

(19)



(11)

**EP 4 535 565 A1**

(12)

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**09.04.2025 Bulletin 2025/15**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):  
**H01Q 3/46<sup>(2006.01)</sup> H01Q 21/00<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Numéro de dépôt: **24204538.3**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):  
**H01Q 3/46; H01Q 21/0018**

(22) Date de dépôt: **03.10.2024**

(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 ME MK MT NL  
 NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
 Etats d'extension désignés:  
**BA**  
 Etats de validation désignés:  
**GE KH MA MD TN**

(30) Priorité: **05.10.2023 FR 2310682**

(71) Demandeur: **Commissariat à l'Energie Atomique  
 et aux Energies  
 Alternatives  
 75015 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:  
 • **CLEMENTE, Antonio  
 38054 Grenoble Cedex 09 (FR)**  
 • **GONZALEZ JIMENEZ, José Luis  
 38054 Grenoble Cedex 09 (FR)**

(74) Mandataire: **Cabinet Beaumont  
 4, Place Robert Schuman  
 B.P. 1529  
 38025 Grenoble Cedex 1 (FR)**

(54) **ANTENNE RECONFIGURABLE**

(57) La présente description concerne une antenne (100) comprenant :

- un réseau amplificateur (101) comprenant une pluralité de premières cellules élémentaires (103) ; et
- un réseau transmetteur (105) comprenant une pluralité de deuxièmes cellules élémentaires (107),

dans laquelle le réseau amplificateur (101) est configuré pour irradier, ou pour être irradié par, le réseau transmetteur (105), le réseau amplificateur (101) étant séparé du réseau transmetteur (105) par une distance égale, à 20 % près, à une longueur d'onde centrale d'émission et/ou de réception de l'antenne (100).

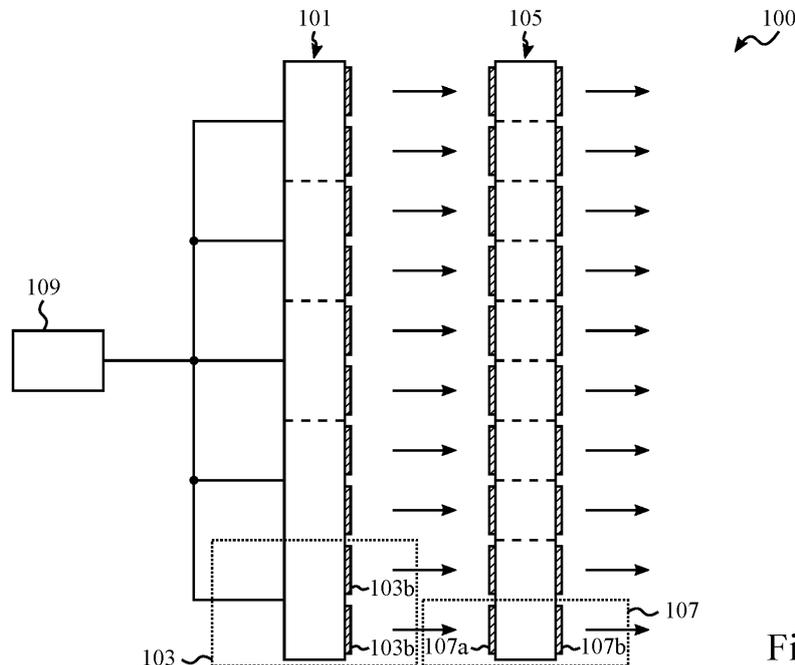


Fig. 1

**EP 4 535 565 A1**

## Description

### Domaine technique

**[0001]** La présente description concerne de façon générale les dispositifs électroniques, plus particulièrement les antennes reconfigurables.

### Technique antérieure

**[0002]** Par rapport aux antennes traditionnelles, les antennes reconfigurables peuvent présenter un gain amélioré et donnent accès à des fonctionnalités supplémentaires, par exemple de dépointage électronique ou d'émission de faisceaux multiples, pincés ou formés. Cela profite au développement de nombreuses applications, telles que des systèmes radar, des systèmes de détection et des systèmes de communication depuis la bande C (de 4 à 8 GHz environ) jusqu'à la bande D (de 110 à 170 GHz environ). L'utilisation d'antennes reconfigurables est par ailleurs envisagée dans une bande de fréquences située autour de 300 GHz.

**[0003]** De multiples champs d'application sont susceptibles de tirer profit d'antennes reconfigurables, parmi lesquels :

- des radars automobiles d'assistance et/ou d'aide à la conduite, par exemple à des fins de sécurité active ;
- des systèmes d'imagerie et de surveillance à très haute résolution ;
- des systèmes de communication à très haut débit par ondes millimétriques, par exemple pour des communications inter ou intra-bâtiment en environnement domotique ou immotique ;
- des antennes pour des applications spatiales, par exemple des liaisons de télémétrie sol-satellite LEO (de l'anglais « Low Earth Orbit » - orbite terrestre basse) en bande Ka, des antennes à réflecteur dédiées à des communications par satellite avec source primaire reconfigurable, des systèmes de télécommunication par satellite en mouvement (« Satellite On The Move » - SOTM, en anglais), des dispositifs ou systèmes d'accès à Internet, des dispositifs ou systèmes de diffusion télévisuelle, etc. ; et
- des systèmes de communication point-à-point et point-à-multipoint tels que des réseaux métropolitains, des systèmes « fronthaul » et « backhaul » pour des réseaux cellulaires, des accès radio pour des réseaux mobiles 5G, etc.

**[0004]** Parmi les antennes à gain élevé existantes, des antennes à réflecteur ont en particulier été proposées. Ces antennes sont toutefois complexes et onéreuses à réaliser car les réflecteurs requièrent, notamment pour des applications à haute fréquence, une courbure très précise. De plus, des moteurs sont utilisés pour diriger le

faisceau dans la direction souhaitée. Des antennes à réseau phasé ont été proposées pour permettre un contrôle électronique du faisceau. Toutefois, ces antennes s'avèrent coûteuses à développer et à produire, en particulier du fait qu'elles comprennent des modules d'amplification visant à compenser des pertes induites par des circuits de déphasage.

**[0005]** D'autres antennes reconfigurables à dépointage et/ou à formation de faisceau ont par ailleurs été proposées. Parmi ces antennes, il existe en particulier des antennes à réseau transmetteur (« transmitarray antenna », en anglais), aussi appelées antennes lentilles discrètes. Les antennes à réseau transmetteur existantes comprennent généralement un panneau rayonnant comportant des cellules élémentaires, ou cellules transmettrices, reconfigurables. Chaque cellule élémentaire du panneau rayonnant comprend un premier élément d'antenne irradié par un champ électromagnétique émis par une ou plusieurs sources focales, un deuxième élément d'antenne transmettant un signal modifié vers l'extérieur de l'antenne, et un élément de couplage entre les premier et deuxième éléments d'antenne. Les cellules élémentaires sont destinées à contrôler une distribution de champ électromagnétique au voisinage d'une ouverture rayonnante de l'antenne, permettant ainsi de produire un ou plusieurs faisceaux dans une direction donnée ou de synthétiser un faisceau avec un gabarit défini. Dans un cas idéal, chaque cellule élémentaire est capable de compenser chaque différence de trajet entre la ou les sources focales et l'ouverture rayonnante. En pratique, dans un souci de simplification de l'antenne, les cellules élémentaires ne peuvent compenser qu'un nombre limité d'états de phase, par exemple  $2^N$  états de phase, avec N un entier positif, dans un cas d'une compensation à quantification de phase à N bits. Un même réseau transmetteur peut alterner entre des phases d'émission et de réception, à condition d'être dépourvu d'éléments non réciproques tels que des amplificateurs ou des atténuateurs. Dans le cas contraire, le réseau transmetteur ne peut fonctionner qu'en émission ou qu'en réception.

