

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 127 077

21 N° d'enregistrement national : 21 09668

51 Int Cl⁸ : H 01 Q 21/00 (2022.01), H 01 Q 9/04

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 15.09.21.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 17.03.23 Bulletin 23/11.

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives Etablissement public à caractère industriel et commercial — FR.

72 Inventeur(s) : JAAFAR Hussein, BORIES Serge et D'ERRICO Raffaele.

73 Titulaire(s) : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives Etablissement public à caractère industriel et commercial.

74 Mandataire(s) : Lavoix.

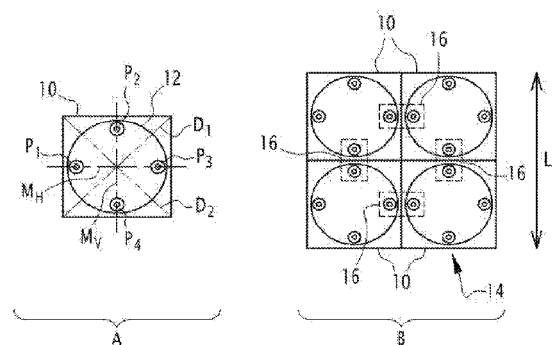
54 Réseau antenne reconfigurable.

57 Réseau antenne reconfigurable

L'invention concerne un réseau antenne (14) reconfigurable comprenant une pluralité de mailles élémentaires (10) identiques, chaque maille présentant au moins une symétrie, notamment une maille carrée, et comprenant un élément rayonnant (12) présentant : au moins quatre ports (P1, P2, P3, P4) répartis deux à deux de part et d'autre de chaque médiane (MH, MV) d'un côté de maille (10),

le réseau antenne comprenant en outre un circuit de commutation reconfigurable propre à générer trois états (50, 52, 54) de connexion distincts entre chaque port de chaque paire (16) de ports en vis-à-vis, chaque port d'une paire (16) appartenant à deux mailles élémentaires (10) distinctes, superposées verticalement ou adjacemment horizontalement, au sein dudit réseau antenne (14).

Figure pour l'abrégié : Figure 1



FR 3 127 077 - A1



Description

Titre de l'invention : Réseau antenne reconfigurable

- [0001] La présente invention concerne un réseau antenne reconfigurable comprenant une pluralité de mailles élémentaires identiques, chaque maille présentant au moins une symétrie, notamment une maille carrée, et comprenant un élément rayonnant présentant : au moins quatre ports répartis deux à deux de part et d'autre de chaque médiane d'un côté de maille.
- [0002] L'invention concerne également un radar à pénétration du sol comprenant un tel réseau antenne reconfigurable.
- [0003] L'invention se situe dans le domaine des réseaux d'antennes, notamment les réseaux d'antennes miniatures propres à répondre à de nombreuses contraintes en termes de bande passante, multi-polarisation, découplage, densité d'antennes, etc.
- [0004] Plus précisément l'invention concerne la famille des antennes mise en réseau aux propriétés électromagnétiques reconfigurables comprenant une pluralité de mailles élémentaires identiques, également appelées pixels du réseau antenne considéré, une maille élémentaire ou pixel correspondant au motif du réseau reproduit à l'identique sur l'ensemble du réseau antenne par translation selon une ou deux dimensions. Il est à noter qu'une maille est propre à être de taille inférieure à un élément antenne (i.e. antenne) du réseau en tant que tel, un élément antenne propre à assurer un rayonnement selon une ou deux polarisations distinctes étant propre à correspondre à une combinaison comprenant une à plusieurs mailles élémentaires.
- [0005] A titre d'exemple un brin de dipôle constitue la maille élémentaire d'un dipôle correspondant à un élément antenne en tant que tel.
- [0006] Plus précisément, la présente invention vise à exploiter de manière optimale la surface réseau occupée par les éléments rayonnants de chaque maille élémentaire du réseau et s'inscrit plus particulièrement dans le champ d'application des réseaux antennes à éléments rayonnants partagés pour réaliser des antennes reconfigurables en fréquence, géométrie ou encore en polarisation.
- [0007] Dans l'état de la technique, on connaît des réseaux antennes à éléments rayonnants partagés tel que notamment décrits dans les documents US 5,926,137, EP 3 105 818, et US 2012/0146869 A1. Toutefois, dans le réseau antenne du document US 5,926,137 il est à noter que la position d'excitation de chacun des éléments rayonnants est unique ce qui bloque la modularité et l'obtention de multiples configurations de rayonnement à partir d'un même réseau antenne. Le réseau antenne divulgué au sein du document EP 3 105 818 divulgue une reconfiguration possible en termes de géométrie et position en imposant un nombre prédéterminé et identique d'élément rayonnant formant chaque antenne et une polarisation commune à savoir la polarisation circulaire

obtenue grâce à un réseau d'alimentation ad hoc. Enfin le réseau antenneur divulgué au sein du document US 2012/0146869 A1 propose un réseau antenneur à double polarisation simultanée avec une excitation en mode commun spécifique et non reconfigurable de sorte qu'un tel réseau antenneur n'est pas non plus aisément reconfigurable en fréquence.

[0008] Autrement dit, les solutions actuelles de l'état de la technique n'exploitent pas de manière optimale la surface rayonnante disponible, le nombre d'éléments rayonnants constitutifs de tels réseaux existants étant fixe, ce qui limite le nombre d'antennes excitables, et ses formes géométriques.

[0009] L'invention a pour objet de remédier aux inconvénients de l'état de la technique en proposant une architecture réseau alternative de réseau antenneur pour permettre une exploitation optimale de la surface réseau disponible d'éléments rayonnants et la synthèse de réseaux d'antennes à la fois reconfigurables en fréquence afin notamment d'accéder séquentiellement à une très large bande, par exemple de plusieurs octaves, et/ou reconfigurable en polarisation afin notamment d'adresser deux polarisations orthogonales par exemple selon un axe Ox et un axe Oy respectivement.

[0010] A cet effet, l'invention propose un réseau antenneur reconfigurable comprenant une pluralité de mailles élémentaires identiques, chaque maille présentant au moins une symétrie, notamment une maille carrée, et comprenant un élément rayonnant présentant : au moins quatre ports répartis deux à deux de part et d'autre de chaque médiane d'un côté de maille, le réseau antenneur comprenant en outre un circuit de commutation reconfigurable propre à générer trois états de connexion distincts entre chaque port de chaque paire de ports en vis-à-vis, chaque port d'une paire appartenant à deux mailles élémentaires distinctes, superposées verticalement ou adjacentes horizontalement, au sein dudit réseau antenneur.

[0011] Avantagement, l'architecture de réseau antenneur proposée selon la présente invention permet, via la géométrie de la maille élémentaire combinée au circuit de commutation reconfigurable, la sélection séquentielle de l'agencement des excitations de chaque élément rayonnant unitaire localisé au sein d'une maille élémentaire dudit réseau antenneur. Autrement dit, l'architecture de réseau antenneur proposée selon la présente invention permet d'agir sur la manière de connecter les mailles élémentaires entre elles pour obtenir le rayonnement désiré en termes de polarisation, de centre de phase, de densité d'éléments rayonnant, de distance inter-élément rayonnant du réseau, de bandes de fréquence, etc.

[0012] Le réseau antenneur selon la présente invention peut également présenter une ou plusieurs des caractéristiques ci-dessous, prises indépendamment ou selon toutes les combinaisons techniquement envisageables :

[0013] - les trois états de connexion correspondent à :

