



DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
15.09.2021 Bulletin 2021/37

(51) Int Cl.:
H01Q 1/48 (2006.01)
H01Q 9/14 (2006.01)
H01Q 9/04 (2006.01)
H01Q 9/36 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **21161201.5**

(22) Date de dépôt: **08.03.2021**

(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

(30) Priorité: **10.03.2020 FR 2002363**

(71) Demandeurs:
• **Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives**
75015 Paris (FR)
• **Universite Brest Bretagne Occidentale**
29200 Brest (FR)

(72) Inventeurs:
• **DELAVEAUD, Christophe**
38054 Grenoble Cedex 09 (FR)
• **BATEL, Lotfi**
38054 Grenoble Cedex 09 (FR)
• **PINTOS, Jean-François**
38054 Grenoble Cedex 09 (FR)
• **MATTEI, Jean-Luc**
29280 Locmaria-Plouzané (FR)
• **CHEVALIER, Alexis**
29870 Landéda (FR)
• **LAUR, Vincent**
29290 Milizac (FR)

(74) Mandataire: **INNOV-GROUP**
310, avenue Berthelot
69372 Lyon Cedex 08 (FR)

(54) **ANTENNE FIL-PLAQUE MONOPOLAIRE RECONFIGURABLE EN FRÉQUENCE**

(57) Antenne fil-plaque monopolaire reconfigurable dans une gamme de fréquences de fonctionnement, 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 électri-

quement le toit capacitif (2) ;
- au moins un fil de court-circuit (4), agencé pour connecter électriquement le toit capacitif (2) au plan de masse (1), et enrobé d'un matériau magnéto-diélectrique (5) présentant une perméabilité magnétique complexe, variable en fonction d'un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique (5).

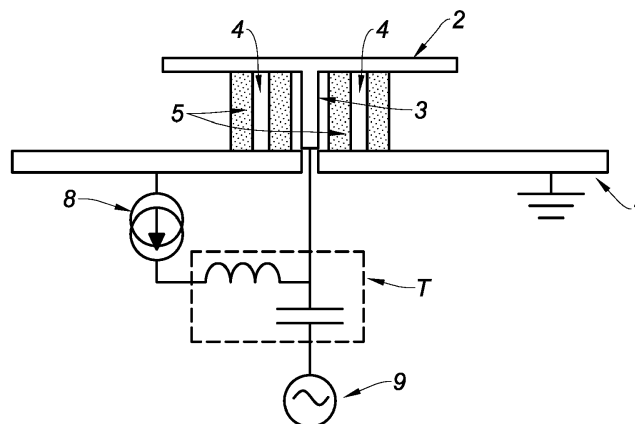


Fig. 9

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 (acronyme pour « *Machine-to-Machine* » en langue anglaise), la communication dans les domaines de l'aéronautique et du spatial.

État de l'art

[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 ;
- 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 ;
- un fil de court-circuit, agencé pour connecter électriquement le toit capacitif au plan de masse, et 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] Toutefois, une telle antenne de l'état de la technique n'est pas toujours entièrement satisfaisante dans la mesure où sa taille réduite conduit généralement à une bande spectrale de fonctionnement étroite, qui est susceptible de ne pas couvrir entièrement la bande spectrale d'un standard de communication. Un besoin peut émerger pour élargir sa bande spectrale de fonctionnement via une agilité fréquentielle. Autrement dit, une telle antenne de l'état de la technique n'est pas reconfigurable au sens où sa réponse fréquentielle ne peut être modifiée au cours de son fonctionnement pour s'adapter à un canal de communication, après sa fabrication.

Exposé de l'invention

[0006] L'invention vise à remédier en tout ou partie aux inconvénients précités. A cet effet, l'invention a pour objet

une antenne fil-plaque monopolaire reconfigurable dans une gamme de fréquences de fonctionnement, 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 ;
- au moins un fil de court-circuit, agencé pour connecter électriquement le toit capacitif au plan de masse, et enrobé d'un matériau magnéto-diélectrique présentant une perméabilité magnétique complexe, variable en fonction d'un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique.

Définitions**[0007]**

- Par « plan de masse », on entend une surface électriquement conductrice, de préférence métallique, formant un plan de masse électrique de manière à définir un potentiel électrique de référence.
- Par « toit capacitif », on entend une surface généralement plane, électriquement conductrice (de préférence métallique), 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 tout moyen d'alimentation électrique du toit capacitif. La sonde d'alimentation peut être une sonde d'excitation de l'antenne, classiquement reliée à une âme centrale d'un guide coaxial, et électriquement connectée au toit capacitif. La sonde d'alimentation est destinée à être connectée à une ligne de transmission, c'est-à-dire 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. Le terme « sonde d'alimentation » peut également couvrir une boucle d'alimentation destinée à être reliée à une connexion différentielle, et qui permet de s'affranchir d'un balun entre la ligne de transmission et la boucle d'alimentation.
- Par « enrobé », on entend que le matériau magnéto-diélectrique recouvre (en contact) la totalité de la surface libre du fil de court-circuit.
- Par « matériau magnéto-diélectrique », on entend un matériau possédant, dans la gamme de fréquences de fonctionnement, une permittivité relative (ϵ_r) strictement supérieure à 1, et une perméabilité relative (μ_r) strictement supérieure à 1.

