

(19)



(11)

EP 4 572 014 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
18.06.2025 Bulletin 2025/25

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H01Q 9/04 ^(2006.01) **H01Q 9/28** ^(2006.01)
H01Q 19/02 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **24219966.9**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H01Q 9/0471; H01Q 9/28; H01Q 19/021

(22) Date de dépôt: **13.12.2024**

(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: **15.12.2023 FR 2314287**

(71) Demandeurs:

- **THALES**
92190 Meudon (FR)
- **Centre National de la Recherche Scientifique**
75016 Paris (FR)

- **Institut Polytechnique de Bordeaux**
33402 Talence Cedex (FR)
- **Université de Bordeaux**
33000 Bordeaux (FR)

(72) Inventeurs:

- **MAZEAU, Thierry**
33700 Merignac (FR)
- **GHIOTTO, Anthony**
33130 BEGLES (FR)
- **BOURRETERE, Clément**
33700 Merignac (FR)

(74) Mandataire: **Lavoix**

2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(54) **ANTENNE OMNIDIRECTIONNELLE ET ENSEMBLE ANTENNAIRE ASSOCIÉ**

(57) La présente invention concerne une antenne omnidirectionnelle (20) comportant un élément rayonnant (26), une couche métallique (22) portée à un potentiel de référence de manière à constituer une couche de masse, et des moyens d'excitation (40) de l'élément rayonnant, l'élément rayonnant étant disposé au-dessus

de la couche de masse, qui se caractérise en ce que l'élément rayonnant (26) est constitué par une lamelle métallique conforme à une surface courbe, la surface courbe présentant une courbure de Gauss strictement positive en chacun de ses points.

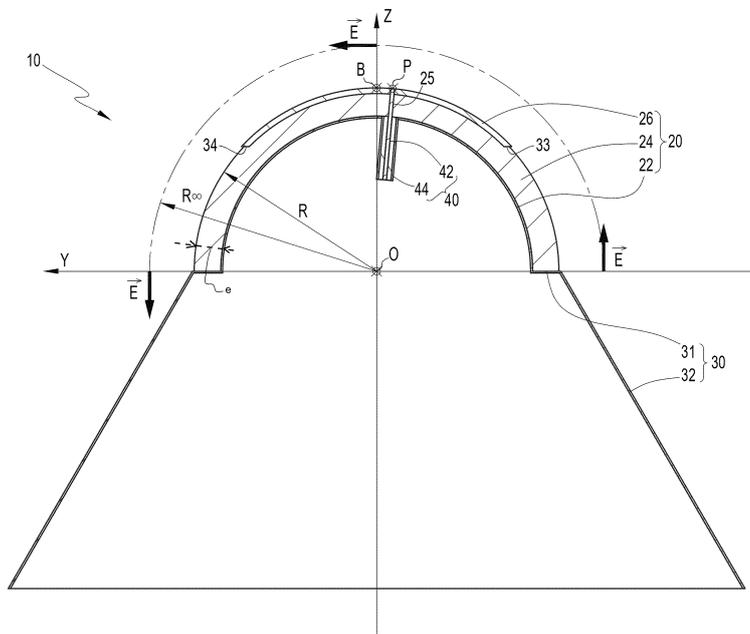


FIG.3

EP 4 572 014 A1

Description

[0001] La présente invention concerne une antenne à rayonnement omnidirectionnel et un ensemble antennaire comportant une telle antenne. Plus précisément, l'invention porte sur une antenne hémisphérique présentant un diagramme de rayonnement omnidirectionnel.

[0002] Diverses applications peuvent nécessiter la mise en oeuvre d'une antenne à diagramme de rayonnement omnidirectionnel, ou antenne omnidirectionnelle. Dans le présent document, est considérée l'application spécifique dans laquelle une antenne omnidirectionnelle est utilisée en tant qu'antenne radiofréquence commune au centre d'une antenne réseau hémisphérique.

[0003] Une antenne réseau hémisphérique comporte une pluralité d'éléments rayonnants portés par la surface externe d'un radome hémisphérique. La surface interne de ce radome porte une pluralité de modules d'émission / réception, chaque module d'émission / réception adressant un ou plusieurs élément rayonnant associé.

[0004] Pour transmettre les signaux d'émission, de réception et/ou de pilotage des composants actifs, entre une électronique bas niveau et chacun des modules d'émission / réception, il est préférable de mettre en oeuvre une liaison sans fil, par exemple une liaison radiofréquence - RF.