- [0014] - un court-circuit ;
- [0015] - une excitation ;
- [0016] - un circuit ouvert ;
- [0017] - l'élément rayonnant au sein de la maille élémentaire correspond à un motif circulaire ;
- [0018] - au moins une antenne dudit réseau antennaire est formée d'au moins deux mailles élémentaires contiguës verticalement et/ou horizontalement, lesdites au moins deux mailles élémentaires contiguës étant connectées, via ledit circuit de commutation reconfigurable, au moyen d'une connexion en état d'excitation des ports de la paire de ports en vis-à-vis desdites au moins deux mailles élémentaires contiguës ;
- [0019] - au moins une partie dudit réseau antennaire est carrée et formée de quatre mailles élémentaires contiguës deux à deux, verticalement et horizontalement, et propre à être excitée selon quatre configurations distinctes, associées respectivement, via ledit circuit de commutation reconfigurable, à un agencement distinct d'une configuration à une autre, de connexions entre chaque port de chaque paire de ports en vis-à-vis, chaque port d'une paire appartenant à deux mailles élémentaires distinctes superposées verticalement ou horizontalement au sein de ladite partie carrée formée de quatre mailles élémentaires contiguës deux à deux, verticalement et horizontalement ;
- [0020] - deux desdites quatre configurations distinctes sont associées à une polarisation horizontale et deux autres desdites quatre configurations distinctes sont associées à une polarisation verticale ;
- [0021] - au moins une antenne dudit réseau antennaire est en forme de H et comprend deux branches verticales identiques, comprenant chacune au moins cinq mailles élémentaires verticalement contiguës, les deux branches verticales identiques étant connectées l'une à l'autre par une branche centrale horizontale comprenant au moins quatre mailles élémentaires horizontalement contiguës, chaque maille élémentaire localisée à l'une des extrémités de la branche centrale horizontale correspondant respectivement à la troisième maille élémentaire de chacune des deux branches verticales ;
- [0022] - ladite antenne en forme de H est propre à être excitée, via le circuit de commutation, au moyen d'une connexion en état d'excitation des ports de la paire de ports en vis-à-vis desdites au moins deux mailles élémentaires contiguës centrales de ladite branche centrale horizontale, les ports en vis-à-vis des autres mailles élémentaires contiguës formant ladite antenne en forme de H étant placés en état de court-circuit, les ports en vis-à-vis de mailles élémentaires dudit réseau externes à ladite antenne en forme de H étant placés en état de circuit ouvert.
- [0023] - pour chaque paire de ports en vis-à-vis, appartenant à deux mailles élémentaires distinctes superposées verticalement ou horizontalement, le circuit de commutation re-

configurable comprend un ensemble électronique comprenant au moins :

- [0024] - un balun configuré pour transformer un signal électrique d'entrée en mode différentiel ;
- [0025] - deux commutateurs unipolaires à une entrée et deux sorties SPDT,
- [0026] - un commutateur unipolaire à simple jet SPST ;
- [0027] - chaque maille élémentaire est placée dans une cavité cubique électromagnétique ;
- [0028] - chaque ensemble électronique associé à chaque paire de ports en vis-à-vis est intégré au sein d'un mur métallique de ladite cavité cubique, ledit mur séparant lesdits ports de ladite paire.
- [0029] Selon un autre aspect, l'invention concerne également un radar à pénétration du sol comprenant un tel réseau antennaire reconfigurable.
- [0030] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description qui en est donnée ci-dessous, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux figures annexées, parmi lesquelles :
- [0031] [Fig.1] la [Fig.1] illustre schématiquement une maille élémentaire et un premier exemple de réseau antennaire ou de partie de réseau antennaire selon un mode de réalisation de l'invention ;
- [0032] [Fig.2] la [Fig.2] illustre quatre configurations de rayonnement distinctes associées à la même partie de réseau antennaire ;
- [0033] [Fig.3] la [Fig.3] illustre un autre exemple de réseau antennaire selon un mode de réalisation de l'invention, le réseau comprenant trois types d'antennes sélectionnables séquentiellement ;
- [0034] [Fig.4] la [Fig.4] illustre le circuit de commutation reconfigurable du réseau antennaire proposé selon la présente invention ;
- [0035] [Fig.5] la [Fig.5] illustre l'application du réseau antennaire selon la présente invention à un radar à pénétration du sol.
- [0036] Du côté A, la [Fig.1] illustre tout d'abord schématiquement la géométrie d'une maille élémentaire 10, également appelée pixel, d'un réseau antennaire selon la présente invention.
- [0037] Plus précisément, chaque maille élémentaire 10 (i.e. pixel) est, selon le mode de réalisation de la [Fig.1], carrée et comprend un élément rayonnant 12. Selon un autre exemple non représenté, chaque maille élémentaire présente une forme distincte de la forme carrée de la [Fig.1], une telle forme distincte présentant au moins une symétrie telle qu'un losange, un octogone, un disque, etc. Toutefois, il est à noter qu'une maille élémentaire carrée est optimale en termes de remplissage de surface rayonnante.
- [0038] Selon l'illustration de la [Fig.1], l'élément rayonnant 12 au sein de la maille carrée correspond à un motif circulaire conducteur. Un tel motif circulaire présente une symétrie selon les deux diagonales D_1 et D_2 dudit carré de maille 10.

- [0039] A titre d'alternative, notamment illustré ultérieurement au sein de la [Fig.5], toute autre forme d'élément rayonnant propre à être logé au sein de la maille élémentaire carrée 10 est propre à être utilisé sous réserve que cette forme présente également une symétrie selon les deux diagonales D_1 et D_2 dudit carré de maille 10.
- [0040] Par ailleurs, selon la présente invention, l'élément rayonnant 12 présente également quatre ports (également appelés accès radiofréquence RF) P_1, P_2, P_3, P_4 répartis deux à deux de part et d'autre de chaque médiane horizontale M_H et verticale M_V du carré de maille élémentaire 10. Plus précisément, sur l'exemple de la [Fig.1], les ports P_1 et P_3 , sont localisés à chaque extrémité, respectivement gauche et droite, de la médiane horizontale M_H de l'élément rayonnant 12, et les ports P_2 et P_4 , sont localisés à chaque extrémité, respectivement supérieure et inférieure, de la médiane verticale M_V de l'élément rayonnant 12.
- [0041] Une telle géométrie de maille élémentaire A reproduite à l'identique sur l'ensemble du réseau antenne par translation selon une ou deux dimensions rend le réseau antenne selon la présente invention modulaire (i.e. reconfigurable notamment en terme de rayonnement), car elle permet une sélection séquentielle des éléments rayonnants 12 à exciter via un circuit de commutation reconfigurable (également appelé réseau d'alimentation du réseau antenne), non représenté, propre à commander la connexion individuelle de chaque port d'accès radiofréquence RF.
- [0042] En complément optionnel, non représenté, chaque maille élémentaire (10) est placée dans une cavité cubique électromagnétique, par exemple de dimension $\frac{L}{2} \times \frac{L}{2} \times \frac{L}{2}$, avec $\frac{L}{2}$ la dimension d'un des quatre côtés de maille élémentaire 10. Selon un autre exemple, la hauteur de cavité présente une hauteur de cavité distincte de la longueur et/ou de la largeur de cavité. Un tel placement en cavité électromagnétique est notamment mis en œuvre pour une application de réseau d'antenne pour radar de sol GPR (de l'anglais *Ground Penetrating Radar*) afin de focaliser le rayonnement du réseau antenne vers le sol et éviter toute interférence avec des applications RF au-dessus du sol.
- [0043] Du côté B, la figure 1 illustre également un premier exemple de réseau antenne ou de partie 14 de réseau antenne selon un mode de réalisation de l'invention, cette partie 14 correspond à un réseau antenne carré formé de quatre mailles élémentaires 10 contiguës deux à deux, verticalement et horizontalement (i.e. superposées verticalement et adjacentes horizontalement). Autrement dit, le réseau antenne correspond à 2×2 mailles élémentaires 10.
- [0044] Un tel réseau antenne 14 formé de quatre mailles élémentaires 10 présente une surface égale à $L \times L$, avec L la dimension d'un des quatre côtés du réseau antenne 14, une maille élémentaire 10 présentant une surface égale $\frac{L}{2} \times \frac{L}{2}$, avec $\frac{L}{2}$ la

dimension d'un des quatre côtés de maille élémentaire 10.