[0008] Ainsi, une telle antenne selon l'invention permet de déplacer la fréquence de résonance, et par là-même de modifier son point de fonctionnement, en faisant varier l'intensité d'un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique. Lorsque l'on augmente l'intensité du champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique, la partie réelle de la perméabilité magnétique complexe diminue, et la fréquence de résonance de l'antenne est déplacée vers les hautes fréquences. Réciproquement, lorsque l'on diminue l'intensité du champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique, la partie réelle de la perméabilité magnétique complexe augmente, et la fréquence de résonance de l'antenne est déplacée vers les basses fréquences. Par conséquent, un tel matériau magnéto-diélectrique autorise la reconfiguration de la réponse fréquentielle de l'antenne. Il est possible de montrer que la fréquence de résonance varie en fonction de la perméabilité relative (μ) du matériau magnéto-diélectrique selon

$$\text{une loi du type } \frac{1}{\sqrt{\tan(\sqrt{\mu_r})}}.$$

[0009] L'antenne selon l'invention peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.

[0010] Selon une caractéristique de l'invention, l'antenne comporte une source de courant continu configurée pour faire circuler un courant électrique dans le fil de court-circuit, via la sonde d'alimentation et le toit capacitif, de manière à appliquer le champ magnétique statique au matériau magnéto-diélectrique.

[0011] Ainsi, un avantage procuré est d'utiliser le ou les fils de court-circuit d'une antenne fil-plaque monopolaire pour créer un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique (suivant une direction orthoradiale, d'après la loi de Biot et Savart), et ce grâce à la source de courant continu permettant la circulation d'un courant électrique continu dans le ou les fils de court-circuit. Par conséquent, il est possible de piloter la fréquence de résonance de l'antenne en pilotant l'intensité de la source de courant continu.

[0012] Selon une caractéristique de l'invention, le champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique possède une intensité inférieure ou égale à 400 A.m^{-1} .

[0013] Ainsi, un avantage procuré est de pouvoir utiliser des sources de courant continu de faible intensité (inférieure à 5 A) pour la création du champ magnétique statique.

[0014] Selon une caractéristique de l'invention, la perméabilité magnétique complexe possède une partie réelle, et le matériau magnéto-diélectrique est adapté pour que la partie réelle diminue, dans la gamme de fréquences de fonctionnement, entre 8% et 16% lorsque le champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique possède une intensité passant de 0 à 400 A.m^{-1} .

[0015] Ainsi, un avantage procuré est d'obtenir une

modulation satisfaisante de la fréquence de résonance de l'antenne pour des intensités faibles de champ magnétique statique.

[0016] Selon une caractéristique de l'invention, la perméabilité magnétique complexe possède une partie réelle et une partie imaginaire, et le matériau magnéto-diélectrique est adapté pour que le ratio entre la partie imaginaire et la partie réelle soit inférieur à 0,05 dans un intervalle de la gamme de fréquences de fonctionnement, lorsque le champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique possède une intensité inférieure ou égale à 400 A.m^{-1} .

[0017] Ainsi, un avantage procuré est d'avoir des pertes magnétiques très faibles dans ledit intervalle (i.e. une sous-gamme de fréquences) appartenant à la gamme de fréquences de fonctionnement.

[0018] Selon une caractéristique de l'invention, le matériau magnéto-diélectrique présente une permittivité diélectrique complexe constante en fonction du champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique.

[0019] Ainsi, un avantage procuré est que la permittivité diélectrique complexe reste constante dans la gamme de fréquences de fonctionnement.

[0020] Selon une caractéristique de l'invention, l'antenne comporte un ensemble de fils de court-circuit, agencé 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 présentant une perméabilité magnétique complexe, variable en fonction d'un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique.

[0021] Ainsi, un avantage procuré par la mise en parallèle d'un ensemble de fils de court-circuit, enrobés chacun d'un tel matériau magnéto-diélectrique, est de permettre 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.

[0022] 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.

[0023] 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).

[0024] Selon une caractéristique de l'invention, la sonde d'alimentation est enrobée d'un matériau magnéto-diélectrique présentant une perméabilité magnétique complexe, variable en fonction d'un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique.

[0025] Ainsi, un avantage procuré est d'augmenter la quantité de matériau magnéto-diélectrique dans l'antenne, et par là-même l'efficacité de chargement de l'antenne par le matériau magnéto-diélectrique pour réduire ses

dimensions.