[0005] Alors que chaque module d'émission / réception est équipé d'une antenne RF individuelle, l'électronique bas niveau est connectée à une antenne RF commune.

[0006] L'antenne RF commune est placée au centre de la demi-sphère que forme l'antenne réseau, ou au voisinage du centre, notamment légèrement en retrait du centre le long de l'axe de symétrie de l'antenne pour compenser une ouverture trop faible du lobe principal de l'antenne.

[0007] On cherche à utiliser une antenne omnidirectionnelle propre à produire un rayonnement hémisphérique, c'est-à-dire dont le lobe principal du diagramme de rayonnement présente un angle solide d'ouverture de 2π , pour exciter les modules d'émission / réception répartis sur le radome hémisphérique.

[0008] On connaît des antennes qui sont présentées comme étant omnidirectionnelles, comme les antennes dipolaires, les antennes monopolaires, les antennes colinéaires, les antennes hélicoïdales, etc.

[0009] Par exemple, le document FERREIRA D.B. et al., "An efficient approach to the analysis and synthesis of spherical-circular thin microstrip antennas", ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY INTERNATIONAL SYMPOSIUM (APSURSI), 2010 IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 11 juillet 2010 (2010-07-11), pages 1-4, XP032146197, DOI: 10.1109/APS.2010.5562184, ISBN: 978-1-4244-4967-5 divulgue une antenne dont l'élément rayonnant forme une calotte sphérique.

[0010] Le document HUFF G.H. et al, "A Spherical Inverted-F Antenna (SIFA)", IEEE ANTENNAS AND WI-

RELESS PROPAGATION LETTERS, IEEE, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 8, 1 janvier 2009 (2009-01-01), pages 649-652, XP011257495, ISSN: 1536-1225, divulgue une antenne dont l'élément rayonnant prend la forme d'un fuseau à la surface d'une sphère, qui s'étend entre deux méridiens et entre deux parallèles.

[0011] Le document US 6 281 847 B1 divulgue une antenne comportant une pluralité d'éléments rayonnants, mais conformées sur un cylindre.

[0012] Cependant, dans les faits, ces antennes ne génèrent pas un diagramme de rayonnement omnidirectionnel : si à une très forte atténuation (-12dB), le diagramme de rayonnement effectif peut s'approcher d'un diagramme de rayonnement omnidirectionnel plus l'atténuation est réduite (-6dB) et plus le diagramme de rayonnement effectif s'écarte d'un diagramme de rayonnement omnidirectionnel.

[0013] Or, pour l'application en tant qu'antenne RF commune d'une antenne réseau hémisphérique, le radôme, qui porte une couche métallique, délimite intérieurement une cavité, qui confine les ondes électromagnétiques. Les signaux RF émis par l'antenne commune et chacune des antennes individuelles des modules d'émission / réception sont confinés à l'intérieur de cette cavité, de sorte que le niveau du bruit de fond à l'intérieur de la cavité est élevé.

[0014] En conséquence, il faut que l'antenne mise en oeuvre puisse fonctionner bien au-dessus du niveau du bruit de fond, c'est-à-dire qu'elle exhibe un diagramme de rayonnement omnidirectionnel même à faible atténuation (autour de -3dB).

[0015] Le but de l'invention est alors de proposer une antenne permettant de répondre à ce problème.

[0016] A cet effet, l'invention a pour objet une antenne omnidirectionnelle et un ensemble antennaire comportant une telle antenne omnidirectionnelle conformes aux revendications annexées.

[0017] L'invention apparaîtra plus clairement à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins dans lesquels :

[Fig. 1] la figure 1 est vue de dessus d'un ensemble antennaire selon l'invention ;

[Fig. 2] la figure 2 est vue de côté de l'ensemble antennaire de la Figure 1 ;

[Fig. 3] la figure 3 est une section axiale de l'ensemble antennaire de la Figure 1 ; et,

[Fig. 4] la figure 4 représente le diagramme de rayonnement de l'ensemble antennaire de la Figure 1 dans deux plans axiaux orthogonaux.

[0018] Les figures 1, 2 et 3 illustrent un mode de réalisation préféré d'un ensemble antennaire 10 selon l'invention.

[0019] L'ensemble antennaire 10 comporte une antenne omnidirectionnelle 20 et un élément de support 30 de cette antenne omnidirectionnelle.

