, S2. En effet, les nœuds feuilles reliés aux lignes inactives LI présentent une hauteur plus faible que celle des nœuds feuilles reliés aux lignes actives LA. Cela permet également de limiter les pertes d'énergie et le nombre d'éléments résistifs à répartir.

[0111] La figure 6 représente un troisième réseau de distribution RS couplé aux éléments rayonnants unitaires du sous-réseau central SC.

[0112] Le troisième réseau de distribution RS est configuré et couplé au réseau R de façon à permettre d'exciter les éléments rayonnants au niveau des quatre ports d'excitation du sous-réseau S lorsqu'un signal d'excitation est injecté dans le troisième réseau de distribution RS à la troisième entrée de distribution E3, et réciproquement, de générer un signal de réception au niveau de la troisième entrée de réception à partir de signaux électromagnétiques reçus au niveau des quatre ports d'excitation du sous-réseau S.

[0113] Avantageusement, le troisième réseau de distribution RS est un réseau de distribution arborescent dit non lacunaire.

[0114] Par réseau de distribution arborescent K-aire non lacunaire, on entend, dans la présente demande de brevet, un réseau étant un arbre K-aire dont les lignes

de distribution terminales sont toutes des lignes de distribution terminales actives LA. K est un nombre premier supérieur à 1.

[0115] Chaque des lignes de distribution terminale active LA est couplée à un des ports d'excitation PE du sous-réseau central S de sorte à permettre d'exciter le réseau au niveau des ports d'excitation du sous-réseau S lorsqu'un signal d'excitation est injectée dans le troisième réseau de distribution au niveau de la troisième entrée E3 et réciproquement.

[0116] Ainsi, le réseau de distribution non lacunaire RS est dépourvu de lignes de distribution terminales inactives. Cela permet de limiter les pertes dans le réseau de distribution secondaire.

[0117] Un réseau de distribution arborescent non lacunaire RS est avantageusement prévu lorsque le sous-réseau de ports d'excitation à exciter au moyen du réseau secondaire comprend L ports d'excitation, L étant une puissance de K (c'est-à-dire $L = K^k$ où k est un entier supérieur ou égal à 1).

[0118] Avantageusement, le réseau de distribution arborescent non lacunaire est un arbre parfait. Par arbre parfait, on entend un arbre dont tous les nœuds feuille NF présentent la même hauteur.

[0119] Dans l'exemple non limitatif de la figure 6, le sous-réseau central SC est constitué de quatre ports appartenant à quatre éléments rayonnants unitaires respectifs. Le réseau de distribution non lacunaire est un arbre binaire parfait de hauteur égale à 3.

[0120] Un réseau de distribution non lacunaire est de conception relativement simple et permet d'éviter d'avoir à prévoir des lignes inactives ce qui permet de limiter les pertes de puissance rayonnée lorsque le nombre d'éléments rayonnants ou de ports d'excitation est une puissance d'un nombre premier supérieur à 1, par exemple, une puissance de 2.

[0121] En effet, à chaque nœud intermédiaire NI, si un élément résistif absorbant l'énergie est relié à l'extrémité d'une des lignes terminales, cela correspond à une perte de la moitié de la puissance de rayonnement c'est-à-dire à une perte de la puissance rayonnée de 3dB ($10 \cdot \log(1-1/2)$). Si cet élément résistif n'est pas situé à la première division mais à la seconde, cela correspond à une perte de 1,25dB (cette valeur étant obtenue par le calcul ($10 \cdot \log(1-0,5 \cdot 0,5) = 10 \cdot \log(0,75)$).

[0122] En variante et/ou en sus, l'antenne comprend au moins un réseau de distribution arborescent lacunaire configuré et couplé au réseau R de façon à permettre d'exciter les ports d'excitation d'un sous-réseau de L ports d'excitation présentant un nombre tel que $L = K^k$ où K est un nombre premier supérieur à 1 et k est un entier supérieur ou égal à 1. Ce réseau de distribution comprend alors des lignes inactives. Ce type de réseau de distribution limite toutefois plus importante qu'un réseau de distribution non lacunaire.

[0123] Dans une réalisation, une seule source est utilisée pour générer les signaux d'excitation injectés en entrée de réseaux de distributions respectifs couplés à

des sous-réseaux de ports d'excitation respectifs différents et/ou un seul récepteur est utilisé pour recevoir les signaux d'excitation générés en entrée des réseaux de distribution respectifs.

[0124] La figure 7 représente schématiquement, à gauche, la Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente (PIRE) souhaitée en fonction de l'ouverture angulaire d'un faisceau et, à droite, la PIRE réelle d'une antenne en fonction de l'ouverture angulaire si une seule source d'énergie est utilisée pour exciter les différents sous-ensembles de ports d'excitation générant les différents faisceaux d'ouvertures différentes. Lorsqu'une seule source est utilisée pour tous les faisceaux, les PIRE correspondant à la somme de la puissance électrique appliquée à l'antenne et du gain de l'antenne, sont différentes pour les différentes ouvertures. Plus le faisceau créé est fin, plus le nombre d'éléments rayonnants excités est élevé. La puissance rayonnée (PIRE) est proportionnelle au nombre d'éléments rayonnants. Plus le faisceau est large, plus la puissance est répartie sur un petit nombre d'éléments rayonnants et la PIRE est faible. Il est possible de compenser les amplitudes des signaux appliqués aux réseaux de distribution des sous-ensembles de ports d'excitation afin de générer les faisceaux respectifs, par exemple par des atténuateurs. Cela permet, par exemple, d'équilibrer les PIRE de chaque faisceau, c'est-à-dire d'obtenir une plus grande puissance rayonnée pour le faisceau le plus large et une plus faible puissance rayonnée pour les faisceaux les plus fins.

[0125] La diminution de la PIRE n'est pas problématique dans certaines applications. Il n'est alors pas nécessaire d'ajuster les amplitudes des signaux injectés dans les différents sous-réseaux pour éviter cette diminution.

[0126] En variante, plusieurs sources indépendantes et/ou plusieurs récepteurs indépendants sont utilisées pour générer les signaux d'excitation injectés en entrée de réseaux de distributions respectifs et/ou respectivement pour recevoir les signaux générés en entrée des réseaux de distribution respectifs. Autrement dit, un premier réseau de distribution est relié à une première source ou à un premier récepteur et un deuxième réseau de distribution est relié à une deuxième source distincte de la première source ou respectivement à un deuxième récepteur distinct du premier récepteur. Cela permet d'ajuster les amplitudes aisément et de générer des faisceaux concentriques à des fréquences différentes.

[0127] On a décrit l'invention dans le cas où les éléments rayonnants unitaires sont couplés aux réseaux de distribution de façon que chaque élément rayonnant soit apte à être excité en un seul port d'excitation. Autrement dit, chaque élément rayonnant unitaire est couplé à un seul réseau de distribution de façon que le réseau de distribution soit apte à l'exciter en un unique port d'excitation.

[0128] En variante, au moins un élément rayonnant est couplé au réseau de façon que l'élément rayonnant soit apte à être excité simultanément en plusieurs ports d'excitation. Avantageusement, l'élément rayonnant unitaire

est couplé à plusieurs réseaux de distribution de façon que chaque réseau de distribution soit apte à exciter un des ports d'excitation respectif de l'élément rayonnant. Cela permet d'exciter un même élément rayonnant simultanément par deux signaux différents. Cela permet également d'obtenir une polarisation duale : soit linéaire (verticale pour l'un des ports et horizontale pour l'autre) soit circulaire (droite pour l'un et gauche pour l'autre).