[0026] 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 le ou les fils de court-circuit et la sonde d'alimentation, la couche magnéto-diélectrique étant réalisée dans un matériau magnéto-diélectrique présentant une perméabilité magnétique complexe, variable en fonction d'un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique.

[0027] Ainsi, un avantage procuré est la simplicité de fabrication de l'antenne.

[0028] 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.

Définition

[0029] 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).

[0030] Selon une caractéristique de l'invention, le matériau magnéto-diélectrique est choisi de sorte que la relation $\mu_r > \varepsilon_r > 1$ est vérifiée dans la gamme de fréquences de fonctionnement, où :

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

[0031] Ainsi, un avantage procuré par un tel 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 suivante :

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

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

[0032] On cherche donc un produit $\varepsilon_r \mu_r$ le plus élevé possible pour favoriser la miniaturisation de l'antenne.

[0033] Plus précisément, le fait que $\mu_r > \varepsilon_r > 1$ 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 maté-

riau magnéto-diélectrique par l'intermédiaire du ou des fils de court-circuit, ce qui lui confère un comportement magnétique spécifique en champ proche.

[0034] Selon une caractéristique de l'invention, le matériau magnéto-diélectrique est choisi parmi $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_{1-y}\text{Co}_{1-z}\text{Fe}_{2-\delta}\text{O}_4$, avec $0,5 < x < 0,8$; $0,2 < y < 0,8$; $0 < z < 0,2$; $\delta < 0,5$.

[0035] Ainsi, de tels matériaux magnéto-diélectriques possèdent des propriétés avantageuses :

- (i) la relation $\mu_r > \varepsilon_r > 1$ est vérifiée,
- (ii) forte sensibilité de la perméabilité magnétique complexe en faisant varier un champ magnétique statique de faible intensité (inférieure à 400 A.m^{-1}),
- (iii) $\text{Fe}_{2-\delta}$ permet de limiter les pertes diélectriques,
- (iv) Ni_{1-x} permet de limiter les pertes électromagnétiques dans la gamme de fréquences de fonctionnement (en particulier [30 MHz-250 MHz]),
- (v) Co_{1-z} permet un piégeage de parois magnétiques au sein du matériau.

[0036] Selon une caractéristique de l'invention, le toit capacitif et le plan de masse 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.

[0037] 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 d'un triangle rectangle dont l'angle droit est formé par un rayon du toit capacitif et par la hauteur de l'antenne (distance euclidienne entre le plan de masse et le toit capacitif).

[0038] Selon une caractéristique de l'invention, la gamme de fréquences de fonctionnement est comprise entre 30 MHz et 250 MHz.

[0039] Ainsi, un avantage procuré par la bande VHF (acronyme pour « *Very High Frequency* » en langue anglaise) est d'être favorable aux liaisons mobiles et fixes avec de faibles puissances, par exemple pour des liaisons terrestres, maritimes ou aéronautiques.

Breve description des dessins

[0040] 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 selon l'invention, illustrant un unique fil de court-circuit enrobé d'un matériau magnéto-diélectrique.

Figure 2 est une vue schématique en perspective d'une antenne fil-plaque monopolaire de l'état de la

technique, 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 3 est une vue schématique analogue à la figure 2, à l'échelle agrandie, d'une antenne fil-plaque monopolaire selon l'invention, où les fils de court-circuit sont enrobés d'un matériau magnéto-diélectrique.

Figure 4 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 5 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 6 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 7 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 8 est une vue schématique en coupe selon l'axe A-A du substrat magnéto-diélectrique illustré à la figure 7.

Figure 9 est une vue schématique en coupe d'une antenne selon l'invention, illustrant une source de courant continu permettant la circulation d'un courant électrique continu dans les fils de court-circuit pour créer un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique.

Figure 10 est un graphique représentant en abscisses l'intensité (en Oersted) du champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique, et en ordonnées la partie réelle de la perméabilité magnétique complexe du matériau magnéto-diélectrique, et ce pour différentes fréquences de fonctionnement de l'antenne (30 MHz, 50 MHz, 80 MHz, et 90 MHz).

Figure 11 est une vue schématique représentant en abscisses la fréquence (en MHz) et en ordonnées l'impédance de l'antenne (en ohms) lorsque la source de courant continu délivre 0 A ou 5 A. Les traits continus désignent la partie réelle de l'impédance tandis que les traits pointillés désignent la partie imaginaire de l'impédance.

[0041] Il est à noter que les dessins décrits ci-avant sont schématiques, et ne sont pas nécessairement à

l'échelle par souci de lisibilité et pour en simplifier leur compréhension.

Exposé détaillé des modes de réalisation

[0042] Les éléments identiques ou assurant la même fonction porteront les mêmes références pour les différents modes de réalisation, par souci de simplification.

[0043] Un objet de l'invention est une antenne fil-plaque monopolaire reconfigurable dans une gamme de fréquences de fonctionnement, 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 ;
- au moins un fil de court-circuit 4, agencé pour connecter électriquement le toit capacitif 2 au plan de masse 1, et enrobé d'un matériau magnéto-diélectrique 5 présentant une perméabilité magnétique complexe, variable en fonction d'un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique 5.

