

(19)



(11)

EP 3 671 953 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:

24.06.2020 Bulletin 2020/26

(51) Int Cl.:

H01Q 1/48 (2006.01)

H01Q 9/04 (2006.01)

H01Q 1/52 (2006.01)

H01Q 9/36 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **19217247.6**

(22) Date de dépôt: **17.12.2019**

(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**

Etats d'extension désignés:

BA ME

Etats de validation désignés:

KH MA MD TN

(72) Inventeurs:

- **DELAVEAUD, Christophe**
38054 Grenoble Cedex 09 (FR)
- **BATEL, Lotfi**
38054 Grenoble Cedex 09 (FR)
- **PINTOS, Jean-François**
38054 Grenoble Cedex 09 (FR)

(74) Mandataire: **GIE Innovation Competence Group**

310, avenue Berthelot
69372 Lyon Cedex 08 (FR)

(30) Priorité: **18.12.2018 FR 1873167**

(71) Demandeur: **Commissariat à l'énergie atomique
et aux énergies alternatives**
75015 Paris (FR)

(54) **ANTENNE FIL-PLAQUE MONOPOLAIRE**

(57) Cette antenne comporte :

- un plan de masse (1) ;
- un toit capacitif (2), s'étendant parallèlement au plan de masse (1) ;
- une sonde d'alimentation (3, 30), électriquement isolée du plan de masse (1), et s'étendant entre le plan de masse (1) et le toit capacitif (2) de manière à alimenter électriquement le toit capacitif (2), la sonde d'alimentation (3,

30) étant destinée à être connectée à une ligne de transmission ;

- un ensemble de fils de court-circuit (4), agencés parallèlement autour de la sonde d'alimentation (3, 30) de sorte que chaque fil de court-circuit (4) connecte électriquement le toit capacitif (2) au plan de masse (1), chaque fil de court-circuit (4) étant enrobé d'un matériau magnéto-diélectrique (5).

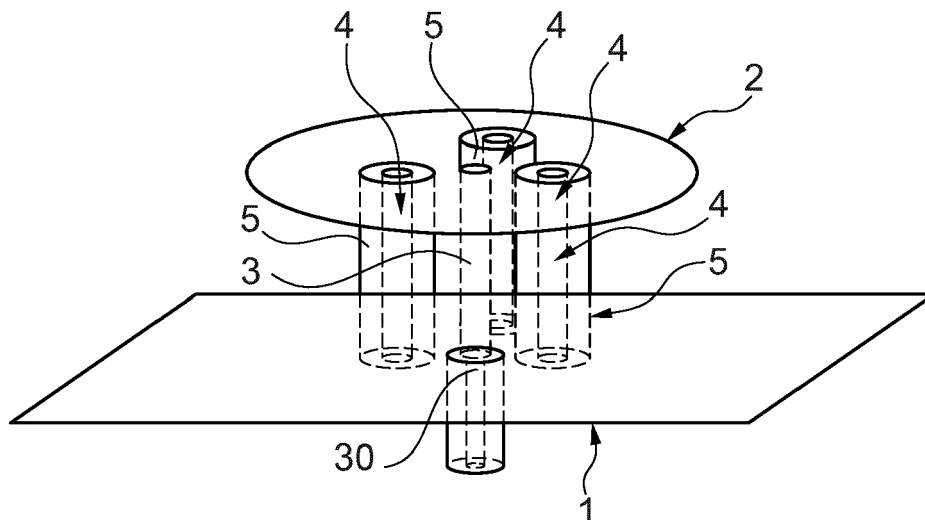


Fig. 3

EP 3 671 953 A1

Description

Domaine technique

[0001] L'invention se rapporte au domaine technique des antennes fil-plaque monopolaires.

[0002] L'invention trouve notamment son application dans l'internet des objets IoT (acronyme pour « *Internet of Things* » en langue anglaise), la radio-identification RFID (acronyme pour « *Radio Frequency Identification* » en langue anglaise), la communication pour des réseaux de capteurs, la communication entre machines M2M (« *Machine-to-Machine* » en langue anglaise), la communication dans les domaines de l'aéronautique et du spatial.

Etat de la technique antérieure

[0003] Une antenne fil-plaque monopolaire connue de l'état de la technique, notamment du document L. Batel et al., « Design of a monopolar wire-plate antenna loaded with magneto-dielectric material », Conférence EuCAP (European Conference on Antennas and Propagation), avril 2018, comporte :

- un plan de masse ;
- un toit capacitif, s'étendant parallèlement au plan de masse ;
- une sonde d'alimentation, électriquement isolée du plan de masse, et s'étendant entre le plan de masse et le toit capacitif de manière à alimenter électriquement le toit capacitif, la sonde d'alimentation étant destinée à être connectée à une ligne de transmission ;
- un unique fil de court-circuit, agencé à distance de la sonde d'alimentation de sorte que le fil de court-circuit connecte électriquement le toit capacitif au plan de masse, le fil de court-circuit étant enrobé d'un matériau magnéto-diélectrique.

[0004] Une telle antenne de l'état de la technique, grâce au matériau magnéto-diélectrique enrobant le fil de court-circuit, peut avoir des dimensions réduites de l'ordre de 15% par rapport à une architecture sans matériau magnéto-diélectrique, et ce tout en conservant des performances similaires.

[0005] Il est recherché une architecture d'antenne fil-plaque monopolaire permettant d'améliorer la miniaturisation de l'antenne, à quantité égale de matériau magnéto-diélectrique.

Exposé de l'invention

[0006] A cet effet, l'invention a pour objet une antenne fil-plaque monopolaire, comportant :

- un plan de masse ;
- un toit capacitif ;

- une sonde d'alimentation, électriquement isolée du plan de masse, et s'étendant entre le plan de masse et le toit capacitif de manière à alimenter électriquement le toit capacitif, la sonde d'alimentation étant destinée à être connectée à une ligne de transmission ;
- un ensemble de fils de court-circuit, agencés parallèlement autour de la sonde d'alimentation de sorte que chaque fil de court-circuit connecte électriquement le toit capacitif au plan de masse, chaque fil de court-circuit étant enrobé d'un matériau magnéto-diélectrique.

