



DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
28.06.2023 Bulletin 2023/26

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H01Q 1/38 (2006.01) H01Q 5/25 (2015.01)
H01Q 9/27 (2006.01) H01Q 19/10 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **22215304.1**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H01Q 9/27; H01Q 1/38; H01Q 5/25; H01Q 19/108

(22) Date de dépôt: **21.12.2022**

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

- **MALLEGOL, Stéphane**
29238 BREST CEDEX 3 (FR)
- **PELE, Ismaël**
29238 BREST CEDEX 3 (FR)
- **GORON, Erwan**
29238 BREST CEDEX 3 (FR)
- **BENEDICTO, Jessica**
29200 BREST (FR)
- **MARTIN, Noham, Guy, Philippe**
29238 BREST CEDEX 3 (FR)
- **ALLANIC, Rozenn**
29238 BREST CEDEX 3 (FR)
- **QUENDO, Cédric**
29238 BREST CEDEX 3 (FR)

(30) Priorité: **21.12.2021 FR 2114098**

(71) Demandeurs:

- **THALES**
92400 Courbevoie (FR)
- **Université de Bretagne Occidentale**
29200 Brest (FR)
- **Centre National de la Recherche Scientifique**
75016 Paris (FR)

(74) Mandataire: **Lavoix**
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(72) Inventeurs:

- **CHAMPION, Jefferson**
29238 BREST CEDEX 3 (FR)

(54) **ANTENNE FILAIRE AMÉLIORÉE À LARGE BANDE DE FRÉQUENCES**

(57) Cette antenne comporte : un élément rayonnant (4) disposé dans un plan rayonnant (S) transversal à un axe (A) de l'antenne ; un plan réflecteur (8), qui est transversal à l'axe (A), le plan rayonnant étant situé à une hauteur prédéterminée (h_0) au-dessus du plan réflecteur (8) ; et un substrat (6), interposé entre le plan rayonnant (S) et le plan réflecteur (8), et présentant une épaisseur constante. Cette antenne se caractérise par une permittivité électrique relative locale du substrat (6) qui est une fonction du rayon (r), c'est-à-dire de la distance à l'axe (A), et d'une hauteur (h), c'est-à-dire d'une distance au plan réflecteur (8), la permittivité électrique relative locale étant, à hauteur constante, croissante en fonction du rayon, et, à rayon constant, croissante en fonction de la hauteur au moins pour une portion du substrat (6) au voisinage du plan réflecteur (8).

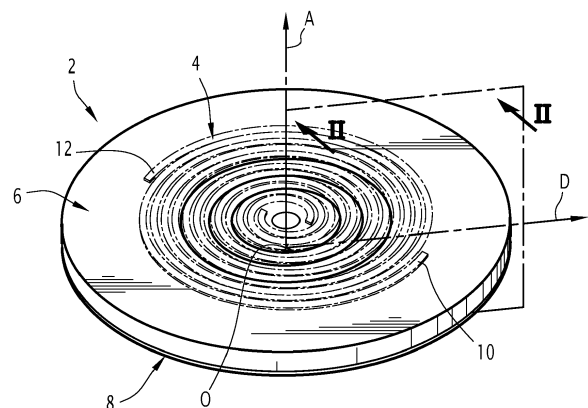


FIG.1

Description

[0001] La présente invention a pour domaine celui des antennes filaires à large bande de fréquences.

[0002] Dans un système d'écoute électromagnétique, par exemple aéroporté, les antennes, qui sont utilisées, soit unitairement, soit en réseau goniométrique ou interférométrique, doivent fonctionner dans une très large bande de fréquences et dans une polarisation circulaire, linéaire ou double linéaire, car ni la fréquence ni la polarisation du signal à capter ne sont a priori connues. Il est à noter que les caractéristiques d'une antenne étant les mêmes en réception et en émission, une antenne peut être caractérisée aussi bien en émission qu'en réception. Dans ce qui suit le comportement en émission est plus souvent présenté.

[0003] Ces antennes doivent présenter un encombrement le plus réduit possible et, en particulier, une épaisseur faible. Elles doivent également présenter des performances de rayonnement (gain, qualité des diagrammes de rayonnement, etc.) reproductibles d'une antenne à l'autre, pour des applications en réseau ou pour en faciliter le remplacement lors d'une opération de maintenance.

[0004] Dans ce contexte, il est connu d'utiliser des antennes filaires. Dans une telle antenne, l'élément rayonnant est constitué d'un fil métallique qui est conformé pour décrire, dans un plan dit rayonnant, un motif en forme de spirale pour une antenne spirale, ou en forme de log-périodique pour une antenne log-périodique, ou une hybridation de ces deux géométries pour une antenne sinueuse (telle que définie par exemple dans l'article de Crocker D.A. et al. « Sinuous Antenna Design for UWB Radar » 2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting, DOI: 10.1109/APUSNCURS-INSRM.2019.8888630).

[0005] Pour une antenne du type en spirale, le fil métallique est enroulé sur lui-même de manière à former, en vue de dessus, une spirale. Cette spirale peut par exemple être une spirale d'Archimède, une spirale logarithmique, ou autre. En variante, plusieurs fils métalliques peuvent être utilisés pour constituer autant de spirales imbriquées les unes entre les autres.

[0006] Dans une antenne du type log-périodique, le fil métallique est conformé de manière à comporter, en vue de dessus, plusieurs segments. Chaque segment est inscrit dans un secteur angulaire, s'étend radialement et présente des indentations. La longueur de chaque dent et l'écartement entre deux dents successives d'un segment suivent une progression logarithmique.

[0007] Dans ce qui suit on parlera d'un brin de l'élément rayonnant, qu'il s'agisse d'une spire du fil métallique d'une antenne spirale ou d'une dent d'un segment d'une antenne log-périodique.