Plan de masse

[0044] 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 à 3. Cependant, d'autres formes sont envisageables pour le plan de masse 1, telles qu'une forme rectangulaire (illustrée aux figures 4 à 6) ou carrée.

[0045] 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.

[0046] 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

[0047] 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°.

[0048] 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.

[0049] 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.

[0050] Toutefois, d'autres formes sont envisageables pour le toit capacitif 2, telles qu'une forme carrée, rectangulaire, elliptique, ou encore en étoile.

[0051] La gamme de fréquences de fonctionnement de l'antenne est avantageusement comprise entre 30 MHz et 250 MHz.

Sonde d'alimentation

[0052] 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.

[0053] 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, métallique, 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.

[0054] La sonde d'alimentation 3 est préférentiellement agencée au centre du plan de masse 1, comme illustré aux figures 2 à 6. La sonde d'alimentation 3 est avantageusement enrobée d'un matériau magnéto-diélectrique 5 présentant une perméabilité magnétique complexe, variable en fonction d'un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique 5, comme illustré aux figures 5 et 6.

[0055] 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.

[0056] Selon une variante de réalisation non illustrée, la sonde d'alimentation 3 peut être réalisée sous la forme d'une boucle d'alimentation, destinée à être reliée à une connexion différentielle, et qui permet de s'affranchir d'un balun entre la ligne de transmission et la boucle d'alimentation.

Fil(s) de court-circuit

[0057] Le ou les fils de court-circuit 4 sont de préférence réalisés dans un matériau métallique. Le ou les fils de court-circuit 4 s'étendent avantageusement perpendiculairement au plan de masse 1, et donc perpendiculairement au toit capacitif 2. Lorsque l'antenne comporte un ensemble de fils de court-circuit 4, les fils de court-circuit 4 de l'ensemble sont avantageusement parallèles entre eux. Le ou les fils de court-circuit 4 sont agencés à distance de la sonde d'alimentation 3.

[0058] L'antenne comporte avantageusement un ensemble de fils de court-circuit 4, agencé 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 présentant une perméabilité magnétique complexe, variable en fonction d'un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique 5.

[0059] 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.

[0060] Le toit capacitif 2 et le plan de masse 1 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. Plus précisément, lorsque l'antenne comporte un ensemble de fils de court-circuit 4, le nombre (noté N) de fils de court-circuit 4 est 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.

[0061] 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 :

$$R_{eq} = (ab^{N-1})^{1/N}, \quad N \in \llbracket 1; 3 \rrbracket$$

[0062] 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 :

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

[0063] 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 (indépendamment du champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique) 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.

[0064] A titre d'exemples non limitatifs, comme illustré aux figures 2 et 3, 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.

[0065] 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.

[0066] Comme illustré aux figures 4 à 6, 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 polarisation* » en langue anglaise).

Matériau magnéto-diélectrique

[0067] L'antenne peut comporter des moyens d'application, agencés pour appliquer le champ magnétique statique au matériau magnéto-diélectrique 5. Les moyens d'application sont configurés pour faire varier

l'intensité du champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique 5.

[0068] L'antenne comporte avantageusement une source de courant continu 8 configurée pour faire circuler un courant électrique dans le ou les fils de court-circuit 4, via la sonde d'alimentation 3 et le toit capacitif 2, de manière à appliquer le champ magnétique statique au matériau magnéto-diélectrique 5. Comme illustré à la figure 9, la source de courant continu 8 peut être séparée d'une source de courant alternatif 9 à l'aide d'un composant T, par exemple un composant T de type T de polarisation (« *Bias tee* » en langue anglaise). La source de courant alternatif 9 est configurée pour faire circuler un courant électrique alternatif dans le toit capacitif 2, via la sonde d'alimentation 3, de manière à émettre des ondes radioélectriques.

[0069] Le champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique 5 possède avantageusement une intensité inférieure ou égale à 400 A.m⁻¹. Comme illustré à la figure 10, la perméabilité magnétique complexe du matériau magnéto-diélectrique 5 possède une partie réelle, et le matériau magnéto-diélectrique 5 est avantageusement adapté pour que la partie réelle diminue, dans la gamme de fréquences de fonctionnement, entre 8% et 16% lorsque le champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique 5 possède une intensité passant de 0 à 400 A.m⁻¹ (comme illustré à la figure 10). La perméabilité magnétique complexe du matériau magnéto-diélectrique 5 possède une partie réelle et une partie imaginaire, et le matériau magnéto-diélectrique 5 est avantageusement adapté pour que le ratio entre la partie imaginaire et la partie réelle soit inférieur à 0,05 dans un intervalle de la gamme de fréquences de fonctionnement, lorsque le champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique 5 possède une intensité inférieure ou égale à 400 A.m⁻¹.