[0007] Ainsi, une telle antenne selon l'invention permet d'améliorer la miniaturisation de l'antenne, à quantité égale de matériau magnéto-diélectrique, grâce à la mise en parallèle d'une pluralité de fils de court-circuit enrobés chacun d'un matériau magnéto-diélectrique.

[0008] Il est connu que la mise en parallèle d'une pluralité de fils est équivalente à la présence d'un unique fil présentant un rayon équivalent supérieur au rayon individuel des fils mis en parallèle, comme mentionné dans le document E.A. Wolff « Antenna analysis », Wiley, 1966, ou encore dans le document C. Harrison et al., « Folded dipoles and loops », IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol.9, issue 2, pp.171-187, 1961.

[0009] Cependant, les inventeurs ont constaté qu'à quantité égale de matériau magnéto-diélectrique, la mise en parallèle d'un ensemble de fils de court-circuit, enrobés chacun d'un matériau magnéto-diélectrique, permet de réduire la fréquence de résonance de l'antenne vers les basses fréquences de plus de 30% par rapport à un unique fil équivalent de court-circuit, enrobé d'un matériau magnéto-diélectrique. En d'autres termes, la mise en parallèle d'un ensemble de fils de court-circuit, enrobés chacun d'un matériau magnéto-diélectrique, permet une meilleure interaction entre l'antenne et le matériau magnéto-diélectrique, et par conséquent une meilleure efficacité de miniaturisation de l'antenne chargée par le matériau magnéto-diélectrique. Pour une architecture à un unique fil de court-circuit, il est estimé qu'il faudrait un volume de matériau magnéto-diélectrique 20 fois supérieur pour réduire la fréquence de résonance de l'antenne vers les basses fréquences de plus de 30%, ce qui conduirait à un encombrement substantiel, des pertes supplémentaires (liées à la quantité de matériau additionnel), et un poids supérieur de l'antenne.

Définitions

[0010]

- Par « toit capacitif », on entend une surface généralement plane, électriquement conductrice, pouvant être par exemple de forme rectangulaire ou circulaire, et créant un effet capacitif avec le plan de masse. Le terme « plane » s'entend dans les tolérances

usuelles liées aux conditions expérimentales de formation du toit capacitif, et non comme une planéité parfaite au sens géométrique du terme.

- Par « sonde d'alimentation », on entend une sonde d'excitation de l'antenne, classiquement reliée à une âme centrale d'un guide coaxial, et électriquement connectée au toit capacitif.
- Par « ligne de transmission », on entend un élément permettant la propagation guidée d'ondes électromagnétiques (e.g. dans le domaine des radiofréquences), la ligne de transmission pouvant être un câble coaxial d'alimentation ou un autre guide d'onde.
- Par « enrobé », on entend que le matériau magnéto-diélectrique recouvre (en contact) la totalité de la surface libre du fil de court-circuit correspondant.
- Par « matériau magnéto-diélectrique », on entend un matériau possédant, à la longueur d'onde de fonctionnement de l'antenne, une permittivité relative (ϵ_r) strictement supérieure à 1 et une perméabilité relative (μ_r) strictement supérieure à 1.

[0011] L'antenne selon l'invention peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.

[0012] Selon une caractéristique de l'invention, la sonde d'alimentation est agencée au centre du plan de masse, et l'ensemble de fils de court-circuit comporte au moins un couple de fils de court-circuit agencé autour de la sonde d'alimentation selon une symétrie centrale.

[0013] Ainsi, un avantage procuré est d'obtenir une symétrie pour le rayonnement de l'antenne et de réduire la polarisation croisée (« *cross polarization* » en langue anglaise).

[0014] Selon une caractéristique de l'invention, l'ensemble de fils de court-circuit comporte un nombre de fils de court-circuit choisi de sorte que, pour une quantité donnée de matériau magnéto-diélectrique, le toit capacitif et la sonde d'alimentation présentent chacun une dimension caractéristique maximale telle que l'antenne est contenue dans une sphère avec un rayon électrique inférieur ou égal à $\lambda/2\pi$, où λ est la longueur d'onde de fonctionnement de l'antenne.

[0015] Ainsi, un avantage procuré est d'obtenir une antenne miniature. Par « miniature », on entend que l'antenne est contenue dans une sphère (dite de Wheeler), de rayon électrique inférieur ou égal à $\lambda/2\pi$. Par exemple, dans le cas d'un toit capacitif circulaire, le rayon de la sphère de Wheeler est l'hypoténuse du triangle rectangle dont l'angle droit est formé par le rayon du toit capacitif et par la hauteur de l'antenne, et qui doit être inférieur ou égal à $\lambda/2\pi$.

[0016] Selon une caractéristique de l'invention, la sonde d'alimentation est enrobée du matériau magnéto-diélectrique.

[0017] Ainsi, un avantage procuré est d'augmenter la quantité de matériau magnéto-diélectrique dans l'antenne, et par là-même l'efficacité du chargement de l'antenne par le matériau magnéto-diélectrique pour réduire ses

dimensions.

[0018] Selon une caractéristique de l'invention, l'antenne comporte une couche magnéto-diélectrique s'étendant entre le plan de masse et le toit capacitif de manière à enrober chaque fil de court-circuit et la sonde d'alimentation.

[0019] Ainsi, un avantage procuré est la simplicité de fabrication de l'antenne.

[0020] Selon une caractéristique de l'invention, le toit capacitif et le plan de masse délimitent un volume cylindrique, et la couche magnéto-diélectrique s'étend dans tout ou partie du volume cylindrique.

[0021] Le terme « cylindrique » désigne la forme d'un cylindre dont la surface est engendrée par une famille de droites de même direction (génératrices). A titre d'exemples, la section droite du cylindre (i.e. l'intersection de la surface avec un plan perpendiculaire à la direction des génératrices) peut être circulaire ou quadrangulaire (e.g. rectangulaire).