**[0006]** Les antennes à réseau transmetteur souffrent toutefois de divers inconvénients. En particulier, les antennes à réseau transmetteur existantes présentent une épaisseur relativement importante, imposée par un besoin d'éloignement de la ou des sources focales par rapport au réseau transmetteur.

### Résumé de l'invention

**[0007]** Il serait souhaitable de pallier tout ou partie des inconvénients des antennes reconfigurables existantes. Il existe plus particulièrement un besoin de disposer d'antennes reconfigurables présentant des performances améliorées, une consommation énergétique réduite et un encombrement moindre par rapport aux antennes reconfigurables existantes, afin par exemple de répondre aux besoins d'applications telles que les satellites de

communication (SATCOM).

**[0008]** Pour cela, un mode de réalisation prévoit une antenne comprenant :

- un réseau amplificateur comprenant une pluralité de premières cellules élémentaires ; et
- un réseau transmetteur comprenant une pluralité de deuxième cellules élémentaires,

dans laquelle le réseau amplificateur est configuré pour irradier, ou pour être irradié par, le réseau transmetteur, le réseau amplificateur étant séparé du réseau transmetteur par une distance égale, à 20 % près, à une longueur d'onde centrale d'émission et/ou de réception de l'antenne.

**[0009]** Selon un mode de réalisation, la distance séparant le réseau amplificateur du réseau transmetteur est égale, à 10 % près, à la longueur d'onde centrale d'émission et/ou de réception de l'antenne.

**[0010]** Selon un mode de réalisation, chaque première cellule élémentaire comprend un premier élément d'antenne situé en regard du réseau transmetteur.

**[0011]** Selon un mode de réalisation, chaque première cellule élémentaire comprend en outre au moins un amplificateur connecté au premier élément d'antenne.

**[0012]** Selon un mode de réalisation, chaque première cellule élémentaire comprend :

- un premier amplificateur, de préférence un amplificateur de puissance, destiné à amplifier un signal émis par l'antenne ;
- un deuxième amplificateur, de préférence un amplificateur faible bruit, destiné à amplifier un signal reçu par l'antenne ; et
- un commutateur configuré pour activer le premier ou le deuxième amplificateur en fonction d'un signal de commande.

**[0013]** Selon un mode de réalisation, chaque première cellule élémentaire est connectée à un circuit d'émission/réception de signaux radiofréquence.

**[0014]** Selon un mode de réalisation, l'antenne comprend en outre au moins une source configurée pour irradier, ou pour être irradiée par, le réseau amplificateur.

**[0015]** Selon un mode de réalisation, ladite au moins une source est connectée à un circuit d'émission/réception de signaux radiofréquence.

**[0016]** Selon un mode de réalisation, chaque première cellule comprend en outre un deuxième élément d'antenne situé en regard de ladite au moins une source.

**[0017]** Selon un mode de réalisation, ladite au moins une source est une unique antenne cornet.

**[0018]** Selon un mode de réalisation, l'antenne comprend moins de premières cellules élémentaires que de deuxième cellules élémentaires, de préférence quatre fois moins de premières cellules élémentaires que de deuxième cellules élémentaires.

**[0019]** Selon un mode de réalisation, chaque deu-

xième cellule élémentaire comprend des troisième et quatrième éléments d'antenne reliés par un circuit de déphasage.

**[0020]** Selon un mode de réalisation, le réseau amplificateur est dépourvu de circuits de déphasage.

#### Brève description des dessins

**[0021]** Ces caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres, seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

15 la figure 1 est une vue de côté, schématique et partielle, d'une antenne reconfigurable selon un mode de réalisation ;

20 la figure 2 est une vue de détail d'une partie de l'antenne de la figure 1 ;

25 la figure 3 est une vue de dessus, schématique et partielle, de l'antenne de la figure 1 selon un mode de réalisation ;

30 la figure 4 est une vue de côté, schématique et partielle, d'une antenne reconfigurable selon un mode de réalisation ; et

la figure 5 est une vue de détail d'une partie de l'antenne de la figure 4.

#### Description des modes de réalisation

35 **[0022]** De mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références dans les différentes figures. En particulier, les éléments structurels et/ou fonctionnels communs aux différents modes de réalisation peuvent présenter les mêmes références et peuvent disposer de propriétés structurelles, dimensionnelles et matérielles identiques.

40 **[0023]** Par souci de clarté, seuls les étapes et éléments utiles à la compréhension des modes de réalisation décrits ont été représentés et sont détaillés. En particulier, les procédés de fabrication des réseaux transmetteurs décrits ne seront pas détaillés, la réalisation des structures décrites étant à la portée de la personne du métier à partir des indications de la présente description, par exemple en mettant en oeuvre des techniques usuelles de fabrication de circuits imprimés.

45 **[0024]** Sauf précision contraire, lorsque l'on fait référence à deux éléments connectés entre eux, cela signifie directement connectés sans éléments intermédiaires autres que des conducteurs, et lorsque l'on fait référence à deux éléments reliés (en anglais « coupled ») entre eux, cela signifie que ces deux éléments peuvent être connectés ou être reliés par l'intermédiaire d'un ou plusieurs autres éléments.

**[0025]** Dans la description qui suit, lorsque l'on fait référence à des qualificatifs de position absolue, tels que les termes « avant », « arrière », « haut », « bas », « gauche », « droite », etc., ou relative, tels que les termes « dessus », « dessous », « supérieur », « inférieur », etc., ou à des qualificatifs d'orientation, tels que les termes « horizontal », « vertical », etc., il est fait référence, sauf précision contraire, à l'orientation des figures.

**[0026]** Sauf précision contraire, les expressions « environ », « approximativement », « sensiblement », et « de l'ordre de » signifient à 10 % près, de préférence à 5 % près.

**[0027]** Dans la description qui suit, les qualificatifs « isolant » et « conducteur » signifient respectivement, sauf précision contraire, électriquement isolant et électriquement conducteur.

**[0028]** Dans la description qui suit, l'expression « longueur d'onde centrale » d'émission, ou de réception, d'une antenne désigne une longueur d'onde correspondant à une fréquence de fonctionnement de l'antenne, c'est-à-dire une fréquence majoritairement utilisée pour communiquer au moyen de l'antenne. La longueur d'onde centrale correspond par exemple sensiblement à la fréquence pour laquelle le signal émis ou reçu par l'antenne présente une intensité maximale.

