



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
12.07.2023 Bulletin 2023/28

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H01Q 9/04 (2006.01) H01Q 21/06 (2006.01)
H01Q 21/24 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **23158398.0**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H01Q 21/245; H01Q 9/0435; H01Q 9/045;
H01Q 21/065; H01Q 9/0428; H01Q 9/0457

(22) Date de dépôt: **01.02.2018**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorité: **01.02.2017 FR 1700101**

(62) Numéro(s) de document de la (des) demande(s)
initiale(s) en application de l'article 76 CBE:
18701503.7 / 3 577 720

(71) Demandeurs:
• **THALES**
92400 Courbevoie (FR)
• **UNIVERSITE DE BORDEAUX**
33000 Bordeaux (FR)
• **Institut Polytechnique de Bordeaux**
33402 Talence Cedex (FR)
• **Centre National de la Recherche Scientifique**
75016 Paris (FR)

(72) Inventeurs:

- **GARREC, Patrick**
33608 Pessac (FR)
- **GHIOTTO, Anthony**
33405 Talence (FR)
- **MORVAN, Gwenaël**
33608 Pessac (FR)

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

Remarques:

Cette demande a été déposée le 27.02.2023 comme
demande divisionnaire de la demande mentionnée
sous le code INID 62.

(54) **ANTENNE ÉLÉMENTAIRE À DISPOSITIF RAYONNANT PLANAIRE**

(57) Antenne élémentaire comprenant un dispositif rayonnant planaire (10) comprenant un élément rayonnant (11) sensiblement plan présentant un centre (C), le plan contenant l'élément rayonnant (11) étant défini par une première droite (D1) passant par le centre (C) et une deuxième droite (D2) perpendiculaire à la première droite (D1) et passant par le centre (C), ledit élément rayonnant (11) comprenant une pluralité de paires de points d'excitation arrangées en au moins un premier quadruplet de points d'excitation situés à distance de la première droite (D1) et de la deuxième droite (D2) comprenant une première paire composée de points d'excitation (1+, 1-) disposés de façon sensiblement symétrique par rapport à ladite première droite (D1) et une deuxième paire composée de points d'excitation (2+, 2-) disposés de façon sensiblement symétrique par rapport à ladite deuxième droite (D2), l'antenne élémentaire comprenant une pluralité de circuits de traitement aptes à délivrer des signaux d'excitation différentiels destinés à exciter les points d'excitation et/ou apte à mettre en forme des signaux issus des points d'excitation, chaque paire de points d'excitation étant couplée à un circuit de traitement de sorte que le circuit de traitement soit propre à exciter la paire de points d'excitation de façon différentielle et/ou

à traiter des signaux différentiels issus de la paire de points.

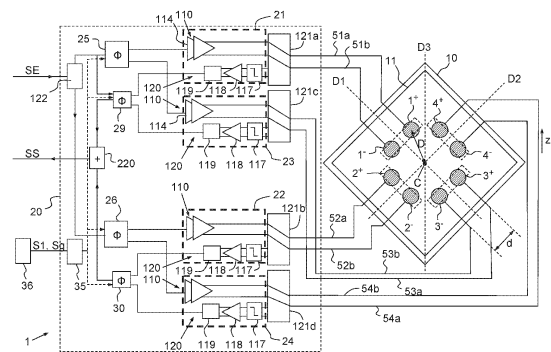


FIG.1

Description

[0001] La présente invention se rapporte au domaine des antennes réseau et notamment des antennes actives. Elle s'applique notamment aux radars, aux systèmes de guerre électronique (tels que les détecteurs de radar et les brouilleurs de radar) ainsi qu'aux systèmes de communication ou autres systèmes multifonctions.

[0002] Une antenne dite réseau comprend une pluralité d'antennes pouvant être du type planaire c'est à dire du type circuit imprimé souvent appelées antennes patch. La technologie des antennes planaires permet de réaliser des antennes peu épaisses, directives en réalisant les éléments rayonnants par gravure de motifs métalliques sur une couche diélectrique munie d'un plan de masse métallique en face arrière. Cette technologie conduit à des antennes à balayage électronique directives très compactes plus simples à réaliser et donc moins onéreuses que des antennes de type Vivaldi.

[0003] Une antenne active comporte classiquement un ensemble d'antennes élémentaires comprenant chacune un élément rayonnant sensiblement plan couplé à un module d'émission/réception (ou T/R circuit pour « transmit/receive réception circuit » en anglais). En émission, le module d'émission/réception adapte la phase et amplifie un signal d'excitation reçu d'une électronique de génération de signal centralisée et applique ce signal d'excitation à l'élément rayonnant. En réception, le module d'émission/réception amplifie un signal de réception, de faible niveau, reçu par l'élément rayonnant, en adapte la phase, et le transmet à un circuit de concentration qui le transmet à un circuit d'acquisition centralisé.

[0004] Dans les applications radars notamment, il y a un besoin de travailler avec des puissances importantes.

[0005] Cependant, les puissances accessibles sont limitées par les propriétés des technologies mises en oeuvre pour la réalisation des éléments rayonnants. En particulier, les technologies MMIC (pour « Monolithic Microwave Integrated Circuit » en anglais ou circuit intégré monolithique hyperfréquence) classiquement mises en oeuvre sont caractérisées par des puissances maximales limitées au-delà desquelles il est souhaitable de pouvoir travailler pour les applications mentionnées ci-dessus.

Un but de l'invention est de palier ce problème

[0006] A cet effet, l'invention a pour objet une antenne élémentaire comprenant un dispositif rayonnant planaire comprenant un élément rayonnant sensiblement plan présentant un centre, le plan contenant l'élément rayonnant étant défini par une première droite passant par le centre et une deuxième droite perpendiculaire à la première droite et passant par le centre, ledit élément rayonnant comprenant une pluralité de paires de points d'excitation arrangées en au moins un premier quadruplet de points d'excitation, situés à distance de la première droite

et de la deuxième droite, comprenant une première paire composée de points d'excitation disposés de façon sensiblement symétrique par rapport à ladite première droite et une deuxième paire composée de points d'excitation disposés de façon sensiblement symétrique par rapport à ladite deuxième droite, l'antenne élémentaire comprenant une pluralité de circuits de traitement aptes à délivrer des signaux d'excitation différentiels destinés à exciter les points d'excitation et/ou apte à mettre en forme des signaux issus des points d'excitation, chaque paire de points d'excitation étant couplée à un circuit de traitement de sorte que le circuit de traitement soit propre à exciter la paire de points d'excitation de façon différentielle et/ou à traiter des signaux différentiels issus de la paire de points.

[0007] Suivant des modes particuliers de réalisation, l'antenne élémentaire selon l'invention comprend une ou plusieurs caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- l'antenne élémentaire comprend des moyens de déphasage en émission permettant d'introduire un premier déphasage en émission entre un premier signal d'excitation appliqué sur la première paire des points d'excitation et un deuxième signal d'excitation appliqué sur la deuxième paire de points d'excitation et/ou des moyens de déphasage en réception permettant d'introduire un premier déphasage en réception entre un premier signal de réception issu de la première paire des points d'excitation et un deuxième signal de réception issu de la deuxième paire de points d'excitation,
- les points d'excitation du premier quadruplet de points d'excitation sont disposés de sorte que l'impédance du dispositif rayonnant mesurée entre les points de chaque paire de points d'excitation du premier quadruplet de points est la même,
- les points d'excitation de la première paire de points sont situés d'un même côté d'une troisième droite du plan contenant l'élément rayonnant, la troisième droite passant par le centre et étant une bissectrice de la première droite et de la deuxième droite,
- l'élément rayonnant présente une forme sensiblement rectangulaire, la première droite et la deuxième droite étant parallèles à des côtés du rectangle,
- l'élément rayonnant comprend un deuxième quadruplet de points d'excitation situés à distance de la première droite et de la deuxième droite comprenant :
 - une troisième paire composée de points d'excitation disposés de façon sensiblement symétrique par rapport à ladite première droite, les points de la troisième paire de points étant disposés de l'autre côté de la deuxième droite par rapport à la première paire de points d'excitation,
 - une quatrième paire composée de points d'ex-

citation disposés de façon sensiblement symétrique par rapport à ladite deuxième droite, les points de la quatrième paire de points étant disposés de l'autre côté de la première droite par rapport à la deuxième paire de points d'excitation,

- les points d'excitation du deuxième quadruplet de points d'excitation sont disposés de sorte que l'impédance du dispositif rayonnant mesurée entre les points de chaque paire de points d'excitation du deuxième quadruplet de points est la même,
- la troisième paire est symétrique de la première paire par rapport à la deuxième droite et dans laquelle la quatrième paire est symétrique de la deuxième paire par rapport à la première droite,
- l'antenne élémentaire comprend des moyens de déphasage en émission permettant d'introduire un premier déphasage en émission entre un premier signal d'excitation appliqué sur la première paire des points d'excitation et un deuxième signal d'excitation appliqué sur la deuxième paire de points d'excitation et un deuxième déphasage en émission, pouvant être différent du premier déphasage en émission, entre un troisième signal d'excitation appliqué sur la troisième paire des points d'excitation et un quatrième signal d'excitation appliqué sur la quatrième paire de points d'excitation et/ou des moyens de déphasage en réception permettant d'introduire un premier déphasage en réception entre un premier signal de réception issu de la première paire des points d'excitation et un deuxième signal de réception issu de la deuxième paire de points d'excitation et un deuxième déphasage en réception, pouvant être différent du premier déphasage en réception, entre un troisième signal de réception appliqué sur la troisième paire des points d'excitation et un quatrième signal de réception appliqué sur la quatrième paire de points d'excitation,
- chaque paire de points d'excitation est couplée à une voie d'émission configurée pour exciter la paire de points d'excitation de façon différentielle, les voies d'émission couplées au premier quadruplet de points étant aptes à exciter le premier quadruplet de points au moyen de signaux d'une fréquence distincte d'une fréquence à laquelle les voies d'émission couplées au deuxième quadruplet de points sont aptes à exciter le deuxième quadruplet de points.