[0008] En pratique, en technologie planaire, l'élément rayonnant est réalisé par gravure d'une couche métallique fine, par exemple une couche de cuivre entre 2 et

40 μm , par exemple égale à 17,5 μm ou à 35 μm , déposée sur un film de support de faible épaisseur.

[0009] Dans une technologie connue, le plan rayonnant est situé au-dessus d'un plan réflecteur en métal. Dans une telle antenne, l'onde émise par l'élément rayonnant vers l'arrière du plan rayonnant est réfléchie vers l'avant par le plan réflecteur. Lors de cette réflexion, l'onde est déphasée d'un angle π . L'onde réfléchie se propage vers l'avant et vient interférer, au-delà du plan rayonnant, avec l'onde émise par l'élément rayonnant vers l'avant du plan rayonnant. Cette interférence est constructive lorsque, pour une position du front d'onde, les phases des ondes émise vers l'avant et réfléchie vers l'avant sont proches. Ceci se produit si la distance séparant le plan rayonnant et le plan réflecteur est proche de $\lambda/4$, où λ est la longueur d'onde dans le milieu diélectrique entre le plan rayonnant et le plan réflecteur de l'onde émise par l'élément rayonnant.

[0010] L'épaisseur d'une telle antenne est réduite par rapport à celle d'une antenne selon d'autres technologies connues, notamment d'une antenne à cavité absorbante. De plus, sa fabrication est fortement simplifiée et reproductible.

[0011] Cependant, la bande de fréquences d'une telle antenne est restreinte à cause de la relation entre la fréquence de fonctionnement de l'antenne (c'est-à-dire la longueur d'onde de l'onde émise) et la distance fixe entre le plan rayonnant et le plan réflecteur (qui est définie par construction).

[0012] Pour répondre à cette problématique, la demanderesse a proposé, dans la demande FR 3 003 702, deux modes de réalisation d'une antenne comportant, interposé entre le plan rayonnant et le plan réflecteur, un substrat présentant une permittivité électrique relative qui varie en fonction de la distance à l'axe de l'antenne, ici dénommée rayon r . On s'affranchit ainsi de la distance fixe entre le plan rayonnant et le plan réflecteur en modifiant la longueur d'onde dans le substrat en fonction du rayon en jouant sur la valeur de la permittivité. A une fréquence donnée, seul un anneau de l'antenne fonctionne correctement, c'est-à-dire permet d'avoir une interférence constructive en avant du plan rayonnant en émission.

[0013] Dans le premier mode de réalisation, un gradient de permittivité selon le rayon r est obtenu en réalisant, dans un disque fabriqué en un premier matériau diélectrique, des vias verticaux et traversants (vides ou remplis d'un second matériau diélectrique).

[0014] Cependant, la réalisation de vias est délicate, notamment au centre de l'antenne où leur densité doit être élevée pour réduire la permittivité électrique relative. La tenue mécanique du substrat est alors fortement réduite. De plus, il est difficile de réaliser des vias avec un diamètre inférieur à $\lambda/10$, dimension au-dessous de laquelle la propagation d'une onde dans le substrat n'est pas perturbée par la présence de ces vias.

[0015] Dans le second mode de réalisation, un gradient de permittivité selon le rayon r est obtenu en asso-

ciant des anneaux réalisés dans différents matériaux diélectriques, les faces latérales des anneaux étant biseautées pour obtenir un gradient de permittivité continu selon le rayon r .

[0016] Cependant, quel que soit le mode de réalisation, un premier problème a été identifié. Il est relatif à la génération d'ondes rampantes à la surface du plan réflecteur. Une fois générée, une onde rampante peut perturber la réflexion de l'onde émise vers l'arrière par l'élément rayonnant et par conséquent altérer l'interférence constructive que l'on cherche à créer avec l'onde émise vers l'avant en avant du plan rayonnant.

[0017] Ce premier problème est causé par le matériau du substrat à proximité immédiate du plan réflecteur, qui présente une permittivité électrique relative locale trop élevée. Elle devrait idéalement être égale ou proche de l'unité.

[0018] Un second problème a été identifié. Il est lié au couplage s'établissant entre deux brins successifs de l'élément rayonnant. Puisque chaque brin est associé à une fréquence de fonctionnement spécifique, un tel couplage dégrade la précision de l'antenne.

[0019] Ce second problème est causé par le matériau du substrat à proximité immédiate du plan rayonnant, qui présente une permittivité électrique relative locale trop élevée. Elle devrait idéalement être égale ou proche de l'unité.

[0020] Un troisième problème a été identifié. Il réside dans la perturbation du trajet des ondes à la traversée du substrat.

[0021] Dans le premier mode de réalisation, notamment au centre de l'antenne associée aux fréquences élevées et donc aux longueurs d'onde courtes, il n'est pas possible de réaliser des vias de diamètre inférieur à $\lambda/10$. Les vias réalisés viennent par conséquent perturber par diffraction les ondes traversant le substrat.

[0022] Dans le second mode de réalisation, l'interface entre deux anneaux successifs constitue un saut de la permittivité relative locale, c'est-à-dire un saut d'indice. Cette interface vient donc perturber par réfraction la direction de propagation des ondes.

[0023] Dans ces deux cas, l'onde réfléchie ne permet plus d'établir précisément une interférence constructive en avant du plan réflecteur.

[0024] Ces différents problèmes altèrent par conséquent les propriétés de l'antenne, en particulier son diagramme de rayonnement.

[0025] Le but de cette invention est de résoudre ces problèmes.