[0070] Comme illustré à la figure 11, il est possible de décaler de 10% la fréquence de résonance de l'antenne vers les hautes fréquences lorsque l'on fait varier la source de courant continu de 0 A à 5 A.

[0071] Le matériau magnéto-diélectrique 5 présente avantageusement une permittivité diélectrique complexe constante en fonction du champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique 5.

[0072] Comme illustré à la figure 6, l'antenne peut comporter une couche magnéto-diélectrique 5 s'étendant entre le plan de masse 1 et le toit capacitif 2 de manière à enrober le ou les fils de court-circuit 4 et la sonde d'alimentation 3, la couche magnéto-diélectrique 5 étant réalisée dans un matériau magnéto-diélectrique 5 présentant une perméabilité magnétique complexe, variable en fonction d'un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique 5. Le toit capacitif 2 et le plan de masse 1 délimitent un volume cylindrique, et la couche magnéto-diélectrique 5 peut s'étendre dans tout ou partie du volume cylindrique.

[0073] Comme illustré aux figures 4 et 5, 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.

[0074] Le matériau magnéto-diélectrique 5 possède des parois magnétiques avec des zones de transition entre deux domaines magnétiques (dits domaines de Weiss). Un domaine magnétique est une région du matériau où les moments magnétiques sont orientés dans la même direction. Les parois magnétiques du matériau magnéto-diélectrique 5 sont configurées de sorte que le matériau magnéto-diélectrique 5 présente une perméabilité magnétique complexe, variable en fonction d'un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique 5. Pour ce faire, les parois magnétiques du matériau magnéto-diélectrique 5 sont avantageusement formées de manière à obtenir des parois de Bloch, c'est-à-dire des parois magnétiques où la zone de transition entre deux domaines magnétiques s'effectue graduellement dans le plan de la paroi magnétique. De plus, les parois de Bloch peuvent se mouvoir de sorte que le matériau magnéto-diélectrique 5 présente une perméabilité magnétique complexe, variable en fonction d'un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique 5. Par ailleurs, le matériau magnéto-diélectrique 5 est avantageusement conformé géométriquement pour s'affranchir d'un effet démagnétisant, de sorte la perméabilité magnétique complexe varie sensiblement lorsque le champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique 5 possède une intensité inférieure ou égale à 400 A.m⁻¹.

[0075] Le matériau magnéto-diélectrique 5 est avantageusement choisi de sorte que la relation $\mu_r > \varepsilon_r > 1$ est vérifiée dans la gamme de fréquences de fonctionnement, où :

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

[0076] Le matériau magnéto-diélectrique 5 est avantageusement choisi parmi $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_{1-y}\text{Co}_{1-z}\text{Fe}_{2-\delta}\text{O}_4$, avec $0,5 < x < 0,8$; $0,2 < y < 0,8$; $0 < z < 0,2$; $\delta < 0,5$.

Procédé de fabrication de l'antenne

[0077] Comme illustré aux figures 7 et 8, un procédé de fabrication d'une antenne fil-plaque monopolaire, comporte 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.

[0078] Par « trou d'interconnexion » (« *via* » en langue anglaise), on entend un trou métallisé permettant d'établir une liaison électrique entre deux niveaux d'interconnexion.

[0079] Les trous d'interconnexion 7a, 7b peuvent être métallisés par pulvérisation cathodique (« *sputtering* » en langue anglaise).

[0080] 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.

Procédé de fabrication du matériau magnéto-diélectrique

[0081] Le matériau magnéto-diélectrique 5 de type $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_{1-y}\text{Co}_{1-z}\text{Fe}_{2-\delta}\text{O}_4$ avec $0,5 < x < 0,8$; $0,2 < y < 0,8$; $0 < z < 0,2$; $\delta < 0,5$ peut être formé à partir de poudres synthétisées par voie de co-précipitation. Des sels de chlorures de Fer, de Cobalt, de Nickel, de Zinc sont pesés de manière à respecter la stœchiométrie des éléments métalliques du matériau final. Ces sels sont ajoutés à une solution basique de NaOH, portée à ébullition. Le pH de la solution basique de NaOH est optimisé par essais successifs. Le mélange est laissé à réagir pendant une durée d'environ 1 heure. Puis le mélange est laissé à refroidir à température ambiante. Le mélange est ensuite rincé plusieurs fois à l'eau, jusqu'à ce que son pH soit inférieur à 8. Le mélange est alors mis à l'étuve à une température de 55°C pendant environ 48 h, afin qu'il sèche. Le mélange séché obtenu forme une poudre sèche, qui est alors broyée, de préférence manuellement. Puis les poudres sèches broyées sont compressées et mises en forme par pressage uniaxial, de manière à obtenir un matériau compact. Le matériau compact obtenu est enfin fritté, de préférence à une température de frittage comprise entre 950°C et 1100°C.