[0020] L'antenne omnidirectionnelle 20 est hémisphérique. Elle présente la forme d'une demi-sphère de centre O et de rayon R.

[0021] Un repère XYZ est attaché au centre O de la demi-sphère.

[0022] L'élément antennaire 10 est symétrique par rapport au plan YZ et par rapport au plan XZ.

[0023] Comme visible en coupe sur la Figure 3, l'antenne omnidirectionnelle 20 comporte successivement, de l'intérieur vers l'extérieur, une couche métallique 22 formant la masse électrique, une couche de support 24 et un élément rayonnant métallique, ou « patch », 26.

[0024] La couche de support 24 forme un dôme hémisphérique, dont la surface extérieure est à la distance R du centre O. La couche de support 24 est réalisée dans un matériau diélectrique dont la permittivité relative est adaptée.

[0025] La couche métallique 22 recouvre la surface intérieure de la couche de support 24.

[0026] Si dans l'état de la technique un patch est un élément rayonnant planaire, selon la présente invention, il s'agit d'un élément rayonnant tridimensionnel, conforme sur la surface extérieure de la couche de support 24, et constituant par conséquent une surface courbe. Au point d'apex B par exemple, cette surface présente à la fois une courbure non nulle dans le plan YZ et une courbure non nulle dans le plan XZ.

[0027] Le patch 26 est délimité par deux bords longitudinaux, 33 et 34, et par des bords latéraux, 35 et 36.

[0028] Selon l'invention, un diagramme de rayonnement omnidirectionnel à faible atténuation est obtenu en adaptant la courbure des bords de l'élément rayonnant.

[0029] Dans le mode de réalisation préféré, le bord longitudinal 33, respectivement le bord longitudinal 34, correspondent à l'intersection de la sphère de centre O et de rayon R et d'un plan horizontal, parallèle au plan XY, mais à une hauteur h au-dessus de celui-ci. Dit autrement, les bords latéraux sont sur un cercle de rayon R_p dont le centre se trouve sur l'axe Z. En vue de dessus (Figure 1), les bords longitudinaux présentent une concavité orientée vers le centre O de l'antenne 20. Ils présentent une longueur curviligne L2 adaptée.

[0030] Dans le mode de réalisation préféré, le bord latéral 35, respectivement le bord latéral 36, correspondent à l'intersection de la sphère de centre O et de rayon R et d'un cylindre d'axe C2, respectivement d'un cylindre d'axe C1, et de rayon R_c , l'axe C2, respectivement l'axe C1, étant parallèle à l'axe Z et reposant dans le plan XZ. En vue de dessus (Figure 1), les bords longitudinaux présentent une concavité orientée à l'écart du centre O de l'antenne 20. Ils présentent une longueur curviligne L3 adaptée. En variante, les bords latéraux correspondent à l'intersection de la sphère de centre O et de rayon R et d'un cylindre à section elliptique.

[0031] La distance entre l'axe C1, respectivement C2, et l'axe Z permet également, en odifiant la position des coins du patch, de réduire la longueur L3 en augmentant la longueur L2.

[0032] L'excitation du patch 26 est réalisée par un port P. Dans le mode de réalisation représenté sur les figures, le port P est connecté à l'âme 42 d'un câble coaxial 40 permettant la connexion de l'élément rayonnant de l'antenne omnidirectionnelle 20 à l'électronique bas niveau (non représentée sur les figures). L'âme circule à travers un via 25 ménagé à travers la couche métallique 22 et la couche de support 24.

[0033] La gaine 44 du câble coaxial 40 est reliée électriquement à la couche métallique 22, c'est-à-dire au potentiel de masse.

[0034] Avantagement, le point P est situé dans le plan YZ de symétrie du patch 26, mais hors de l'axe Z. Le décalage du point P par rapport à l'apex B du patch 26 permet d'ajuster l'impédance du patch à par exemple 50 Ohms tout en faisant fonctionner le patch dans un similaire au mode TM10 d'un élément rayonnant plan.

[0035] Selon l'invention, l'ajustement de la courbure des bords du « patch » permettent de jouer sur les phénomènes de diffraction au niveau des bords du patch pour obtenir un rayonnement hémisphérique.

[0036] Dans le mode TM10 le champ est maximum au niveau des bords longitudinaux 33 et 34.