[0026] Pour cela l'invention a pour objet une antenne filaire à large bande de fréquences comportant : un élément rayonnant, l'élément rayonnant comportant au moins un fil métallique conformé autour d'un axe de l'antenne, dans un plan rayonnant transversal ; un plan réflecteur, le plan réflecteur étant transversal à l'axe, le plan rayonnant étant situé à une hauteur prédéterminée (h_0) au-dessus du plan réflecteur ; et un substrat, le substrat étant interposé entre l'élément rayonnant et le plan

réflecteur, et présentant une épaisseur constante, caractérisée en ce qu'une permittivité électrique relative locale et/ou une perméabilité électrique relative locale du substrat est une fonction du rayon, c'est-à-dire de la distance à l'axe, et d'une hauteur, c'est-à-dire d'une distance au plan réflecteur, la permittivité électrique relative locale étant, à hauteur constante, croissante en fonction du rayon, et, à rayon constant, croissante en fonction de la hauteur au moins pour une portion du substrat au voisinage du plan réflecteur.

[0027] Suivant des modes particuliers de réalisation, l'antenne comporte une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- la permittivité électrique relative locale et/ou la perméabilité électrique relative locale est, à rayon constant, décroissante en fonction de la hauteur au moins pour une portion du substrat au voisinage de l'élément rayonnant.
- la permittivité électrique relative locale et/ou la perméabilité électrique relative locale est, à rayon constant, une fonction cosinus de la hauteur.
- la permittivité électrique relative locale et/ou la perméabilité électrique relative locale est une fonction continue du rayon et de la hauteur.
- le substrat résulte de la combinaison d'au moins un premier matériau présentant une première permittivité électrique relative et/ou une première perméabilité électrique relative, avec un second matériau présentant une seconde permittivité électrique relative différente de la première et/ou une seconde perméabilité électrique relative différente de la première, une concentration relative des premier et second matériaux étant fonction du rayon et de la hauteur.
- la combinaison des premier et second matériaux est réalisée par la mise en oeuvre d'une technologie de fabrication additive, notamment d'impression tridimensionnelle.
- le premier matériau présente une pluralité de premiers interstices, certains desdits premiers interstices étant remplis par le second matériau et/ou le second matériau présente une pluralité de seconds interstices, certains desdits seconds interstices étant remplis par le premier matériau.
- les premiers interstices et/ou les seconds interstices ont une dimension caractéristique qui dépend du rayon et/ou de la hauteur.
- les premiers interstices et/ou les seconds interstices ont une forme parallélépipédique ou sphérique, la plus grande dimension d'un interstice étant de préférence inférieure à $\lambda/10$.

[0028] L'invention et ses avantages seront mieux compris à la lecture de la description détaillée qui va suivre d'un mode de réalisation particulier, donné uniquement à titre d'exemple non limitatif, cette description étant faite en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

La figure 1 est une vue en perspective d'une antenne selon l'invention ;

La figure 2 est une demi-section selon un plan axial de l'antenne de la figure 1 ;

La figure 3 est un graphe représentant la permittivité électrique relative locale dans le substrat de l'antenne de la figure 1 en fonction du rayon r (distance à l'axe A) et la hauteur h (distance au plan réflecteur) ; La figure 4 illustre une structure possible du substrat de l'antenne de la figure 1 permettant d'obtenir la distribution de permittivité électrique relative locale représentée sur la figure 3 ; et,

La figure 5 est un graphe représentant le gain en fonction de la fréquence d'une antenne selon l'état de la technique et d'une antenne selon l'invention.

Les figures représentent un mode de réalisation préférentiel de l'antenne selon l'invention.

[0029] Comme représenté sur les figures 1 et 2, l'antenne filaire à large bande de fréquences 2 comporte, empilés selon un axe A, un plan réflecteur 8, un substrat 6 et un élément rayonnant 4.

[0030] Une origine O est choisie à l'intersection de l'axe A et du plan réflecteur 8.

[0031] La coordonnée selon l'axe A est dénommée hauteur h . Ils s'agit donc de la distance au plan réflecteur 8.

[0032] Une direction D est choisie s'étendant radialement par rapport à l'axe A dans le plan réflecteur 8. La coordonnée selon la direction D est dénommée rayon r . Il s'agit donc de la distance à l'axe A.

[0033] L'élément rayonnant 4 est disposé dans un plan rayonnant S, situé à une hauteur h_0 du plan réflecteur 8.

[0034] L'élément rayonnant 4 est par exemple réalisé par gravure d'une couche métallique portée par un film de support 5.

[0035] L'élément rayonnant 4 comporte par exemple des premier et second fils métalliques 10 et 12 qui sont respectivement conformés selon une spirale, notamment d'Archimède, autour de l'axe A.

[0036] Le plan réflecteur 8 est par exemple un disque d'axe A et de rayon r_0 . Il est réalisé en un matériau métallique. Il a pour fonction de réfléchir toute onde incidente quelle que soit sa fréquence.

[0037] Le substrat 6 présente la forme générale extérieure d'un disque d'axe A de rayon r_0 et d'épaisseur constante, égale à la hauteur h_0 .

[0038] Le substrat 6 est en contact, par une surface inférieure 14, avec le plan réflecteur 8. Le substrat 6 est en contact, par une surface supérieure 15, avec l'élément rayonnant 4, ou plus exactement avec le film de support 5 de l'élément rayonnant 4.

[0039] Un dispositif d'alimentation (non représenté sur les figures) de l'élément rayonnant 4 est positionné au-dessous du plan réflecteur 8. Le plan réflecteur 8 et le substrat 6 sont avantageusement munis d'un passage (non représenté), le long de l'axe A, pour le passage des lignes d'alimentation de l'élément rayonnant 4.

[0040] Plus la fréquence de fonctionnement F aug-

mente, plus la zone active Z de l'antenne 2 se rapproche de l'axe A. C'est donc la partie périphérique de l'antenne 2 qui rayonne aux fréquences de fonctionnement basses et la partie centrale de l'antenne 2 qui rayonne aux fréquences de fonctionnement hautes.