- [0045] La partie B de la [Fig.1] permet d'illustrer la manière de connecter les mailles élémentaires 10 (i.e. les pixels) entre elles via le circuit de commutation reconfigurable proposé selon la présente invention pour obtenir le rayonnement désiré en termes de polarisation, de centre de phase, etc.
- [0046] En effet, comme illustré sur la partie B de la [Fig.1], le réseau antenne ou partie de réseau antenne 14 comprend quatre paires 16 de ports en vis-à-vis, à savoir :
- [0047] - une paire horizontale supérieure 16 de ports P_3 et P_1 en vis-à-vis, le port P_3 appartenant à la maille de réseau élémentaire supérieure gauche tandis que le port P_1 appartient à la maille de réseau élémentaire supérieure droite,
- [0048] - une paire horizontale inférieure 16 de ports P_3 et P_1 en vis-à-vis, le port P_3 appartenant à la maille de réseau élémentaire inférieure gauche tandis que le port P_1 appartient à la maille de réseau élémentaire inférieure droite,
- [0049] - une paire verticale gauche 16 de ports P_4 et P_2 en vis-à-vis, le port P_4 appartenant à la maille de réseau élémentaire supérieure gauche tandis que le port P_2 appartient à la maille de réseau élémentaire inférieure gauche,
- [0050] - une paire verticale droite 16 de ports P_4 et P_2 en vis-à-vis, le port P_4 appartenant à la maille de réseau élémentaire supérieure droite tandis que le port P_2 appartient à la maille de réseau élémentaire inférieure droite.
- [0051] Selon un aspect non représenté sur la [Fig.1], le circuit de commutation reconfigurable (également appelé réseau d'alimentation du réseau antenne), non représenté, permet d'exciter individuellement chaque paire 16 de ports en vis-à-vis réseau antenne ou partie de réseau antenne 14, si bien que de manière modulaire à partir du réseau antenne ou partie de réseau antenne 14, il est possible selon la présente invention d'exciter quatre antennes distinctes comme illustré ci-après en relation avec la [Fig.2], chaque antenne comprenant deux mailles élémentaires 10 contiguës (i.e. deux pixels contigus) en étant superposées verticalement, ou adjacentes horizontalement, au sein du réseau antenne ou partie de réseau antenne 14.
- [0052] En effet, avantageusement, le circuit de commutation reconfigurable (également appelé réseau d'alimentation du réseau antenne) du réseau antenne selon la présente invention est spécifiquement propre à générer trois états de connexion distincts entre chaque port de chaque paire de ports en vis-à-vis, chaque état et circuit électronique associé étant décrit ci-après en relation avec la [Fig.3].
- [0053] Plus précisément, ces trois états de connexion correspondent à un court-circuit, une excitation et un circuit ouvert.
- [0054] La [Fig.2] illustre quatre configurations de rayonnement distinctes C_1, C_2, C_3, C_4 associées à la même partie de réseau antenne 14 illustrée précédemment côté B de la [Fig.1]. Dans chaque configuration de rayonnement distinctes C_1, C_2, C_3, C_4 , l'antenne

qui est excitée est représentée en hachuré et comprend deux pixels (i.e. deux mailles élémentaires 10) superposées verticalement, ou adjacentes horizontalement au sein du réseau antenne ou partie de réseau antenne 14 composée des quatre mailles élémentaires 10_1 , 10_2 , 10_3 et 10_4 .

- [0055] En particulier, selon la configuration de rayonnement C_1 , l'antenne 18, représentée en hachuré, est composée des mailles élémentaires 10_1 et 10_3 superposées (i.e. contiguës) verticalement au sein du réseau antenne ou partie de réseau antenne 14, et connectées, via ledit circuit de commutation reconfigurable, au moyen d'une connexion en état d'excitation 20 des ports de la paire de ports en vis-à-vis desdites au moins deux mailles élémentaires contiguës 10_1 et 10_3 , cette paire excitée 20 correspondant à la paire verticale gauche 16 de ports P_4 et P_2 en vis-à-vis, le port P_4 appartenant à la maille de réseau élémentaire supérieure gauche 10_1 tandis que le port P_2 appartient à la maille de réseau élémentaire inférieure gauche 10_3 .
- [0056] Selon cette configuration de rayonnement C_1 , les autres paires 22 de ports en vis-à-vis au sein du réseau antenne ou partie de réseau antenne 14, sont maintenues via ledit circuit de commutation reconfigurable en état de circuit ouvert.
- [0057] L'excitation activée par le circuit de commutation reconfigurable au niveau de la paire de ports en vis-à-vis 20 produit une antenne 18 polarisée verticalement selon l'axe Oy représenté via les flèches 24 sur la figure 2, l'excitation activée par le circuit de commutation reconfigurable correspondant à l'application d'une différence de potentiels entre par exemple le potentiel V_A^- associé au port P_2 de la maille 10_3 et le potentiel V_A^+ associé au port P_4 de la maille 10_1 .
- [0058] Selon la configuration de rayonnement C_2 , l'antenne 26, représentée en hachuré, est composée des mailles élémentaires 10_1 et 10_2 adjacentes horizontalement (i.e. contiguës horizontalement) au sein du réseau antenne ou partie de réseau antenne 14, et connectées, via ledit circuit de commutation reconfigurable, au moyen d'une connexion en état d'excitation 28 des ports de la paire de ports en vis-à-vis desdites au moins deux mailles élémentaires contiguës 10_1 et 10_2 , cette paire excitée 28 correspondant à la paire horizontale supérieure 16 de ports P_3 et P_1 en vis-à-vis, le port P_3 appartenant à la maille de réseau élémentaire supérieure gauche 10_1 tandis que le port P_1 appartient à la maille de réseau élémentaire, adjacente horizontalement, supérieure droite 10_2 .
- [0059] Selon cette configuration de rayonnement C_2 , les autres paires 22 de ports en vis-à-vis au sein du réseau antenne ou partie de réseau antenne 14, sont maintenues via ledit circuit de commutation reconfigurable en état de circuit ouvert.
- [0060] L'excitation activée par le circuit de commutation reconfigurable au niveau de la paire de ports en vis-à-vis 28 produit une antenne 26 polarisée horizontalement selon l'axe Ox représenté via les flèches 30 sur la figure 2, l'excitation activée par le circuit

de commutation reconfigurable correspondant à l'application d'une différence de potentiels entre par exemple le potentiel V_A^+ associé au port P_3 de la maille 10_1 et le potentiel V_A^- associé au port P_1 de la maille 10_2 .

- [0061] Selon la configuration de rayonnement C_3 , l'antenne 32, représentée en hachuré, est composée des mailles élémentaires 10_2 et 10_4 superposées (i.e. contiguës) verticalement au sein du réseau antenne ou partie de réseau antenne 14, et connectées, via ledit circuit de commutation reconfigurable, au moyen d'une connexion en état d'excitation 34 des ports de la paire de ports en vis-à-vis desdites au moins deux mailles élémentaires contiguës 10_2 et 10_4 , cette paire excitée 34 correspondant à la paire verticale droite 16 de ports P_4 et P_2 en vis-à-vis, le port P_4 appartenant à la maille de réseau élémentaire supérieure droite 10_2 tandis que le port P_2 appartient à la maille de réseau élémentaire inférieure droite 10_4 .
- [0062] Selon cette configuration de rayonnement C_3 , les autres paires 22 de ports en vis-à-vis au sein du réseau antenne ou partie de réseau antenne 14, sont maintenues via ledit circuit de commutation reconfigurable en état de circuit ouvert.
- [0063] L'excitation activée par le circuit de commutation reconfigurable au niveau de la paire de ports en vis-à-vis 34 produit une antenne 18 polarisée verticalement selon l'axe Oy représenté via les flèches 36 sur la figure 2, l'excitation activée par le circuit de commutation reconfigurable correspondant à l'application d'une différence de potentiels entre par exemple le potentiel V_A^- associé au port P_2 de la maille 10_4 et le potentiel V_A^+ associé au port P_4 de la maille 10_2 .
- [0064] Selon la configuration de rayonnement C_4 , l'antenne 38, représentée en hachuré, est composée des mailles élémentaires 10_3 et 10_4 adjacentes horizontalement (i.e. contiguës horizontalement) au sein du réseau antenne ou partie de réseau antenne 14, et connectées, via ledit circuit de commutation reconfigurable, au moyen d'une connexion en état d'excitation 40 des ports de la paire de ports en vis-à-vis desdites au moins deux mailles élémentaires contiguës 10_3 et 10_4 , cette paire excitée 40 correspondant à la paire horizontale inférieure 16 de ports P_3 et P_1 en vis-à-vis, le port P_3 appartenant à la maille de réseau élémentaire inférieure gauche 10_3 tandis que le port P_1 appartient à la maille de réseau élémentaire, adjacente horizontalement, inférieure droite 10_4 .
- [0065] Selon cette configuration de rayonnement C_2 , les autres paires 22 de ports en vis-à-vis au sein du réseau antenne ou partie de réseau antenne 14, sont maintenues via ledit circuit de commutation reconfigurable en état de circuit ouvert.
- [0066] L'excitation activée par le circuit de commutation reconfigurable au niveau de la paire de ports en vis-à-vis 40 produit une antenne 38 polarisée horizontalement selon l'axe Ox représenté via les flèches 42 sur la figure 2, l'excitation activée par le circuit

de commutation reconfigurable correspondant à l'application d'une différence de potentiels entre par exemple le potentiel V_A^+ associé au port P_3 de la maille 10_3 et le potentiel V_A^- associé au port P_1 de la maille 10_4 .