[0037] Une forme convexe des bords latéraux 33 et 34 suit avantageusement une ligne d'iso amplitude du champ électrique.

[0038] Le champ évolue entre ses valeurs maximales le long des bords latéraux 35 et 36. Une forme concave des bords latéraux permet de compenser la dissymétrie du champ selon le plan XOZ.

[0039] Il est à noter que l'on cherche à ajuster le diagramme de rayonnement pour une fréquence de résonance F0 donnée. L'homme du métier pourrait croire que réduire le rayon R de l'antenne hémisphérique peut conduire au diagramme de rayonnement hémisphérique recherché. Cependant, en diminuant le rayon, la fréquence de résonance augmente. De plus, les phénomènes de diffraction deviennent prépondérant et, de manière contrintuitive, conduisent en fait à une réduction de l'ouverture du lobe principal de l'antenne et non pas à son ouverture.

[0040] L'élément de support 30 est de forme tronconique autour de l'axe Z. Sa grande base est circulaire, de rayon R_0 , et sa petite base est circulaire de centre O et de rayon R. L'élément de support 30 présente une hauteur h0. Il présente une demi-ouverture au sommet A du cône égale à θ .

[0041] Comme visible sur la coupe de la Figure 3, l'élément de support 30 est constitué d'une paroi latérale 23 métallique. Pour assurer la continuité électrique entre la paroi latérale 23 de l'élément de support 30 et la couche métallique 22 de l'antenne 20, la petite base de l'élément de support 30 présente une collerette annulaire 31 également métallique. Ainsi, la couche métallique 22, la collerette 31 et la paroi latérale 32 forment une équipotentielle portée au potentiel de masse.

[0042] Le diagramme de rayonnement de l'élément antennaire 10 est représenté sur la Figure 4. Plus pré-

cisement, le graphe A est le gain en fonction de l'angle d'émission dans le plan XZ, alors que le graphe B est le gain en fonction de l'angle d'émission dans le plan YZ.

[0043] Si l'on définit l'ouverture angulaire entre les directions d'émission où l'amplitude est réduite de 3dB par rapport à l'amplitude maximale (le long de la direction du lobe principal DX sur le diagramme de la Figure 4A et DY sur le diagramme de la Figure 4B) alors on obtient un angle αX de 165 deg environ dans le plan de la Figure 4A, et un angle αY de 200 deg environ dans le plan de la Figure 4B.

[0044] La Figure 4 résulte d'une simulation faite pour un élément antennaire fonctionnant à 10 GHz, soit une longueur d'onde caractéristique dans le vide de 30 mm.

[0045] L'antenne présente les dimensions caractéristiques suivantes :

- le rayon de la demie-sphère de support du patch : $R = 1,16 \cdot \lambda_0$;
- La distance entre le patch et le plan de base : $e = 0,025 \cdot \lambda_0$;
- Le rayon des bords latéraux : $R_p = 0,12 \cdot \lambda_0$;
- La longueur curviligne bord à bord selon la direction Y, $L_3 = 0,25 \cdot \lambda_0$, soit 7 mm et selon la direction X, $L_2 = 0,1 \cdot \lambda$ soit 2,5 mm ;
- Distance entre C1 et C2 vaut $0,95 \cdot \lambda_0$;

[0046] L'élément de support présente les dimensions caractéristiques suivantes : $h_0 = 0,28 \cdot \lambda_0$ soit 8mm ; $R_0 = 0,35 \cdot \lambda_0$ soit 10 mm (soit un demi angle θ au sommet d'environ 30°)

[0047] Sur les figures 2 et 3 le champ électrique \vec{E} rayonné à l'infini (R_∞) par l'élément antennaire 10 a été représenté de manière illustrative en différents points. L'onde émise est polarisée linéairement.

[0048] L'élément antennaire venant d'être présenté peut connaître un grand nombre de variantes.

[0049] Tout d'abord l'élément antenne peut se limiter à l'antenne omnidirectionnelle, sans élément de support. Cependant, les simulations montrent que dans ce cas, l'angle d'ouverture est supérieur à 180° . Un tel angle d'ouverture est trop important pour l'application d'antenne RF commune dans une antenne réseau hémisphérique. L'élément de support métallique permet alors avantageusement de « repousser » le champ électrique et réduire ainsi l'ouverture de l'élément rayonnant par rapport à celle de l'antenne omnidirectionnelle isolée. En jouant sur la forme de l'élément de support, le diagramme de rayonnement peut ainsi être adapté. Par exemple, en jouant sur la valeur du demi-angle d'ouverture. Par exemple encore, en jouant sur le contour de la grande base de l'élément de support, qui au lieu d'être circulaire pourrait être elliptique ou en forme de « cacahuète ».