[0022] Selon une caractéristique de l'invention, le matériau magnéto-diélectrique est choisi de sorte que la relation $\mu_r > \epsilon_r > 1$ est vérifiée à la longueur d'onde de fonctionnement de l'antenne, où :

- μ_r est la perméabilité relative du matériau magnéto-diélectrique,
- ϵ_r est la permittivité relative du matériau magnéto-diélectrique.

[0023] Ainsi, un avantage procuré par un matériau magnéto-diélectrique est de contribuer à la miniaturisation de l'antenne en réduisant la longueur d'onde guidée (λ_g) dans le matériau selon la formule ci-après :

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$$

où λ est la longueur d'onde de fonctionnement de l'antenne.

[0024] On cherche donc un produit $\epsilon_r \mu_r$ le plus élevé possible pour favoriser la miniaturisation de l'antenne.

[0025] Plus précisément, le fait que $\mu_r > \epsilon_r > 1$ permet de privilégier un μ_r élevé par rapport à un ϵ_r élevé, car un ϵ_r trop élevé conduit généralement à une forte concentration du champ électromagnétique dans l'antenne, avec des problèmes potentiels d'adaptation d'impédance, et menant ainsi à une perte de transfert de puissance électromagnétique (e.g. radiofréquence) en espace libre. D'autre part, l'antenne fil-plaque monopolaire interagit efficacement avec les propriétés magnétiques du matériau par l'intermédiaire des fils de court-circuit, ce qui lui confère un comportement magnétique spécifique en champ proche.

[0026] Selon une caractéristique de l'invention, le matériau magnéto-diélectrique est choisi parmi $\text{Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,3}\text{Co}_{0,2}\text{In}_{0,75}\text{Fe}_{1,925}\text{O}_4$, $\text{Ni}_{0,76}\text{Mn}_{0,24-x}\text{Co}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ avec x compris entre 0 et 0,04, et

$\text{Ni}_{0,61}\text{Zn}_{0,35}\text{Co}_{0,04}\text{Fe}_{1,98}\text{O}_4$.

[0027] Ainsi, un avantage procuré par de tels matériaux est de vérifier $\mu_r > \epsilon_r > 1$.

[0028] Selon une caractéristique de l'invention, les fils de court-circuit sont séparés de la sonde d'alimentation d'une distance choisie pour adapter l'impédance d'entrée de l'antenne à 50 ohms.

[0029] Ainsi, un avantage procuré est de maximiser le transfert de puissance électromagnétique.

[0030] L'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'une antenne fil-plaque monopolaire, comportant les étapes :

- a) prévoir un substrat, réalisé dans un matériau magnéto-diélectrique, et présentant des première et seconde surfaces planes opposées ;
- b) former un premier trou d'interconnexion à travers le substrat de manière à obtenir une sonde d'alimentation ;
- c) former un ensemble de trous d'interconnexion à travers le substrat, agencés parallèlement autour du premier trou d'interconnexion, de manière à obtenir un ensemble de fils de court-circuit ;
- d) former un toit capacitif à la première surface du substrat ;
- e) former un plan de masse à la seconde surface du substrat ; l'étape e) étant exécutée de sorte que la sonde d'alimentation est électriquement isolée du plan de masse.

[0031] Ainsi, un tel procédé selon l'invention permet de fabriquer aisément une antenne fil-plaque monopolaire, à partir d'un substrat réalisé dans un matériau magnéto-diélectrique qui enrobe à la fois la sonde d'alimentation et l'ensemble de fils de court-circuit.

[0032] Par «trou d'interconnexion» («*via*» en langue anglaise), on entend un trou métallisé permettant d'établir une liaison électrique entre deux niveaux d'interconnexion.

Brève description des dessins

[0033] D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront dans l'exposé détaillé de différents modes de réalisation de l'invention, l'exposé étant assorti d'exemples et de références aux dessins joints.

Figure 1 est une vue schématique en perspective d'une antenne fil-plaque monopolaire, illustrant un ensemble de fils de court-circuit, agencés parallèlement autour de la sonde d'alimentation de sorte que chaque fil de court-circuit connecte électriquement le toit capacitif au plan de masse, les fils de court-circuit n'étant pas enrobés d'un matériau magnéto-diélectrique.

Figure 2 est une vue schématique analogue à la figure 1, à l'échelle agrandie, où les fils de court-circuit sont enrobés d'un matériau magnéto-diélectrique.

Figure 3 est une vue schématique en perspective d'une antenne selon l'invention, illustrant un premier mode de réalisation de l'enrobage (enrobage individuel des fils de court-circuit) par le matériau magnéto-diélectrique.

Figure 4 est une vue schématique en perspective d'une antenne selon l'invention, illustrant un deuxième mode de réalisation de l'enrobage (enrobage individuel des fils de court-circuit et de la sonde d'alimentation) par le matériau magnéto-diélectrique.

Figure 5 est une vue schématique en perspective d'une antenne selon l'invention, illustrant un troisième mode de réalisation de l'enrobage (enrobage global des fils de court-circuit et de la sonde d'alimentation) par le matériau magnéto-diélectrique.

Figure 6 est une vue schématique de dessus (en transparence) d'un substrat magnéto-diélectrique dans lequel sont formés des trous d'interconnexion de manière à obtenir une antenne fil-plaque monopolaire conforme à l'invention.

Figure 7 est une vue schématique en coupe selon l'axe A-A du substrat magnéto-diélectrique illustré à la figure 6.

[0034] Il est à noter que les dessins décrits ci-avant sont schématiques et ne sont pas à l'échelle par souci de lisibilité.

Exposé détaillé des modes de réalisation

[0035] Les éléments identiques ou assurant la même fonction porteront les mêmes références pour les différents modes de réalisation, par souci de simplification.

[0036] Comme illustré aux figures 1 à 5, un objet de l'invention est une antenne fil-plaque monopolaire, comportant :

- un plan de masse 1 ;
- un toit capacitif 2 ;
- une sonde d'alimentation 3, électriquement isolée du plan de masse 1, et s'étendant entre le plan de masse 1 et le toit capacitif 2 de manière à alimenter électriquement le toit capacitif 2, la sonde d'alimentation 3 étant destinée à être connectée à une ligne de transmission (non illustrée) ;
- un ensemble de fils de court-circuit 4, agencés parallèlement autour de la sonde d'alimentation 3 de sorte que chaque fil de court-circuit 4 connecte électriquement le toit capacitif 2 au plan de masse 1, chaque fil de court-circuit 4 étant enrobé d'un matériau magnéto-diélectrique 5.