[0008] L'invention se rapporte également à une antenne comprenant plusieurs antennes élémentaires selon l'invention, dans laquelle les éléments rayonnants forment un réseau d'éléments rayonnants.

[0009] Avantageusement, l'antenne comprend des moyens de déphasage de pointage en émission permettant d'introduire des premiers déphasages globaux en émission entre les signaux d'excitation appliqués sur les

premiers quadruplets de points des antennes élémentaires respectives et des deuxièmes déphasages globaux en émission entre les signaux d'excitation appliqués sur les deuxièmes quadruplets de points des antennes élémentaires respectives, les premiers et les deuxièmes déphasages globaux en émission pouvant être différents, et/ou comprenant des moyens de déphasage de pointage en réception permettant d'introduire des premiers déphasages globaux en réception entre les signaux d'excitation appliqués sur les premiers quadruplets de points des antennes élémentaires respectives et des deuxièmes déphasages globaux en réception entre les signaux d'excitation appliqués sur les deuxièmes quadruplets de points des antennes élémentaires respectives, les premiers et les deuxièmes déphasages globaux en réception pouvant être différents.

[0010] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit, faite à titre d'exemple non limitatif et en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement une antenne élémentaire selon un premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 2 représente une antenne élémentaire en vue de côté,
- la figure 3 représente un tableau répertoriant différentes polarisations pouvant être obtenues au moyen du système de la figure 1,
- la figure 4 représente schématiquement une antenne élémentaire selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 5 représente schématiquement une antenne élémentaire selon un troisième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 6 représente schématiquement les polarisations pouvant être obtenus au moyen du système de la figure 5.

[0011] D'une figure à l'autre, les mêmes éléments sont repérés par les mêmes références.

[0012] Sur la figure 1, on a représenté une antenne élémentaire 1 selon un premier mode de réalisation de l'invention.

[0013] L'antenne élémentaire comprend un dispositif rayonnant planaire 10, représenté sur la figure 1, comprenant un élément rayonnant 11 sensiblement plan, s'étendant sensiblement dans le plan de la feuille, comprenant un centre C. Le dispositif rayonnant planaire est une antenne planaire plus connue sous le nom d'antenne patch.

[0014] L'invention se rapporte également à une antenne comprenant plusieurs antennes élémentaires selon l'invention. L'antenne peut être du type réseau. Les éléments rayonnants 11 ou les dispositifs rayonnants planaires 10 des antennes élémentaires forment un réseau d'éléments rayonnants. L'antenne est avantageusement une antenne active.

[0015] Le dispositif rayonnant planaire 10 forme un empilement tel que représenté sur la figure 2. Il comporte un élément rayonnant 11, sensiblement plan, disposé au-dessus d'une couche formant le plan de masse 12, un intervalle est ménagé entre l'élément rayonnant 11 et le plan de masse 12. Cet intervalle comprend par exemple une couche isolante 13 électriquement par exemple constituée d'un matériau diélectrique. De préférence, l'élément rayonnant 11 est une plaque en matériau conducteur. En variante, l'élément rayonnant 11 comporte plusieurs plaques métalliques empilées. Il présente classiquement une forme carrée. En variante, l'élément rayonnant présente une autre forme, par exemple une forme de disque ou une autre forme de parallélogramme comme par exemple un rectangle ou un losange. Quelle que soit la géométrie de l'élément rayonnant 11, il est possible de définir un centre C.

[0016] L'antenne comprend des lignes d'alimentation 51a, 51b, 52a, 52b, 53a, 53b, 54a et 54b couplées avec l'élément rayonnant 11 en des points d'excitation 1+, 1-, 2+, 2-, 3+, 3-, 4+, et 4- compris dans l'élément rayonnant 11. Ce couplage permet d'excitation de l'élément rayonnant 11.

[0017] Le couplage est par exemple réalisé par couplage électromagnétique par fente. Le dispositif rayonnant planaire 10 comprend alors un plan d'alimentation 16 visible sur la figure 2 véhiculant des extrémités des lignes d'alimentation 51a, 51b, 52a, 52b, 53a, 53b, 54a et 54b. Le plan 16 est étant avantageusement séparé du plan de masse 12 par une couche de matériau isolant 17, par exemple un diélectrique. Le dispositif rayonnant planaire 10 comprend également plusieurs fentes. Chaque fente est ménagée dans la couche formant le plan de masse. Une extrémité de chaque ligne 51a, 51b, 52a, 52b, 53a, 53b, 54a, 54b est disposée de manière à chevaucher une fente correspondante par au-dessous, l'élément rayonnant 11 étant situé au-dessus de la couche formant le plan de masse 12. Le point d'excitation 1+, 1-, 2+, 2-, 3+, 3-, 4+, ou 4- est alors situé au droit de la fente et de l'extrémité correspondante. Sur la figure 1, les projections des fentes sont représentées en traits pointillés et présentent chacune une forme rectangulaire. Ces projections ne sont pas représentées sur les autres figures pour plus de clarté. Chaque fente est prévue pour une paire de points d'excitation. En variante, le dispositif comprend une fente par point d'excitation. Les fentes ne sont pas forcément rectangulaires, d'autres formes peuvent être envisagées.

[0018] En variante, le couplage est réalisé en connectant électriquement l'extrémité de la ligne à un point d'excitation de l'élément rayonnant. Par exemple, à l'extrémité de la ligne d'alimentation, le courant d'excitation circule vers l'élément rayonnant, à travers le matériau isolant, par exemple au moyen d'un via métallisé permettant de connecter l'extrémité de la ligne à un picot situé à l'arrière de l'élément rayonnant au droit du point à exciter. Le couplage peut être effectué sur le plan même de l'élément rayonnant plan, ou « patch » en l'attaquant direc-

tement par une ligne imprimée microruban ou « microstrip », connectée au bord de l'élément rayonnant. Le point d'excitation est alors situé à l'extrémité de la ligne d'alimentation. L'excitation peut aussi être réalisée par couplage par proximité à une ligne « microstrip » imprimée à un niveau situé entre le « patch » et la couche formant le plan de masse.

[0019] Le couplage peut être réalisé de la même manière ou de manière différente pour les différents points d'excitation.

[0020] Selon l'invention, pour optimiser la puissance, on dédouble les points d'excitation. Dans l'exemple de la figure 1, l'élément rayonnant 11 comporte ainsi quatre paires de points d'excitation 1+, 1- ; 2+, 2- ; 3+ et 3- et 4+, 4-.

[0021] Le plan de l'élément rayonnant 11 est défini par deux directions orthogonales. Ces deux directions sont la première droite D1 et la deuxième droite D2. Chacune de ces directions orthogonales passe par le centre C.

[0022] Selon l'invention, l'élément rayonnant 11 comprend un premier quadruplet de points d'excitation qui sont tous situés à distance des droites D1 et D2, c'est-à-dire qui sont tous écartés de ces droites D1 et D2, ledit premier quadruplet de points comprenant :

- une première paire de points d'excitation 1+, 1- composée d'un point d'excitation 1+ et d'un point d'excitation 1- disposés de façon sensiblement symétrique par rapport à la première droite D1,
- une deuxième paire de points d'excitation 2+, 2- composée d'un point d'excitation 2+ et d'un point d'excitation 2- sensiblement symétriques l'un de l'autre par rapport à la deuxième droite D2.

[0023] L'élément rayonnant 11 comprend un deuxième quadruplet de points d'excitation qui sont tous situés à distance des droites D1 et D2, le deuxième quadruplet de points comprenant :

- une troisième paire de points d'excitation 3+, 3- composée d'un point d'excitation 3+ et un point d'excitation 3- disposés de façon sensiblement symétrique par rapport à la première droite D1, les points d'excitation 3+ et 3- de la troisième paire de points étant disposés de l'autre côté de la deuxième droite D2 par rapport à la première paire de points d'excitation 1+, 1-,
- une quatrième paire de points d'excitation 4+, 4- comprenant un point d'excitation 4+ et un point d'excitation 4- disposés de façon sensiblement symétrique par rapport à la deuxième droite D2, les points d'excitation 4+ et 4- de la quatrième paire de points étant disposés de l'autre côté de la première droite D1 par rapport à la deuxième paire de points d'excitation 2+, 2-.

[0024] Autrement dit, les points de chaque paire occupent des positions sensiblement symétriques l'une de

l'autre par rapport, soit à D1, soit à D2. Autrement dit, les points de chaque paire sont sensiblement symétriques l'un de l'autre par symétrie orthogonale d'axe D1 ou D2.

[0025] Les points d'excitation de chacun des deux quadruplets de points sont distincts. Autrement dit, les deux quadruplets de points ne présentent pas de points d'excitation en commun. Les différentes paires ne présentent pas de points d'excitation en commun.

[0026] Les points d'excitation de chaque paire de points d'excitation sont disposés de façon à être aptes à être excités de façon différentielle, c'est-à-dire au moyen de deux signaux opposés. A cet effet, les points d'une même paire de points d'excitation sont disposés de façon à présenter des impédances identiques mesurées par rapport à la masse.

[0027] Ainsi, dans les exemples non limitatifs des figures, les droites D1 et D2 étant parallèles aux côtés respectifs du carré formé par le plan de l'élément rayonnant 11, les distances séparant les points de chaque paire sont identiques.

[0028] L'antenne élémentaire 1 comprend également un module d'émission et de réception 20 comme illustré par la figure 1 notamment. Le module d'émission/réception 20 de la figure 1 comprend quatre circuits électroniques d'émission/réception 21 à 24.

[0029] Les circuits 21 à 24 sont disposés entre, d'une part, des circuits de génération de signal hyperfréquence et/ou des circuits d'acquisition et de traitement, centralisés, et d'autre part les lignes d'alimentation.

[0030] Chaque paire de points d'excitation 1+, 1- ; 2+, 2- ; 3+, 3- et 4+, 4- est couplée à son circuit d'excitation 21, 22, 23 ou respectivement 24 au moyen d'une ligne de transmission comprenant deux lignes d'alimentation 51a, 51b ; 52a, 52b, 53a, 53b ou respectivement 54a, 54b comprenant chacun une extrémité couplée à un des points d'excitation 1+ ou 1- ; 2+ ou 2- ; 3+ ou 3- et 4+ ou 4- composant la paire. Chaque ligne de transmission permet de véhiculer un signal différentiel depuis/vers le circuit associé.