[0050] Au lieu d'un port d'excitation, l'élément rayonnant pourrait être excité par une pluralité de ports, notamment une paire de ports alimentés en différentiel.

[0051] L'excitation de l'élément rayonnant peut reprendre n'importe quelle technique connue (alimentation par

via, par fente, etc.).

[0052] La valeur de la permittivité relative du matériau diélectrique constitutif du support peut également être ajustée.

5 [0053] L'antenne omnidirectionnel présente l'avantage de générer une onde électromagnétique homogène en amplitude, avec une polarité linéaire dans tout le demi espace.

10 [0054] Elle est facile à réaliser. Elle est composée d'un seul élément rayonnant (pas de matrice pour garder la cohérence et la phase).

15 [0055] L'antenne avec ou sans son élément de support reste compact, ce qui facilite son intégration, notamment dans le cas d'usage en tant qu'antenne RF centrale logée à l'intérieur d'un radome hémisphérique.

Revendications

- 20 1. Antenne (20) hémisphérique présentant un diagramme de rayonnement omnidirectionnel, l'antenne comportant un élément rayonnant (26), une couche métallique (22) portée à un potentiel de référence de manière à constituer une couche de masse, et des moyens d'excitation (40) de l'élément rayonnant, l'élément rayonnant étant disposé au-dessus de la couche de masse, **caractérisée en ce que** l'élément rayonnant est constitué par une lamelle métallique conforme à une surface courbe qui est une sphère de centre O et de rayon R, l'élément rayonnant étant symétrique à la fois par rapport à un plan longitudinal (YZ) et un plan transversal (XZ), les plans longitudinal et transversal étant orthogonaux entre eux, leur intersection définissant un axe central (Z), un apex (B) de l'élément rayonnant étant situé sur l'axe central, l'élément rayonnant (26) étant délimité par des bords longitudinaux (33, 34) et par des bords latéraux (35, 36), la courbure des bords latéraux et/ou des bords longitudinaux étant adaptée pour que le diagramme de rayonnement de l'antenne soit omnidirectionnel même à faible atténuation.
- 30 2. Antenne selon la revendication 1, pour laquelle le diagramme de rayonnement à faible atténuation est un le diagramme de rayonnement à -3dB, l'antenne présentant, dans chaque plan passant par l'axe central (Z), un diagramme de rayonnement à faible atténuation a une ouverture du lobe principal d'au moins 160° .
- 35 3. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle les bords longitudinaux (33, 34) sont concaves.
- 40 4. Antenne selon la revendication 3, dans la quelle les bords longitudinaux sont sur un cercle dont le centre se trouve sur l'axe central.
- 50
- 55

5. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle les bords latéraux (35, 36) sont convexes.
6. Antenne selon la revendication 5, dans la quelle les bords latéraux sont chacun à l'intersection de la sphère de centre O et de rayon R et d'un cylindre dont l'axe est parallèle mais distinct de l'axe central. 5
7. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle les moyens d'excitation de l'élément rayonnant de l'antenne permet d'exciter l'élément métallique en au moins un port d'excitation (P), le port d'excitation étant situé à l'écart d'un apex (B) de l'élément rayonnant. 10 15
8. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle l'élément rayonnant est porté sur une face externe d'une couche de support (24) en un matériau diélectrique, une face interne de la couche de support portant la couche de masse. 20
9. Antenne selon la revendication 8, dans laquelle les surfaces externe et interne de la couche de support sont des demi-sphères concentriques, la couche de support ayant une épaisseur constante. 25
10. Ensemble antennaire (10), **caractérisé en ce qu'il** comporte une antenne hémisphérique (20) présentant un diagramme de rayonnement omnidirectionnel selon l'une quelconque des revendications précédentes, et un élément de support (30), l'élément de support supportant l'antenne hémisphérique, l'élément de support ayant une paroi externe métallique portée au potentiel de référence, la présence de l'élément de support modifiant le diagramme de rayonnement de l'antenne hémisphérique pour ajuster son ouverture. 30 35