**[0029]** La figure 1 est une vue de côté, schématique et partielle, d'une antenne reconfigurable 100 selon un mode de réalisation.

**[0030]** Selon ce mode de réalisation, l'antenne reconfigurable 100 comprend un réseau amplificateur 101 comportant une pluralité de cellules élémentaires 103, et un réseau transmetteur 105 comportant une pluralité de cellules élémentaires 107. Selon un mode de réalisation, le réseau amplificateur est configuré pour irradier ou pour être irradié par le réseau transmetteur 105. Le réseau amplificateur 101 est positionné dans une région de champ proche du réseau transmetteur 105.

**[0031]** Les cellules élémentaires 103 du réseau amplificateur 101 sont par exemple disposées en matrice selon des lignes et des colonnes. Par ailleurs, les cellules élémentaires 103 sont par exemple sensiblement situées dans un même plan, le réseau amplificateur 101 étant dans ce cas de type planaire. Dans l'exemple illustré, chaque cellule élémentaire 103 comprend plusieurs éléments d'antenne 103b, par exemple quatre éléments d'antenne 103b (seuls deux éléments d'antenne 103b de chaque cellule élémentaire 103 sont visibles en figure 1), situés du côté d'une face du réseau amplificateur 101 disposée en regard du réseau transmetteur 105. À titre d'exemple, le réseau amplificateur 101 est réalisé en technologie planaire, par exemple sur une carte de circuit imprimé.

**[0032]** De façon analogue, les cellules élémentaires 107 du réseau transmetteur 105 sont par exemple disposées en matrice selon des lignes et des colonnes. Par ailleurs, les cellules élémentaires 107 sont par exemple sensiblement situées dans un même plan, par exemple un plan sensiblement parallèle au plan du réseau am-

plificateur 101. Selon un mode de réalisation, le réseau amplificateur 101 est séparé du réseau transmetteur 105 par une distance égale, à 20 % près, à une longueur d'onde centrale d'émission et/ou de réception de l'antenne 100. La distance séparant le réseau amplificateur 101 du réseau transmetteur 105 est par exemple égale, à 10 % près, à la longueur d'onde centrale d'émission et/ou de réception de l'antenne 100. Chaque cellule élémentaire 107 comprend par exemple un premier élément d'antenne 107a, situé du côté d'une première face du réseau transmetteur 105 disposée en regard du réseau amplificateur 101, et un deuxième élément d'antenne 107b, situé du côté d'une deuxième face du réseau transmetteur 105 opposée à la première face. La deuxième face du réseau transmetteur 105 est par exemple tournée vers un milieu d'émission, ou milieu extérieur, de l'antenne 100.

**[0033]** Dans l'exemple représenté, l'antenne reconfigurable 100 comprend un nombre de cellules élémentaires 103 strictement inférieur au nombre de cellules élémentaires 107. À titre d'exemple, l'antenne reconfigurable 100 comprend quatre fois moins de cellules élémentaires 103 que de cellules élémentaires 107. Cet exemple n'est toutefois pas limitatif, l'antenne reconfigurable 100 pouvant, à titre de variante, comporter par exemple neuf ou seize fois moins de cellules élémentaires 103 que de cellules élémentaires 107.

**[0034]** Dans l'exemple illustré, le réseau amplificateur 101 comprend un nombre d'éléments d'antenne 103b égal au nombre de premiers éléments d'antenne 107a du réseau transmetteur 105, chaque élément d'antenne 103b du réseau amplificateur 101 étant par exemple situé en vis-à-vis de l'un des premiers éléments d'antenne 107a du réseau transmetteur 105. Toutefois, cet exemple n'est pas limitatif et le réseau amplificateur 101 peut, à titre de variante, comprendre un nombre d'éléments d'antenne 103b strictement inférieur, ou strictement supérieur, au nombre de premiers éléments d'antenne 107a du réseau transmetteur 105.

**[0035]** Le réseau transmetteur 105 présente par exemple une surface égale, à 10 % près, à la surface du réseau amplificateur 101 situé en vis-à-vis.

**[0036]** Bien que seules cinq cellules élémentaires 103 et dix cellules élémentaires 107 aient été représentées en figure 1, l'antenne reconfigurable 100 peut bien entendu comprendre des nombres de cellules élémentaires 103 et de cellules élémentaires 107 différents de ceux représentés, par exemple plusieurs dizaines, plusieurs centaines ou plusieurs milliers de cellules élémentaires 103 et de cellules élémentaires 107.

**[0037]** Dans l'exemple illustré, les cellules élémentaires 103 du réseau amplificateur 101 sont connectées à un circuit 109. Le circuit 109 est par exemple un circuit d'émission/réception de signaux radiofréquence, par exemple un circuit destiné à produire des signaux à émettre par l'antenne reconfigurable 100 et/ou à traiter des signaux reçus par l'antenne reconfigurable 100. Cet exemple n'est toutefois pas limitatif, le circuit 109 pou-

vant en outre mettre en oeuvre des fonctions additionnelles telles que des fonctions de conversion analogique-numérique, de filtrage, d'adaptation d'impédance, d'élimination d'interférences, etc. À titre d'exemple, les cellules élémentaires 103 sont connectées au circuit 109 par des pistes conductrices et/ou des vias conducteurs de la carte de circuit imprimé dans et sur laquelle est réalisé le réseau amplificateur 101.

**[0038]** La figure 1 illustre plus particulièrement un cas dans lequel l'antenne reconfigurable 100 fonctionne en émission. Dans ce cas, chaque cellule élémentaire 103 du réseau amplificateur 101 est apte à recevoir un signal provenant du circuit 109 et à émettre un rayonnement électromagnétique, correspondant au signal reçu, depuis ses éléments d'antenne 103b en direction du réseau transmetteur 105. Chaque cellule élémentaire 107 du réseau transmetteur 105 est apte à recevoir, sur son premier élément d'antenne 107a, le rayonnement électromagnétique émis par les cellules élémentaires 103 du réseau amplificateur 101 et à réémettre ce rayonnement depuis son deuxième élément d'antenne 107b, par exemple en introduisant un déphasage  $\phi$  connu.

**[0039]** Les caractéristiques du rayonnement en champ proche ou lointain produit par l'antenne 100, notamment sa forme (ou gabarit), son intensité et sa direction d'émission maximale (ou direction de pointage), dépendent des valeurs des déphasages respectivement introduits par les différentes cellules élémentaires 107 du réseau transmetteur 105. Dans l'exemple représenté, la forme du rayonnement, ou le diagramme de rayonnement, de l'antenne 100 dépend uniquement de la configuration des cellules 107 du réseau transmetteur 105. Dans cet exemple, le réseau amplificateur 101 présente une fonction d'amplification seulement. En particulier, le réseau amplificateur 101 n'agit ni sur la forme, ni sur la direction de pointage de l'antenne 100.