[0031] Chaque circuit 21, 22, 23 ou 24 est couplé à une paire de points d'excitations de façon à être propre à appliquer un signal d'excitation différentiel à une des paires de points d'excitation et à acquérir des signaux de réception différentiels issus de la paire de points d'excitation via la ligne. Avantageusement, chaque circuit est configuré pour appliquer un signal d'excitation différentiel aux paires de points d'excitation respectives.

[0032] Dans les exemples non limitatifs des figures, les quatre circuits d'émission/réception 21 à 24 sont identiques.

[0033] Les circuits d'émission/réception 21 à 24 sont avantageusement réalisés en technologie MMIC. De préférence, une technologie SiGe (Silicon Germanium) est utilisée, mais une technologie GaAs (Gallium Arsenide) ou GaN (Gallium Nitride) pourrait tout aussi bien être utilisée. De manière avantageuse, mais non limitative, comme illustré sur la figure 1, les circuits d'émission/réception d'une même antenne élémentaire sont réalisés sur un même substrat de manière à constituer un circuit 20 unique. Cette variante présente un encombrement réduit facilitant l'intégration du circuit 20 à l'arrière du dispositif rayonnant planaire 10.

[0034] Chaque circuit d'émission/réception 21, 22, 23 et respectivement 24 comporte, sur l'exemple de la figure 1, une voie d'émission 110 couplée à une paire de points d'excitation et étant destinée à délivrer des signaux d'excitation destinés à exciter la paire de points d'excitation et une voie de réception 120 apte à mettre en forme le signal de réception issu de la paire de points d'excitation. Chacune de ces chaînes est couplée à une paire de points au moyen d'une des paires de lignes d'alimentation 51a, 51b ; 52a, 52b ; 53a, 53b et respectivement 54a, 54b via un commutateur 121a, 121b, 121c, et respectivement 121d. Les lignes d'alimentation sont formées par des conducteurs c'est-à-dire de pistes.

[0035] Les pistes sont par exemple des pistes accordées en fréquence.

[0036] Chaque circuit peut être un circuit d'émission et/ou un circuit de réception. Il peut comprendre une voie d'émission et/ou une voie de réception.

[0037] Chaque voie est conçue pour avoir des performances optimales lorsqu'elle est chargée (en sortie pour la voie d'émission ou en entrée pour la voie de réception) par une impédance optimale bien déterminée ; elle a des performances dégradées lorsqu'elle est chargée par une impédance différente de sa valeur optimale. Avantageusement, les points sont positionnés et couplés au dispositif rayonnant de façon que pour chaque circuit 21 à 24, la voie d'émission 110 et/ou la voie de réception 120 est chargé sur son impédance optimale.

[0038] L'impédance optimale d'entrée ou de sortie d'une voie est sensiblement l'impédance optimale d'entrée de l'amplificateur d'entrée de cette voie ou respectivement l'impédance optimale de sortie de l'amplificateur de sortie de cette voie.

[0039] Avantageusement, l'impédance chargée sur un circuit 21, 22, 23 ou 24 est l'impédance de la chaîne formée par chaque ligne d'alimentation reliant le dispositif rayonnant au circuit 21, 22, 23 ou 24 et par le dispositif rayonnant entre ces lignes. Par conséquent, la solution proposée permet d'optimiser la consommation, en mode émission, et/ou d'améliorer le facteur de bruit, en mode réception. De ce fait, il est possible d'éviter d'avoir à faire un compromis au niveau de l'adaptation d'impédance pouvant s'avérer coûteux en performances ou d'éviter de prévoir un transformateur d'impédance au moins pour une des voies.

[0040] Avantageusement, mais non nécessairement, les points sont positionnés et couplés au dispositif rayonnant de façon que l'impédance du dispositif rayonnant 10 mesurée entre deux points d'une paire de points d'excitation, appelée impédance différentielle, est sensiblement le conjugué d'une impédance du circuit d'émission/réception 21, 22, 23 ou 24 du côté du dispositif rayonnant, c'est-à-dire sensiblement le conjugué d'une

impédance de sortie d'une voie d'émission et/ou d'une impédance d'entrée d'une voie de réception du circuit d'émission/réception 21, 22, 23 ou 24 couplé à la paire de points. Les voies d'émission et de réception seront décrites ultérieurement.

[0041] L'impédance de sortie d'une voie d'émission est sensiblement une impédance de sortie d'un amplificateur de sortie de la voie. L'impédance de sortie d'une voie de réception est sensiblement une impédance d'entrée d'un amplificateur d'entrée de la voie.

[0042] La possibilité d'ajuster ainsi l'impédance évite l'utilisation de composant pour adapter, par transformation d'impédance, l'impédance entre les circuits d'émission/réception 21 à 24 et le dispositif rayonnant 10. Cette économie de composants participe à l'amélioration du rendement en puissance du dispositif d'émission et/ou de réception, l'intégralité de la puissance en sortie d'une voie d'émission et/ou de réception étant appliquée au moyen rayonnant. Par ailleurs, l'adaptation d'impédance du dispositif rayonnant à celle du circuit d'excitation permet de limiter les courants et puissances maximales à générer. En variante, un dispositif de transformation d'impédance est prévu entre le dispositif rayonnant 10 et le circuit d'émission/réception 20 pour adapter l'impédance du dispositif rayonnant entre les deux points de la paire de points à l'impédance de sortie de la voie d'émission et/ou à l'impédance de sortie de la voie de réception. La possibilité d'ajuster l'impédance des points permet tout de même de faciliter l'adaptation d'impédance.

[0043] Avantagusement, les points d'excitation des paires respectives 1+ et 1- ou 2+ et 2- ou 3+ et 3- ou 4+ et 4- sont disposés de façon que l'impédance du dispositif rayonnant 10 présentée à un circuit d'émission/réception 21 à 24 entre les points d'excitation de la paire de points d'excitation couplée au circuit d'émission/réception est la même pour toutes les paires de points d'excitation.

[0044] Cette impédance est par exemple, de façon non limitative, de 50 ohms. Cette impédance peut être différente de 50 Ohms, elle peut dépendre de la technologie et de la classe des amplificateurs employés dans les circuits d'émission/réception.

[0045] Les points des deux quadruplets de points présentent la même impédance. A cet effet, dans l'exemple des figures, la première et la troisième paire de chaque ensemble sont symétriques l'une de l'autre par rapport à la droite D2 et la deuxième et la quatrième paire de chaque ensemble sont symétriques l'une de l'autre par rapport à la droite D1. Ainsi, les points d'excitation de chaque paire de points sont avantagusement situés sensiblement à la même distance D du centre C et les points des paires de points sont tous séparés de la même distance. En variante, les impédances du dispositif rayonnant entre les paires de points respectives ne sont pas toutes identiques. Par exemple, dans une variante, les points sont disposés de façon que les impédances formées par le dispositif rayonnant entre les paires des points 1+ ; 1- et 2+, 2- sont identiques et de façon que les impédances formées par le dispositif rayonnant entre

les paires de points d'excitation 3+, 3- et 4+, 4- sont les mêmes mais différentes de celles formées entre les points 1+ ; 1- et 2+, 2-. A cet effet, les points 1+ ; 1- ; 2+, 2- sont par exemple à une même distance du centre différentes d'une autre distance séparant les points 3+, 3- et 4+, 4- du centre C.

[0046] Sur la réalisation de la figure 1, en émission, un signal d'excitation SE appliqué par l'électronique de génération d'un signal hyperfréquence en entrée du circuit 20 est divisé en quatre signaux d'excitation élémentaires appliqués en entrée des voies d'émission 110 des circuits d'émission/réception respectifs 21 à 24. Les quatre signaux d'excitation élémentaires sont identiques à des phases relatives et éventuellement des amplitudes près. Le module 20 comprend un répartiteur 122 permettant de diviser le signal d'excitation commun SE en deux signaux d'excitation, pouvant être asymétriques ou symétriques (c'est-à-dire différentiels ou équilibrés), respectivement injectés en entrée de déphaseurs d'émission respectifs 25, 26. Chaque déphaseur 25, 26 délivre un signal différentiel ou asymétrique. Le signal sortant du premier déphaseur d'émission 25 est injecté en entrée de la voie d'émission 110 du premier circuit 21 et en entrée de la voie d'émission 110 du troisième circuit 23. Le signal sortant du deuxième déphaseur d'émission 26 est injecté en entrée de la voie d'émission 110 du deuxième circuit 22 et en entrée de la voie d'émission 110 du quatrième circuit 24.

[0047] Les voies d'émission comportent au moins un amplificateur 114 permettant d'amplifier le signal d'excitation SE. Les voies d'émission comprennent par exemple un amplificateur haute puissance 114 dans les applications radars et de guerre électronique.

[0048] Chaque voie d'émission 110 délivre un signal différentiel. Ces signaux sont appliqués aux paires de lignes respectives 51a et 51b, 52a et 52b, 53a et 53b, 54a et 54b pour exciter les paires de points d'excitation respectifs. Cela permet de réaliser une excitation différentielle des paires de points d'excitation respectives. Les points d'une même paire sont alors excités au moyen de signaux opposés.

[0049] Les voies d'émission 110 respectives sont avantagusement couplées aux points d'excitation respectifs de sorte que les ondes élémentaires excitées par le premier circuit 21 et le troisième circuit 23 soient polarisées dans le même sens et de sorte que les ondes élémentaires excitées par le deuxième circuit 22 et le quatrième circuit 24 soient polarisées dans le même sens. Autrement dit, les champs électriques des signaux d'excitation appliqués à la première et à la troisième paire de points d'excitation 1+, 1-, 3+, 3- présentent le même sens. Ainsi ces deux paires de points permettent de délivrer un même signal qu'à partir de deux points excités en asymétrique. La puissance devant être délivrée par l'amplificateur 114 est ainsi divisée par deux et le courant devant être délivré par cet amplificateur est alors divisée par racine carrée de deux. Les pertes ohmiques sont donc plus faibles et il est plus facile de réaliser deux am-

plificateurs 114 de puissance plus faible qu'un seul amplificateur délivrant toute la puissance. De même, les champs électriques des signaux d'excitation appliqués à la deuxième et à la quatrième paire de points d'excitation 2+, 2-, 4+, 4- présentent avantageusement le même sens.