[0041] Selon l'invention, le substrat 6 présente une permittivité électrique relative locale ϵ_r au point $P(r, h)$ qui est une fonction à la fois du rayon r et de la hauteur h . Elle peut donc s'écrire : $\epsilon_r(r, h)$.

[0042] La figure 3 représente un exemple possible de cette fonction. Sur la figure 3, des courbes d'iso-permittivité ont été représentées et la valeur correspondante de la permittivité électrique relative locale ϵ_r indiquée.

[0043] La dépendance de la permittivité ϵ_r en h , pour un rayon r donné, est telle que pour h proche de 0, c'est-à-dire pour des points $P(r, h)$ du substrat à proximité immédiate du plan réflecteur 8, la permittivité est minimale, de préférence égale à l'unité.

[0044] Ainsi, le matériau du substrat 6 au contact du plan réflecteur 8 présente une permittivité faible de nature à éviter la génération d'ondes rampantes.

[0045] Avantagusement, la dépendance de la permittivité en h , pour un rayon r donné, est telle que pour h proche de h_0 , c'est-à-dire pour les points $P(r, h)$ du substrat 6 à proximité immédiate du plan rayonnant 4, la permittivité est minimale, de préférence égale à l'unité.

[0046] Ainsi, le matériau du substrat 6 au contact de l'élément rayonnant 4 présente une permittivité faible de nature à éviter le couplage entre deux brins consécutifs de l'élément rayonnant 4.

[0047] De plus, indépendamment de l'un et/ou de l'autre de ces comportements aux limites inférieure et supérieure du substrat 6, la dépendance de la permittivité relative locale $\epsilon_r(r, h)$ est avantagusement continue en h et en r .

[0048] Ainsi, le matériau du substrat ne perturbe pas la propagation des ondes à la traversée du substrat.

[0049] Il est à noter que dans l'état de la technique, la permittivité électrique relative considérée est une permittivité effective, obtenue par intégration sur la hauteur h , à un rayon r donné.

[0050] La figure 3 représente, en niveau de gris, un exemple de substrat dont la permittivité ϵ_r en un point $P(r, h)$ dépend du rayon r et de la hauteur h de ce point.

[0051] La permittivité électrique relative locale combine les trois améliorations identifiées ci-dessus, à savoir une valeur proche de l'unité sur la surface inférieure 14, une valeur proche de l'unité sur la surface supérieure 15 et une continuité en tout point.

[0052] La permittivité locale, pour un rayon r donné, présente un premier minimum pour une hauteur nulle, puis augmente avec la hauteur, pour atteindre un maximum (par exemple au milieu du substrat ($h_0/2$), puis diminue avec la hauteur h , pour atteindre un second minimum pour la hauteur h_0 .

[0053] De préférence, la dépendance en h et r de la permittivité électrique relative locale est de la forme générale :

$$\varepsilon_r(r, h) = \frac{\left[\left(\frac{\pi r}{2 h_0} \right)^2 - \varepsilon_{\min} \right] * \frac{(n+1)}{h_0^n} * h^n}{y} + \varepsilon_{\min}$$

où y est un paramètre de valeur constante et prédéfinie, et n est une variable pouvant être un entier ou une fonction dépendant de r et/ou h

[0054] Dans le mode de réalisation de la figure 3, la permittivité prend la forme particulière :

$$\varepsilon_r(r, h) = A(r) \cos\left(\frac{h - \frac{h_0}{2}}{\frac{h_0}{2}}\right) + \varepsilon_{\min}$$

[0055] Dans cet exemple, la permittivité électrique relative locale ε_r est une fonction cosinus de la hauteur h, à rayon r donné.

[0056] La valeur du minimum de cette fonction est ε_{\min} , qui vaut de préférence 1.

[0057] La valeur du maximum de cette fonction pour une hauteur h donnée, dépend du rayon r.

[0058] Comme dans l'état de la technique, la permittivité effective à rayon r donné, c'est-à-dire l'intégrale selon la variable h de la permittivité électrique relative locale $\varepsilon_r(r, h)$ entre 0 et h_0 , est une fonction du rayon r adaptée pour permettre l'interférence constructive recherchée, principe sur laquelle cette technologie d'antenne est fondée.

[0059] Comme illustré par la figure 4, pour la réalisation du substrat 6, on met de préférence en oeuvre un procédé de fabrication additive, par exemple d'impression tridimensionnelle.

[0060] Le matériau constitutif du substrat 6 résulte de la combinaison d'au moins deux matériaux, respectivement un premier matériau, présentant une première permittivité relative basse, et un second matériau, présentant une seconde permittivité relative élevée.

[0061] La concentration relative des premier et second matériaux en un point P(r, h) est fonction des coordonnées h et r.

[0062] Par exemple et de préférence, le premier matériau est déposé de manière à présenter une pluralité de premiers interstices, certains desdits premiers interstices étant remplis par le second matériau et/ou le second matériau présente une pluralité de seconds interstices, certains desdits seconds interstices étant remplis par le premier matériau.

[0063] Par exemple, l'impression tridimensionnelle permet de structurer le substrat en cellules.

[0064] Pour réaliser la cellule 21, le premier matériau est déposé pour former les parois 32 de la cellule tout en ménageant un interstice 31, qui est laissé vide.

[0065] Pour réaliser la cellule 22, le premier matériau est déposé pour former les parois 34 de la cellule, tout en ménageant un interstice 33, ce dernier étant ensuite

rempli avec le second matériau.

[0066] Pour réaliser la cellule 23, le second matériau est déposé pour former les parois 36 de la cellule tout en ménageant un interstice 35, ce dernier étant ensuite rempli avec le premier matériau.

[0067] Pour réaliser la cellule 24, le second matériau est déposé pour former les parois 37 de la cellule, sans ménager d'interstices. La cellule est pleine.