**[0040]** Bien que cela n'ait pas été représenté, l'antenne reconfigurable 100 peut, à titre de variante, fonctionner en réception. Dans ce cas, chaque cellule élémentaire 107 du réseau transmetteur 105 est apte à recevoir un rayonnement électromagnétique provenant du milieu extérieur sur son deuxième élément d'antenne 107b et à réémettre ce rayonnement depuis son premier élément d'antenne 107a, en direction du réseau amplificateur 101, avec le déphasage  $\phi$ . Chaque cellule élémentaire 103 du réseau amplificateur 101 est apte à recevoir, sur ses éléments d'antenne 103b, le rayonnement électromagnétique émis par les cellules élémentaires 107 du réseau transmetteur 105 et à fournir, au circuit 109, un signal correspondant au rayonnement électromagnétique reçu.

**[0041]** Le réseau transmetteur 105 de l'antenne 100 est dit reconfigurable lorsque les cellules élémentaires 107 sont commandables électroniquement, de façon individuelle, pour modifier leur valeur de déphasage  $\phi$  et/ou leur amplitude, ce qui permet de modifier dynamiquement les caractéristiques du rayonnement généré par l'antenne, et notamment de modifier sa direction

de pointage sans déplacer mécaniquement l'antenne ou une partie de l'antenne au moyen d'un élément motorisé.

**[0042]** La figure 2 est une vue de détail d'une partie de l'antenne reconfigurable 100 de la figure 1. La figure 2 illustre plus précisément une cellule élémentaire 103 et deux cellules élémentaires 107 situées en vis-à-vis.

**[0043]** Dans l'exemple représenté, la cellule élémentaire 103 comprend un circuit d'amplification 200 comportant un commutateur 201, par exemple un commutateur unipolaire à double effet (« Single Pole Double Throw » - SPDT, en anglais). Dans cet exemple, le commutateur 201 comprend plus précisément une entrée connectée au circuit 109, une première sortie connectée à une entrée d'un premier amplificateur 203 (PA) du circuit d'amplification 200, et une deuxième sortie connectée à une sortie d'un deuxième amplificateur 205 (LNA) du circuit d'amplification 200. Le commutateur 201 reçoit par exemple un signal de commande pour connecter son entrée à sa première sortie, lorsque l'antenne reconfigurable 100 est utilisée en émission, et à sa deuxième sortie, lorsque l'antenne reconfigurable 100 est utilisée en réception.

**[0044]** L'amplificateur 203 de la cellule élémentaire 103 est par exemple destiné à amplifier un signal émis par l'antenne 100. À titre d'exemple, l'amplificateur 203 est un amplificateur de puissance, par exemple un amplificateur linéaire de classe A en technologie CMOS (de l'anglais « Complementary Metal-Oxide-Semiconductor » - métal oxyde semiconducteur complémentaire) SOI (de l'anglais « Silicon On Insulator » - silicium sur isolant), par exemple du type décrit dans l'article de A. Hamani, A. Siligaris, B. Blampey et J. L. G. Jimenez intitulé « 167-GHz and 155-GHz High Gain D-band Power Amplifiers in CMOS SOI 45-nm Technology » issu de la quinzième conférence « European Microwave Integrated Circuits Conférence (EuMIC) » à Utrecht, Pays-Bas de 2021, pages 261 à 264.

**[0045]** L'amplificateur 205 de la cellule élémentaire 103 est par exemple destiné à amplifier un signal reçu par l'antenne 100. À titre d'exemple, l'amplificateur 205 est un amplificateur faible bruit (« Low Noise Amplifier » - LNA, en anglais). Cela permet d'optimiser un facteur de bruit de la cellule élémentaire 103 lorsqu'elle est utilisée en réception. À titre d'exemple, l'amplificateur 205 comprend un amplificateur de classe « AB » comportant par exemple un ou deux étages de fonctionnement. L'amplificateur 205 présente par exemple une puissance électrique comprise entre 10 et 20 mW.

**[0046]** Dans l'exemple représenté, l'amplificateur 203 de la cellule élémentaire 103 comprend une sortie connectée à chaque élément d'antenne 103b de la cellule. Par ailleurs, dans cet exemple, l'amplificateur 205 comprend une entrée connectée à chaque élément d'antenne 103b de la cellule, par exemple à une région de chaque élément d'antenne 103b différente d'une région à laquelle est connectée la borne de sortie de l'amplificateur 203. À titre d'exemple, chaque élément d'antenne

103b est une antenne à plaque (« patch antenna », en anglais) comprenant par exemple un plan conducteur de forme rectangulaire ou carrée dans lequel est formée une fente en forme de U.

**[0047]** Dans l'exemple illustré, chaque cellule élémentaire 107 comprend un circuit de déphasage 207 dont une première borne est connectée à l'élément d'antenne 107a situé en regard de l'un des éléments d'antenne 103b de la cellule élémentaire 103, et dont une deuxième borne est connectée à l'élément d'antenne 107b tourné vers le milieu extérieur. Le circuit de déphasage 207 est par exemple configuré pour appliquer un déphasage  $\phi$  entre le signal reçu par l'élément d'antenne 107a et le signal émis par l'élément d'antenne 107b, dans le cas où l'antenne reconfigurable 100 fonctionne en émission, et pour appliquer le déphasage  $\phi$  entre le signal reçu par l'élément d'antenne 107b et le signal émis par l'élément d'antenne 107a, dans le cas où l'antenne reconfigurable 100 fonctionne en réception.

**[0048]** La figure 2 illustre un exemple dans lequel chaque cellule élémentaire 107 est configurée pour introduire un déphasage  $\phi$  entre les signaux reçus ou émis par l'élément d'antenne 107a et les signaux émis ou reçus par l'élément d'antenne 107b. Cet exemple n'est toutefois pas limitatif, la cellule élémentaire pouvant, à titre de variante ou à titre complémentaire, mettre en oeuvre d'autres fonctions, par exemple une fonction de changement d'état de polarisation permettant de passer d'un signal présentant une polarisation circulaire gauche à un signal présentant une polarisation circulaire droite. À titre d'exemple, chaque cellule élémentaire 107 du réseau transmetteur reconfigurable 105 présente une structure identique ou analogue à la cellule élémentaire de réseau transmetteur décrite dans la demande de brevet EP 4117117, la cellule étant alors par exemple adaptée à commuter entre deux états de polarisation et quatre états de phase.

**[0049]** La figure 2 illustre un exemple dans lequel le circuit d'amplification 200 de la cellule élémentaire 103 comprend le commutateur 201 permettant d'activer soit l'amplificateur 203, lors de phases d'émission, soit l'amplificateur 205, lors de phases de réception. Cet exemple n'est toutefois pas limitatif, le circuit d'amplification 200 de chaque cellule élémentaire 103 du réseau amplificateur 101 pouvant, à titre de variante, être dépourvu du commutateur 201 et ne comporter qu'un seul amplificateur, par exemple l'amplificateur 203, dans un cas où l'antenne 100 est destinée à être utilisée exclusivement en émission, ou l'amplificateur 205, dans un cas où l'antenne 100 est destinée à être utilisée exclusivement en réception.