Plan de masse

[0037] Le plan de masse 1 peut être réalisé dans un matériau métallique, tel que le cuivre. Le plan de masse 1 peut être de forme circulaire, comme illustré aux figures 1 et 2. Cependant, d'autres formes sont envisageables

pour le plan de masse 1, telles qu'une forme rectangulaire (illustrée aux figures 3 à 5) ou carrée.

[0038] Le plan de masse 1 peut être formé sur un substrat diélectrique (non illustré). Une ouverture est réalisée dans le plan de masse 1 (et le cas échéant dans le substrat diélectrique) pour permettre le passage de la sonde d'alimentation 3.

[0039] Il est possible d'équiper le plan de masse 1 de composants, par exemple un circuit de courant continu (DC), un circuit radiofréquences (RF) ou encore une pile d'alimentation, et ce sans altérer le fonctionnement de l'antenne.

Toit capacitif

[0040] Le toit capacitif 2 comporte une surface plane électriquement conductrice, de préférence métallique. Le toit capacitif 2 s'étend avantageusement parallèlement au plan de masse 1. Le terme « parallèlement » s'entend dans les tolérances usuelles liées aux conditions expérimentales de formation des éléments de l'antenne, et non comme un parallélisme parfait au sens mathématique (géométrique) du terme. Toutefois, le toit capacitif 2 peut présenter une inclinaison par rapport au plan de masse 1 dès lors qu'un effet capacitif est créé avec le plan de masse 1. L'angle d'inclinaison formé entre le toit capacitif 2 et le plan de masse 1 est préférentiellement inférieur ou égal à 30°.

[0041] Le toit capacitif 2 créé ainsi un effet capacitif avec le plan de masse 1 permettant d'abaisser la fréquence de résonance de l'antenne, ou réduire la longueur du monopôle (i.e. la sonde d'alimentation 3) pour une fréquence de résonance donnée.

[0042] Le toit capacitif 2 est de préférence de forme circulaire, par exemple avec un rayon de l'ordre de $\lambda/11$, où λ est la longueur d'onde de fonctionnement de l'antenne. A titre d'exemple non limitatif, dans la bande des très hautes fréquences (VHF pour « *Very High Frequency* » en langue anglaise), à 135 MHz, le rayon du toit capacitif 2 est de l'ordre de 200 mm.

[0043] Toutefois, d'autres formes sont envisageables pour le toit capacitif 2, telles qu'une forme carrée, rectangulaire, elliptique, ou encore en étoile.

Sonde d'alimentation

[0044] La sonde d'alimentation 3 n'est pas en contact du plan de masse 1 de manière à être électriquement isolée du plan de masse 1. A titre d'exemple non limitatif, la sonde d'alimentation 3 peut être rendue solidaire du plan de masse 1 à l'aide d'une entretoise (non illustrée) qui n'est pas électriquement conductrice.

[0045] La sonde d'alimentation 3 s'étend avantageusement perpendiculairement au plan de masse 1, et donc perpendiculairement au toit capacitif 2, afin de s'affranchir de la perturbation du diagramme de rayonnement de l'antenne par le plan de masse 1. La sonde d'alimentation 3 peut être reliée à une âme centrale 30, métalli-

que, d'un guide d'onde coaxial. La sonde d'alimentation 3 s'étend entre le plan de masse 1 et le toit capacitif 2, par exemple sur une hauteur de l'ordre de $\lambda/11$, où λ est la longueur d'onde de fonctionnement de l'antenne. A titre d'exemple non limitatif, dans la bande des très hautes fréquences (VHF pour « *Very High Frequency* » en langue anglaise), à 135 MHz, la hauteur de la sonde d'alimentation 3 (entre le plan de masse 1 et le toit capacitif 2) est de l'ordre de 200 mm.

[0046] La sonde d'alimentation 3 est préférentiellement agencée au centre du plan de masse 1, comme illustré aux figures 1 à 5. La sonde d'alimentation 3 est avantageusement enrobée du matériau magnéto-diélectrique 5, comme illustré aux figures 4 et 5.

[0047] La sonde d'alimentation 3 est destinée à être connectée à une ligne de transmission permettant la propagation guidée d'ondes électromagnétiques (e.g. dans le domaine des radiofréquences), la ligne de transmission pouvant être un câble coaxial d'alimentation ou un autre guide d'onde.

Ensemble de fils de court-circuit

[0048] Comme illustré aux figures 1 à 5, l'ensemble de fils de court-circuit 4, de préférence métalliques, s'étend avantageusement perpendiculairement au plan de masse 1, et donc perpendiculairement au toit capacitif 2. Les fils de court-circuit 4 de l'ensemble sont parallèles entre eux.

[0049] Lorsque la sonde d'alimentation 3 est agencée au centre du plan de masse 1, l'ensemble de fils de court-circuit 4 comporte avantageusement au moins un couple de fils de court-circuit 4 agencé autour de la sonde d'alimentation 3 selon une symétrie centrale. L'ensemble de fils de court-circuit 4 comporte un nombre (noté N) de fils de court-circuit 4 choisi de sorte que, pour une quantité donnée de matériau magnéto-diélectrique 5, le toit capacitif 2 et la sonde d'alimentation 3 présentent chacun une dimension caractéristique maximale telle que l'antenne est contenue dans une sphère avec un rayon électrique inférieur ou égal à $\lambda/2\pi$, où λ est la longueur d'onde de fonctionnement de l'antenne.