[0068] L'épaisseur des parois (et donc la dimension des interstices) est ajustée pour chaque cellule de manière à obtenir la valeur de la permittivité électrique relative locale recherchée, en tenant compte des propriétés des matériaux mis en oeuvre.

[0069] Avantagusement, les premiers interstices et/ou les seconds interstices ont une dimension caractéristique qui dépend de la distance à l'axe et/ou de la distance au plan rayonnant et/ou au plan réflecteur.

[0070] Les premiers interstices et/ou les seconds interstices ont une forme parallélépipédique rectangle (en première approximation). En variante, ils ont une forme sphérique.

[0071] La plus grande dimension d'un interstice est inférieure $\lambda/8$, de préférence inférieure à $\lambda/10$, de préférence encore à inférieure à $\lambda/15$.

[0072] La structure du substrat présente, à cause de cette structure alvéolaire, une bonne résistance mécanique.

[0073] La figure 5 est un graphe représentant le gain (en Décibel dB) en fonction de la fréquence de fonctionnement (en Hertz Hz) d'une antenne selon l'état de la technique et d'une antenne selon l'invention. Le gain est ici évalué selon l'axe de l'antenne.

[0074] On constate, notamment pour la première moitié du spectre en fréquence, que le gain de l'antenne selon l'invention est beaucoup plus stable en fréquence avec des valeurs de gain souvent supérieures à celles d'une antenne selon l'état de la technique.

[0075] En variante, au lieu de caractériser l'antenne par une permittivité électrique relative locale fonction de r et de h, celle-ci pourrait être caractérisée par une perméabilité électrique relative locale fonction de r et de h.

Revendications

1. Antenne filaire à large bande de fréquences (2) comportant :

- un élément rayonnant (4), l'élément rayonnant comportant au moins un fil métallique (10, 12) conformé autour d'un axe (A) de l'antenne, dans un plan rayonnant (S) transversal ;
- un plan réflecteur (8), le plan réflecteur étant transversal à l'axe (A), le plan rayonnant étant situé à une hauteur prédéterminée (h_0) au-dessus du plan réflecteur (8) ; et,
- un substrat (6), le substrat étant interposé entre l'élément rayonnant (4)

- et le plan réflecteur (8), et présentant une épaisseur constante, **caractérisée en ce qu'une** permittivité électrique relative locale et/ou une perméabilité électrique relative locale du substrat (6) est une fonction du rayon (r), c'est-à-dire de la distance à l'axe (A), et d'une hauteur (h), c'est-à-dire d'une distance au plan réflecteur (8), la permittivité électrique relative locale et/ou une perméabilité électrique relative locale étant, à hauteur constante, croissante en fonction du rayon, et, à rayon constant, croissante en fonction de la hauteur au moins pour une portion du substrat (6) au voisinage du plan réflecteur (8).
2. Antenne selon la revendication 1, dans laquelle la permittivité électrique relative locale et/ou la perméabilité électrique relative locale est, à rayon (r) constant, décroissante en fonction de la hauteur au moins pour une portion du substrat (6) au voisinage de l'élément rayonnant (4).
 3. Antenne selon la revendication 2, dans laquelle la permittivité électrique relative locale et/ou la perméabilité électrique relative locale est, à rayon (r) constant, une fonction cosinus de la hauteur (h).
 4. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle la permittivité électrique relative locale et/ou la perméabilité électrique relative locale est une fonction continue du rayon (r) et de la hauteur (h).
 5. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle le substrat (6) résulte de la combinaison d'au moins un premier matériau présentant une première permittivité électrique relative et/ou une première perméabilité électrique relative, avec un second matériau présentant une seconde permittivité électrique relative différente de la première et/ou une seconde perméabilité électrique relative différente de la première, une concentration relative des premier et second matériaux étant fonction du rayon (r) et de la hauteur (h).
 6. Antenne selon la revendication 5, dans laquelle la combinaison des premier et second matériaux est réalisée par la mise en oeuvre d'une technologie de fabrication additive, notamment d'impression tridimensionnelle.
 7. Antenne selon la revendication 5 ou la revendication 6, dans laquelle le premier matériau présente une pluralité de premiers interstices (31, 33), certains desdits premiers interstices étant remplis par le second matériau et/ou le second matériau présente une pluralité de seconds interstices (35), certains desdits seconds interstices étant remplis par le premier matériau.
 8. Antenne selon la revendication 4, dans laquelle les premiers interstices et/ou les seconds interstices ont une dimension caractéristique qui dépend du rayon (r) et/ou de la hauteur (h).
 9. Antenne selon la revendication 7 ou la revendication 8, dans laquelle les premiers interstices (31, 33) et/ou les seconds interstices (35, 37) ont une forme parallélépipédique ou sphérique, la plus grande dimension d'un interstice étant de préférence inférieure à $\lambda/10$.