**[0050]** La figure 3 est une vue de dessus, schématique et partielle, de l'antenne 100 de la figure 1 selon un mode de réalisation. La figure 3 illustre plus précisément un cas dans lequel le réseau amplificateur 101 de l'antenne reconfigurable 100 comprend quatre fois moins de circuits d'amplification 200 que d'éléments d'antenne 103b.

**[0051]** Dans l'exemple représenté, chaque circuit

d'amplification 200 est situé sensiblement à l'aplomb du centre d'un carré formé par les quatre éléments d'antenne 103b de la cellule élémentaire 103 correspondante. Dans l'exemple illustré, chaque circuit d'amplification 200 est connecté au circuit 109 par des lignes radiofréquence 301, symbolisées par des segments en trait fort en figure 3. Bien que cela n'ait pas été détaillé en figure 3, des diviseurs de puissance peuvent être prévus aux intersections entre les lignes radiofréquence 301 afin de diviser la puissance du signal transmis depuis le circuit 109 jusqu'aux circuits 200.

**[0052]** À des fins de simplification, les circuits d'amplification 200 et les éléments d'antenne 103b ont été symbolisés, en figure 3, par des carrés, étant entendu que les circuits d'amplification 200 et les éléments d'antenne 103b peuvent, en pratique, présenter une forme quelconque.

**[0053]** L'antenne reconfigurable 100 précédemment décrite en relation avec les figures 1 à 3 présente par exemple une structure hybride entre celle d'une antenne à réseau phasé et celle d'une antenne à réseau transmetteur. En particulier, l'antenne 100 diffère d'une antenne à réseau phasé en ce que le réseau amplificateur 101 est dépourvu de circuits de déphasage. Cela permet avantageusement d'éviter des pertes énergétiques et d'éliminer des étapes fastidieuses de synchronisation et d'étalonnage de lignes radiofréquence permettant de relier, ou de connecter, chaque antenne élémentaire du réseau phasé à un circuit de commande, par exemple analogue au circuit 109. Dans le cas de l'antenne 100, les déphasages sont appliqués par le réseau transmetteur 105, par exemple en utilisant des commutateurs radiofréquence.

**[0054]** Par ailleurs, à la différence des antennes à réseau transmetteur qui comprennent généralement une ou plusieurs sources primaires adaptées à produire un faisceau de forme générale conique irradiant tout ou partie du réseau transmetteur, chaque source primaire comprenant par exemple une antenne cornet, l'antenne reconfigurable 100 utilise comme source le réseau amplificateur 101 irradiant le réseau transmetteur 105. Cela permet avantageusement à l'antenne 100 de présenter une épaisseur inférieure à celle que présenterait une antenne à réseau transmetteur comparable. Cela procure en outre l'avantage, par rapport à une antenne à réseau transmetteur, de faciliter la réalisation des systèmes d'amplification du signal radiofréquence émis ou reçu.

**[0055]** La figure 4 est une vue de côté, schématique et partielle, d'une antenne reconfigurable 400 selon un mode de réalisation. L'antenne reconfigurable 400 de la figure 4 présente des éléments en commun avec l'antenne reconfigurable 100 de la figure 1. Ces éléments communs ne seront pas détaillés à nouveau ci-après.

**[0056]** L'antenne reconfigurable 400 de la figure 4 diffère de l'antenne reconfigurable 100 de la figure 1 en ce que l'antenne 400 comprend, à la place du réseau amplificateur 101, un réseau amplificateur 401 compre-

nant une pluralité de cellules élémentaires 403.

**[0057]** Les cellules élémentaires 403 du réseau amplificateur 401 sont par exemple disposées en matrice selon des lignes et des colonnes. Par ailleurs, les cellules élémentaires 403 sont par exemple sensiblement situées dans un même plan, le réseau 401 étant dans ce cas de type planaire. Dans l'exemple illustré, chaque cellule élémentaire 403 comprend un premier élément d'antenne 403a situé du côté d'une première face du réseau amplificateur 401 disposée en regard d'une ou plusieurs sources primaires 451 (une unique source 451, dans l'exemple représenté), et un deuxième élément d'antenne 403b, situé du côté d'une deuxième face du réseau 401 opposée à la première face. L'élément d'antenne 403b des cellules élémentaires 403 est par exemple identique ou analogue à l'un des éléments d'antenne 103b des cellules élémentaires 103 décrites ci-dessus. À titre d'exemple, le réseau amplificateur 401 est réalisé en technologie planaire, par exemple sur une carte de circuit imprimé.

**[0058]** Dans l'exemple illustré, la source primaire 451 est connectée au circuit 109. La source primaire comprend par exemple une antenne cornet irradiant la première face du réseau 401. À titre d'exemple, l'axe central de chaque source primaire est sensiblement orthogonal au plan moyen du réseau 401.

**[0059]** La figure 4 illustre plus particulièrement un cas dans lequel l'antenne reconfigurable 400 fonctionne en émission. Dans ce cas, chaque cellule élémentaire 403 du réseau amplificateur 401 est apte à recevoir, sur son premier élément d'antenne 403a, un rayonnement électromagnétique provenant de la source primaire 451, et à émettre, depuis son deuxième élément d'antenne 403b, un rayonnement électromagnétique en direction du réseau transmetteur 105. Chaque cellule élémentaire 107 du réseau transmetteur 105 est apte à recevoir, sur son premier élément d'antenne 107a, le rayonnement électromagnétique émis par les cellules élémentaires 403 du réseau amplificateur 401, et à réémettre ce rayonnement depuis son deuxième élément d'antenne 107b, par exemple en introduisant un déphasage  $\phi$  connu.

**[0060]** Bien que cela n'ait pas été représenté, l'antenne reconfigurable 400 peut, à titre de variante, fonctionner en réception. Dans ce cas, chaque cellule élémentaire 107 du réseau transmetteur 105 est apte à recevoir, sur son deuxième élément d'antenne 107b, un rayonnement électromagnétique provenant du milieu extérieur et à réémettre ce rayonnement, depuis son premier élément d'antenne 107a, en direction du réseau amplificateur 401, avec le déphasage  $\phi$ . Chaque cellule élémentaire 403 du réseau amplificateur 401 est apte à recevoir, sur son deuxième élément d'antenne 403b, le rayonnement électromagnétique émis par les cellules élémentaires 107 du réseau transmetteur 105, et à réémettre ce rayonnement, depuis son premier élément d'antenne 403a, en direction de la source 451. Le rayonnement réémis par l'élément d'antenne 403a est par exemple focalisé sur la source 451.

**[0061]** La figure 4 illustre un exemple dans lequel le réseau amplificateur 401 comprend un nombre de cellules élémentaires 403 strictement inférieur au nombre de cellules élémentaires 107 du réseau transmetteur 105. À titre d'exemple, l'antenne reconfigurable 400 comprend quatre, neuf ou seize fois moins de cellules élémentaires 403 que de cellules élémentaires 107. Cet exemple n'est toutefois pas limitatif, l'antenne reconfigurable 400 pouvant, à titre de variante, comporter autant de cellules élémentaires 403 que de cellules élémentaires 107.