[0050] Si l'on considère que chaque fil de court-circuit 4 possède un rayon, noté a, et que chaque fil de court-circuit 4 est séparé d'une distance, notée b, de la sonde d'alimentation 3, les inventeurs ont montré que l'ensemble des fils de court-circuit 4 est équivalent à un unique fil possédant un rayon (dit rayon équivalent R_{eq}) vérifiant :

$$R_{eq} = (ab^{N-1})^{1/N}, \quad N \in \llbracket 1; 6 \rrbracket$$

[0051] Les inventeurs postulent que cette formule fonctionne quel que soit le nombre de fils de court-circuit 4 séparés d'une distance, notée b, de la sonde d'alimentation 3, c'est-à-dire que l'ensemble des fils de court-circuit 4 est équivalent à un unique fil possédant un rayon

équivalent R_{eq} vérifiant :

$$R_{eq} = (ab^{N-1})^{1/N}, \quad N \in \mathbb{N}^*$$

[0052] Les inventeurs ont constaté qu'à quantité égale de matériau magnéto-diélectrique 5, la mise en parallèle d'un ensemble de N fils de court-circuit 4, enrobés chacun d'un matériau magnéto-diélectrique 5, permet de réduire la fréquence de résonance de l'antenne vers les basses fréquences de plus de 30% par rapport à un unique fil de court-circuit 4, enrobé du matériau magnéto-diélectrique 5, et possédant un rayon équivalent R_{eq} calculé par les formules précédentes. En d'autres termes, la mise en parallèle d'un ensemble de N fils de court-circuit 4, enrobés chacun d'un matériau magnéto-diélectrique 5, permet une meilleure efficacité du chargement de l'antenne par le matériau magnéto-diélectrique 5. Pour une architecture à un unique fil de court-circuit 4, il est estimé qu'il faudrait un volume de matériau magnéto-diélectrique 20 fois supérieur pour réduire la fréquence de résonance de l'antenne vers les basses fréquences de plus de 30%, ce qui conduirait à un encombrement substantiel, des pertes supplémentaires (liées à la quantité de matériau additionnel), et un poids supérieur de l'antenne.

[0053] A titre d'exemples non limitatifs, comme illustré aux figures 1 et 2, l'ensemble de fils de court-circuit 4 peut comporter trois couples de fils de court-circuit 4 agencés autour de la sonde d'alimentation 3 selon une symétrie centrale. Chaque fil de court-circuit 4 peut présenter un rayon (a) de l'ordre de 2,4 mm. Chaque couple de fils de court-circuit 4 peut être séparé d'une distance (b) de l'ordre de 80 mm de part et d'autre de la sonde d'alimentation 3 selon une symétrie centrale.

[0054] Les fils de court-circuit 4 sont avantageusement séparés de la sonde d'alimentation 3 d'une distance choisie pour adapter l'impédance d'entrée de l'antenne à 50 ohms.

[0055] Comme illustré aux figures 3 à 5, il est à noter que l'ensemble de fils de court-circuit 4 peut comporter un nombre impair de fils de court-circuit 4. Toutefois, cela peut conduire à une dissymétrie pour le rayonnement de l'antenne et à l'apparition d'une polarisation croisée (« *cross polarization* » en langue anglaise).

Matériau magnéto-diélectrique

[0056] Le matériau magnéto-diélectrique 5 est avantageusement choisi de sorte que la relation $\mu_r > \varepsilon_r > 1$ est vérifiée à la longueur d'onde de fonctionnement de l'antenne, où :

- μ_r est la perméabilité relative du matériau magnéto-diélectrique 5,
- ε_r est la permittivité relative du matériau magnéto-diélectrique 5.

[0057] Le matériau magnéto-diélectrique 5 est avantageusement choisi parmi $Ni_{0,5}Zn_{0,3}Co_{0,2}In_{0,075}Fe_{1,925}O_4$, $Ni_{0,76}Mn_{0,24-x}Co_xFe_2O_4$ avec x compris entre 0 et 0,04, et $Ni_{0,61}Zn_{0,35}Co_{0,04}Fe_{1,98}O_4$.

[0058] Comme illustré à la figure 5, l'antenne comporte avantageusement une couche magnéto-diélectrique 5 (réalisée dans le matériau magnéto-diélectrique) s'étendant entre le plan de masse 1 et le toit capacitif 2 de manière à enrober chaque fil de court-circuit 4 et la sonde d'alimentation 3. Le toit capacitif 2 et le plan de masse 1 délimitent un volume cylindrique, et la couche magnéto-diélectrique 5 s'étend dans tout ou partie du volume cylindrique.

[0059] Comme illustré aux figures 3 et 4, le matériau magnéto-diélectrique 5 peut également être réalisé sous la forme d'un cylindre creux à l'intérieur duquel s'étend un fil de court-circuit 4 ou la sonde d'alimentation 3.

Procédé de fabrication

[0060] Comme illustré aux figures 6 et 7, un objet de l'invention est un procédé de fabrication d'une antenne fil-plaque monopolaire, comportant les étapes :

- a) prévoir un substrat 6, réalisé dans un matériau magnéto-diélectrique 5, et présentant des première et seconde surfaces 60, 61 planes opposées ;
- b) former un premier trou d'interconnexion 7a à travers le substrat 6 de manière à obtenir une sonde d'alimentation 3 ;
- c) former un ensemble de trous d'interconnexion 7b à travers le substrat 6, agencés parallèlement autour du premier trou d'interconnexion 7a, de manière à obtenir un ensemble de fils de court-circuit 4 ;
- d) former un toit capacitif 2 à la première surface 60 du substrat 6 ;
- e) former un plan de masse 1 à la seconde surface 61 du substrat 6 ; l'étape e) étant exécutée de sorte que la sonde d'alimentation 3 est électriquement isolée du plan de masse 1.

[0061] Les trous d'interconnexion 7a, 7b peuvent être métallisés par pulvérisation cathodique (« *sputtering* » en langue anglaise).

[0062] A l'issue de l'étape e), l'ensemble de fils de court-circuit 4 et la sonde d'alimentation 3 sont enrobés du matériau magnéto-diélectrique 5 du substrat 6.

[0063] L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation exposés. L'homme du métier est mis à même de considérer leurs combinaisons techniquement opérantes, et de leur substituer des équivalents.