[0050] Le module d'émission/réception 20 comprend des moyens de déphasage en émission 25, 26 comprenant au moins un déphaseur, permettant d'introduire un premier déphasage, dit premier déphasage en émission, entre le signal appliqué sur la première paire 1+, 1- et le signal appliqué sur la deuxième paire 2+, 2- et d'introduire ce même premier déphasage en émission entre le signal appliqué sur la paire 3+, 3- et le signal appliqué sur la paire 4+, 4-. Les signaux d'excitation élémentaires injectés en entrée de la voie d'émission 110 du premier circuit 21 et du circuit 23 sont en phase. Les signaux d'excitation élémentaires injectés en entrée de la voie d'émission 110 du deuxième circuit 22 et du quatrième circuit 24 sont en phase.

[0051] Avantageusement, le premier déphasage en émission est réglable. L'antenne réseau comprend avantageusement un dispositif de réglage 35 permettant de régler le premier déphasage en émission de façon à introduire un premier déphasage en émission prédéterminé.

[0052] Chaque paire de points d'excitation génère une onde élémentaire. Avec le premier déphasage en émission, les ondes élémentaires émises par les paires 1+, 1- et 3+, 3- sont déphasées par rapport aux ondes élémentaires émises par les paires 2+, 2- et 4+, 4-. Par recombinaison dans l'air des ondes élémentaires, on obtient une onde totale dont il est possible de faire varier la polarisation en faisant varier le premier déphasage en émission. Des exemples de phases relatives entre les signaux d'émission injectés sur les lignes couplées aux points de couplages respectifs sont donnés sur le tableau de la figure 3 ainsi que les polarisations obtenues. La polarisation verticale est la polarisation selon l'axe z représenté sur la figure 1. Deux points excités en opposition de phases, séparés de 180° , ont des tensions électriques d'excitation instantanées opposées. A titre d'exemple, la première ligne du tableau de la figure 3 illustre le cas où les lignes couplées aux points 1+, 2+, 3+, 4+ sont portées à une même tension électrique et les lignes couplées aux points 1-, 2-, 3-, 4- sont portées à une même tension, opposée à la précédente. Le différentiel de tension est alors symétrique par rapport à la droite D3. La polarisation est donc orientée selon cette droite, orientée verticalement. La polarisation linéaire à $+45^\circ$ est obtenue en excitant uniquement la paire 1+, 1- et la paire 3+, 3- avec des signaux d'excitation différentiels en phase sans exciter les paires 2+, 2- et 4+, 4-. Ceci est par exemple réalisé en réglant le gain des amplificateurs de puissance 114 des circuits 22 et 24 pour qu'ils délivrent une puissance nulle. A cet effet, les amplificateurs présentent un gain variable et des moyens de réglage du gain. Dans l'exemple de la cinquième-ligne, les déphasages entre

les points restent les mêmes au cours du temps. L'évolution des phases au cours du temps produit une polarisation circulaire droite.

[0053] En réception, des signaux de réception reçus par les paires de points d'excitation respectifs 1+ et 1-, 2+ et 2-, 3+ et 3-, 4+ et 4- sont respectivement appliqués en entrée des voies d'émission 120 des circuits d'excitation respectifs 21, 22, 23, 24. La voie de réception 120 de chacun des circuits comporte des moyens de protection, tels qu'un limiteur 117, et au moins un amplificateur 118, tel qu'un amplificateur faible bruit dans les applications de guerre électronique. La voie de réception 120 comporte également un combineur 119 permettant de combiner des signaux de réception élémentaires issus des deux lignes 51a et 51b ou 52a et 52b ou 53a et 53b ou 54a et 54b reliées à la voie en appliquant un déphasage de 180° à un des signaux. En variante, la voie de réception transmet un signal différentiel à un déphaseur.

[0054] Les signaux de réception élémentaires sortant de la voie de réception 120 du premier circuit 21 et de la voie de réception 120 du troisième circuit 23 sont injectés en entrée d'un premier déphaseur de réception 29 et les signaux sortant de la voie de réception 120 du deuxième circuit 22 et de la voie de réception 120 du quatrième circuit 24 sont injectés en entrée d'un deuxième déphaseur de réception 30. Ces déphaseurs 29, 30 permettent d'introduire un premier déphasage en réception entre les signaux de réception délivrés par les voies de réception 120 des premier et troisième circuits 21, 23 et ceux délivrés par les voies de réception des deuxième et quatrième circuits 22, 24. Ces déphaseurs de réception 29, 30 comprennent, de façon non limitative, chacun un sommateur effectuant la somme des signaux qui sont injectés en entrée du déphaseur. Les signaux de réception sortant des déphaseurs de réception 29, 30 sont sommés au moyen d'un sommateur 220 du module 20, avant que le signal de réception résultant SS ne soit transmis vers l'électronique d'acquisition déportée.

[0055] Ainsi, le module d'émission/réception 20 comprend des moyens de déphasage en réception 29, 30 permettant d'introduire un premier déphasage en réception entre des signaux de réception issus des paires 1+, 1- et 2+, 2- et entre les signaux de réception issus des paires 3+, 3- et 4+, 4-. Sur la réalisation non limitative de la figure 1, ces moyens sont situés en sortie des voies de réception 120.

[0056] Avantageusement, le premier déphasage en réception est réglable. Le dispositif comprend avantageusement un dispositif de réglage permettant de régler le déphasage en réception qui est le dispositif 35 sur la réalisation non limitative de la figure 1.

[0057] Avantageusement, les premiers déphasages en réception et en émission sont identiques. Cela permet de réceptionner des ondes élémentaires présentant les mêmes phases que les ondes élémentaires émises et ainsi de faire des mesures sur une onde de réception totale présentant la même polarisation que l'onde totale

émise par l'antenne élémentaire. En variante, ces phases peuvent être différentes. Elles peuvent être avantageusement réglables de façon indépendante. Cela permet d'émettre et de recevoir des signaux présentant des polarisations différentes.

[0058] En variante, le nombre de déphaseurs est différent et/ou les déphaseurs sont disposés ailleurs que ce soit en entrée des voies d'émission ou en sortie des voies d'émission.

[0059] Avantageusement, l'antenne comprend des moyens de déphasage dits de pointage permettant d'introduire des déphasages globaux réglables entre les signaux d'excitation appliqués sur les points des antennes élémentaires respectives de l'antenne et/ou entre des signaux de réception issus des points des antennes élémentaires respectives de l'antenne.

[0060] Dans l'exemple non limitatif de la figure 1, ces moyens comprennent un dispositif de commande 36 générant un signal de commande à destination des moyens de réglage 35 ainsi que les déphaseurs. Le dispositif de commande 36 génère un signal de commande comprenant un premier signal S1 commandant l'introduction du premier déphasage en émission et en réception (qui est le même dans le cas de la figure 1) et un signal global Sg commandant l'introduction déphasage global à appliquer sur les signaux reçus en entrée de chaque déphaseur. Le déphasage global peut commander l'introduction d'un même déphasage global sur les signaux d'excitation élémentaires respectifs et sur les signaux de réception élémentaires respectifs provenant de l'élément rayonnant. Ce déphasage global permet, par recombinaison des ondes totales émises par les antennes élémentaires du réseau, de choisir la direction de pointage de l'onde émise par l'antenne et de l'onde mesurée par l'antenne. En variante, le dispositif de commande 36 reçoit des signaux de commande différentes pour commander l'introduction des déphasages en émission et en réception (premiers déphasages et déphasages globaux). On peut ainsi contrôler de façon indépendante les polarisations et les directions de pointage des ondes émises et mesurées. Le balayage électronique d'une antenne réseau repose sur les déphasages appliqués sur les antennes élémentaires constitutives du réseau, le balayage étant déterminé par une loi de phase.

[0061] L'antenne élémentaire comprend avantageusement des moyens de commutation permettant de diriger les signaux de sortie des circuits 21 à 24 vers le dispositif 10 et un signal de réception en entrée la voie de réception de chacun des circuits.

[0062] Sur la réalisation non limitative de la figure 1, ces moyens de commutation comprennent un interrupteur commandé 121a, 121b, 121c, 121d de manière à basculer ledit circuit 21, 22, 23 et 24 respectivement, soit dans le mode de fonctionnement en émission, en connectant la voie d'émission 110 des circuits 21, 22, 23, 24 aux lignes 51a, 51b ; 52a, 52b ; 53a, 53b ; 54a, 54b, soit dans un mode de fonctionnement en réception, en connectant les voies de réception 120 des circuits aux lignes

51a, 51b ; 52a, 52b ; 53a, 53b ; 54a, 54b.

[0063] En variante, chaque circuit d'excitation comprend un circulateur électronique relié à la paire de points d'excitation correspondante ainsi qu'à la voie d'émission et à la voie de réception du circuit. Les circuits fonctionnent alors simultanément en émission et en réception.

[0064] Le dispositif selon l'invention présente de nombreux avantages.

[0065] Chaque circuit 21 à 24 est propre, en émission, à appliquer un signal différentiel et, en réception à acquérir un signal différentiel, c'est-à-dire un signal équilibré ou « balanced » en terminologie anglo-saxonne. Le circuit opérant déjà sur les signaux différentiels permet d'éviter d'avoir à interposer un composant, tel qu'un balun (pour « balanced unbalanced transformer ») pour passer d'un signal différentiel à un signal asymétrique. Or, un tel composant intermédiaire dégrade le rendement en puissance. Le rendement en puissance du dispositif est donc amélioré.

[0066] Pour fonctionner avec des puissances élevées, l'invention utilise des circuits d'émission/réception couplés à quatre accès de polarisation en quadrature deux à deux, chaque circuit fonctionnant à une puissance nominale compatible avec la puissance maximale acceptable par la technologie mise en oeuvre pour le fabriquer.