- [0067] Autrement dit, le réseau antenne ou la partie de réseau antenne 14 est propre à fournir deux antennes distinctes 26 et 40 polarisées selon l'axe Ox et deux autres antennes distinctes 18 et 32 polarisées selon l'axe Oy ce qui fournit une reconfigurabilité en polarisation (i.e. une modularité en polarisation) du réseau antenne ou partie de réseau antenne 14 grâce à une sélection séquentielle de l'agencement des excitations entre les éléments rayonnants de chaque maille élémentaire constituant ledit réseau antenne ou ladite partie de réseau antenne 14. Ainsi, le réseau antenne ou partie de réseau antenne 14 permet, à partir de quatre mailles élémentaires distinctes 10_1 , 10_2 , 10_3 et 10_4 d'obtenir sélectivement quatre antennes 18, 26, 32 et 38 distinctes, dont deux antennes 18 et 32 sont associées à une polarisation verticale, tandis que deux autres antennes 26 et 38 sont associées à une polarisation horizontale.
- [0068] Une telle modularité est avantageuse et permet une exploitation optimale de surface du réseau antenne ou ladite partie de réseau antenne 14, notamment par rapport aux solutions techniques divulguées au sein des documents US 5,926,137 et EP 3 105 818 qui requièrent notamment l'utilisation de quatre mailles élémentaires distinctes pour créer une seule antenne.
- [0069] Autrement dit, dans la structure de réseau antenne selon la présente invention, le principe de l'élément rayonnant partagé est mis en œuvre, l'élément rayonnant de la maille élémentaire 10_1 étant par exemple partagé entre l'antenne 18 et l'antenne 26 respectivement associées aux configurations C_1 et C_2 . Avec le bon choix du pixel (i.e. maille élémentaire 10) et des points d'accès (i.e. ports) excités spécifiquement et sélectivement via le circuit de commutation reconfigurable du réseau antenne selon la présente invention, il est ainsi possible d'exploiter d'une manière plus optimale la surface rayonnante.
- [0070] Une telle modularité permet de créer d'autres exemples de réseaux antennaires tel que celui illustré par la figure 3, de dimension élargie $4L \times 4L$, une maille élémentaire 10 (i.e. pixel réseau) présentant une surface égale $\frac{L}{2} \times \frac{L}{2}$, avec $\frac{L}{2}$ la dimension d'un des quatre côtés de maille élémentaire 10, et comprenant donc huit mailles élémentaires 10 selon Ox, et huit mailles élémentaires 10 selon Oy.
- [0071] Tel qu'illustré selon la [Fig.3], un tel réseau antenne est versatile en termes de configurations d'antennes possibles et comprend par exemple au moins trois types d'antennes 44, 46, 48 distincts, synthétisable simultanément ou préférentiellement, afin d'éviter l'utilisation d'un même pixel sur deux antennes différentes, ou un couplage entre antenne du fait de leur proximité, un tel couplage étant propre à

modifier les performances de chaque antenne, sélectionnables séquentiellement, via le circuit de commutation reconfigurable du réseau antennaire selon la présente invention, chaque antenne étant composée d'au moins deux pixels réseau (i.e. maille élémentaire 10), l'antenne 44 étant formée de huit pixels superposés verticalement, l'antenne 46 étant formée de deux pixels superposés verticalement, et l'antenne 48 présentant une forme en H et comprenant deux branches verticales identiques, comprenant chacune au moins cinq mailles élémentaires (i.e. pixels) verticalement contiguës, les deux branches verticales identiques étant connectées l'une à l'autre par une branche centrale horizontale comprenant au moins quatre mailles élémentaires horizontalement contiguës, chaque maille élémentaire localisée à l'une des extrémités de la branche centrale horizontale correspondant respectivement à la troisième maille élémentaire de chacune des deux branches verticales.

[0072] Il est à noter que l'exemple de la [Fig.3] vise à illustrer la possibilité selon la présente invention de réaliser une pluralité de formes et/ou de géométries d'antennes par combinaison de mailles élémentaire et adaptation réciproque du circuit de commutation ce qui correspond à une exploitation optimale des mailles élémentaires proposées. En d'autres termes, la présente invention permet la réalisation de toute forme ou géométrie d'antenne répondant à un besoin spécifique, y compris des formes/géométries distinctes de celles présentées et illustrées à titre d'exemple au sein des figures 2 et 3.

[0073] Chacune de ces antennes 44, 46, 48 sont réalisées en appliquant à chaque port de chaque paire de ports en vis-à-vis des mailles élémentaires de l'ensemble du réseau antennaire de la [Fig.3] un des trois états de connexion distincts propres à être sélectionné par le circuit de commutation reconfigurable mis en œuvre spécifiquement selon la présente invention, à savoir un état de court-circuit 50, un état d'excitation 52 ou encore un état de circuit ouvert 54.

[0074] En particulier, pour l'antenne 44, une excitation 52 est appliquée entre les accès (i.e. ports) opposés des quatrième et cinquième pixels verticaux, un court-circuit 50 est appliqué entre les autres pixels constituant l'antenne 44, tandis que tous les accès non concernés (i.e. adjacent à des pixels du réseau antennaire extérieurs à l'antenne 44) sont laissés en circuit ouvert 54. Sur la [Fig.3], pour des raisons de clarté, l'ensemble des circuits ouverts 54 ne sont pas représentés, mais selon la présente invention il est évident que les ports P_3 (tels que représentés sur la [Fig.1]) de chacun des huit pixels verticaux constituant l'antenne 44 sont en état de circuit ouvert 54 avec les ports P_1 de l'ensemble adjacent horizontalement des huit pixels verticaux suivant selon une direction horizontale Ox .

[0075] Pour l'antenne 46 composée de deux pixels, une excitation 52 est appliquée entre les accès (i.e. ports) opposés P_2 et P_4 appartenant respectivement au pixel inférieur et pixel supérieur de l'antenne 46, les autres ports étant en état de circuit ouvert 54 (non re-

présenté pour ne pas charger la figure).

- [0076] L'antenne 48 en forme de H est propre à être excitée, via le circuit de commutation reconfigurable mis en œuvre spécifiquement selon la présente invention, au moyen d'une connexion en état d'excitation 52 des ports de la paire de ports en vis-à-vis desdites au moins deux mailles élémentaires contiguës centrales de la branche centrale horizontale du H, les ports en vis-à-vis des autres mailles élémentaires contiguës formant ladite antenne 48 en forme de H étant placé en état de court-circuit 50, les ports en vis-à-vis de mailles élémentaires dudit réseau externes à ladite antenne 48 en forme de H étant tous placés en état de circuit ouvert 54 (bien que cela ne soit pas explicitement représenté sur la [Fig.3] pour ne pas surcharger la [Fig.3]).
- [0077] La [Fig.4] illustre le circuit de commutation reconfigurable du réseau antennaire proposé selon la présente invention. Un tel circuit de commutation reconfigurable permet un haut degré de reconfigurabilité et implique seulement trois états de connexion (i.e. mode) au niveau des ports (i.e. accès) de chaque maille élémentaire (i.e. pixel). Ces trois modes correspondent au court-circuit 50, à l'excitation 52 et au circuit-ouvert 54. Pour cela, un circuit de commutation est connecté entre chaque accès (i.e. port) correspondants. L'architecture du circuit de commutation présentée sur la [Fig.4] illustre que le circuit de commutation reconfigurable selon la présente invention comprend un ensemble électronique comprenant au moins :
- [0078] - un balun 58 configuré pour transformer un signal électrique d'entrée en mode différentiel ;
- [0079] - deux commutateurs unipolaires à une entrée et deux sorties SPDT 62 (de l'anglais *Single Pole doubleThrow*),
- [0080] - un commutateur unipolaire à simple jet SPST 66 (de l'anglais *Single Pole single Throw*).
- [0081] Plus précisément, sur la figure 4, un signal d'entrée 56 est transformé en mode différentiel grâce au balun 58 dont chacune des deux sorties différentielles V_C^+ et V_C^- est respectivement transmise, via une ligne de transmission 60, vers l'entrée de chaque commutateur unipolaire à une entrée et deux sorties SPDT 62.
- [0082] Chaque commutateur unipolaire à une entrée et deux sorties SPDT 62 présente deux sorties l'une reliée via une charge résistive 64, par exemple de 50 Ohm à la masse, et l'autre reliée à la fois à l'entrée du commutateur unipolaire à simple jet SPST 66, et au potentiel V_A^+ pour le commutateur unipolaire à une entrée et deux sorties SPDT 62 relié en entrée à la sortie différentielle V_C^+ , et respectivement au potentiel V_A^- pour le commutateur unipolaire à une entrée et deux sorties SPDT 62 relié en entrée à la sortie différentielle V_C^- .
- [0083] Selon la présente invention, en état de court-circuit 50, les sorties différentielles V_C^+

et V_C^- sont dirigées vers les charges résistives 64, et le commutateur unipolaire à simple jet SPST 66 est fermé.