Revendications

1. Antenne fil-plaque monopolaire, comportant :

- un plan de masse (1) ;
 - un toit capacitif (2) ;
 - une sonde d'alimentation (3, 30), électriquement isolée du plan de masse (1), et s'étendant entre le plan de masse (1) et le toit capacitif (2) de manière à alimenter électriquement le toit capacitif (2), la sonde d'alimentation (3, 30) étant destinée à être connectée à une ligne de transmission ;
 - un ensemble de fils de court-circuit (4), agencés parallèlement autour de la sonde d'alimentation (3, 30) de sorte que chaque fil de court-circuit (4) connecte électriquement le toit capacitif (2) au plan de masse (1), chaque fil de court-circuit (4) étant enrobé d'un matériau magnéto-diélectrique (5).
2. Antenne selon la revendication 1, dans laquelle la sonde d'alimentation (3, 30) est agencée au centre du plan de masse (1), et l'ensemble de fils de court-circuit (4) comporte au moins un couple de fils de court-circuit (4) agencé autour de la sonde d'alimentation (3, 30) selon une symétrie centrale.
3. Antenne selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle l'ensemble de fils de court-circuit (4) comporte un nombre de fils de court-circuit (4) choisi de sorte que, pour une quantité donnée de matériau magnéto-diélectrique (5), le toit capacitif (2) et la sonde d'alimentation (3, 30) présentent chacun une dimension caractéristique maximale telle que l'antenne est contenue dans une sphère avec un rayon électrique inférieur ou égal à $\lambda/2\pi$, où λ est la longueur d'onde de fonctionnement de l'antenne.
4. Antenne selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle la sonde d'alimentation (3, 30) est enrobée du matériau magnéto-diélectrique (5).
5. Antenne selon l'une des revendications 1 à 4, comportant une couche magnéto-diélectrique (5) s'étendant entre le plan de masse (1) et le toit capacitif (2) de manière à enrober chaque fil de court-circuit (4) et la sonde d'alimentation (3, 30).
6. Antenne selon la revendication 5, dans laquelle le toit capacitif (2) et le plan de masse (1) délimitent un volume cylindrique, et la couche magnéto-diélectrique (5) s'étend dans tout ou partie du volume cylindrique.
7. Antenne selon l'une des revendications 1 à 6, dans laquelle le matériau magnéto-diélectrique (5) est choisi de sorte que la relation $\mu_r > \epsilon_r > 1$ est vérifiée à la longueur d'onde de fonctionnement de l'antenne, où :
- μ_r est la perméabilité relative du matériau magnéto-diélectrique (5),
 - ϵ_r est la permittivité relative du matériau magnéto-diélectrique (5).
8. Antenne selon l'une des revendications 1 à 7, dans laquelle le matériau magnéto-diélectrique (5) est choisi parmi $\text{Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,3}\text{Co}_{0,2}\text{In}_{0,075}\text{Fe}_{1,925}\text{O}_4$, $\text{Ni}_{0,76}\text{Mn}_{0,24-x}\text{Co}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ avec x compris entre 0 et 0,04, et $\text{Ni}_{0,61}\text{Zn}_{0,35}\text{Co}_{0,04}\text{Fe}_{1,98}\text{O}_4$.
9. Antenne selon l'une des revendications 1 à 8, dans laquelle les fils de court-circuit (4) sont séparés de la sonde d'alimentation (3, 30) d'une distance choisie pour adapter l'impédance d'entrée de l'antenne à 50 ohms.
10. Procédé de fabrication d'une antenne fil-plaque monopolaire, comportant les étapes :
- a) prévoir un substrat (6), réalisé dans un matériau magnéto-diélectrique (5), et présentant des première et seconde surfaces (60, 61) planes opposées ;
 - b) former un premier trou d'interconnexion (7a) à travers le substrat (6) de manière à obtenir une sonde d'alimentation (3, 30) ;
 - c) former un ensemble de trous d'interconnexion (7b) à travers le substrat (6), agencés parallèlement autour du premier trou d'interconnexion (7a), de manière à obtenir un ensemble de fils de court-circuit (4) ;
 - d) former un toit capacitif (2) à la première surface (60) du substrat (6) ;
 - e) former un plan de masse (1) à la seconde surface (61) du substrat (6) ; l'étape e) étant exécutée de sorte que la sonde d'alimentation (3, 30) est électriquement isolée du plan de masse (1).