[0067] La puissance des ondes électromagnétiques émises ou reçues par le moyen rayonnant peut donc être supérieure à la puissance nominale de fonctionnement du circuit couplé à cette paire de points d'excitation. Chaque paire de points d'excitation de l'élément rayonnant excités de façon différentielle génère une onde élémentaire. L'antenne travaille en double différentiel à l'émission et à la réception. La puissance de l'onde élémentaire émise par la paire de points d'excitation est deux fois plus importante que la puissance nominale en émission du circuit d'émission.

[0068] Ceci est particulièrement avantageux lorsque la puissance nominale est proche de la puissance maximale autorisée par la technologie mise en oeuvre pour la réalisation des circuits d'excitation. Bien qu'au niveau de chaque circuit d'excitation la puissance reste au-dessous de la puissance maximale, l'antenne élémentaire permet d'émettre des ondes à une puissance supérieure.

[0069] Le choix de la technologie du dispositif rayonnant fixe la tension à appliquer aux points d'excitation. Plus la tension est élevée et plus le courant est faible à puissance et impédance égale et plus les pertes ohmiques sont faibles. Pour une impédance identique, la division de la puissance de sortie par deux entraîne une division du courant par racine carrée de deux. La solution proposée faisant la somme de la puissance directement sur le patch ou élément rayonnant 11, les pertes ohmiques sont donc grandement diminuées.

[0070] Comme précisé précédemment, la sommation d'énergie est réalisée directement au niveau des points d'excitation. Il n'est donc pas nécessaire, pour émettre quatre fois plus de puissance, de prévoir des circuits présentant des amplificateurs quatre fois plus puissants. Il

n'est pas non plus nécessaire, de sommer à l'extérieur du moyen rayonnant des signaux issus d'amplificateurs de puissance limitée, par exemple au moyen de sommateurs en anneau ou de Wilkinson. L'invention permet de limiter le nombre de lignes utilisées ainsi que les pertes ohmiques dans les conducteurs et par conséquent la puissance générée pour compenser ces pertes. Il n'est pas non plus nécessaire, pour limiter les pertes, de faire les sommations d'énergie dans les MMIC. Si les sommations sont faites dans les MMICs, les pertes sont à dissiper dans cet endroit déjà critique. L'échauffement de l'antenne et les pertes ohmiques se trouvent ainsi réduits.

[0071] Par ailleurs, la recombinaison dans l'espace des quatre ondes élémentaires émises par l'élément rayonnant conduit à une onde totale dont la puissance est quatre fois plus importante que la puissance de chaque onde élémentaire.

[0072] En réception, l'onde totale incidente est décomposée en quatre ondes élémentaires transmises vers les circuits d'excitation respectifs. Une onde élémentaire possède une puissance quatre fois plus faible que l'onde totale incidente. Cela permet à l'antenne d'être plus robuste vis-à-vis des agressions extérieures, telles que les illuminations de l'antenne par un dispositif réalisant un brouillage intentionnel ou non. Les risques de détérioration de l'amplificateur faible bruit sont limités. Par exemple, les agressions des champs forts seront réduites, par le fait que les signaux élémentaires ne sont pas reçus dans la polarisation optimale mais à 45° (lorsque les émissions sont soit en polarisation Horizontale ou Verticale mais pas en oblique). L'antenne de la figure 1 permet de faire des mesures en polarisation croisée, une émission en polarisation Horizontale et une réception en polarisation Verticale par exemple en n'appliquant pas les mêmes premiers déphasages en émission et en réception.

[0073] Par ailleurs, en excitant les points d'excitation de chaque paire de façon différentielle, c'est-à-dire équilibrée, chaque paire de points émet une onde élémentaire en polarisation linéaire. En appliquant un déphasage entre le signal d'excitation de la première paire de points 1+, 1- et de la troisième paire de points 3-, 3+ et les signaux d'excitation de la deuxième paire de points 2+, 2- et de la quatrième paire de points 4+, 4- orthogonales à la première et à la troisième paire de points, l'élément rayonnant 11 est apte à générer à lui seul une onde polarisée par recombinaison dans l'espace des quatre ondes élémentaires.

[0074] Cela permet d'éviter l'utilisation de commutateurs de sélection de polarisation interposés entre le circuit d'émission/réception et l'élément rayonnant pour choisir une direction dans laquelle l'élément rayonnant doit être excité. Cela permet également de connecter directement le circuit d'émission/réception aux points d'excitation et ainsi d'augmenter le rendement de puissance, c'est-à-dire de limiter les pertes. L'échauffement de l'antenne élémentaire est ainsi réduit.

[0075] Sur la figure 4, on a représenté un deuxième exemple d'antenne élémentaire 200 selon l'invention.

[0076] Le dispositif rayonnant planaire 10 est identique à celui de la figure 1. L'antenne comprend les mêmes circuits d'émission/réception 21 à 24 couplés de la même manière que sur la figure 1 aux paires de points d'excitation respectives 1+, 1- ; 2+, 2- ; 3+, 3- et 4+, 4-.

[0077] En revanche, le module d'émission/réception 222 se distingue de celui de la figure 1. Il comprend des moyens de déphasage en émission comprenant au moins un déphaseur permettant d'introduire un premier déphasage en émission θ_1 entre les signaux d'excitation appliqués sur les paires de points d'excitation 1+, 1- et 2+, 2- et un deuxième déphasage en émission θ_2 entre les signaux d'excitation appliqués sur les paires de points 3+, 3- et 4+, 4-, ces deux déphasages en émission pouvant être différents. Cela permet d'émettre des ondes présentant des polarisations différentes au moyen des deux quadruplets de points.

[0078] Dans l'exemple non limitatif représenté sur la figure 4, ces moyens de déphasage en émission comprennent un premier déphaseur d'émission 125a et un deuxième déphaseur d'émission 125b recevant un même signal, éventuellement à une amplitude près, et introduisant chacun un déphasage sur le signal reçu de sorte à introduire le premier déphasage en émission entre les signaux d'excitation appliqués à la paire 1+, 1- et à la paire 2+, 2-. Les moyens de déphasage comprennent un troisième 126a et un quatrième 126b déphaseurs d'émission recevant un même signal, éventuellement, à une amplitude près, et appliquant chacun un déphasage sur le signal de sorte à introduire le deuxième déphasage entre les signaux d'excitation appliqués sur la paire 3+, 3- et sur la paire 4+, 4-. Le premier et le deuxième déphasage en émission peuvent être différents. Les signaux d'excitation issus des déphaseurs 125a et 125b sont injectés respectivement en entrée des circuits 21 et 22. Les signaux d'excitation issus des déphaseurs 126a et 126b sont injectés respectivement en entrée des circuits 23 et 24. On peut ainsi émettre simultanément deux faisceaux présentant des polarisations différentes au moyen des deux quadruplets de points.

[0079] Le module d'émission/réception 222 comprend des moyens de déphasage en réception 129a, 129b, 130a, 130b permettant d'introduire un premier déphasage en réception entre les signaux d'excitation appliqués sur les paires de points d'excitation 1+, 1- et 2+, 2- et un deuxième déphasage en réception θ_2 entre les signaux d'excitation appliqués sur les paires de points 3+, 3- et 4+, 4-, ces deux déphasages pouvant être différents. Les signaux de réception sortant des voies de réception des circuits respectifs 21 à 24 sont injectés dans des déphaseurs de réception respectifs 129a, 129b, 130a, 130b permettant chacun d'introduire un déphasage sur le signal qu'il reçoit. Chaque signal de réception est injecté dans un des déphaseurs.

[0080] Avantageusement, les déphasages introduits entre les signaux d'excitation ou de réception des paires

de points 1+, 1- et 2+, 2- et entre les paires 3+, 3- et 4+, 4- sont identiques. En variante, ces déphasages peuvent être différents. Cela permet d'émettre et de recevoir deux ondes dont les polarisations peuvent être différentes.

[0081] Avantageusement, les déphasages sont réglables.

[0082] Avantageusement, les déphasages introduits entre les signaux d'émission ou de réception issus paires de points 1+, 1- et 2+, 2- et entre les paires 3+, 3- et 4+, 4- peuvent avantageusement être réglés de façon indépendante. On peut alors régler de façon indépendante les polarisations des ondes élémentaires émises ou mesurées par le premier quadruplet de points 1+, 1-, 2+, 2- et par le deuxième quadruplet de points 3+, 3-, 4+, 4-.

[0083] L'antenne réseau comprend avantageusement un dispositif de réglage 135 permettant de régler les déphasages en émission et en réception.

[0084] Avantageusement, l'antenne comprend des moyens de déphasage dits de pointage permettant d'introduire des premiers déphasages globaux en émission entre les signaux d'excitation appliqués sur les premiers quadruplets de points 1+, 1-, 2+, 2- des antennes élémentaires respectives et des deuxièmes déphasages globaux en émission entre les signaux d'excitation appliqués sur les deuxièmes quadruplets de points 3+, 3-, 4+, 4- des antennes élémentaires respectives du réseau, les premier et deuxième déphasages globaux en émission pouvant être différents et/ou des premiers déphasages globaux en réception entre les signaux de réception issus des premiers quadruplets de points 1+, 1-, 2+, 2- des antennes élémentaires respectives et des deuxièmes déphasages globaux en réception entre les signaux de réception issus des deuxièmes quadruplets de points 3+, 3-, 4+, 4- des antennes élémentaires respectives du réseau, les premier et deuxième déphasages globaux en réception pouvant être différents. Il est alors possible d'émettre simultanément deux faisceaux selon deux directions différentes.

[0085] Avantageusement, les déphasages globaux en émission et/ou en réception sont réglables.

[0086] Avantageusement, les déphasages globaux en émission et/ou en réception sont réglables de façon indépendante. Les directions de pointage sont réglables de façon indépendante.

[0087] Le dispositif de la figure 4 offre la possibilité de mesurer un faisceau dans une direction et d'émettre un faisceau dans une autre direction simultanément ou de faire deux mesures dans deux directions simultanément, le dispositif de commande recevant alors des signaux globaux différents pour commander l'introduction des déphasages en émission et en réception. Il est possible d'émettre et de recevoir un signal dans une direction et d'émettre une émission et recevoir de la communication dans une autre direction. Il est donc possible de faire des émissions / réceptions croisées. Il est possible de former un diagramme de rayonnement en réception ou en émission couvrant les lobes secondaires et les diffus pour permettre des fonctions d'opposition de lobes secondaires

(OLS) permettant de protéger le radar de signaux de brouillage intentionnels ou non intentionnels. Il est possible d'émettre à des fréquences différentes, ce qui complexifie la tâche des détecteurs de Radars (ESM : « Electronic Support Measures » en terminologie anglosaxonne c'est à dire mesures de soutien électronique).