[0082] 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 reconfigurable dans une gamme de fréquences de fonctionnement, 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) ;
- au moins un fil de court-circuit (4), agencé pour connecter électriquement le toit capacitif (2) au plan de masse (1), et enrobé d'un matériau magnéto-diélectrique (5) présentant une perméabilité magnétique complexe, variable en fonction d'un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique (5).
2. Antenne selon la revendication 1, comportant une source de courant continu (8) configurée pour faire circuler un courant électrique dans le fil de court-circuit (4), via la sonde d'alimentation (3) et le toit capacitif (2), de manière à appliquer le champ magnétique statique au matériau magnéto-diélectrique (5).
3. Antenne selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle le champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique (5) possède une intensité inférieure ou égale à 400 A.m^{-1} .
4. Antenne selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle la perméabilité magnétique complexe possède une partie réelle, et le matériau magnéto-diélectrique (5) est adapté pour que la partie réelle diminue, dans la gamme de fréquences de fonctionnement, entre 8% et 16% lorsque le champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique (5) possède une intensité passant de 0 à 400 A.m^{-1} .
5. Antenne selon l'une des revendications 1 à 4, dans laquelle la perméabilité magnétique complexe possède une partie réelle et une partie imaginaire, et le matériau magnéto-diélectrique (5) est adapté pour que le ratio entre la partie imaginaire et la partie réelle soit inférieur à 0,05 dans un intervalle de la gamme de fréquences de fonctionnement, lorsque le champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique (5) possède une intensité inférieure ou égale à 400 A.m^{-1} .
6. Antenne selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle le matériau magnéto-diélectrique (5) présente une permittivité diélectrique complexe constante en fonction du champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique (5).
7. Antenne selon l'une des revendications 1 à 6, comportant un ensemble de fils de court-circuit (4), agencé 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) présentant une perméabilité magnétique complexe, variable en fonction d'un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique (5).
8. Antenne selon la revendication 7, dans laquelle la sonde d'alimentation (3) 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) selon une symétrie centrale.
9. Antenne selon l'une des revendications 1 à 8, dans laquelle la sonde d'alimentation (3) est enrobée d'un matériau magnéto-diélectrique (5) présentant une perméabilité magnétique complexe, variable en fonction d'un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique (5).
10. Antenne selon l'une des revendications 1 à 9, comportant une couche magnéto-diélectrique (5) s'étendant entre le plan de masse (1) et le toit capacitif (2) de manière à enrober le ou les fils de court-circuit (4) et la sonde d'alimentation (3), la couche magnéto-diélectrique (5) étant réalisée dans un matériau magnéto-diélectrique (5) présentant une perméabilité magnétique complexe, variable en fonction d'un champ magnétique statique appliqué au matériau magnéto-diélectrique (5).
11. Antenne selon la revendication 10, 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.
12. Antenne selon l'une des revendications 1 à 11, dans laquelle le matériau magnéto-diélectrique (5) est choisi de sorte que la relation $\mu_r > \epsilon_r > 1$ est vérifiée dans la gamme de fréquences de fonctionnement, où :
- μ_r est la perméabilité relative du matériau magnéto-diélectrique (5),
 - ϵ_r est la permittivité relative du matériau magnéto-diélectrique (5).
13. Antenne selon l'une des revendications 1 à 12, dans laquelle le matériau magnéto-diélectrique (5) est choisi parmi $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_{1-y}\text{Co}_{1-z}\text{Fe}_{2-\delta}\text{O}_4$, avec $0,5 < x < 0,8$; $0,2 < y < 0,8$; $0 < z < 0,2$; $\delta < 0,5$.
14. Antenne selon l'une des revendications 1 à 13, dans laquelle le toit capacitif (2) et le plan de masse (1) 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.

15. Antenne selon l'une des revendications 1 à 14, dans laquelle la gamme de fréquences de fonctionnement est comprise entre 30 MHz et 250 MHz. 5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