- [0084] En état d'excitation 52, les sorties différentielles V_C^+ et V_C^- sont dirigées respectivement vers les potentiels V_A^+ et V_A^- , et le commutateur unipolaire à simple jet SPST 66 est ouvert.
- [0085] En état de circuit ouvert, les sorties différentielles V_C^+ et V_C^- sont dirigées respectivement vers les charges résistives 64, et le commutateur unipolaire à simple jet SPST 66 est ouvert.
- [0086] La [Fig.5] illustre l'environnement 68 de simulation électromagnétique de l'application du réseau antennaire selon la présente invention à un radar à pénétration du sol.
- [0087] Plus précisément, selon la figure 5, une alimentation 70 alimente un tel radar 72 à pénétration du sol GPR (de l'anglais *Ground Penetrating Radar*) propre à permettre l'étude de la composition et de la structure du sol, et surtout la détection et la localisation d'objets enfouis au sein du sol. Un tel radar étant placé à une distance 74 propre à émuler un scénario GPR, par exemple égale à 15 mm du sol 76 dont la permittivité est par exemple $\epsilon_r = 15$, et la tangente de perte $\tan \delta = 0,1$, le radar à pénétration du sol 72 étant propre à générer un champs électrique \vec{E} au sein du sol tel qu'illustré par la [Fig.5].
- [0088] Selon cet exemple l'élément rayonnant 12 de la figure 1 correspondant à un motif circulaire est remplacé par une forme alternative quasi-rectangulaire, la géométrie de pixel ayant, selon cet exemple, été optimisée pour minimiser le coefficient de réflexion S_{11} de l'antenne 80 vue de dessus représentée en hachuré et composée de deux pixels comprenant chacun un tel élément rayonnant quasi-rectangulaire représenté avec une texture pointillée au sein du pixel (i.e. maille élémentaire) de forme carrée dont le côté mesure par exemple 100mm si bien qu'un réseau antennaire 78 constitué de quatre mailles élémentaires contiguës deux à deux, de manière similaire au réseau antennaire de la [Fig.2], verticalement et horizontalement, occupe une surface plane égale à 200 mm x 200 mm.
- [0089] Selon cet exemple de la [Fig.5] dédié à l'application 68 du réseau antennaire à un radar à pénétration du sol, chaque maille élémentaire est placée avantageusement dans une cavité cubique électromagnétique, afin de focaliser le rayonnement du réseau antennaire vers le sol et éviter toute interférence avec des applications RF au-dessus du sol. Par exemple, la hauteur de cavité mesure 100 mm.
- [0090] De manière non représentée, du fait qu'au sein d'un système GPR, l'antenne doit présenter la dispersion temporelle la plus faible afin d'éviter le recouvrement entre le couplage direct entre l'antenne de transmission Tx et l'antenne de réception Rx et

également l'écho de la cible, pour réduire la dispersion temporelle, quatre charges résistives non représentées sur la [Fig.5] sont notamment ajoutées entre le pixel et les quatre coins supérieurs de la cavité l'entourant.

- [0091] Comme décrit auparavant en relation avec les figures 1 et 2, à partir d'un réseau antenne constitué de quatre mailles élémentaires contiguës deux à deux, verticalement et horizontalement selon la présente invention, il est possible de créer quatre configurations antennaire (deux polarisées horizontalement selon Ox et deux polarisées verticalement selon Oy).
- [0092] Selon cet exemple de la [Fig.5] correspondant à un aspect optionnel de la présente invention, chaque ensemble électronique du circuit de commutation reconfigurable spécifiquement proposé selon la présente invention, et associé à chaque paire de ports en vis-à-vis est intégré au sein d'un mur métallique de ladite cavité cubique, ledit mur séparant lesdits ports de ladite paire, tel qu'illustré sur la vue de côté 82 de la paroi de la [Fig.5] où le circuit 84 de commutation reconfigurable spécifiquement proposé selon la présente invention et son alimentation 86 sont intégrés. Une telle utilisation des parois de cavités permet de réaliser des lignes de transmission.
- [0093] Selon un autre aspect, non représenté sur la [Fig.5] représentant, de manière similaire à la [Fig.2], un réseau antennaire à double polarisation et comprenant quatre mailles élémentaires (2x2) permettant l'obtention de quatre configurations distinctes d'antennes à savoir deux antennes polarisées horizontalement et deux antennes polarisées verticalement, une telle application 68 du réseau antennaire à un radar à pénétration du sol est propre à nécessiter un système multi-antennaire ultra large bande ULB permise par un réseau antennaire selon la présente invention comprenant d'autres configurations d'antenne (en polarisation et/ou en géométrie). Par exemple, un autre réseau antennaire selon la présente invention comprenant trois géométries d'antennes distinctes non représentées, à savoir verticale à deux pixels, verticale à quatre pixels, et en H avec deux branches horizontales identiques, comprenant chacune au moins cinq mailles élémentaires (i.e. pixels) horizontalement contiguës, les deux branches horizontales identiques étant connectées l'une à l'autre par une branche centrale verticale comprenant au moins quatre mailles élémentaires verticalement contiguës, est propre à être utilisé à titre d'alternative pour répondre à d'autres besoins. Ces trois géométries sont sélectionnables séquentiellement via le circuit de commutation reconfigurable du réseau antennaire selon la présente invention. Ces trois géométries d'antennes distinctes sont en effet propres à présenter des comportements ULB utiles pour l'application visée par la [Fig.5] tout en présentant des efficacités distinctes, l'antenne verticale à quatre pixels et l'antenne en forme de H précitée à deux branches horizontales, de par leur taille électrique supérieure, étant notamment plus efficaces dans les bandes de fréquence basse permettant de détecter des cibles profondes pour une ap-

plication GPR et présentant une amélioration de niveau de gain par rapport à une antenne verticale à deux pixels.

- [0094] Il est à noter que le réseau antennaire selon la présente invention présente une architecture propre à être reconfigurée à souhait, en fonction de l'application, pour obtenir une résolution ou une direction de détection souhaitée. En particulier, selon les besoins, la forme en H précitée n'est pas optimale et est indiquée précédemment juste à titre d'exemple, l'architecture du réseau antennaire selon la présente invention permettant d'exploiter d'autres configurations d'antennes présentant par exemple des performances plus élevées que la forme en H précitée sur des bandes basses fréquence prédéterminées.
- [0095] Il est à noter que la taille de l'antenne (formée d'une pluralité de mailles élémentaire selon la configuration activée) est un élément clé qui définit sa fréquence d'opération, ce qui est un paramètre important pour l'application GPR. Avec la solution proposée selon la présente invention, il est possible de réduire ou augmenter la fréquence d'opération de l'antenne en changeant le numéro de maille(s) qui forme(nt) cette antenne
- [0096] Aussi, la reconfiguration géométrique obtenue grâce à la présente invention, et telle qu'illustrée précédemment également par la [Fig.3], est propre à contribuer de manière significative à l'amélioration des performances d'un système GPR, cette reconfiguration, apportant un degré de liberté pour synthétiser les performances de l'antenne en accord avec les besoins instantanés du système, et permettant de créer encore plus d'antennes dont la géométrie n'est pas limitée à un nombre spécifique des pixels.
- [0097] L'homme du métier comprendra que l'invention ne se limite pas aux modes de réalisation décrits, ni aux exemples particuliers de la description, les modes de réalisation et les variantes mentionnées ci-dessus étant propres à être combinés entre eux pour générer de nouveaux modes de réalisation de l'invention.
- [0098] La présente invention permet ainsi de reconfigurer la géométrie antennaire en fonction du besoin système correspondant par exemple au besoin et/ou de déplacer sa fréquence d'opération d'élargir la taille électrique (hauteur et/ou largeur) d'antenne pour augmenter son efficacité de rayonnement et son gain, au besoin de déplacer le centre de phase de l'antenne excitée sur la surface du réseau, au besoin de démultiplier le nombre de sources pour densifier (diminuer l'espace inter éléments (i.e. la taille de maille élémentaire afin de diminuer l'espace entre les antennes, la réduction de la taille de maille élémentaire impliquant une diminution de l'espace inter éléments)) dans les bandes de fréquence hautes, au besoin de changer la polarisation des mailles élémentaires pour exploiter les propriétés de polarisation, au besoin de charger des extrémités d'antennes pour atténuer les phénomènes de réflexions internes en bout de ligne propres à déformer les signaux émis (de l'anglais *ringing*) en temporel (utile en

application de radar de sol) mais également pour atténuer le couplage inter-éléments (i.e. entre mailles élémentaires), tout en restant reconfigurable à la demande du système de télécommunication ou radar propre à intégrer le réseau antenne selon la présente invention.