[0088] Dans l'exemple non limitatif de la figure 4, ces moyens comprennent un dispositif de commande 136 permettant de générer un signal de commande à destination du dispositif de réglage ainsi que les déphaseurs. Le générateur de signal 136 génère un signal de commande comprenant un premier signal S1 commandant l'introduction du premier déphasage en émission et en réception (lorsqu'ils sont identiques) et un premier signal global S1g commandant l'introduction d'un premier déphasage global à appliquer sur les signaux reçus en entrée de chaque déphaseur couplé à une paire du premier quadruplet de points 1+, 1-, 2+, 2-. Le dispositif de commande 136 génère également un deuxième signal S2 commandant l'introduction du deuxième déphasage en émission et en réception (lorsqu'ils sont identiques) et un deuxième signal global S2g commandant l'introduction d'un déphasage global à appliquer sur les signaux reçus en entrée de chaque déphaseur couplé à une paire du deuxième quadruplet de points 3+, 3-, 4+, 4-. En variante, le dispositif de commande 136 reçoit des signaux de commande différentes pour commander l'introduction des déphasages en émission et en réception. On peut ainsi contrôler de façon indépendante les polarisations et les directions de pointage des ondes émises et mesurées chacun des quadruplets de points.

[0089] Sur la réalisation de la figure 4, les voies d'émission des deux quadruplets de points 1+, 1-, 2+, 2- et 3+, 3-, 4+, 4- sont alimentées au moyen de deux sources d'alimentation différentes SO1, SO2. Cela permet d'émettre deux ondes présentant des fréquences différentes, l'une au moyen du premier quadruplet de points 1+, 1-, 2+, 2- et l'autre au moyen du deuxième quadruplet de points 3+, 3-, 4+, 4-, lorsque les sources délivrent des signaux d'excitation E1 et E2 de fréquences différentes.

[0090] Cela permet d'émettre deux ondes présentant des fréquences différentes, l'une au moyen du premier quadruplet de points 1a+, 1a-, 2a+, 2a- et l'autre au moyen du deuxième quadruplet de points 3a+, 3a-, 4a+, 4a-, lorsque les sources délivrent des signaux d'excitation E1 et E2 de fréquences différentes. L'antenne de la figure 4 peut ainsi émettre simultanément deux faisceaux dirigés selon deux directions de pointage réglables de façon indépendante à des fréquences différentes. Cette possibilité de pointer deux faisceaux dans deux directions simultanément permet d'avoir un équivalent de double faisceau : un faisceau à balayage rapide et un faisceau à balayage lent. Par exemple un faisceau lent à 10 tours par minute, peut être utilisé en mode surveillance et un faisceau rapide, à 1 tour par seconde, peut être utilisé en mode poursuite. Ce mode de balayage n'est pas entrelacé comme dans les antennes à faisceau unique, mais peut être simultanément. La possibilité d'émettre à

des fréquences différentes complexifie la tâche des détecteurs de Radars (ESM : Electronic Support Measures). Cela permet aussi une liaison de données dans une direction et une fonction radar dans une autre direction. Ce mode de réalisation permet également d'émettre deux faisceaux de formes différentes. On peut émettre un faisceau étroit ou un faisceau large dépendant du nombre d'antennes élémentaires du réseau qui sont excitées.

[0091] Le module d'émission/réception 20 comprend un premier répartiteur 211a permettant de diviser le signal d'excitation E1 issu de la première source SO1 en deux signaux identiques injectés en entrée des deux premiers déphaseurs d'émission respectifs 125a, 125b. Le circuit 120 comprend un deuxième répartiteur 211b permettant de diviser le signal d'excitation E2 issu de la deuxième source en deux signaux identiques injectés en entrée des deux autres déphaseurs d'émission respectifs 126a, 126b.

[0092] Les signaux de réception sortant des déphaseurs de réception sont sommés deux à deux au moyen de sommateurs respectifs 230a, 230b du module 20. Les signaux issus des sommateurs respectifs sont transmis séparément vers l'électronique d'acquisition déportée. Sur l'exemple non limitatif de la figure 4, les deux signaux issus du premier déphaseur de réception 129a recevant en entrée un signal de réception issu de la première paire de lignes 51a, 51b et du deuxième déphaseur de réception 129b recevant en entrée un signal de réception issu de la deuxième paire de lignes 52a, 52b sont sommés au moyen d'un premier sommateur 230a afin de générer un premier signal de sortie SS1. Les deux signaux issus du troisième déphaseur de réception 130a recevant en entrée un signal de réception issu de la troisième paire de lignes 53a, 53b et du quatrième déphaseur de réception 130b recevant en entrée un signal de réception issu de la quatrième paire de lignes 54a, 54b sont sommés au moyen d'un deuxième sommateur 230b afin de générer un deuxième signal de sortie SS2. Les signaux issus des sommateurs respectifs sont transmis séparément vers l'électronique d'acquisition déportée. Cela permet de différencier des signaux de réception présentant des fréquences différentes. Les signaux issus des deux quadruplets de points étant sommés séparément, il est possible de former une antenne en réception couvrant les lobes secondaires et les diffus pour permettre des fonctions d'opposition de lobes secondaire (OLS) permettant de protéger le radar de signaux de brouillage intentionnels ou non intentionnels.

[0093] En variante, les voies d'émission et/ou de réception associées aux deux quadruplets de points peuvent être différentes c'est-à-dire présenter des puissances différentes et/ou des bandes passantes de largeurs différentes. On peut ainsi prévoir des voies d'émission de forte puissance et de bande passante étroite pour un des quadruplets de points, afin d'émettre, par exemple un signal radar, et des voies d'émission de plus faible puissance et de large bande passante, pour émettre, par

exemple, des signaux de brouillage.

[0094] En variante, les deux signaux d'excitation E1 et E2 présentent la même fréquence. On peut donc obtenir une onde totale plus puissante comme dans le mode de réalisation de la figure 1. On peut également émettre deux faisceaux à la même fréquence dans deux directions différentes et/ou présentant des polarisations différentes.

[0095] Sur la figure 5, on a représenté une antenne élémentaire 300 selon un troisième mode de réalisation de l'invention.

[0096] L'antenne élémentaire diffère de celle de la figure 4 en ce que son élément rayonnant 311 comprend uniquement le premier quadruplet de points 1+, 1-, 2+, 2-. Le dispositif d'émission/réception 320 associé diffère de celui de la figure 4 en ce qu'il comprend uniquement la partie du dispositif d'émission/réception couplée à ce quadruplet de points 1+, 1-, 2+, 2-. Il comprend uniquement le premier circuit 21 et le deuxième circuit 22.

[0097] Le fait d'exciter l'élément rayonnant par deux signaux d'excitation appliquées à des paires de points d'excitation situés en quadrature l'une de l'autre permet de symétriser le diagramme d'émission/réception de l'antenne élémentaire.

[0098] Cette antenne élémentaire est apte à émettre une onde dont la polarisation est réglable et à recevoir une onde selon une direction de polarisation réglable. Des exemples de phases des signaux injectés sur les lignes couplées aux points de couplages respectifs sont donnés sur le tableau de la figure 6 ainsi que les polarisations obtenues. On considère à titre d'exemple la première ligne. Les points 1+ et 2+ ont la même excitation (mêmes phases) et les points 1- et 2- ont la même excitation, opposée à celle des autres points. La polarisation est donc verticale, c'est-à-dire selon l'axe z représenté sur la figure 5. Des moyens de déphasage globaux sont également envisageables.

[0099] Cette antenne élémentaire permet également de réaliser des antennes réseau permettant d'émettre une onde totale dont la direction de pointage est réglable.

[0100] La puissance de l'onde émise par le dispositif de la figure 5 est en revanche deux fois plus faible que celle émise au moyen du dispositif de la figure 1. La réduction de la puissance en réception est deux fois plus faible que celui du dispositif de la figure 1.

[0101] Avantagusement, les points d'excitation de l'antenne élémentaire de la figure 5 sont situés du même côté d'une troisième droite D3 située dans le plan défini par l'élément rayonnant 11, passant par le centre C et étant une bissectrice des deux droites D1 et D2. Cela permet de libérer une moitié de l'élément rayonnant, pour réaliser d'autres types d'excitation par exemple.

[0102] Lorsque l'élément rayonnant est sensiblement carré, comme sur les figures, la droite D3 joint les deux sommets du carré.

[0103] Avantagusement, le premier quadruplet de points 1-, 1+, 2+ et 2- des antennes des figures 1 et 4 sont également situés du même côté de la droite D3 et

de l'autre côté de la droite D3 par rapport au deuxième quadruplet de points 3+, 3-, 4+, 4-.

[0104] Sur les réalisations des figures 1, 4 et 5, les circuits d'émission/réception couplés à chaque paire de ponts sont identiques. En variante, ces circuits peuvent être différents.