**[0062]** Par ailleurs, la figure 4 illustre un exemple dans lequel chaque cellule élémentaire 403 du réseau amplificateur 401 comprend un seul premier élément d'antenne 403a et un seul deuxième élément d'antenne 403b. Toutefois, cet exemple n'est pas limitatif et chaque cellule élémentaire 403 du réseau amplificateur 401 peut, à titre de variante, comprendre plusieurs premiers éléments d'antenne 403a et plusieurs deuxièmes éléments d'antenne 403b.

**[0063]** La figure 5 est une vue de détail d'une partie de l'antenne 400 de la figure 4. La figure 5 illustre plus précisément une cellule élémentaire 403 et deux éléments d'antenne 107 situés en vis-à-vis.

**[0064]** La cellule élémentaire 403 diffère par exemple de la cellule élémentaire 103 précédemment décrite en ce que, dans la cellule élémentaire 403, l'entrée du commutateur 201 est connectée au premier élément d'antenne 403a de la cellule élémentaire 403.

**[0065]** Le fonctionnement de l'antenne reconfigurable 400, en particulier la commande du commutateur 201 de chaque cellule élémentaire 403 selon que l'antenne 400 est utilisée en émission ou en réception, est analogue au fonctionnement précédemment décrit en relation avec la figure 2 pour l'antenne reconfigurable 100.

**[0066]** La figure 5 illustre un exemple dans lequel la cellule élémentaire 403 comprend le commutateur 201 permettant d'activer soit l'amplificateur 203, lors de phases d'émission, soit l'amplificateur 205, lors de phases de réception. Cet exemple n'est toutefois pas limitatif, chaque cellule élémentaire 403 du réseau 401 pouvant, à titre de variante, être dépourvue du commutateur 201 et ne comporter qu'un seul amplificateur, par exemple l'amplificateur 203, dans un cas où l'antenne 400 est utilisée exclusivement en émission, ou l'amplificateur 205, dans un cas où l'antenne 400 est utilisée exclusivement en réception.

**[0067]** L'antenne reconfigurable 400 présente des avantages analogues à ceux de l'antenne reconfigurable 100.

**[0068]** Divers modes de réalisation et variantes ont été décrits. La personne du métier comprendra que certaines caractéristiques de ces divers modes de réalisation et variantes pourraient être combinées, et d'autres variantes apparaîtront à la personne du métier. En particulier, la personne du métier est capable d'ajuster le rapport entre le nombre de cellules élémentaires 103, 403 du réseau amplificateur 101, 401 et le nombre de cellules

élémentaires 107 du réseau transmetteur 105 en fonction de l'application, par exemple en fonction de l'échauffement produit par chaque cellule élémentaire 103, 403. La personne du métier est en outre capable d'ajuster le nombre d'éléments d'antenne de chaque cellule élémentaire 103, 403 du réseau amplificateur 101, 401, notamment en fonction de la proportion de cellules élémentaires 103, 403 du réseau amplificateur 101, 401 par rapport aux cellules élémentaires 107 du réseau transmetteur 105.

**[0069]** Enfin, la mise en oeuvre pratique des modes de réalisation et variantes décrits est à la portée de la personne du métier à partir des indications fonctionnelles données ci-dessus. En particulier, la réalisation pratique du ou des éléments d'antenne, du commutateur et du ou des amplificateurs des cellules élémentaires du réseau amplificateur ainsi que la réalisation pratique des cellules élémentaires du réseau transmetteur sont à la portée de la personne du métier à partir des indications de la présente description.

**[0070]** Par ailleurs, les cellules élémentaires 107 du réseau transmetteur 105 peuvent être calibrées afin de corriger des erreurs de phase liées à la structure de l'antenne.

## Revendications

### 1. Antenne (100 ; 400) comprenant :

- un réseau amplificateur (101 ; 401) comprenant une pluralité de premières cellules élémentaires (103 ; 403) ; et
- un réseau transmetteur (105) comprenant une pluralité de deuxièmes cellules élémentaires (107),

dans laquelle le réseau amplificateur (101 ; 401) est configuré pour irradier, ou pour être irradié par, le réseau transmetteur (105), le réseau amplificateur (101 ; 401) étant séparé du réseau transmetteur (105) par une distance égale, à 20 % près, à une longueur d'onde centrale d'émission et/ou de réception de l'antenne (100 ; 400).

### 2. Antenne (100 ; 400) selon la revendication 1, dans laquelle la distance séparant le réseau amplificateur (101 ; 401) du réseau transmetteur (105) est égale, à 10 % près, à la longueur d'onde centrale d'émission et/ou de réception de l'antenne (100 ; 400).

### 3. Antenne (100 ; 400) selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle chaque première cellule élémentaire (103 ; 403) comprend un premier élément d'antenne (103b ; 403b) situé en regard du réseau transmetteur (105).

### 4. Antenne (100 ; 400) selon la revendication 3, dans

laquelle chaque première cellule élémentaire (103 ; 403) comprend en outre au moins un amplificateur (203, 205) connecté au premier élément d'antenne (103b ; 403b).

5

### 5. Antenne (100 ; 400) selon la revendication 4, dans laquelle chaque première cellule élémentaire (103 ; 403) comprend :

10

- un premier amplificateur (203), de préférence un amplificateur de puissance, destiné à amplifier un signal émis par l'antenne ;

- un deuxième amplificateur (205), de préférence un amplificateur faible bruit, destiné à amplifier un signal reçu par l'antenne ; et

15

- un commutateur (201) configuré pour activer le premier ou le deuxième amplificateur en fonction d'un signal de commande.

20

### 6. Antenne (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans laquelle chaque première cellule élémentaire (103) est connectée à un circuit d'émission/réception (109) de signaux radiofréquence.

25

### 7. Antenne (400) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, comprenant en outre au moins une source (451) configurée pour irradier, ou pour être irradiée par, le réseau amplificateur (401).

30

### 8. Antenne (400) selon la revendication 7, dans laquelle ladite au moins une source (451) est connectée à un circuit d'émission/réception (109) de signaux radiofréquence.

35

### 9. Antenne (400) selon la revendication 7 ou 8, dans laquelle chaque première cellule (403) comprend en outre un deuxième élément d'antenne (403a) situé en regard de ladite au moins une source (451).

40

### 10. Antenne (400) selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, dans laquelle ladite au moins une source (451) est une unique antenne cornet.

45

### 11. Antenne (100 ; 400) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, comprenant moins de premières cellules élémentaires (103 ; 403) que de deuxièmes cellules élémentaires (107), de préférence quatre fois moins de premières cellules élémentaires que de deuxièmes cellules élémentaires.

50

### 12. Antenne (100 ; 400) selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans laquelle chaque deuxième cellule élémentaire (107) comprend des troisième et quatrième éléments d'antenne (107a, 107b) reliés par un circuit de déphasage (207).