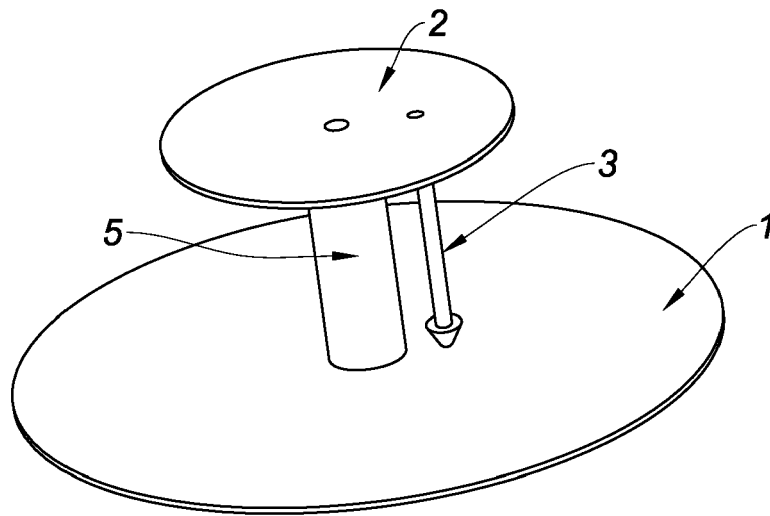


Fig. 1

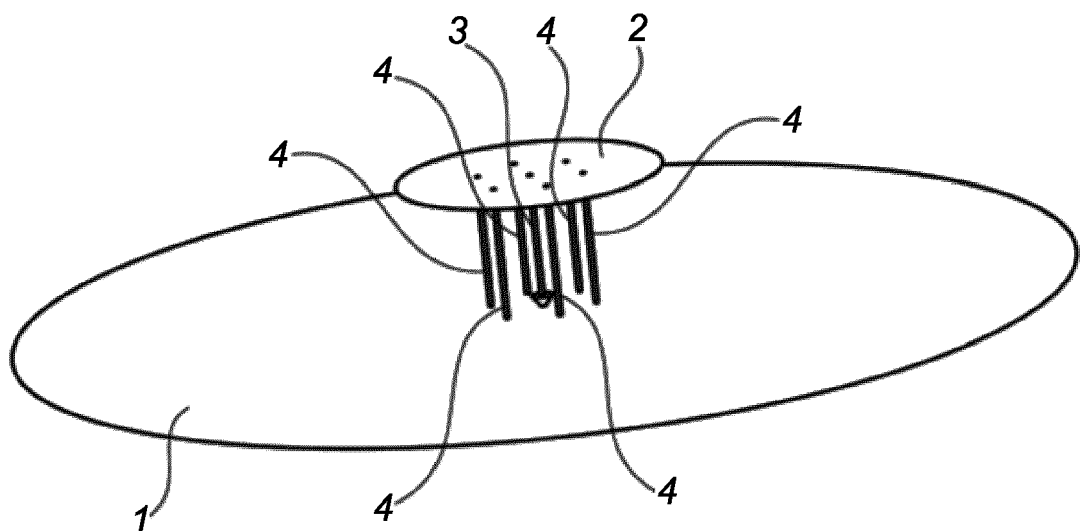


Fig. 2

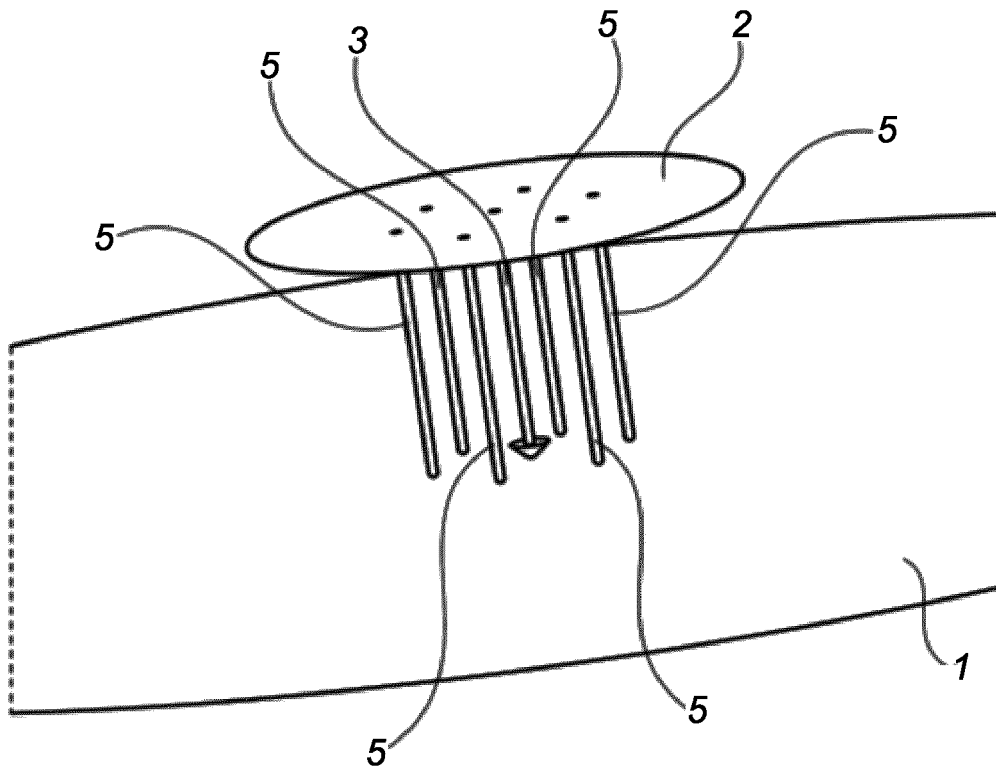