- [0099] En effet, comme vu précédemment, à partir d'un pixel (i.e. maille élémentaire) unitaire à quatre accès (i.e. ports), une partie de réseau antenne comportant, selon un premier exemple, 2x2 pixels peut être notamment conçue selon la présente invention, à partir de laquelle il est possible de configurer l'excitation des accès (i.e. ports) voisins (i.e. en vis-à-vis), grâce à l'intégration d'un circuit de commutation RF (autrement appelé réseau d'alimentations) pour créer quatre antennes polarisées soit selon O_x ou bien selon O_y .
- [0100] Un tel circuit de commutation RF permet d'imposer un mode d'excitation spécifique à chaque accès (i.e. port) pour exciter des antennes de plus grande taille électrique et permet ainsi d'utiliser de manière optimale la surface occupée par des éléments rayonnants, notamment pour une application à un réseau d'antenne pour radar de sol (GPR), ou à un réseau d'antenne pour la surveillance de spectre et la goniométrie, ou encore pour toute application de télécommunication ou radar où le spectre est balayé par sous-bandes successives ou bien à l'aide de polarisations multiples successivement.

Revendications

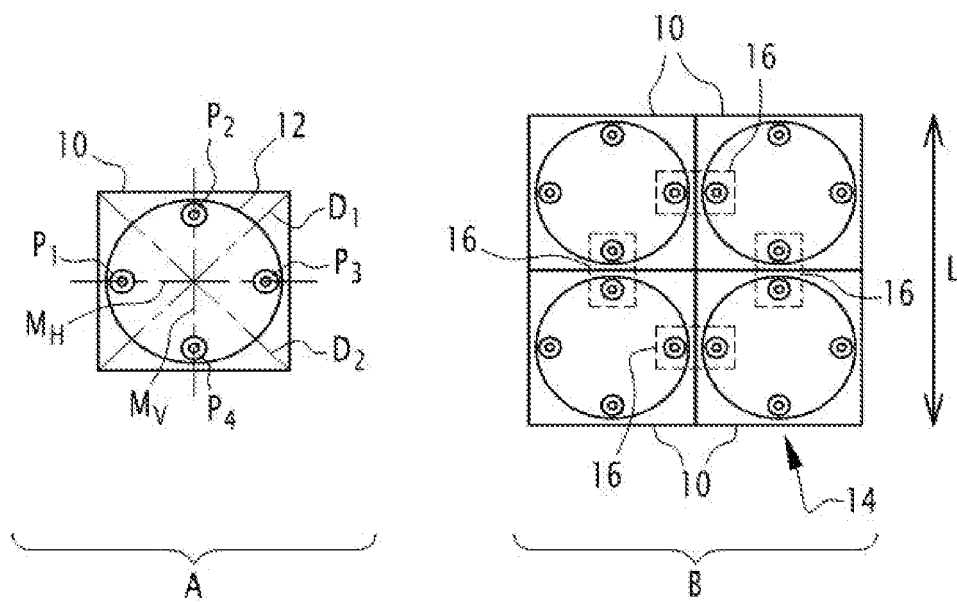
- [Revendication 1] Réseau antenne (14) reconfigurable comprenant une pluralité de mailles élémentaires (10) identiques, chaque maille présentant au moins une symétrie, notamment une maille carrée, et comprenant un élément rayonnant (12) présentant : au moins quatre ports (P_1, P_2, P_3, P_4) répartis deux à deux de part et d'autre de chaque médiane (M_H, M_V) d'un côté de maille (10),
le réseau antenne étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre un circuit de commutation reconfigurable propre à générer trois états (50, 52, 54) de connexion distincts entre chaque port de chaque paire (16) de ports en vis-à-vis, chaque port d'une paire (16) appartenant à deux mailles élémentaires (10) distinctes, superposées verticalement ou adjacentes horizontalement, au sein dudit réseau antenne (14).
- [Revendication 2] Réseau antenne selon la revendication 1, dans lequel les trois états de connexion correspondent à :
- un court-circuit (50) ;
 - une excitation (52)
 - un circuit ouvert (54).
- [Revendication 3] Réseau antenne selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'élément rayonnant (12) au sein de la maille élémentaire (10) correspond à un motif circulaire.
- [Revendication 4] Réseau antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel au moins une antenne (18, 26, 32, 38, 46) dudit réseau antenne est formée d'au moins deux mailles élémentaires (10) contiguës verticalement et/ou horizontalement, lesdites au moins deux mailles élémentaires contiguës étant connectées, via ledit circuit de commutation reconfigurable, au moyen d'une connexion en état d'excitation (52) des ports de la paire de ports en vis-à-vis desdites au moins deux mailles élémentaires contiguës.
- [Revendication 5] Réseau antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel au moins une partie (B) dudit réseau antenne est carrée et formée de quatre mailles élémentaires contiguës deux à deux, verticalement et horizontalement, et propre à être excitée selon quatre configurations distinctes (C_1, C_2, C_3, C_4), associées respectivement, via ledit circuit de commutation reconfigurable, à un agencement distinct

d'une configuration à une autre, de connexions entre chaque port de chaque paire (16) de ports en vis-à-vis, chaque port d'une paire (16) appartenant à deux mailles élémentaires distinctes superposées verticalement ou horizontalement au sein de ladite partie carrée formée de quatre mailles élémentaires (10) contiguës deux à deux, verticalement et horizontalement.