55

### 13. Antenne (100 ; 400) selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans laquelle le réseau am-

plificateur (401) est dépourvu de circuits de déphasage.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

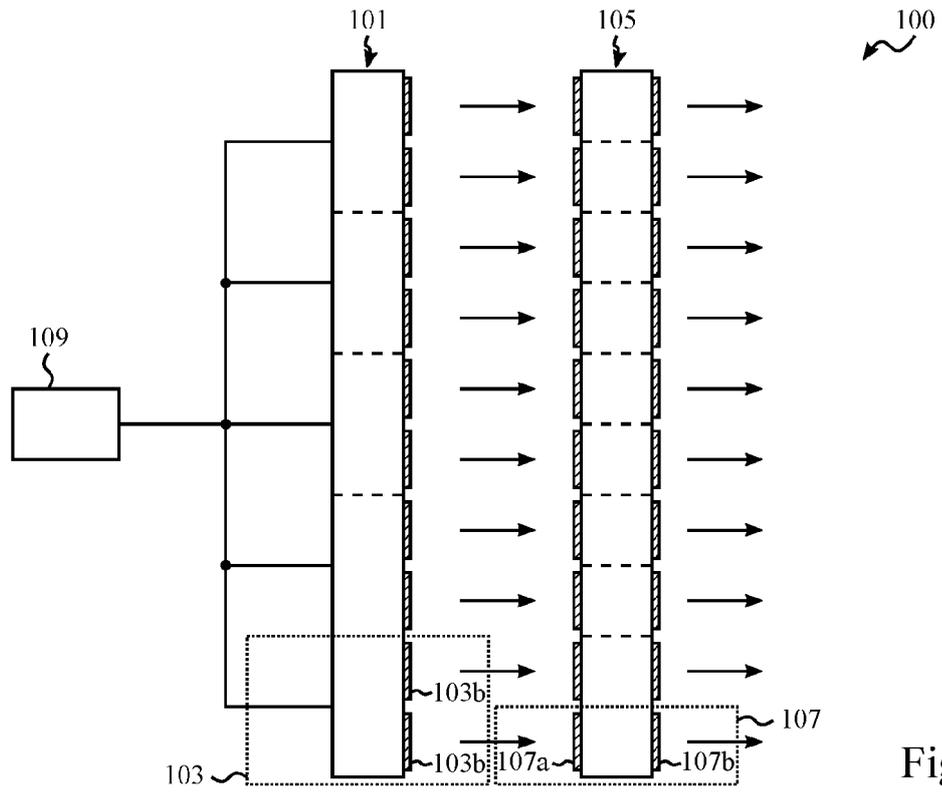


Fig. 1

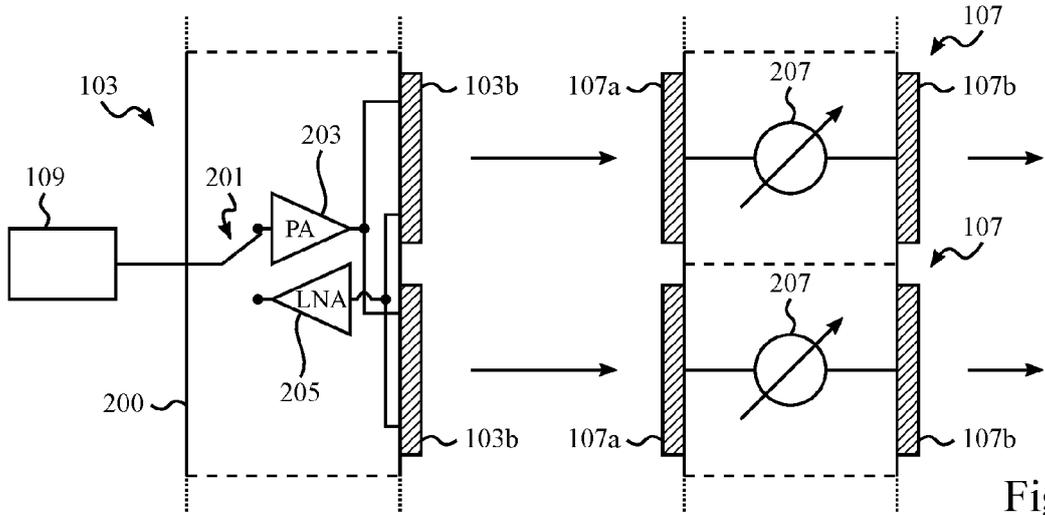


Fig. 2

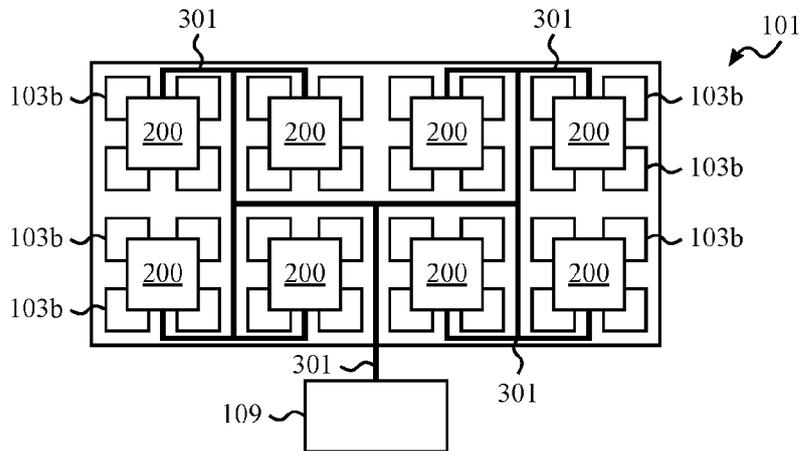


Fig. 3

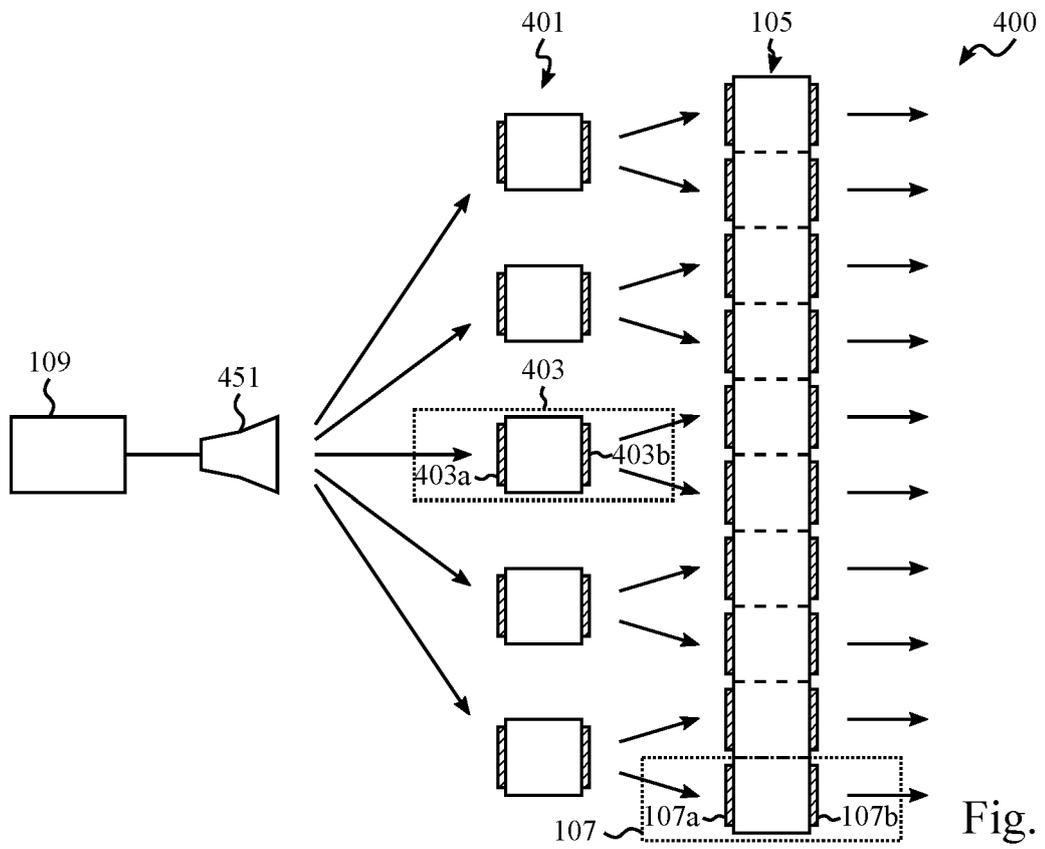


Fig. 4

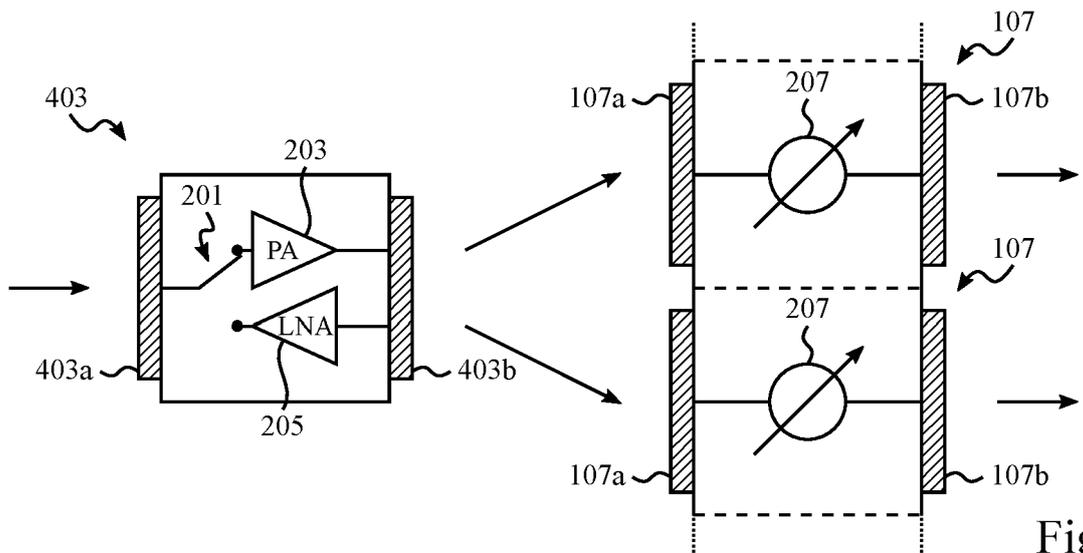


Fig. 5



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 24 20 4538

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	US 2021/234269 A1 (VILENSKIY ARTEM RUDOLFOVITCH [RU] ET AL) 29 juillet 2021 (2021-07-29) * abrégé; figure 1 *	1-3,6, 12,13	INV. H01Q3/46 H01Q21/00
Y		4,5,11	
A		7-10	
Y	US 2008/030416 A1 (LEE JAR J [US] ET AL) 7 février 2008 (2008-02-07) * abrégé; figure 2 *	4,5,11	
A		1-3, 6-10,12, 13	
A	US 6 147 656 A (LUH HOWARD HO-SHOU [US]) 14 novembre 2000 (2000-11-14) * abrégé; figure 1 * * colonne 1, ligne 59 - colonne 2, ligne 16 *	1-13	
A	US 4 578 680 A (HAUPT RANDY L [US]) 25 mars 1986 (1986-03-25) * abrégé; figure 1 * * colonne 2, ligne 59 - colonne 4, ligne 12 *	1-13	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
A	US 2017/115385 A1 (DI PALMA LUCA [FR] ET AL) 27 avril 2017 (2017-04-27) * abrégé; figures 1-4 *	1-13	H01Q
A	US 2023/010547 A1 (CLEMENTE ANTONIO [FR]) 12 janvier 2023 (2023-01-12) * abrégé; figure 1 *	1-13	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche <b>La Haye</b>		Date d'achèvement de la recherche <b>28 janvier 2025</b>	Examineur <b>Vial, Antoine</b>
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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		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	