[0129] La figure 8 représente différents sous-réseaux de ports d'excitation d'un réseau R1 d'éléments rayonnants E. Le réseau R1 est une matrice de $8 \times 8 = 64$ éléments rayonnants unitaires agencés de façon régulière en lignes et en colonnes. Les lignes sont parallèles entre elles et perpendiculaires entre elles. Chaque élément rayonnant E comprend un port d'excitation PE. Les ports d'excitation PE sont, par exemple mais non nécessairement, situés aux centres des éléments rayonnants E respectifs.

[0130] Les sous-réseaux respectifs P1, P2, P3, P4 de ports d'excitation PE sont répartis sur des surfaces respectives contiguës comprenant une première surface carrée SC, et trois surfaces L1, L2 et L3 en forme de L séparées deux à deux par des lignes pointillées sur la figure 8.

[0131] Les trois surfaces L1, L2, L3 en forme de L entourent la première surface rectangulaire. La première surface L1 en forme de L entoure partiellement la première surface rectangulaire SC. La deuxième surface L2 en forme de L entoure partiellement la première surface en forme de L et la troisième surface L3 en forme de L entoure partiellement la deuxième surface L2 en forme de L. De la sorte, la surface de la première surface L1 en forme de L est supérieure à celle de la surface carrée CC et elle comprend plus de points d'excitation PE, à savoir 12, que la surface carrée CC qui en comprend 4. La surface de la deuxième surface L2 en forme de L est supérieure à celle de la première surface L1 en forme de L et elle comprend plus de ports d'excitation, à savoir 20, que la première surface L1. La surface de la troisième surface L3 en forme de L est supérieure à celle de la deuxième surface L2 en forme de L et elle comprend plus de ports d'excitation, à savoir 28, que la deuxième surface L2.

[0132] Dans l'exemple non limitatif de la figure 8, les points d'excitation de chaque L sont répartis sur deux lignes formant une branche du L et sur deux colonnes formant l'autre branche du L. Le nombre de lignes ou de colonnes de points d'excitation par branche du L peut bien entendu être différent et varier d'un L à l'autre.

[0133] Les figures 9 à 14 représentent différents réseaux de distribution envisageables pour exciter les sous-réseaux respectifs de ports d'excitation P1, P2, P3, P4. Ces réseaux de distribution sont des arbres binaires présentant des nœuds feuilles NF, reliés à des lignes de distribution actives LA, représentés sous forme de carrés matérialisant les positions des éléments rayonnants E auxquels ils sont couplés

[0134] La figure 9 représente un premier exemple de

réseau de distribution RDa a couplé aux quatre ports d'excitation PE du premier sous-réseau P1 de ports d'excitation. Le réseau de distribution RDa est un réseau de distribution lacunaire réalisé sous forme d'un arbre binaire de hauteur 7 comprenant quatre lignes de distribution terminales actives LA et quatre lignes de distribution terminales inactives LI reliées à des éléments résistifs respectifs T représentés par des ovales sur les figures 9 à 14. Le réseau de distribution RDa comprend une première entrée de distribution Ea. Cet exemple présente des pertes de puissance rayonnée plus importantes que celle émise par un réseau de distribution non lacunaire.

$$10 * \text{LOG}(1 - \sum_{n=1}^4 \frac{1}{2^n})$$

Ces pertes s'expriment en où n est l'indice de chaque élément résistif T. Il peut être intéressant quand il est nécessaire d'atténuer la puissance rayonnée. Cela permet d'éviter le recours à des atténuateurs.

[0135] La figure 10 représente un deuxième exemple de réseau de distribution RDb couplé aux quatre ports d'excitation PE du premier réseau P1. Ce deuxième exemple est plus avantageux en termes de puissance rayonnée dans la mesure où le réseau de distribution est un réseau de distribution non lacunaire. Plus précisément, il s'agit d'un arbre binaire parfait de hauteur égale à 3. Ce réseau de distribution a été obtenu en déplaçant la première entrée de distribution Ea par rapport à la figure 5 et en positionnant le nœud racine au centre de symétrie C1 du sous-réseau P1 alors que le nœud racine NR du réseau Rda était au centre de symétrie C1 du réseau R1.

[0136] Les ports d'excitation des autres sous réseaux L1, L2, L3, ne présentant pas de centre de symétrie et étant constitués de nombres respectifs de ports d'excitation distincts d'une puissance de deux, ils sont avantageusement alimentés par des réseaux de distribution lacunaires étant, par exemple, des arbres binaires parfaits.

[0137] La figure 11 représente un premier exemple de réseau de distribution RD1 a couplé aux douze ports d'excitation du sous-réseau L1. Ce réseau de distribution RD1a est un réseau de distribution lacunaire qui est un arbre binaire parfait de hauteur égale à 7 comprenant douze lignes de distribution finales actives LA et trois lignes de distribution finales inactives LI reliées à des éléments résistifs T respectifs. Cet exemple présente une limitation de la puissance rayonnée plus importante. Le réseau de distribution RD1a comprend une deuxième entrée de distribution E1a et un nœud racine NR situé au niveau du centre de symétrie C.

[0138] Les deux premiers éléments résistifs T rencontrés après l'entrée E1a limitent la puissance rayonnée de 6dB par rapport à celle d'un réseau complet, le dernier élément résistif étant d'un quart de réseau (ligne divisée en quatre), une perte de 1,25dB supplémentaire intervient, le réseau implique donc une perte de 7,25dB cor-

$$10 * \text{LOG} \left(1 - \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^4} \right) \right)$$

respondant à

[0139] La figure 12 représente un deuxième exemple de réseau de distribution RD1b couplé aux douze ports d'excitation du sous-réseau L1. Ce réseau de distribution est un réseau de distribution lacunaire qui est un arbre binaire parfait de hauteur égale à 5 comprenant douze lignes de distribution terminales actives LA et une ligne de distribution terminale inactive LI. Cet exemple présente une limitation de la puissance rayonnée moins importante que le réseau de la figure 10. Ce réseau de distribution a été obtenu en déplaçant la deuxième entrée E1b de distribution par rapport à la figure 10 et le nœud racine NR.

[0140] Le réseau implique une limitation de la puissance rayonnée de 1,25dB due à l'élément résistif unique.

[0141] Pour exciter le sous-réseau L1, il est plus avantageux de prévoir le réseau de la figure 12 que celui de la figure 11. A l'inverse, s'il y a nécessité d'atténuer la puissance émise rayonnée, la configuration de la figure 12 permet d'éviter l'utilisation d'atténuateurs.

[0142] La figure 13 représente un exemple de réseau de distribution RD2 couplé aux douze ports d'excitation du sous-réseau L2. Ce réseau de distribution RD2 est un réseau de distribution lacunaire étant un arbre binaire parfait de hauteur égale à 7 comprenant 20 lignes de distribution terminales actives LA et cinq lignes de distribution terminales inactives LI reliées à des éléments résistifs respectifs T. Le réseau de distribution RD2 comprend une entrée de distribution ED2.

[0143] La figure 14 représente un exemple de réseau de distribution RD3 couplé aux 28 ports d'excitation du sous-réseau L2. Ce réseau de distribution RD3 est un réseau de distribution lacunaire qui est un arbre binaire parfait de hauteur égale à 7 formant 28 lignes de distribution actives LA et 5 lignes de distribution inactives LI reliées à des éléments résistifs respectifs T. Le réseau de distribution RD3 comprend une entrée de distribution ED3.