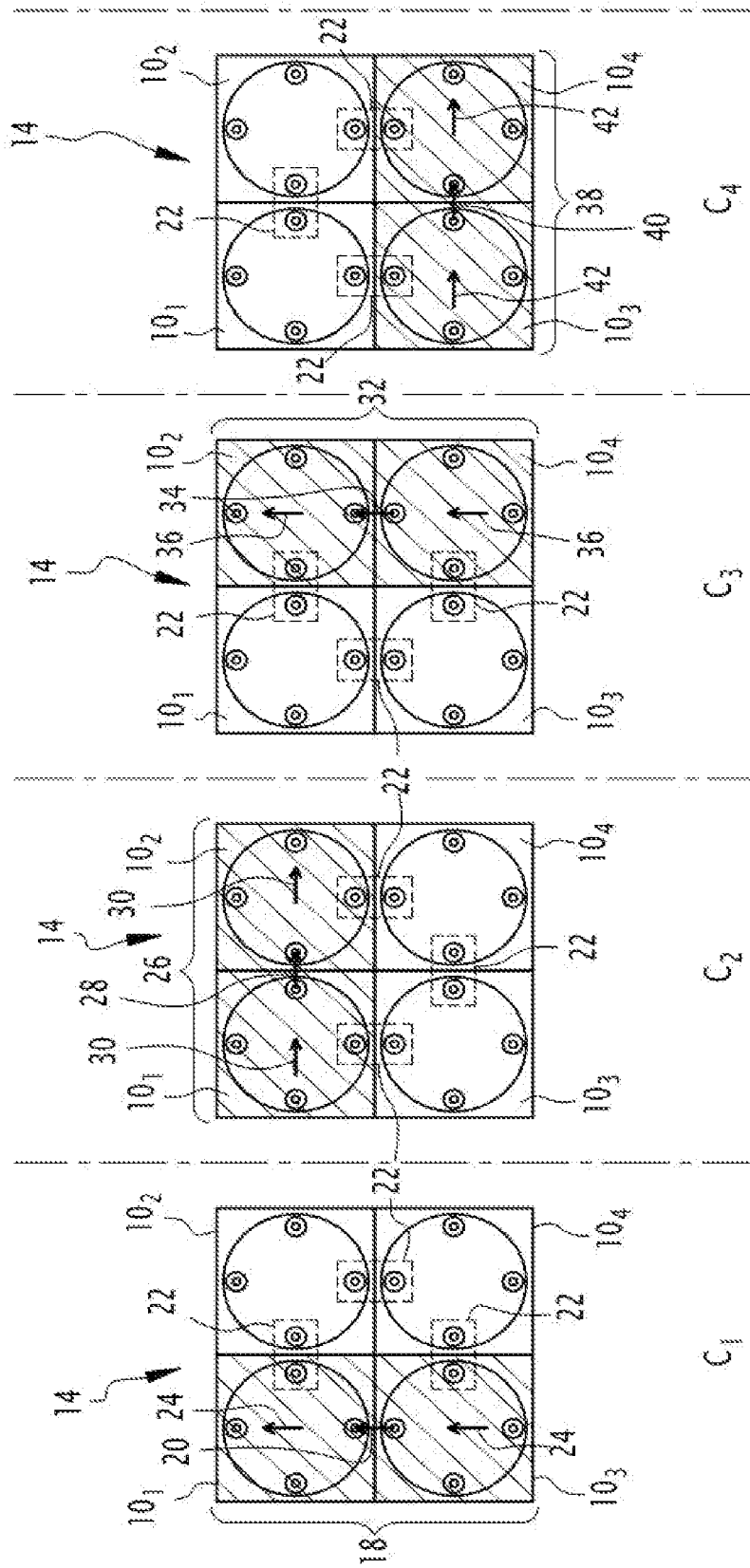
- [Revendication 6] Réseau antenne selon la revendication 5, dans lequel deux (C_1, C_3) desdites quatre configurations distinctes (C_1, C_2, C_3, C_4) sont associées à une polarisation horizontale et deux (C_2, C_4) autres desdites quatre configurations distinctes sont associées à une polarisation verticale.
- [Revendication 7] Réseau antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel au moins une antenne (48) dudit réseau antenne est en forme de H et comprend deux branches verticales identiques, comprenant chacune au moins cinq mailles élémentaires verticalement contiguës, les deux branches verticales identiques étant connectées l'une à l'autre par une branche centrale horizontale comprenant au moins quatre mailles élémentaires horizontalement contiguës, chaque maille élémentaire localisée à l'une des extrémités de la branche centrale horizontale correspondant respectivement à la troisième maille élémentaire de chacune des deux branches verticales.
- [Revendication 8] Réseau antenne selon la revendication 7, dans lequel ladite antenne en forme de H est propre à être excitée, via le circuit de commutation, au moyen d'une connexion en état d'excitation (52) des ports de la paire de ports en vis-à-vis desdites au moins deux mailles élémentaires contiguës centrales de ladite branche centrale horizontale, les ports en vis-à-vis des autres mailles élémentaires contiguës formant ladite antenne en forme de H étant placés en état de court-circuit (50), les ports en vis-à-vis de mailles élémentaires dudit réseau externes à ladite antenne (48) en forme de H étant placés en état de circuit ouvert (54).
- [Revendication 9] Réseau antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel, pour chaque paire de ports en vis-à-vis, appartenant à deux mailles élémentaires distinctes superposées verticalement ou horizontalement, le circuit de commutation reconfigurable comprend un ensemble électronique comprenant au moins :
- un balun (58) configuré pour transformer un signal électrique d'entrée en mode différentiel ;
 - deux commutateurs unipolaires à une entrée et deux sorties SPDT (62),
 - un commutateur unipolaire à simple jet SPST (66).

- [Revendication 10] Réseau antenneur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque maille élémentaire (10) est placée dans une cavité cubique électromagnétique.
- [Revendication 11] Réseau antenneur selon les revendications 9 et 10, dans lequel chaque ensemble électronique associé à chaque paire de ports en vis-à-vis est intégré au sein d'un mur métallique de ladite cavité cubique, ledit mur séparant lesdits ports de ladite paire.
- [Revendication 12] Radar à pénétration du sol comprenant un réseau antenneur reconfigurable selon la revendication 10 ou 11.

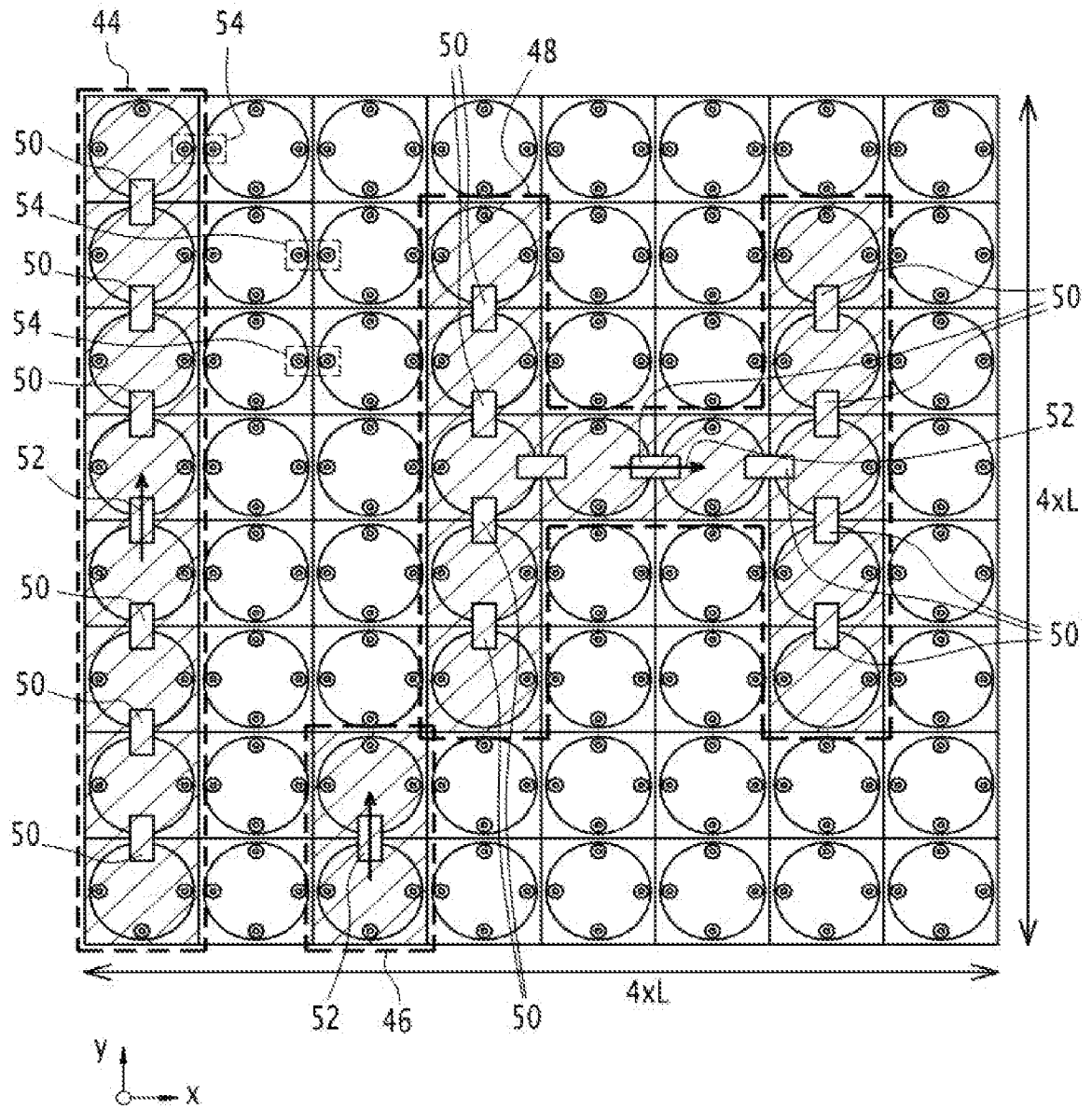
[Fig. 1]