EPO FORM 1503 03.82 (F04C02)

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

EP 24 20 4538

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.

28 - 01 - 2025

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2021234269 A1	29 - 07 - 2021	CN 112424995 A	26 - 02 - 2021
		EP 3764462 A1	13 - 01 - 2021
		KR 20200023254 A	04 - 03 - 2020
		RU 2688949 C1	23 - 05 - 2019
		US 2021234269 A1	29 - 07 - 2021
		WO 2020040624 A1	27 - 02 - 2020
-----			
US 2008030416 A1	07 - 02 - 2008	EP 2070158 A2	17 - 06 - 2009
		IL 196879 A	31 - 10 - 2012
		US 2008030416 A1	07 - 02 - 2008
		WO 2008066591 A2	05 - 06 - 2008
-----			
US 6147656 A	14 - 11 - 2000	EP 1041673 A2	04 - 10 - 2000
		JP 2000307326 A	02 - 11 - 2000
		KR 20010006893 A	26 - 01 - 2001
		US 6147656 A	14 - 11 - 2000
-----			
US 4578680 A	25 - 03 - 1986	AUCUN	
-----			
US 2017115385 A1	27 - 04 - 2017	EP 3159965 A1	26 - 04 - 2017
		FR 3042929 A1	28 - 04 - 2017
		US 2017115385 A1	27 - 04 - 2017
-----			
US 2023010547 A1	12 - 01 - 2023	EP 4117117 A1	11 - 01 - 2023
		FR 3125173 A1	13 - 01 - 2023
		US 2023010547 A1	12 - 01 - 2023
-----			

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

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

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

**Documents brevets cités dans la description**

- EP 4117117 A [0048]

**Littérature non-brevet citée dans la description**

- **A. HAMANI ; A. SILIGARIS ; B. BLAMPEY ; J. L. G. JIMENEZ.** 167-GHz and 155-GHz High Gain D-band Power Amplifiers in CMOS SOI 45-nm Technology. *quinzième conférence « European Microwave Integrated Circuits Conférence (EuMIC) » à Utrecht, Pays-Bas, 2021, 261-264 [0044]*