[0144] Avantageusement, l'antenne comprend quatre réseaux d'alimentation dont un de celui des figures 9 et 10, un de celui des figures 11 et 12 et ceux des figures 13 et 14. Cette architecture permet de créer quatre faisceaux simultanément en alimentant les quatre réseaux de distribution par des signaux d'excitation distincts ou un seul faisceau en alimentant les réseaux de distribution de façon que les différents ports d'excitation soient excités par le même signal d'excitation. Avantageusement, les réseaux d'alimentation sont situés dans des couches respectives distinctes empilées afin d'éviter le chevauchement des lignes.

[0145] L'invention a été décrite dans le cas où chaque réseau de distribution lacunaire ou non lacunaire d'une antenne est couplé à un sous-réseau de ports d'excitation du réseau de ports d'excitation de l'antenne.

[0146] L'invention se rapporte également à une antenne

ne comprenant un réseau de distribution lacunaire couplé à tous les ports d'excitation du réseau de ports d'excitation de l'antenne.

[0147] Dans ce cas, l'antenne peut en outre comprendre des éléments rayonnants dépourvus de ports d'excitation, c'est-à-dire non couplés à un réseau de distribution.

[0148] En variante, chaque élément rayonnant comprend un des ports d'excitation du réseau de ports d'excitation couplé au réseau de distribution lacunaire.

[0149] Dans ce cas, les éléments résistifs T du réseau de ports d'excitation sont, par exemple, situés en regard de zones du réseau d'éléments rayonnants dépourvues d'éléments rayonnants ou les éléments résistifs T appartiennent à la même surface rayonnante que les éléments rayonnants, elles sont, par exemple, coplanaires avec les éléments rayonnants dans le cas d'une antenne planaire. L'invention se rapporte également à une antenne comprenant un réseau de distribution lacunaire couplé à un sous-réseau de ports d'excitation du réseau de ports d'excitation de l'antenne, dans lequel au moins un élément résistif est situé en regard d'une zone du réseau d'éléments rayonnants dépourvue d'élément rayonnant ou dans lequel au moins un élément résistif est coplanaire avec les éléments rayonnants.

[0150] L'invention se rapporte à un procédé de fabrication d'une antenne selon l'invention.

[0151] L'antenne comprend un réseau d'éléments rayonnants unitaires couplés à un réseau de distribution en un réseau de ports d'excitation ou à une pluralité de réseaux de distribution en des sous-réseaux de ports d'excitation respectifs. Chaque réseau de distribution est couplé aux ports d'excitation du réseau ou aux ports d'un sous-réseau de ports de façon à permettre d'exciter simultanément les éléments rayonnants au niveau de ports d'excitation du réseau ou du sous-réseau de ports d'excitation à partir d'un signal d'excitation injecté à l'entrée du réseau de distribution et réciproquement.

[0152] Le procédé de fabrication comprend une étape de conception du réseau de ports d'excitation ou du ou des sous-réseaux de ports d'excitation.

[0153] Cette étape est avantageusement réalisée en fonction du faisceau que l'on souhaite rayonner ou recevoir ou des faisceaux que l'on souhaite être aptes à rayonner ou recevoir indépendamment les uns des autres.

[0154] Le procédé comprend également une étape de conception du ou des réseaux de distribution de façon qu'ils soient aptes à exciter, le réseau d'éléments rayonnants unitaires au niveau du réseau ou sous-réseau de ports d'excitation ou au niveau des sous-réseaux de ports d'excitation respectifs, et réciproquement. Cette étape peut, par exemple, être mise en œuvre par ordinateur ou réalisée manuellement.

[0155] Le procédé comprend une étape de fabrication du ou des réseaux de distribution conçus lors de l'étape de conception et une étape de couplage du réseau de distribution au réseau de ports d'excitation ou du sous-

réseau de ports d'excitation correspondant de façon qu'il soit apte à exciter le réseau d'éléments rayonnants en le(s) port(s) d'excitation du réseau ou respectivement du sous-réseau ou une étape de couplage de chaque réseau de distribution au(x) port(s) d'excitation du réseau ou respectivement sous-réseau de port(s) d'excitation correspondant de façon qu'il soit aptes à exciter le réseau d'éléments rayonnants unitaires au niveau du ou des ports d'excitation du réseau ou respectivement du sous-réseau de port(s) d'excitation à partir de signaux respectifs injectés au niveau de leurs entrées respectives, et réciproquement.

[0156] Le procédé comprend également une étape de fabrication d'au moins un réseau de distribution lacunaire, une étape de couplage du réseau de distribution lacunaire, et plus particulièrement de ses lignes de distribution actives, aux ports d'excitation du réseau de ports d'excitation ou au ports d'excitation du sous-réseau de ports d'excitation du réseau de ports d'excitation et une étape consistant à relier électriquement de chaque ligne de distribution terminale inactive à un élément résistif.

[0157] Avantageusement, le réseau de distribution arborescent lacunaire est relié à un réseau ou sous-réseau de ports d'excitation primaire.

[0158] Par réseau sous-réseau de ports d'excitation primaire, on entend un réseau ou sous-réseau de M1 ports d'excitation tel que M1 est différent de N^x où N est un nombre premier supérieur à 1 et x est un entier supérieur ou égal à 1.

[0159] Avantageusement, l'antenne comprend au moins un réseau ou sous-réseau de ports d'excitation primaire couplé à un réseau de distribution arborescent lacunaire.

[0160] Avantageusement, lors de procédé selon l'invention, on couple le réseau ou sous-réseau de ports d'excitation, lorsqu'il est primaire, à un réseau de distribution lacunaire ou on couple chaque sous-réseau de ports d'excitation primaire à un réseau de distribution lacunaire respectif.

[0161] Dans une réalisation, l'antenne comprend au moins un réseau ou sous-réseau de Q ports d'excitation dit secondaire tel que $Q = N^x$ où x est un entier supérieur à 1.

[0162] Le procédé comprend une étape de conception et de fabrication d'un réseau de distribution arborescent lacunaire destiné à permettre d'exciter chaque port d'excitation du réseau ou sous-réseau de ports d'excitation secondaire et une étape de couplage du réseau ou sous-réseau de ports d'excitation secondaire au réseau de distribution lacunaire et plus particulièrement aux lignes de distribution terminales actives du réseau de distribution arborescent lacunaire et une étape consistant à relier chaque ligne de distribution terminale inactive de ce réseau de distribution arborescent lacunaire à un élément résistif. Ce mode de réalisation peut présenter un intérêt pour limiter la puissance rayonnée.

[0163] Le procédé comprend en variante ou en sus une étape de conception et de fabrication d'un réseau

de distribution non lacunaire destiné à permettre d'exciter les ports d'excitation d'un sous-réseau de ports d'excitation secondaire et une étape de couplage du sous-réseau de ports d'excitation secondaire au réseau de distribution non lacunaire par couplage aux lignes de distribution terminales active du réseau non lacunaire. Cette solution est plus performante que la précédente du point de vue puissance rayonnée.

[0164] Le procédé de fabrication selon l'invention est simple et robuste.

[0165] Il permet de réaliser des antennes de coût relativement faible ne nécessitant pas de composants électroniques discrets, passifs ou réactifs comme des circulateurs, isolateurs, etc. ou actifs comme dans le cas d'un RADAR MIMO possédant un émetteur/récepteur par élément rayonnant unitaire.