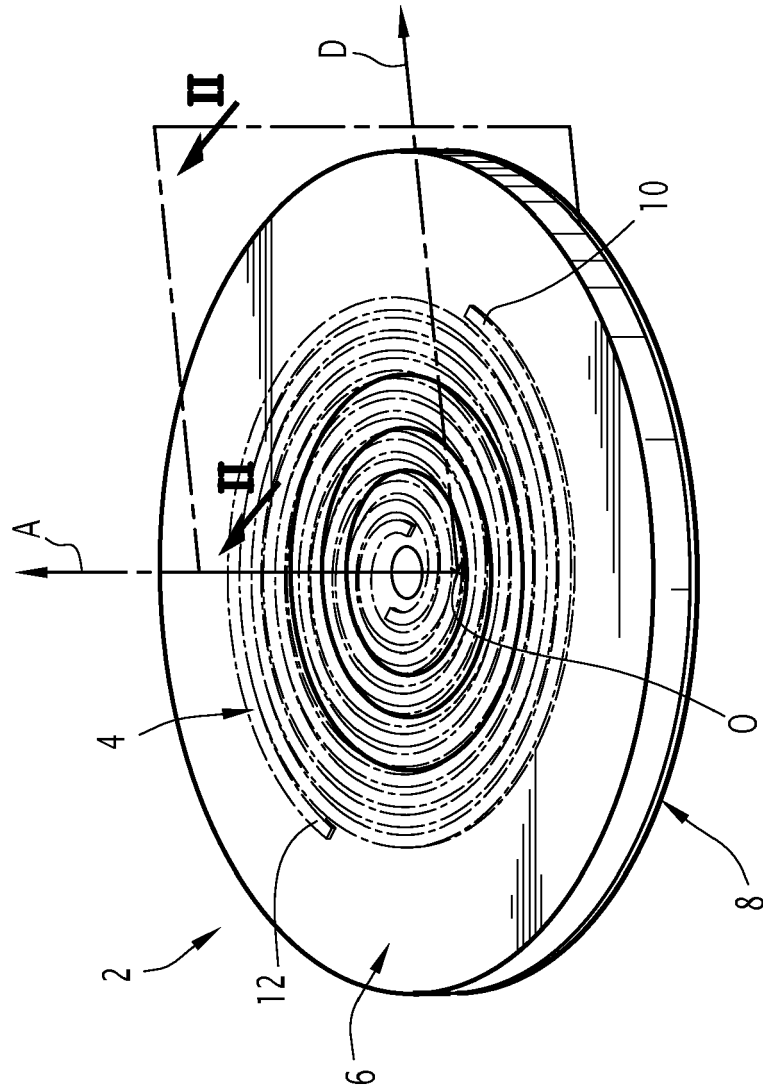


FIG.1

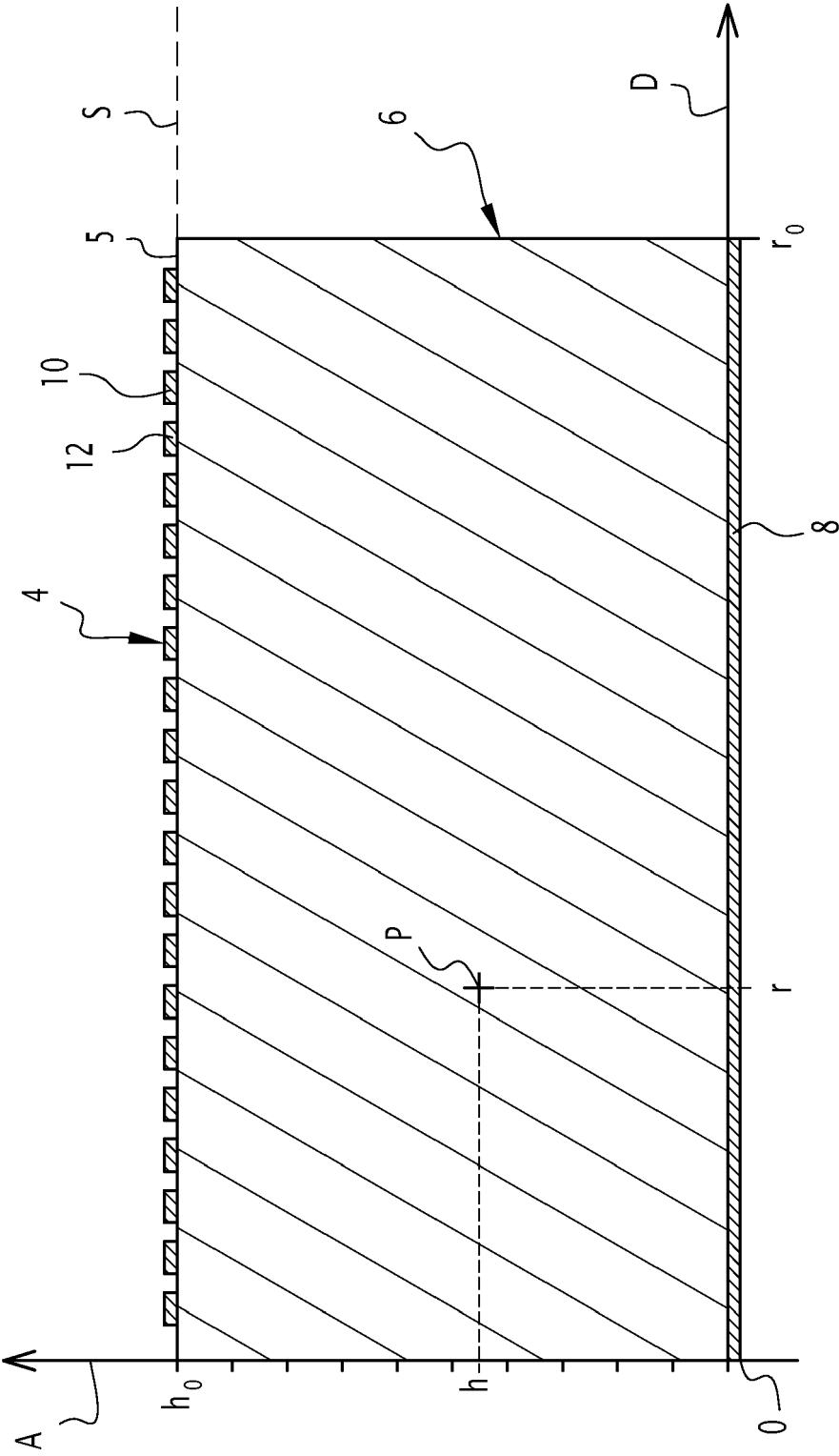


FIG.2

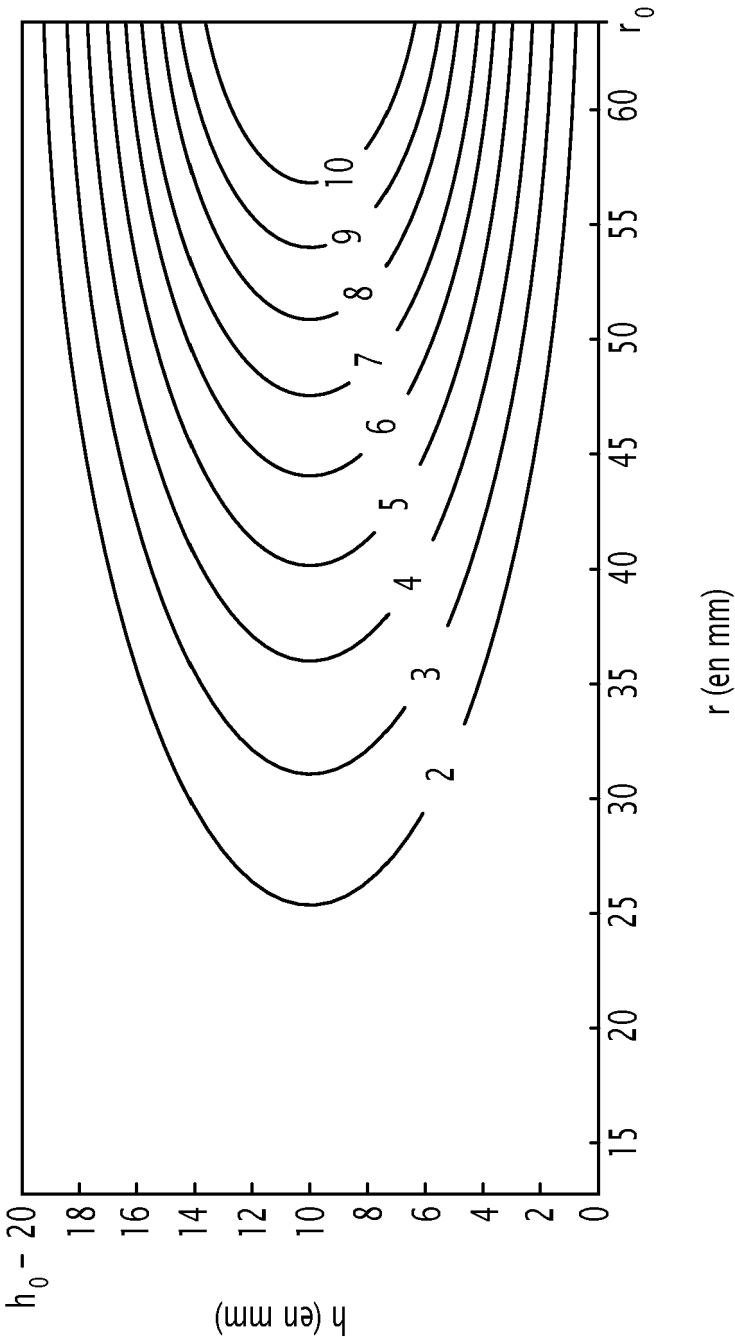


FIG.3

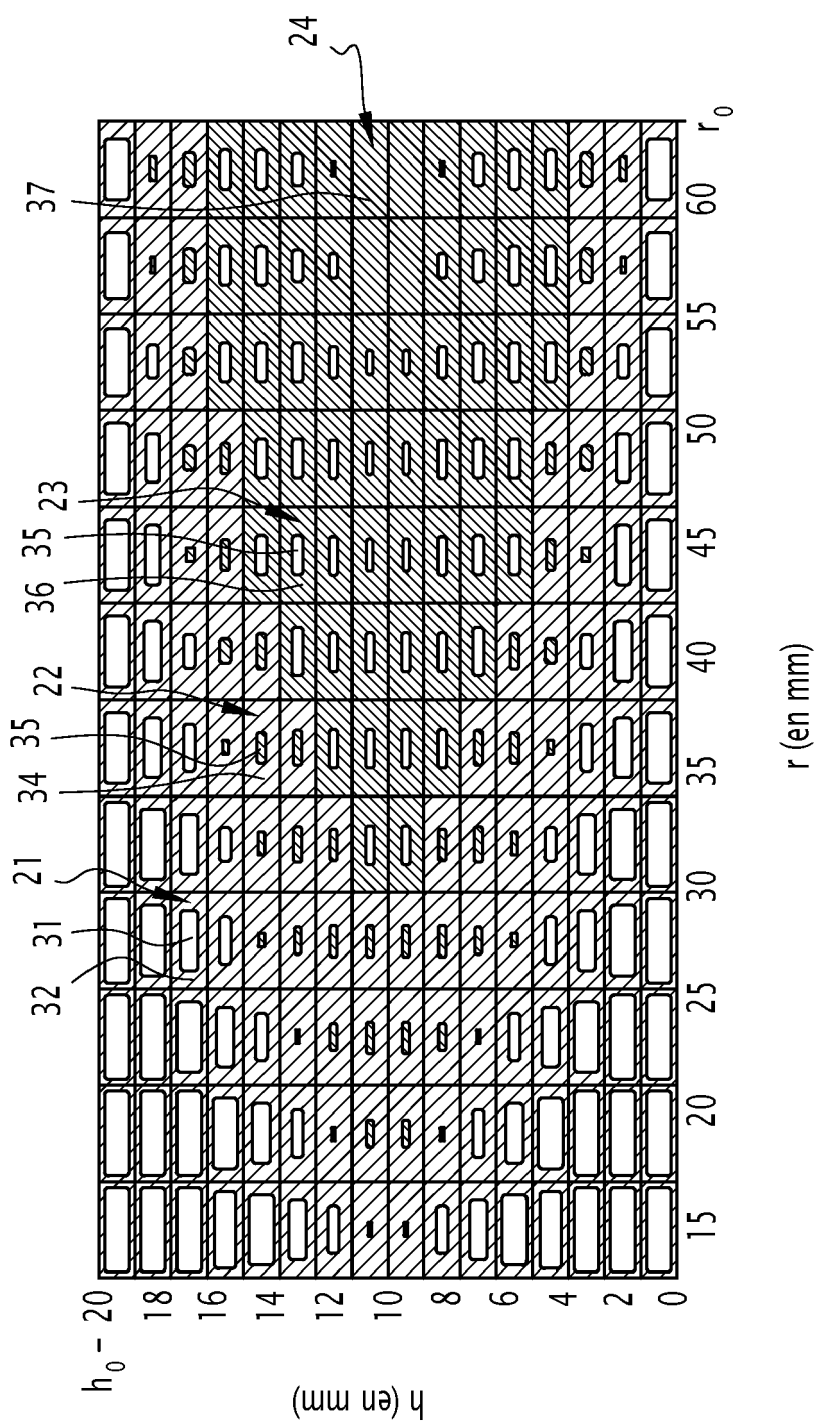
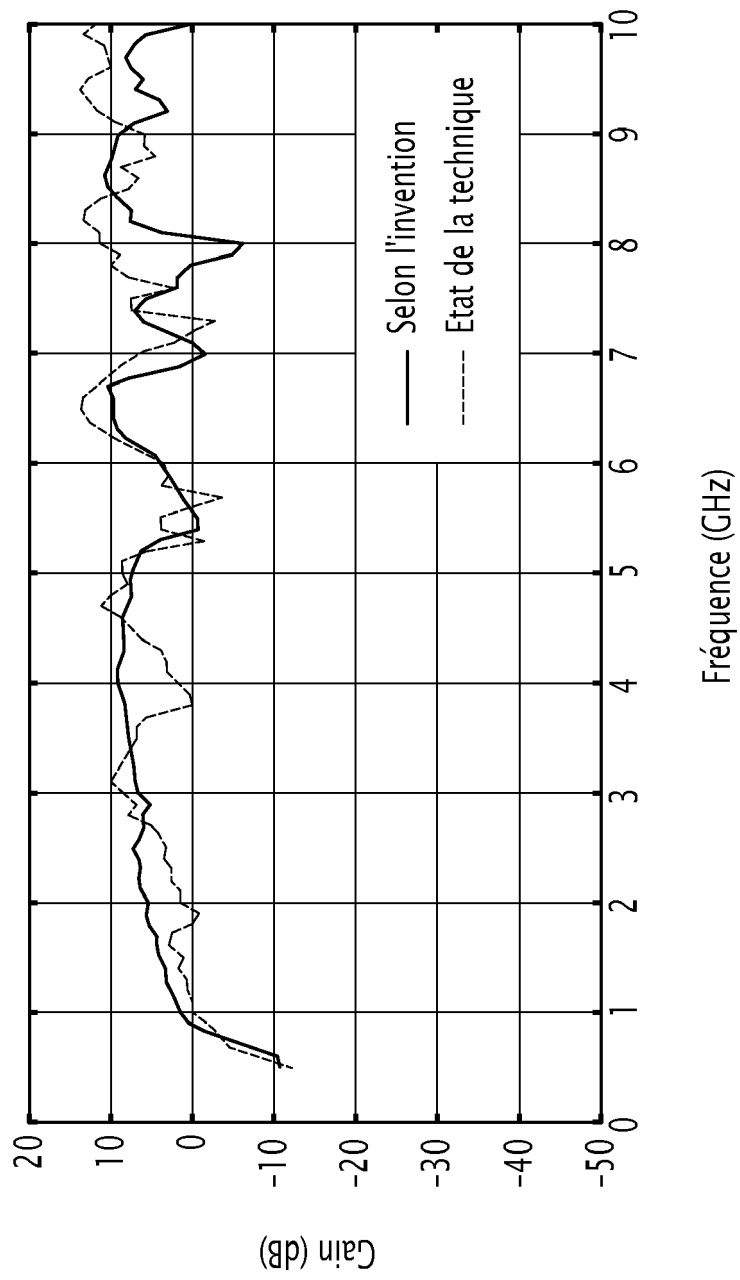


FIG. 4

**FIG.5**



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 22 21 5304

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A, D	FR 3 003 702 A1 (THALES SA [FR]) 26 septembre 2014 (2014-09-26) * figure 1 * * page 6, ligne 2 - ligne 7 * -----	1-9	INV. H01Q1/38 H01Q5/25 H01Q9/27 H01Q19/10
A	US 6 137 453 A (WANG JOHNSON J H [US] ET AL) 24 octobre 2000 (2000-10-24) * figures 1A, 2C * * colonne 8, ligne 5 - colonne 9, ligne 14 * -----	1-9	
A	CN 207 183 522 U (UNIV XIAMEN TAN KAH KEE COLLEGE) 3 avril 2018 (2018-04-03) * figures 2, 3 * * alinéas [0011], [0018] * -----	1-9	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01Q
Lieu de la recherche La Haye			Examineur Yvonnet, Yannick
Date d'achèvement de la recherche 11 avril 2023			
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 22 21 5304

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.

11-04-2023

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 3003702	A1	26-09-2014	AUCUN

US 6137453	A	24-10-2000	AU 1465500 A 13-06-2000
			CN 1326601 A 12-12-2001
			EP 1129504 A1 05-09-2001
			JP 2002530982 A 17-09-2002
			TW 447171 B 21-07-2001
			US 6137453 A 24-10-2000
			WO 0031822 A1 02-06-2000

CN 207183522	U	03-04-2018	AUCUN

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

- FR 3003702 [0012]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **CROCKER D.A. et al.** Sinuous Antenna Design for UWB Radar. *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting*, 2019 [0004]