Revendications

1. Antenne élémentaire comprenant un dispositif rayonnant planaire (10) comprenant un élément rayonnant (11) sensiblement plan présentant un centre (C), le plan contenant l'élément rayonnant (11) étant défini par une première droite (D1) passant par le centre (C) et une deuxième droite (D2) perpendiculaire à la première droite (D1) et passant par le centre (C), ledit élément rayonnant (11) comprenant une pluralité de paires de points d'excitation arrangées en au moins un premier quadruplet de points d'excitation, situés à distance de la première droite (D1) et de la deuxième droite (D2), comprenant une première paire composée de points d'excitation (1+, 1-) disposés de façon sensiblement symétrique par rapport à ladite première droite (D1) et une deuxième paire composée de points d'excitation (2+, 2) disposés de façon sensiblement symétrique par rapport à ladite deuxième droite (D2), l'antenne élémentaire comprenant une pluralité de circuits de traitement aptes à délivrer des signaux d'excitation différentiels destinés à exciter les points d'excitation et/ou apte à mettre en forme des signaux issus des points d'excitation, chaque paire de points d'excitation étant couplée à un circuit de traitement de sorte que le circuit de traitement soit propre à exciter la paire de points d'excitation de façon différentielle et/ou à traiter des signaux différentiels issus de la paire de points ;
ladite antenne élémentaire comprenant des moyens de déphasage en émission permettant d'introduire un premier déphasage en émission entre un premier signal d'excitation appliqué sur la première paire des points d'excitation (1+, 1-) et un deuxième signal d'excitation appliqué sur la deuxième paire de points d'excitation (2+, 2-) et/ou des moyens de déphasage en réception permettant d'introduire un premier déphasage en réception entre un premier signal de réception issu de la première paire des points d'excitation (1+, 1-) et un deuxième signal de réception issu de la deuxième paire de points d'excitation (2+, 2-).
2. Antenne élémentaire selon la revendication 1, dans laquelle les points d'excitation du premier quadruplet de points d'excitation sont disposés de sorte que l'impédance du dispositif rayonnant mesurée entre les points de chaque paire de points d'excitation du premier quadruplet de points est la même.

3. Antenne élémentaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle les points d'excitation de la première paire de points sont situés d'un même côté d'une troisième droite (D3) du plan contenant l'élément rayonnant, la troisième droite (D3) passant par le centre (C) et étant une bissectrice de la première droite (D1) et de la deuxième droite (D2).
4. Antenne élémentaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle l'élément rayonnant présente une forme sensiblement rectangulaire, la première droite (D1) et la deuxième droite (D2) étant parallèles à des côtés du rectangle.
5. Antenne élémentaire selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans laquelle ledit élément rayonnant (11) comprend un deuxième quadruplet de points d'excitation situés à distance de la première droite (D1) et de la deuxième droite (D2) comprenant :
 - une troisième paire composée de points d'excitation (3+, 3-) disposés de façon sensiblement symétrique par rapport à ladite première droite (D1), les points de la troisième paire de points (3+, 3-) étant disposés de l'autre côté de la deuxième droite (D2) par rapport à la première paire de points d'excitation (1+, 1-),
 - une quatrième paire composée de points d'excitation (4+, 4-) disposés de façon sensiblement symétrique par rapport à ladite deuxième droite (D2), les points de la quatrième paire de points (4+, 4-) étant disposés de l'autre côté de la première droite (D1) par rapport à la deuxième paire de points d'excitation (2+, 2-).
6. Antenne élémentaire selon la revendication 1, dans laquelle les points d'excitation du deuxième quadruplet de points d'excitation sont disposés de sorte que l'impédance du dispositif rayonnant mesurée entre les points de chaque paire de points d'excitation du deuxième quadruplet de points est la même.
7. Antenne élémentaire selon l'une quelconque des revendications 5 à 6, dans laquelle la troisième paire est symétrique de la première paire par rapport à la deuxième droite et dans laquelle la quatrième paire est symétrique de la deuxième paire par rapport à la première droite.
8. Antenne élémentaire selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, comprenant des moyens de déphasage en émission permettant d'introduire un premier déphasage en émission entre un premier signal d'excitation appliqué sur la première paire des points d'excitation (1+, 1-) et un deuxième signal d'excitation appliqué sur la deuxième paire de points d'ex-

- citation (2+, 2-) et un deuxième déphasage en émission, pouvant être différent du premier déphasage en émission, entre un troisième signal d'excitation appliqué sur la troisième paire des points d'excitation (3+, 3-) et un quatrième signal d'excitation appliqué sur la quatrième paire de points d'excitation (4+, 4-) et/ou des moyens de déphasage en réception permettant d'introduire un premier déphasage en réception entre un premier signal de réception issu de la première paire des points d'excitation (1+, 1-) et un deuxième signal de réception issu de la deuxième paire de points d'excitation (2+, 2-) et un deuxième déphasage en réception, pouvant être différent du premier déphasage en réception, entre un troisième signal de réception appliqué sur la troisième paire des points d'excitation (3+, 3-) et un quatrième signal de réception appliqué sur la quatrième paire de points d'excitation (4+, 4-).
- 5
- 10
- 15
9. Antenne élémentaire selon la revendication précédente, dans laquelle chaque paire de points d'excitation est couplée à une voie d'émission configurée pour exciter la paire de points d'excitation de façon différentielle, les voies d'émission couplées au premier quadruplet de points étant aptes à exciter le premier quadruplet de points au moyen de signaux d'une fréquence distincte d'une fréquence à laquelle les voies d'émission couplées au deuxième quadruplet de points sont aptes à exciter le deuxième quadruplet de points.
- 20
- 25
- 30
10. Antenne comprenant plusieurs antennes élémentaires selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle les éléments rayonnants forment un réseau d'éléments rayonnants.
- 35
11. Antenne selon la revendication précédente en ce qu'elle dépend de la revendication 5, comprenant des moyens de déphasage de pointage en émission permettant d'introduire des premiers déphasages globaux en émission entre les signaux d'excitation appliqués sur les premiers quadruplets de points des antennes élémentaires respectives et des deuxièmes déphasages globaux en émission entre les signaux d'excitation appliqués sur les deuxièmes quadruplets de points des antennes élémentaires respectives, les premiers et les deuxièmes déphasages globaux en émission pouvant être différents, et/ou comprenant des moyens de déphasage de pointage en réception permettant d'introduire des premiers déphasages globaux en réception entre les signaux d'excitation appliqués sur les premiers quadruplets de points des antennes élémentaires respectives et des deuxièmes déphasages globaux en réception entre les signaux d'excitation appliqués sur les deuxièmes quadruplets de points des antennes élémentaires respectives, les premiers et les deuxièmes déphasages globaux en réception pouvant être
- 40
- 45
- 50
- 55

différents.