[0166] Le procédé selon l'invention est reproductible car il est basé sur une technologie de réseau de distribution en arbres N-aire maîtrisée industriellement.

[0167] Ce procédé présente des étapes de conception relativement simples.

[0168] Il permet de créer plusieurs faisceaux avec des centres identiques (concentriques) ou différents en divisant les réseaux d'éléments rayonnants ou de ports d'excitation en plusieurs sous-réseaux. Ce réseau peut être divisé un grand nombre de fois ce qui permet et peut ainsi créer un grand nombre de faisceaux indépendants. Ce procédé permet donc de réaliser une antenne à dimension variable avec un même réseau de patches. Il permet de répondre à différents besoins à partir d'un réseau seul réseau d'éléments rayonnants.

[0169] En fonction des caractéristiques du faisceau voulu, plus ou moins d'éléments rayonnants sont excités.

[0170] La solution proposée permet de générer ou de recevoir plusieurs faisceaux radioélectriques simultanément de façon relativement bon marché et peu volumineuse. Elle permet notamment d'éviter l'utilisation de composants du type duplexeur, circulateur, diviseur de puissance, isolateur. Toutefois ces éléments sont chers et volumineux.

Revendications

1. Antenne comprenant un réseau d'éléments rayonnants unitaires, l'antenne comprenant au moins un réseau de distribution lacunaire étant un réseau arborescent N-aire comprenant des lignes de distribution reliées entre elles en des nœuds présentant une même impédance Z prédéterminée, les lignes de distribution comprenant des lignes de distributions primaires, chaque ligne de distribution primaire étant reliée, en un nœud intermédiaire, à N^z autres lignes de distribution où z est un entier supérieur ou égal à 1 et N est un nombre premier supérieur à 1, et des lignes de distribution terminales, chaque ligne de distribution terminale étant reliée à une seule autre des lignes de distribution, les lignes de distribution ter-

- minales comprenant au moins une ligne de distribution terminale active couplée au réseau d'éléments rayonnants unitaires en un premier réseau d'au moins un port d'excitation du réseau d'éléments rayonnants unitaires de sorte à permettre d'exciter le réseau d'éléments rayonnants unitaires simultanément en l'au moins un port d'excitation du premier réseau d'au moins un port d'excitation à partir d'un signal électrique injecté en une entrée du réseau de distribution, les lignes de distribution terminales comprenant au moins une ligne de distribution terminale inactive reliée électriquement à un élément résistif présentant une impédance de l'élément résistif égale à l'impédance Z.
2. Antenne selon la revendication précédente, dans laquelle ledit réseau de distribution lacunaire est un premier réseau de distribution lacunaire comprenant M1 ligne(s) de distribution terminale(s) active(s) couplée(s) à M1 premiers port(s) d'excitation du réseau d'éléments rayonnants unitaires, dans lequel M1 est un entier supérieur ou égal à 1 différent de $N1^{x1}$, N1 étant un nombre premier supérieur à 1 et $x1$ étant un entier supérieur ou égal à 1, le premier réseau de distribution lacunaire étant un réseau arborescent N1-aire.
 3. Antenne selon la revendication précédente, comprenant en outre un deuxième réseau de distribution lacunaire tel que défini en revendication 1 et comprenant M2 lignes de distribution terminales actives couplées à M2 deuxièmes ports d'excitation du réseau d'éléments rayonnants unitaires, dans lequel M2 est égal à $N2^{x2}$, N2 étant un nombre premier supérieur à 1 et $x2$ étant un entier supérieur ou égal à 1, le deuxième réseau de distribution lacunaire étant un réseau arborescent N2-aire.
 4. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant un réseau de distribution non lacunaire étant un réseau arborescent comprenant des lignes de distribution reliées entre elles en des nœuds présentant une même impédance prédéterminée, les lignes de distribution comprenant des lignes de distributions primaires, chaque ligne de distribution primaire étant reliée, en un nœud intermédiaire, à K^k autres lignes de distribution où k est un entier supérieur ou égal à 1 et K est un nombre premier supérieur à 1, et des lignes de distribution terminales reliées à une unique autre des lignes de distribution, les lignes de distribution terminales étant des lignes de distribution terminales actives couplées à K troisièmes ports d'excitation du réseau d'éléments rayonnants unitaires de sorte à permettre d'exciter le réseau d'éléments rayonnants unitaires simultanément en les K troisièmes ports d'excitation à partir d'un signal électrique injecté en une entrée du réseau de distribution non lacunaire.
 5. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant plusieurs réseaux de distribution selon l'une des revendications précédentes et couplés à des sous-réseaux de ports d'excitation respectifs distincts du réseau d'éléments rayonnants de façon à permettre d'émettre ou de recevoir simultanément plusieurs faisceaux électromagnétiques.
 6. Antenne selon la revendication précédente, comprenant plusieurs sources, les entrées des réseaux de distribution étant reliées à des sources respectives distinctes ou à des récepteurs respectifs distincts.
 7. Antenne selon l'une quelconque des revendications 5 à 6, comprenant des sous-réseaux de ports d'excitation respectifs répartis sur des couronnes concentriques, la $(i+1)$ ème couronne entourant la ième couronne, $i = 1$ à $N_{ss-réseaux} - 1$, $N_{ss-réseaux}$ étant le nombre desdits sous-réseaux.
 8. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle l'antenne est dépourvue de port d'excitation autre que les ports d'excitation du premier réseau d'au moins un port d'excitation.
 9. Antenne selon la revendication précédente, dans laquelle chaque élément rayonnant unitaire comprend un des ports d'excitation du premier réseau d'au moins un port d'excitation.
 10. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, l'antenne étant planaire.
 11. Procédé de fabrication d'une antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant :
 - une étape de conception du réseau d'éléments rayonnants comprenant le premier réseau de ports d'excitation,
 - une étape de conception du réseau de distribution lacunaire de façon qu'il permette d'exciter le réseau d'éléments rayonnants unitaire simultanément en l'au moins un port d'excitation du premier réseau d'au moins un port d'excitation lorsqu'il est couplé au premier réseau d'au moins un port d'excitation et lorsqu'un signal électrique est injecté à l'entrée de distribution du réseau de distribution lacunaire,
 - une étape de fabrication du réseau de distribution lacunaire conçu lors de l'étape de conception,
 - une étape consistant à relier électriquement la ligne de distribution inactive à l'élément résistif,
 - une étape de couplage du réseau de distribution lacunaire au premier réseau d'au moins un port d'excitation comprenant une étape de couplage de chaque ligne de distribution active du

réseau de distribution lacunaire à un port d'excitation de l'au moins un port d'excitation du premier réseau de ports d'excitation de façon à permettre d'exciter le réseau d'éléments rayonnants au niveau du port d'excitation lorsqu'un signal électrique est injecté à l'entrée de distribution. 5

12. Procédé de fabrication selon la revendication précédente d'une antenne selon la revendication 2, dans 10
 lorsque le réseau de ports d'excitation comprend un premier ensemble de M1 premiers port(s) d'excitation tel que M1 est un entier supérieur ou égal à 1 différent de $N1 \times 1$ où N1 est un nombre premier supérieur à 1 et x1 est un entier supérieur à 1, une 15
 étape de conception d'un premier réseau de distribution lacunaire comprenant M1 ligne(s) de distribution terminale(s) active(s), une étape de fabrication du premier réseau de distribution lacunaire, une étape 20
 de couplage du premier réseau de distribution lacunaire aux M1 premiers port(s) d'excitation et une étape consistant à relier électriquement la ligne de distribution terminale active à un élément résistif.

13. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des 25
 revendications 11 à 12, d'une antenne selon la revendication 3 et dans lequel, lorsque le réseau de ports d'excitation comprend un deuxième ensemble de M2 deuxièmes ports d'excitation tel que M2 est un entier supérieur à 1 égal à de $N2 \times 2$ où N2 est un 30
 nombre premier supérieur à 1 et x2 est un entier supérieur à 1, le procédé comprenant :

- une étape de conception d'un deuxième réseau de distribution lacunaire comprenant M2 35
 lignes de distribution terminales, les lignes de distribution terminales étant actives, une étape de fabrication du deuxième réseau de distribution lacunaire et une étape de couplage du deuxième réseau de distribution lacunaire aux 40
 M2 deuxièmes ports d'excitation, une étape consistant à relier électriquement la ligne de distribution terminale inactive à un élément résistif,

ou, 45

- une étape de conception d'un réseau de distribution non lacunaire comprenant M2 lignes de 50
 distribution terminales actives et au moins une ligne de distribution terminale inactive, une étape de fabrication du deuxième réseau de distribution non lacunaire et une étape de couplage du deuxième réseau de distribution non lacunaire aux M2 deuxièmes ports d'excitation. 55

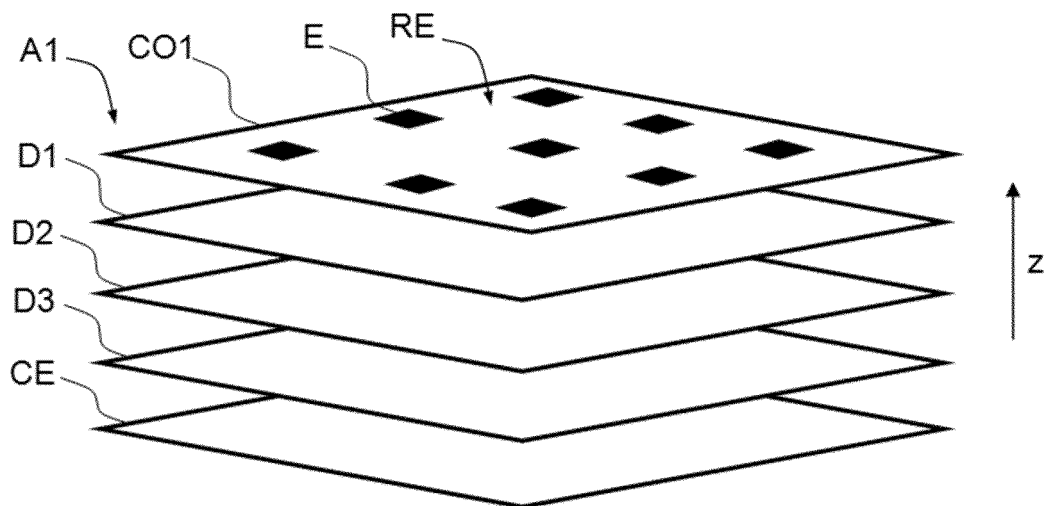


FIG.1

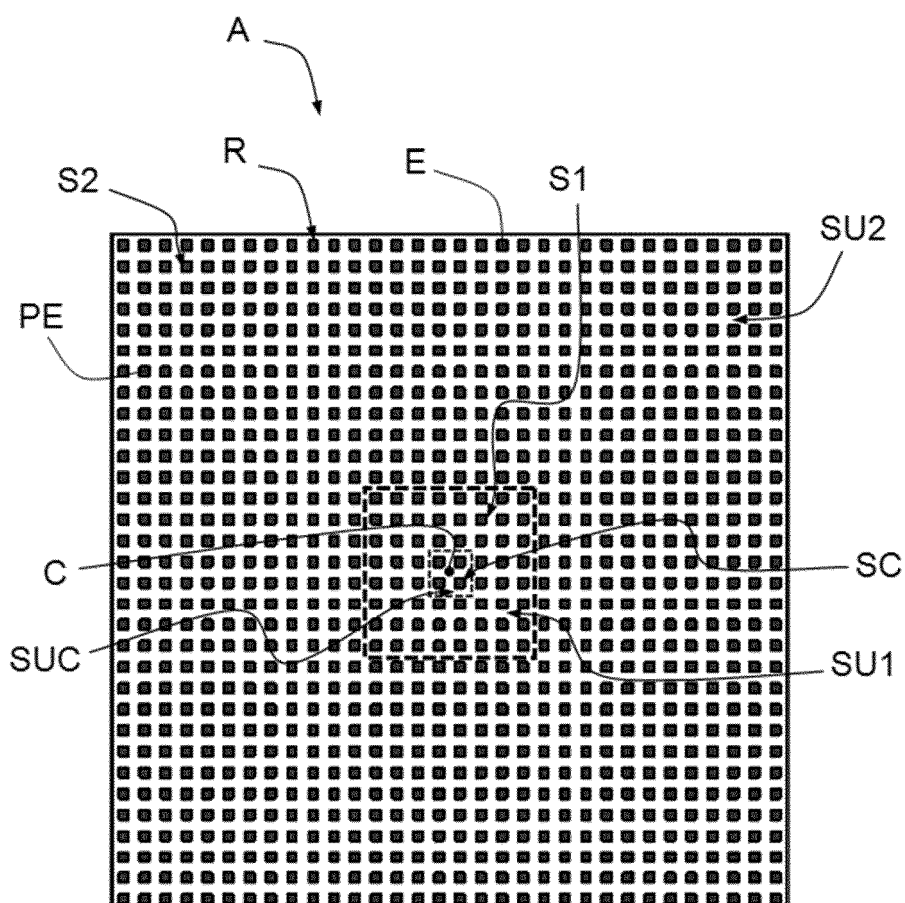


FIG.2

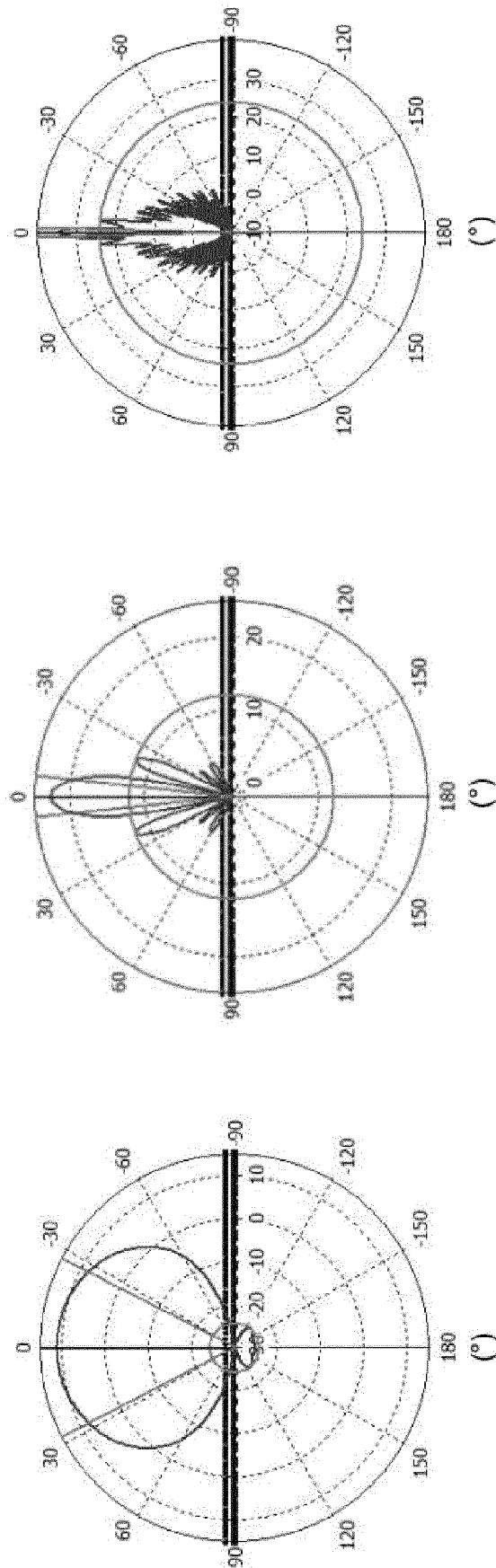


FIG.3

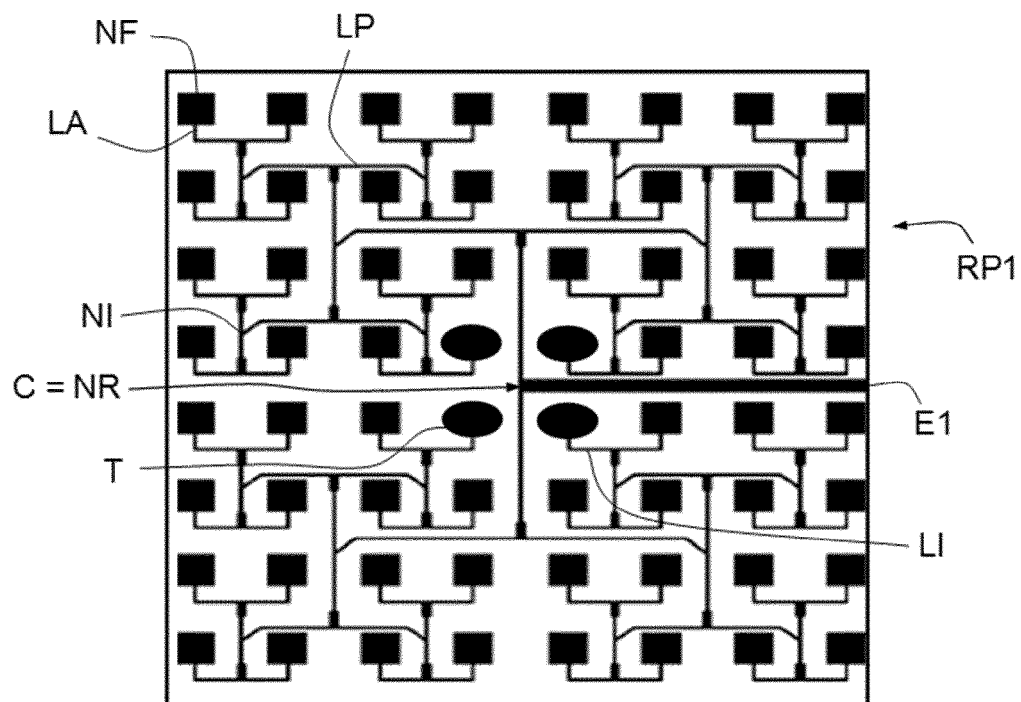


FIG.4

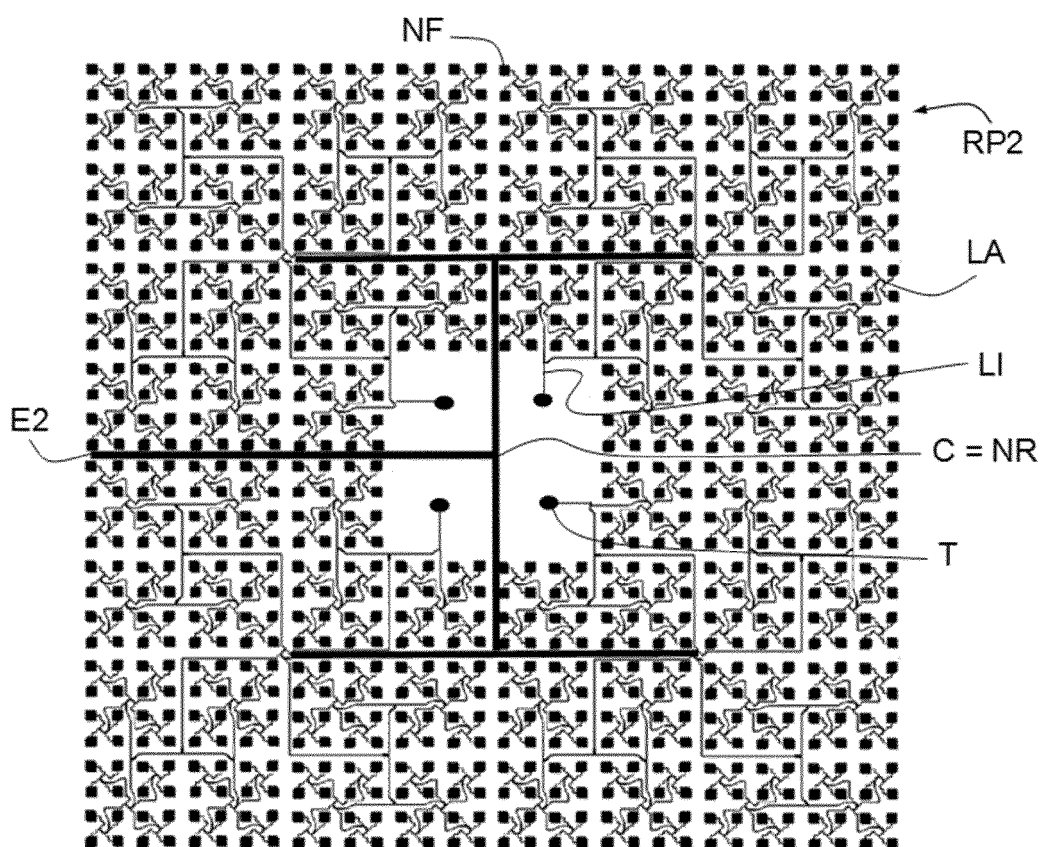


FIG.5

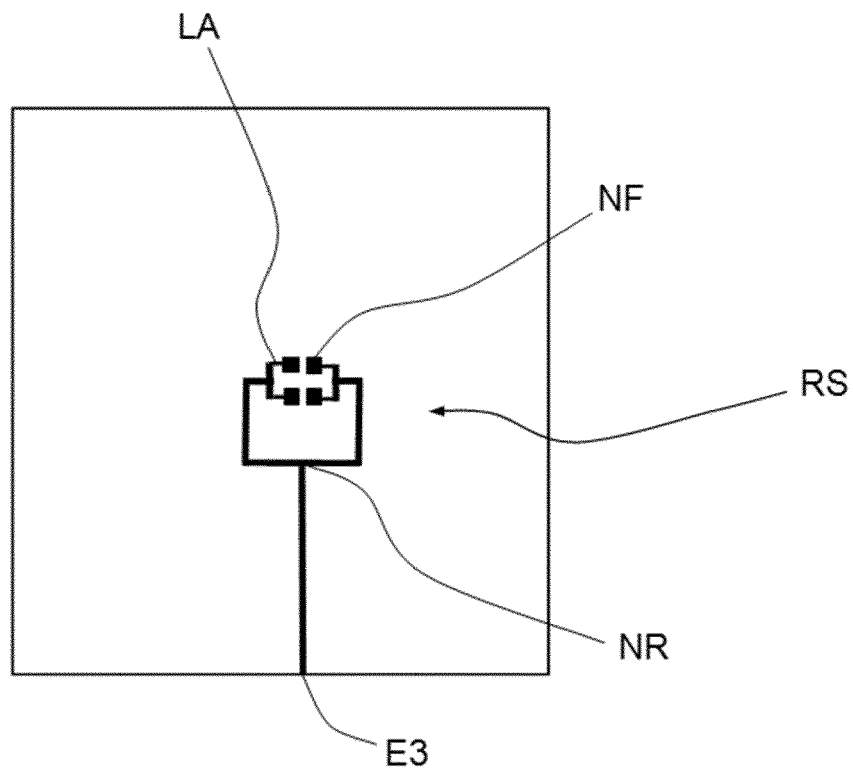


FIG.6

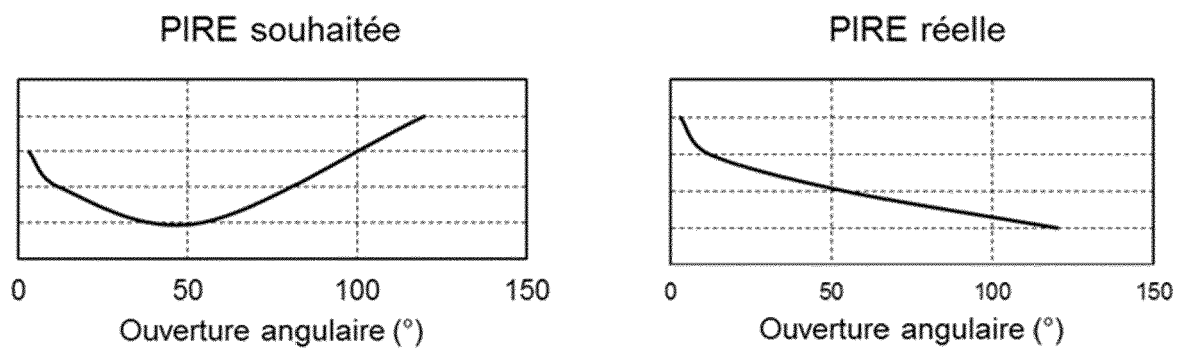


FIG.7

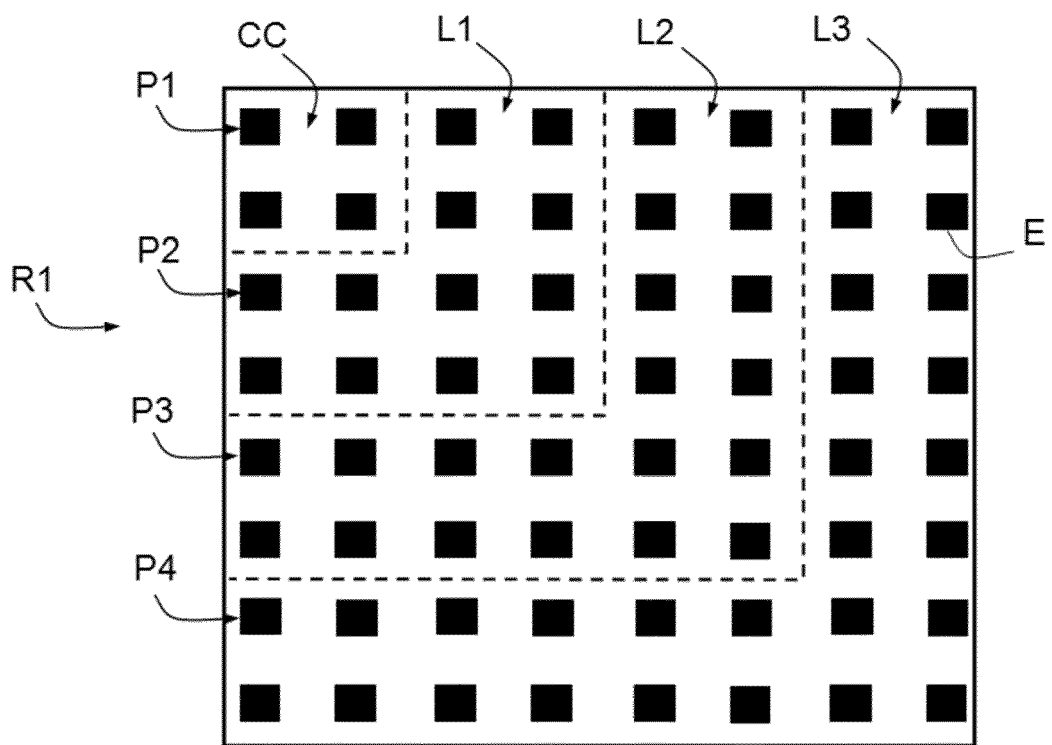


FIG. 8

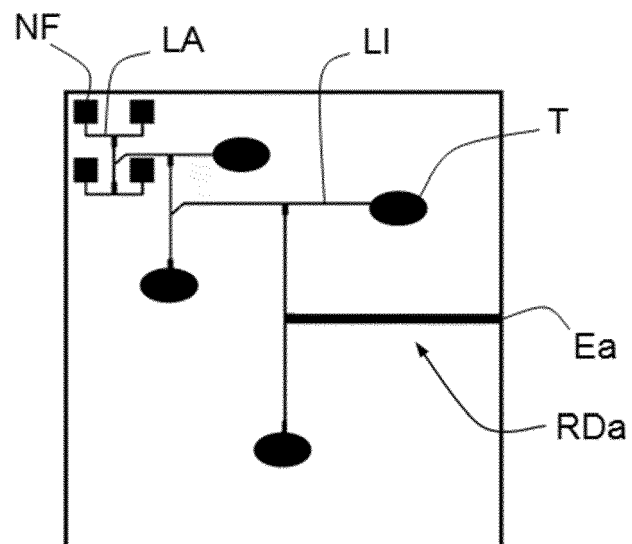


FIG. 9

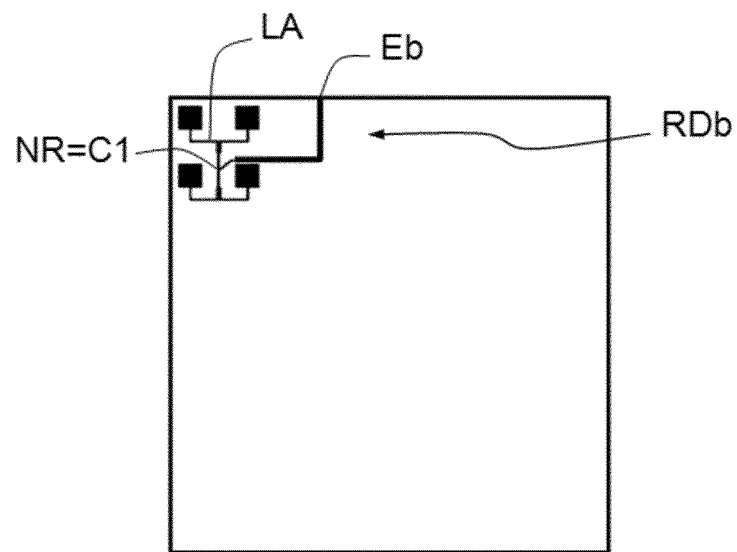


FIG. 10

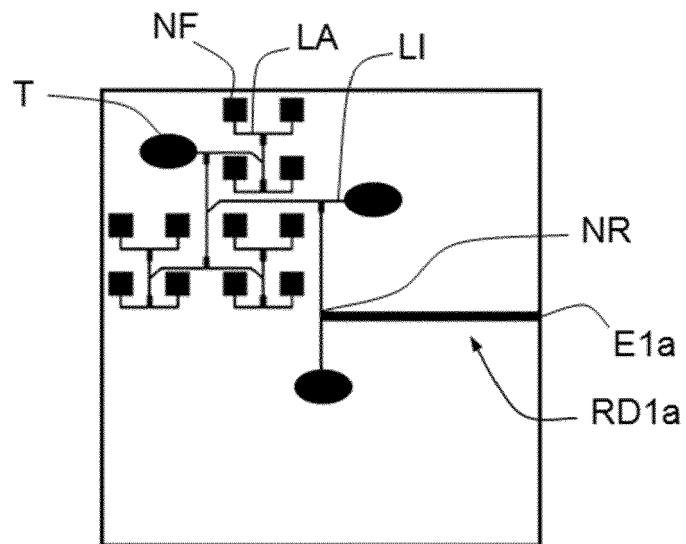