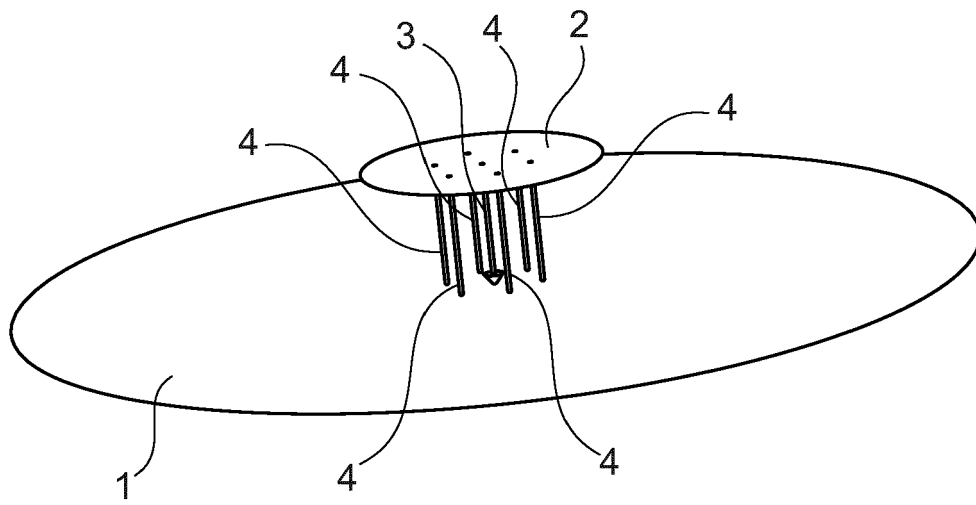


Fig. 1

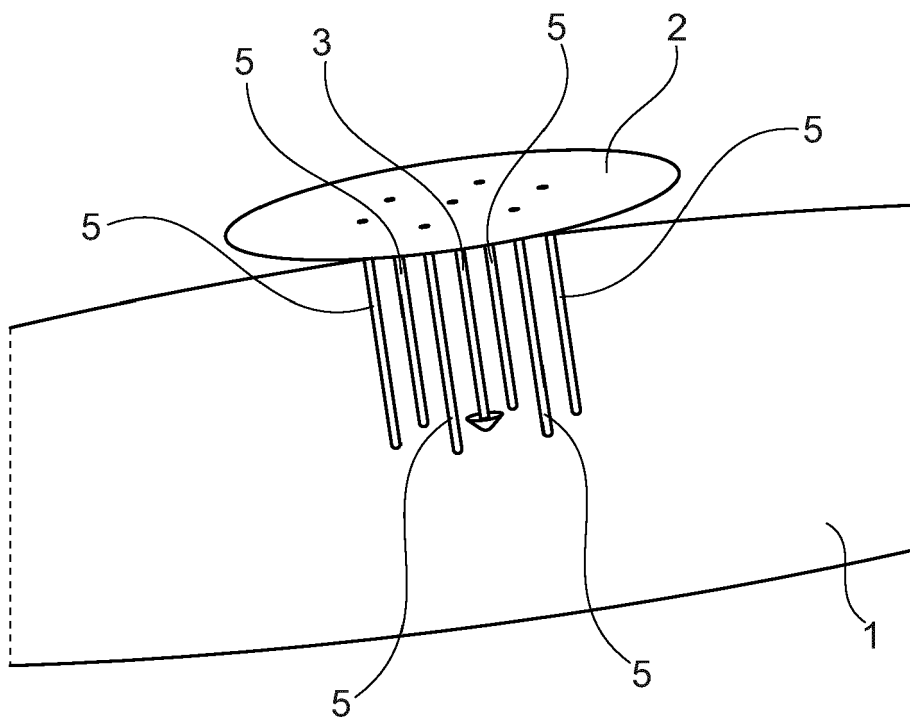


Fig. 2

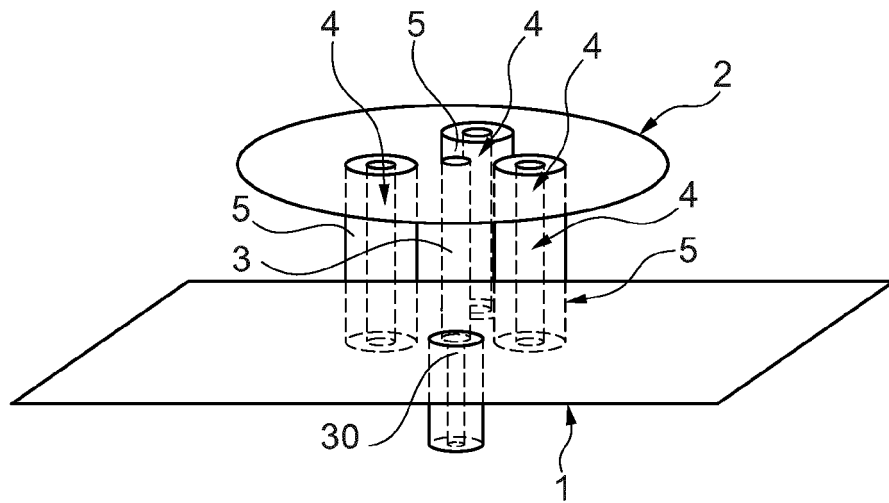


Fig. 3

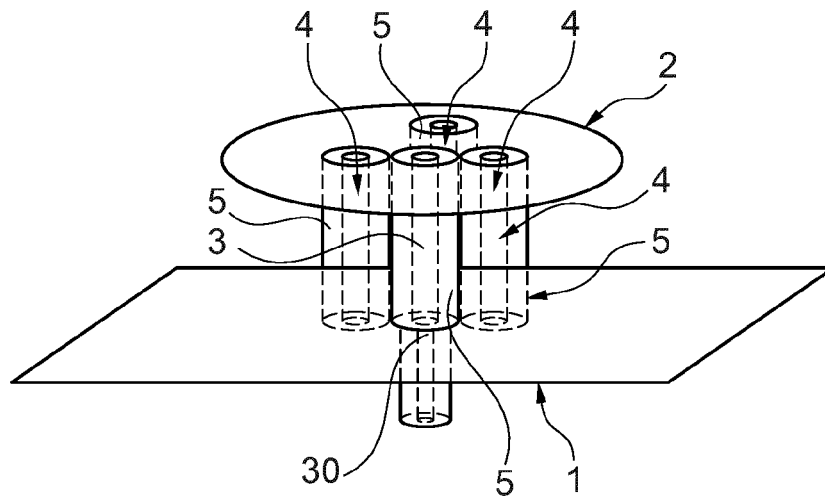


Fig. 4

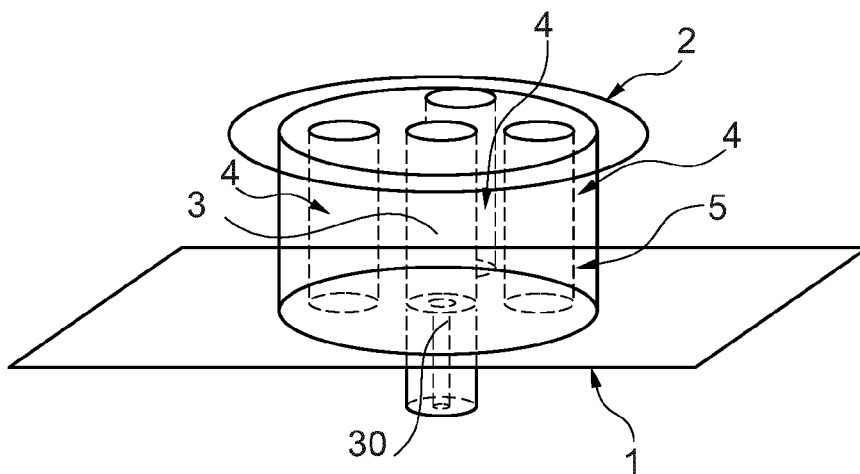


Fig. 5

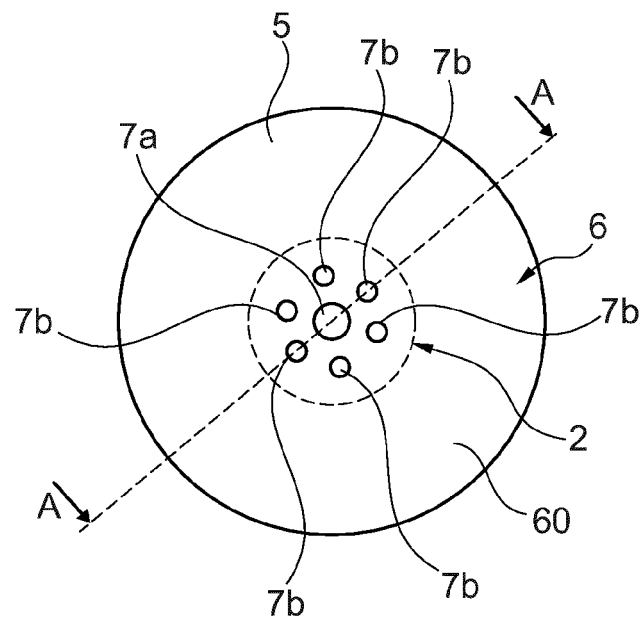


Fig. 6

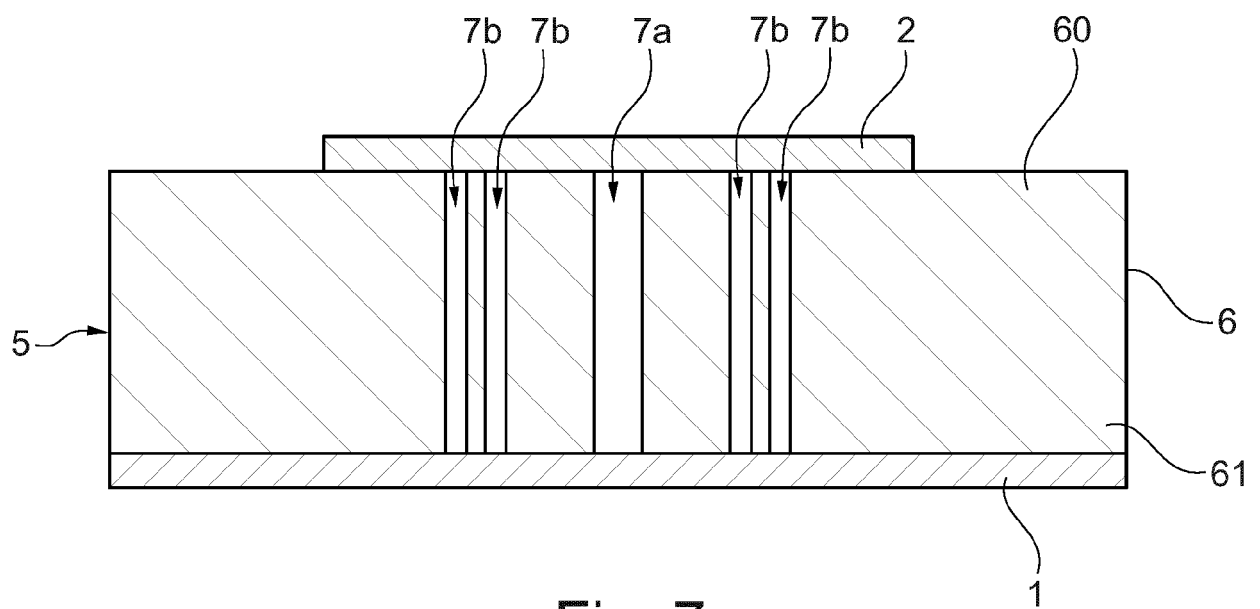


Fig. 7



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 19 21 7247

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	L. BATEL ET AL: "Design of a Monopolar Wire-plate Antenna Loaded with Magneto-Dielectric Material", 12TH EUROPEAN CONFERENCE ON ANTENNAS AND PROPAGATION (EUCAP 2018), 13 avril 2018 (2018-04-13), XP055626159, Stevenage, UK DOI: 10.1049/cp.2018.1021 ISBN: 978-1-78561-816-1	1,3-8,10	INV. H01Q1/48 H01Q9/04 H01Q1/52 H01Q9/36
Y	* page 1 - page 5; figures 1,3 *	2,9	
Y	DELAVEAUD CH ET AL: "New kind of microstrip antenna: the monopolar wire-patch antenna", ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 30, no. 1, 6 janvier 1994 (1994-01-06), pages 1-2, XP006000050, ISSN: 0013-5194, DOI: 10.1049/EL:19940057	2,9	
A	* page 1 - page 2; figure 1 *	1,3-8,10	
A	JUHUA LIU ET AL: "Design and Analysis of a Low-Profile and Broadband Microstrip Monopolar Patch Antenna", IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 61, no. 1, 23 août 2012 (2012-08-23), pages 11-18, XP011484563, ISSN: 0018-926X, DOI: 10.1109/TAP.2012.2214996 * le document en entier *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H01Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 28 avril 2020	Examineur Collado Garrido, Ana
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)



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 19 21 7247

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)
A	LAU K L ET AL: "A Wide-Band Monopolar Wire-Patch Antenna for Indoor Base Station Applications", IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, IEEE, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 4, no. 1, 20 juin 2005 (2005-06-20), pages 155-157, XP011131375, ISSN: 1536-1225, DOI: 10.1109/LAWP.2005.847432 * le document en entier * -----	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 28 avril 2020	Examineur Collado Garrido, Ana
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)

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.

Littérature non-brevet citée dans la description

- **L. BATEL et al.** Design of a monopolar wire-plate antenna loaded with magneto-dielectric material. *Conférence EuCAP (European Conference on Antennas and Propagation)*, Avril 2018 **[0003]**
- **E.A. WOLFF.** Antenna analysis. Wiley, 1966 **[0008]**
- **C. HARRISON et al.** Folded dipoles and loops. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 1961, vol. 9 (2), 171-187 **[0008]**