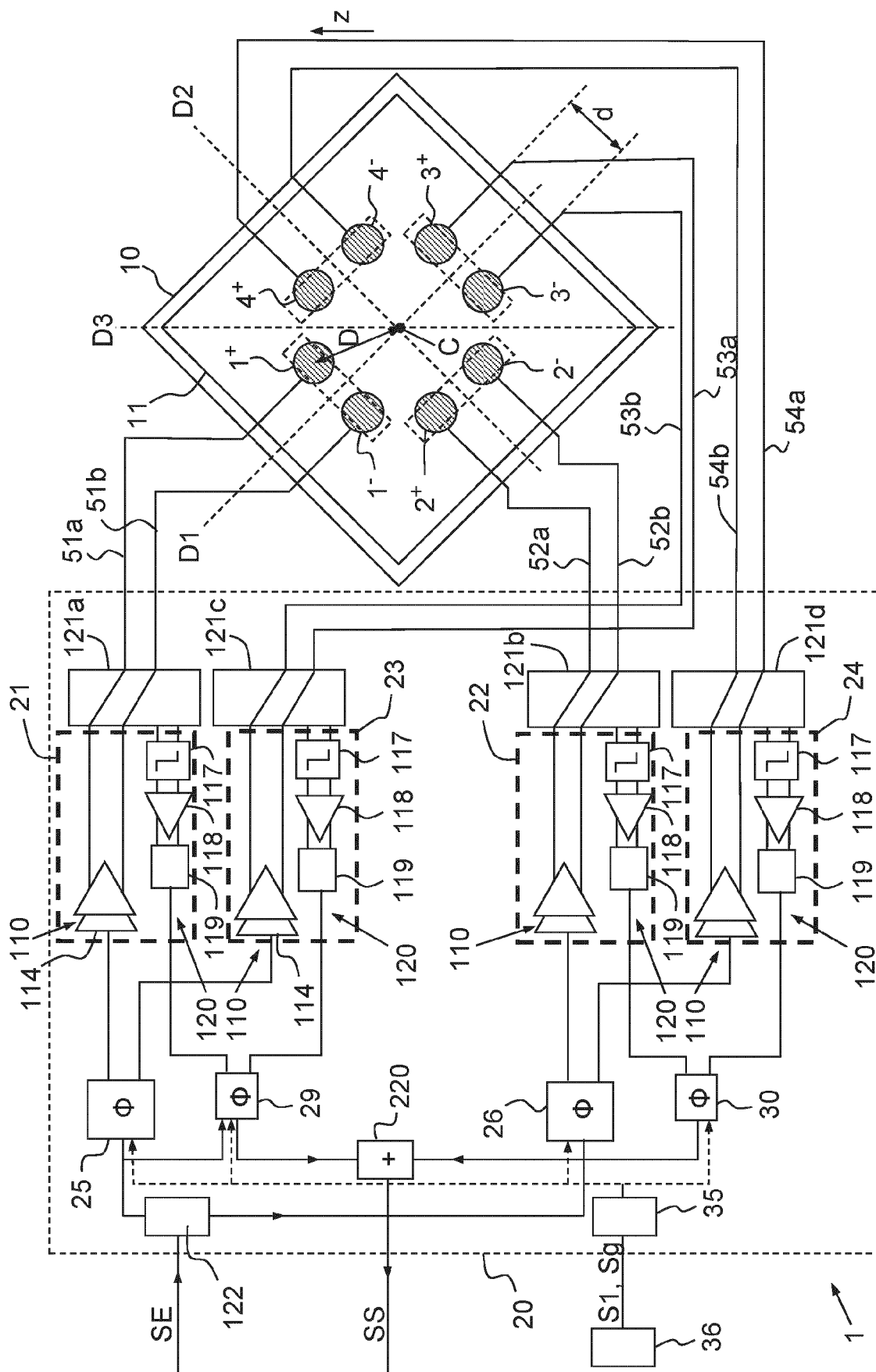


FIG. 1

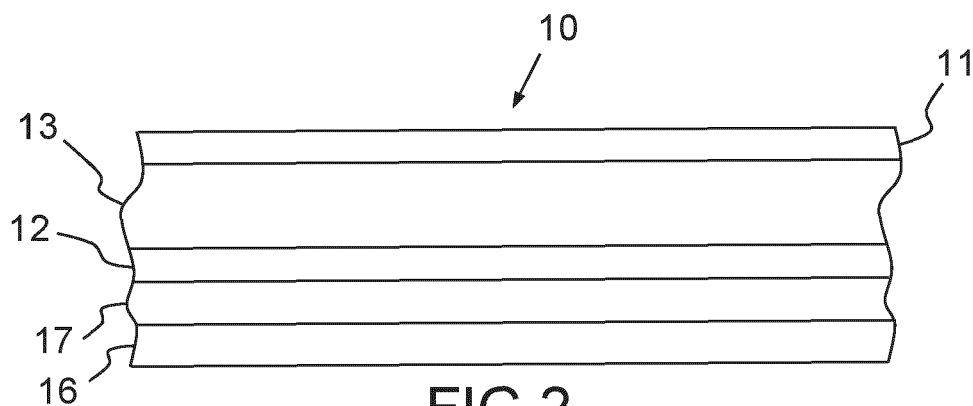


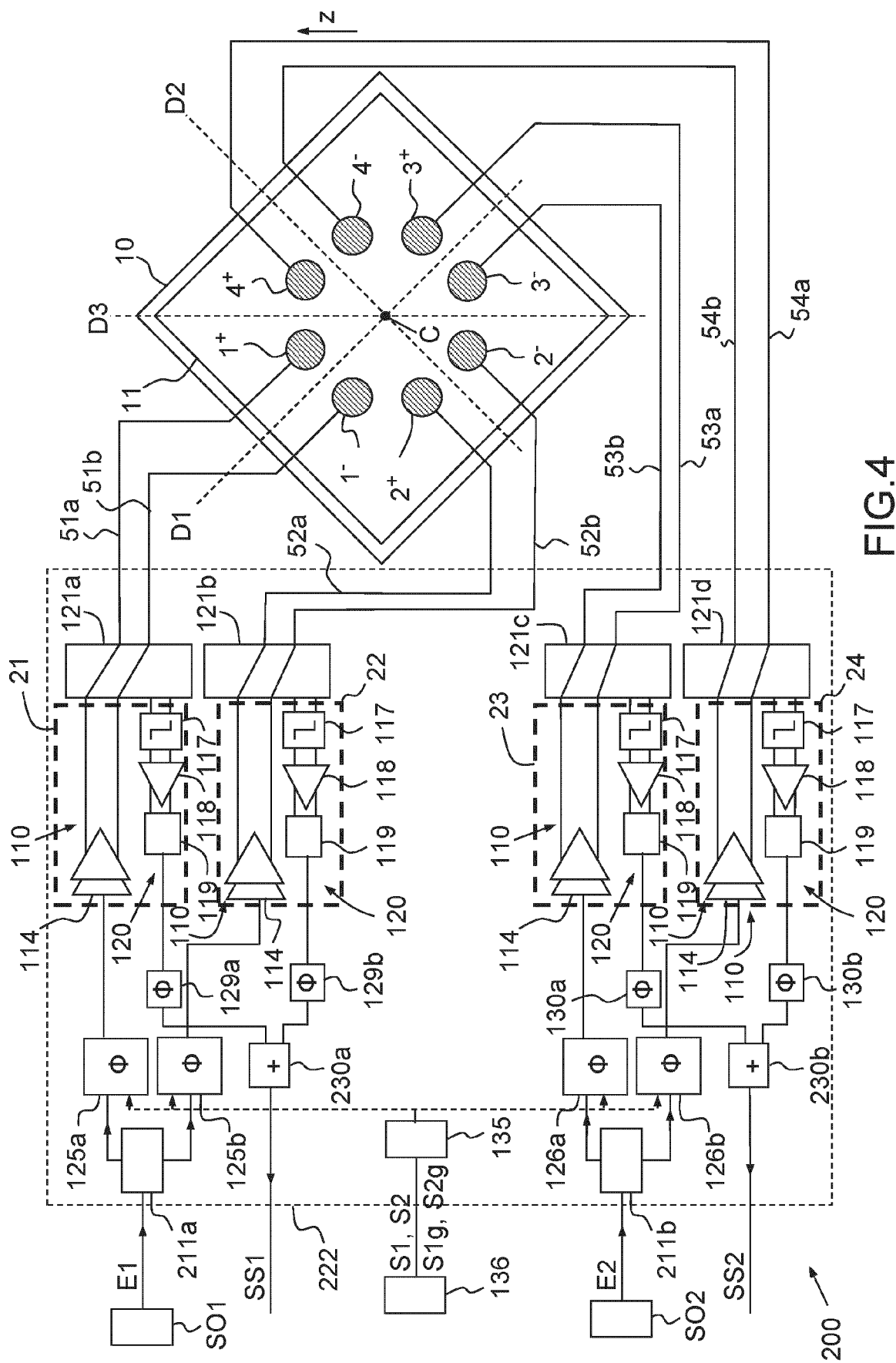
FIG.2

1+	1-	2-	2+	3-	3+	4+	4-	Polarisation
180°	0°	0°	180°	0°	180°	180°	0°	Verticale
180°	0°	180°	0°	0°	180°	0°	180°	Horizontale
180°	0°	OFF	OFF	0°	180°	OFF	OFF	+45°
OFF	OFF	0°	180°	OFF	OFF	180°	0°	-45°
180°	0°	90°	270°	0°	80°	270°	90°	Circulaire Droite (RCP)
180°	0°	270°	90°	0°	80°	90°	270°	Circulaire Gauche (LCP)

FIG.3

1+	1-	2+	2-	Polarisation
180°	0°	180°	0°	Verticale
180°	0°	0°	180°	Horizontale
180°	0°	OFF	OFF	+45°
OFF	OFF	180°	0°	-45°
180°	0°	270°	90°	Circulaire Droite (RCP)
180°	0°	90°	270°	Circulaire Gauche (LCP)

FIG.6



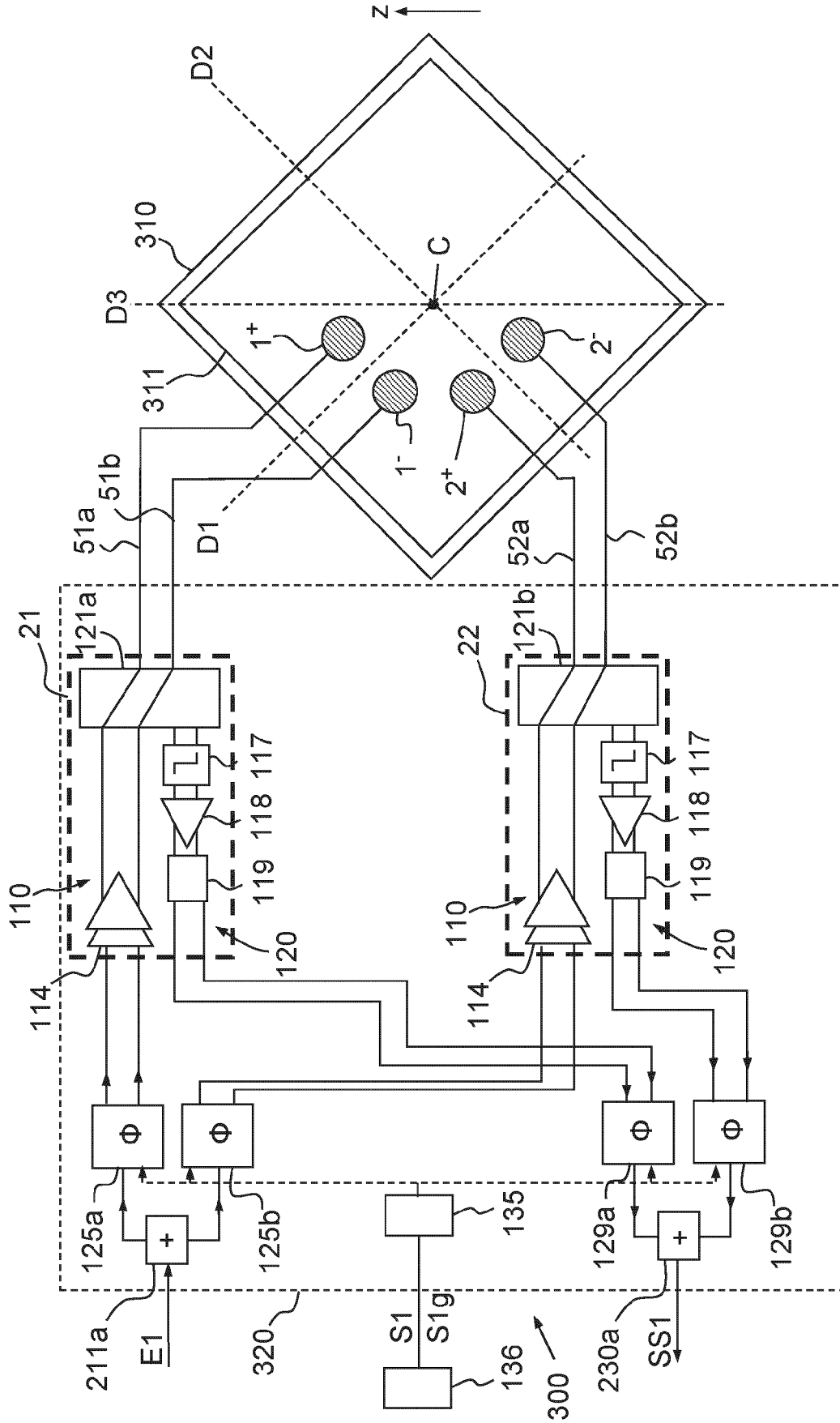


FIG.5

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 2014/176369 A1 (CHOI SE HWAN [KR] ET AL) 26 juin 2014 (2014-06-26)	1-4, 10	INV.
A	* alinéa [0035] - alinéa [0046]; figure 6 * -----	5-9, 11	H01Q9/04 H01Q21/06 H01Q21/24
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche		Examineur
La Haye	22 mai 2023		Hueso González, J
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.****EP 23 15 8398**

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.

22-05-2023

10	Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
	US 2014176369 A1	26-06-2014	KR 101413986 B1	04-07-2014
			US 2014176369 A1	26-06-2014
15	-----			
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0460

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