40

45

50

55

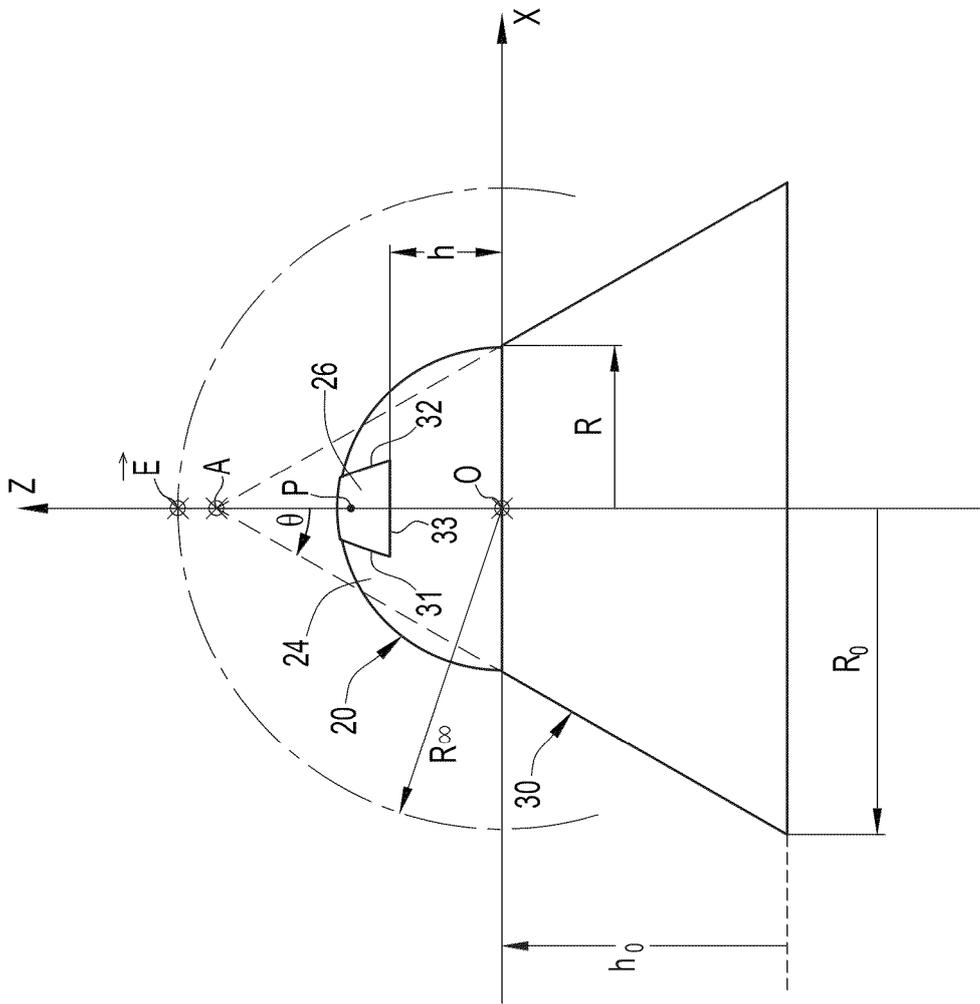


FIG.2

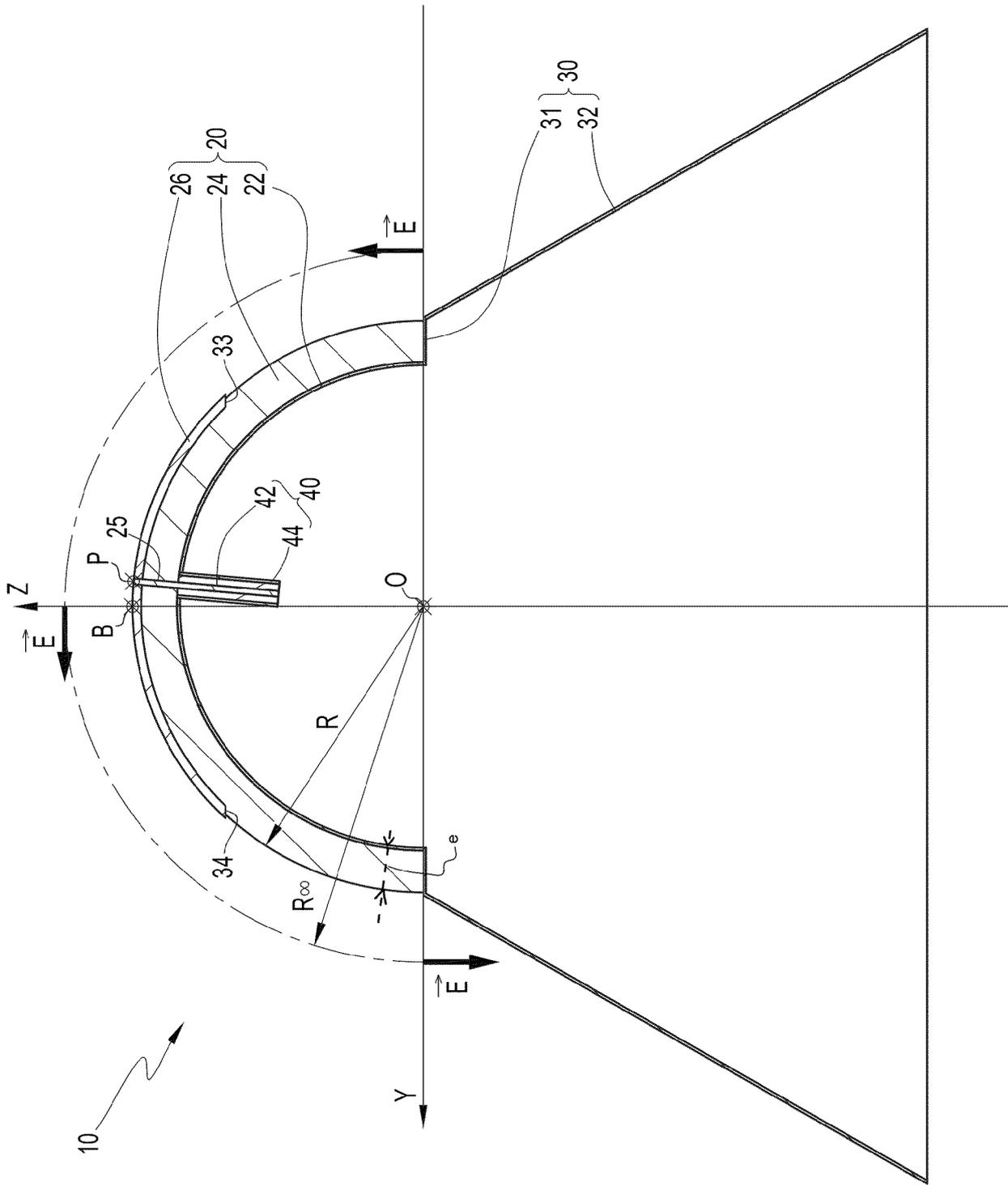


FIG. 3

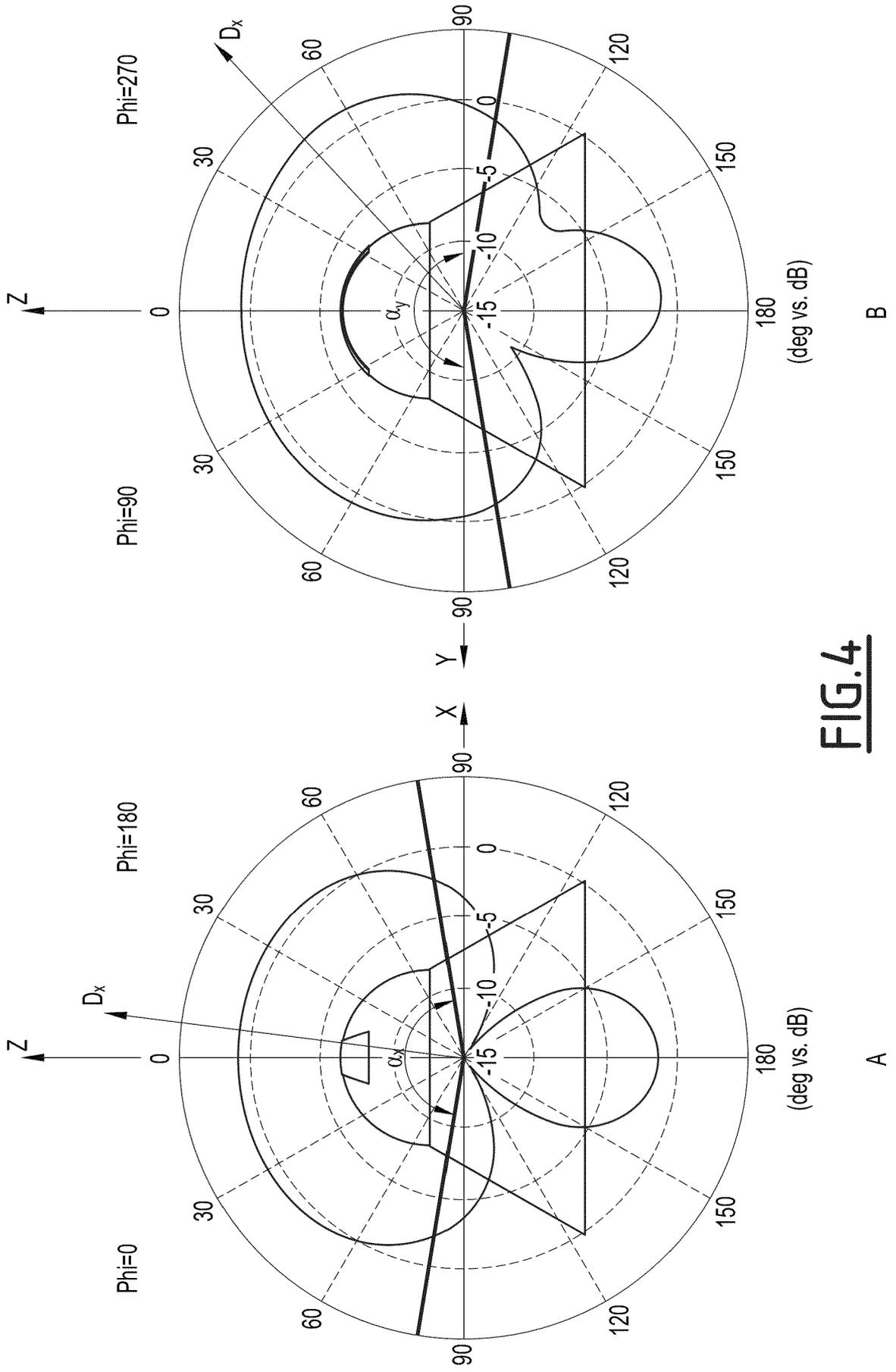


FIG. 4



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 24 21 9966

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	<p>FERREIRA D B ET AL: "An efficient approach to the analysis and synthesis of spherical-circular thin microstrip antennas", ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY INTERNATIONAL SYMPOSIUM (APSURSI), 2010 IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 11 juillet 2010 (2010-07-11), pages 1-4, XP032146197, DOI: 10.1109/APS.2010.5562184 ISBN: 978-1-4244-4967-5 * pages 1-4; figures 1-5 *</p>	1-5,7-9	<p>INV. H01Q9/04 H01Q9/28</p> <p>ADD. H01Q19/02</p>