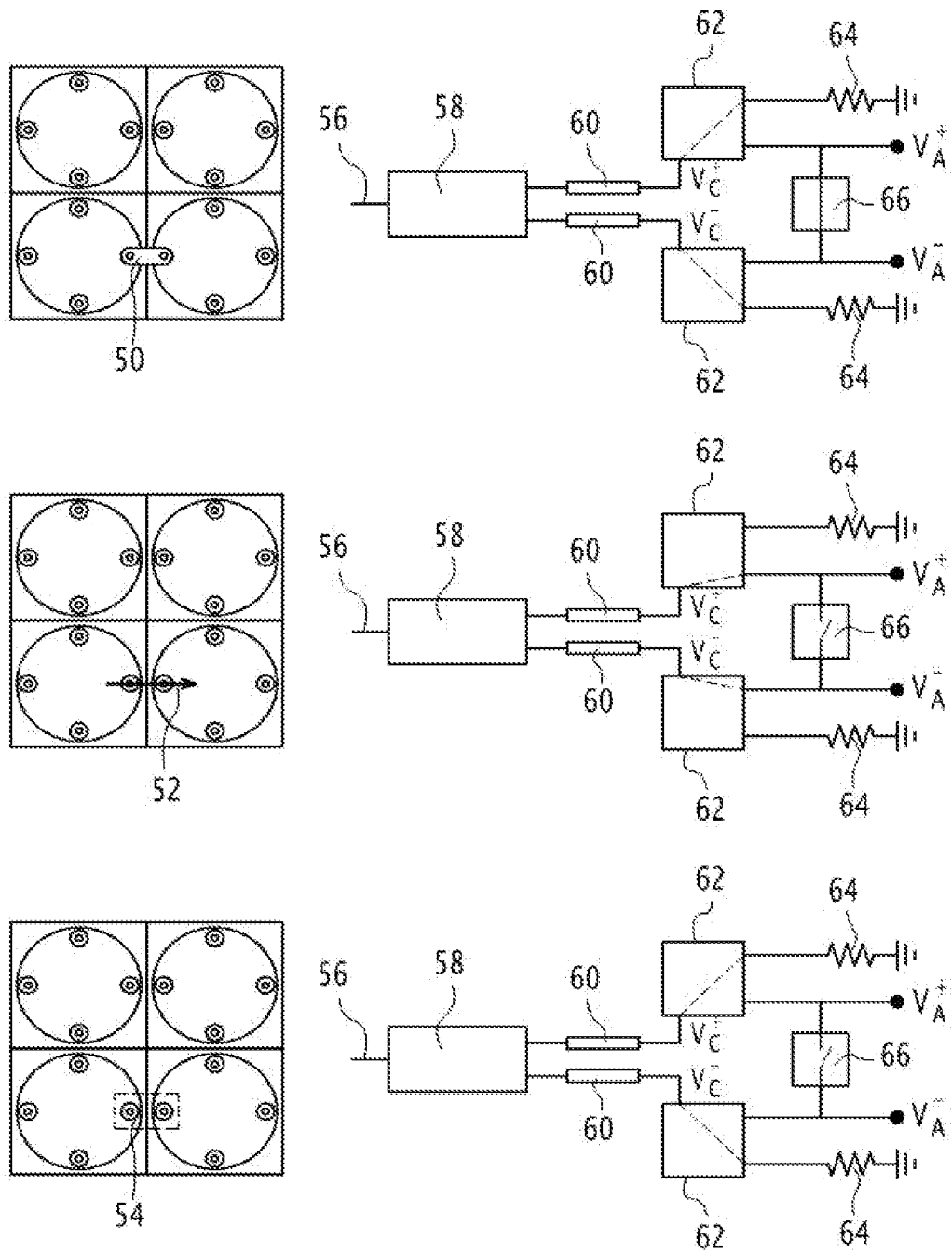
[Fig. 2]



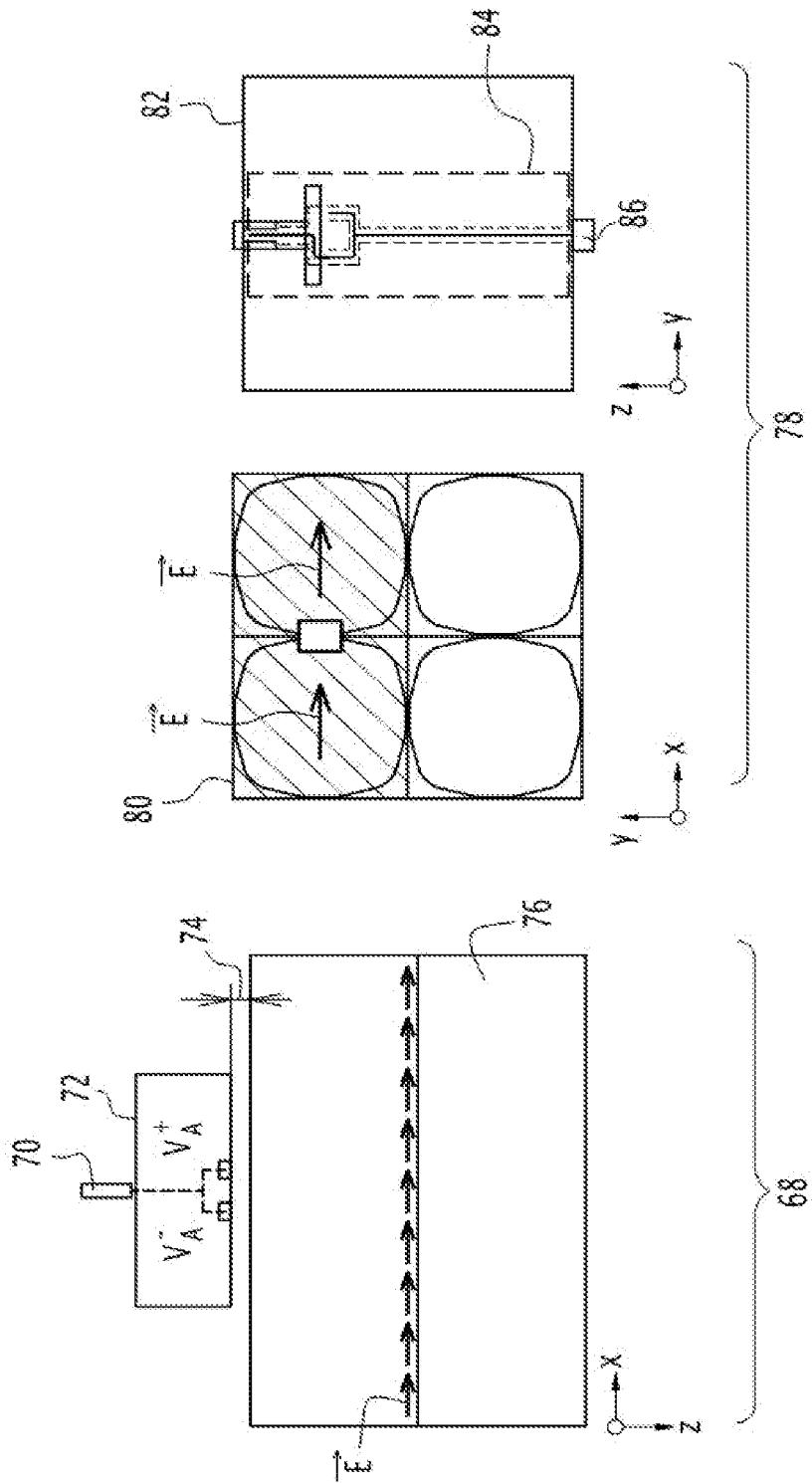
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 899838
FR 2109668

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	SONG SICHAO ET AL: "An Efficient Approach for Optimizing Frequency Reconfigurable Pixel Antennas Using Genetic Algorithms", IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, IEEE, USA, vol. 62, no. 2, 3 décembre 2013 (2013-12-03), pages 609-620, XP011538799, ISSN: 0018-926X, DOI: 10.1109/TAP.2013.2293509 [extrait le 2014-01-30]	1, 3, 5, 6, 10	H01Q21/00 H01Q9/04
A	* le document en entier *	2, 4, 7-9, 11, 12	
A	----- ALI MOHAMMOD ET AL: "A MEMS reconfigurable pixel microstrip patch antenna for conformal load bearing antenna structures (CLAS) concept", 2013 IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY INTERNATIONAL SYMPOSIUM (APSURSI), IEEE, 6 juillet 2014 (2014-07-06), pages 1093-1094, XP032645792, ISSN: 1522-3965, DOI: 10.1109/APS.2014.6904873 ISBN: 978-1-4799-3538-3 [extrait le 2014-09-18] * le document en entier *	1-12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H01Q
A	----- US 2007/291831 A1 (LEE CHANG-SEOK [KR] ET AL) 20 décembre 2007 (2007-12-20) * alinéas [0074], [0076] * * figure 6 *	1-12	
A	----- US 2020/274242 A1 (WANG HUA [US] ET AL) 27 août 2020 (2020-08-27) * alinéas [0029], [0035], [0053] - [0056] * * figures 2, 6 *	1-12	
	----- -/--		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
22 avril 2022		Taddei, Ruggero	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2109668 FA 899838**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **22-04-2022**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2007291831 A1	20-12-2007	CN 101094009 A	26-12-2007
		EP 1870960 A2	26-12-2007
		KR 100735319 B1	04-07-2007
		US 2007291831 A1	20-12-2007

US 2020274242 A1	27-08-2020	EP 3400630 A1	14-11-2018
		US 2020274242 A1	27-08-2020
		WO 2017120528 A1	13-07-2017