FIG. 11

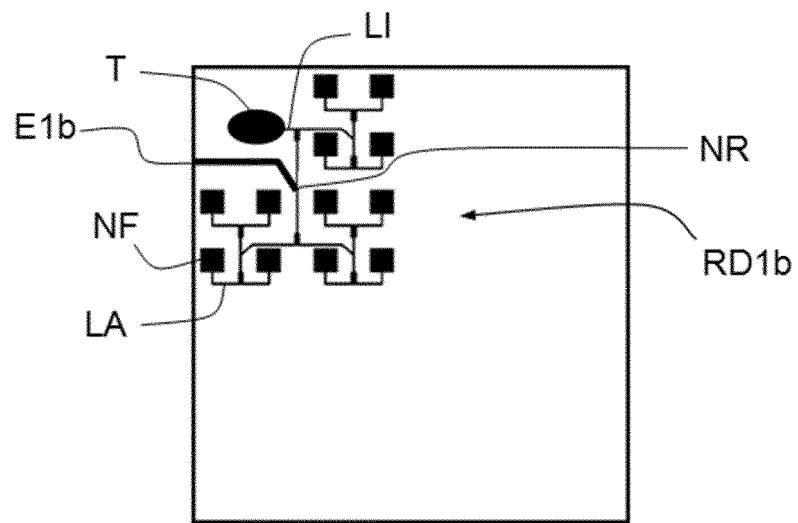


FIG. 12

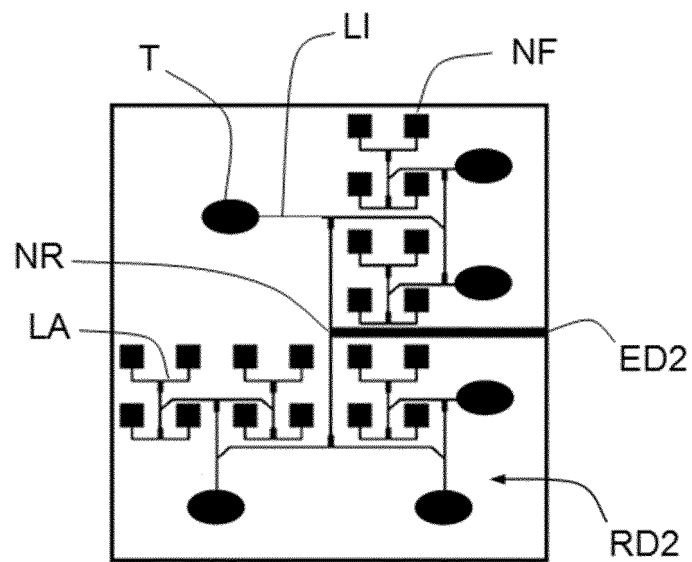


FIG. 13

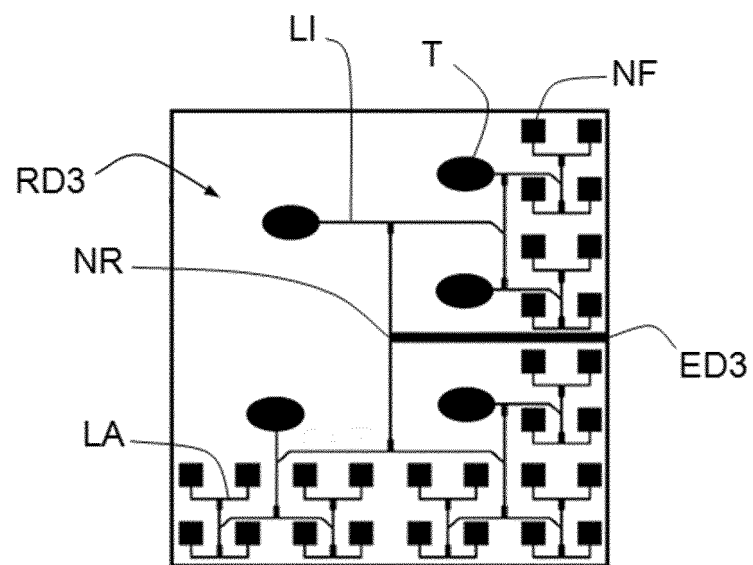


FIG.14



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 22 17 3437

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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	US 2016/197405 A1 (HIGAKI MAKOTO [JP] ET AL) 7 juillet 2016 (2016-07-07)	1, 2, 8-12	INV.
Y	* alinéas [0058] - [0061]; figure 5 *	3-7, 13	H01Q21/06
	-----		H01Q25/00
Y	WANG MENGYI ET AL: "A Ka-Band High-Gain Dual-Polarized Microstrip Antenna Array for 5G Application", 2019 INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICROWAVE AND MILLIMETER WAVE TECHNOLOGY (ICMMT), IEEE, 19 mai 2019 (2019-05-19), pages 1-3, XP033711085, DOI: 10.1109/ICMMT45702.2019.8992247 * Section II, Antenna Design; pages 1-3; figures 1, 3 *	3-7, 13	H01Q21/00

A	US 2012/188117 A1 (JEONG SEONG HEE [KR]) 26 juillet 2012 (2012-07-26) * alinéas [0027], [0033] - [0036]; figures 1-6 *	1-13	

A	US 2016/226155 A1 (WARNICK KARL F [US]) 4 août 2016 (2016-08-04) * alinéas [0038] - [0042], [0055] - [0078], [0105]; figures 1-9 *	1-13	

Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		27 septembre 2022	Georgiadis, A
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			

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

EP 22 17 3437

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.

27-09-2022

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2016197405 A1	07-07-2016	JP 2016127453 A	11-07-2016
		US 2016197405 A1	07-07-2016

US 2012188117 A1	26-07-2012	CN 102621545 A	01-08-2012
		DE 102012001069 A1	02-08-2012
		KR 20120085989 A	02-08-2012
		US 2012188117 A1	26-07-2012

US 2016226155 A1	04-08-2016	AUCUN	

EPO FORM P0460

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