X	<p>GREGORY H HUFF ET AL: "A Spherical Inverted-F Antenna (SIFA)", IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, IEEE, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 8, 1 janvier 2009 (2009-01-01), pages 649-652, XP011257495, ISSN: 1536-1225 * pages 1-4; figures 1-7 *</p>	1-3,5-8, 10	<p>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)</p>
X	<p>KR 200 313 932 Y1 (AN.) 22 mai 2003 (2003-05-22) * alinéas [0001] - [0030]; revendications 1-3; figures 1-5 *</p>	1,2,7-9	H01Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		7 avril 2025	El-Shaarawy, Heba
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>& : membre de la même famille, document correspondant</p>			

EPO FORM 1503 03.82 (F04C02)

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

EP 24 21 9966

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.

07 - 04 - 2025

10

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
KR 200313932 Y1	22 - 05 - 2003	AUCUN	

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

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

- US 6281847 B1 [0011]

Littérature non-brevet citée dans la description

- An efficient approach to the analysis and synthesis of spherical-circular thin microstrip antennas. **FERREIRA D.B. et al.** ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY INTERNATIONAL SYMPOSIUM (APSURSI), 2010 IEEE. IEEE, 11 July 2010, 1-4 [0009]
- A Spherical Inverted-F Antenna (SIFA). **HUFF G.H. et al.** IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS. IEEE, 01 January 2009, vol. 8, 649-652 [0010]