Fig. 3

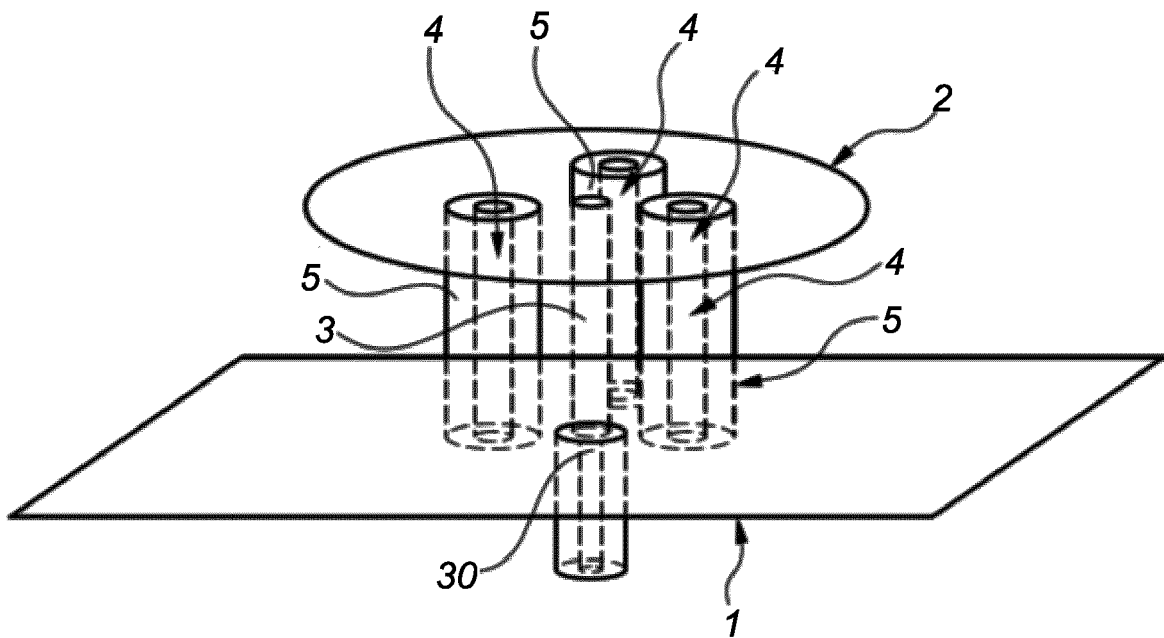


Fig. 4

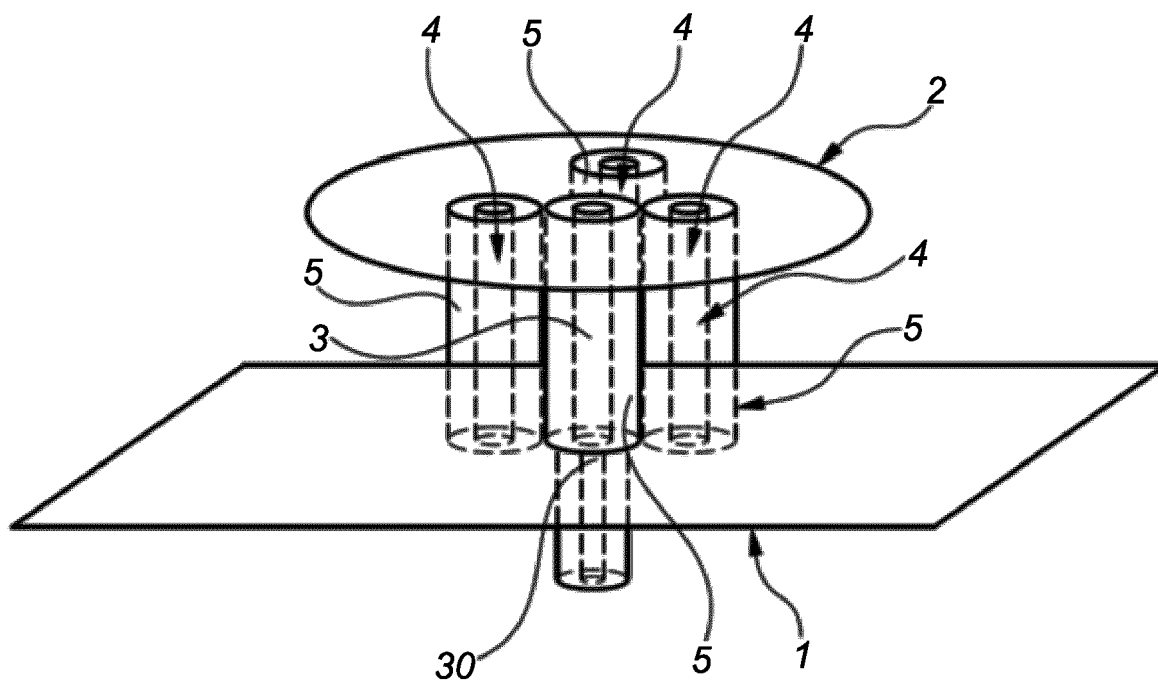


Fig. 5

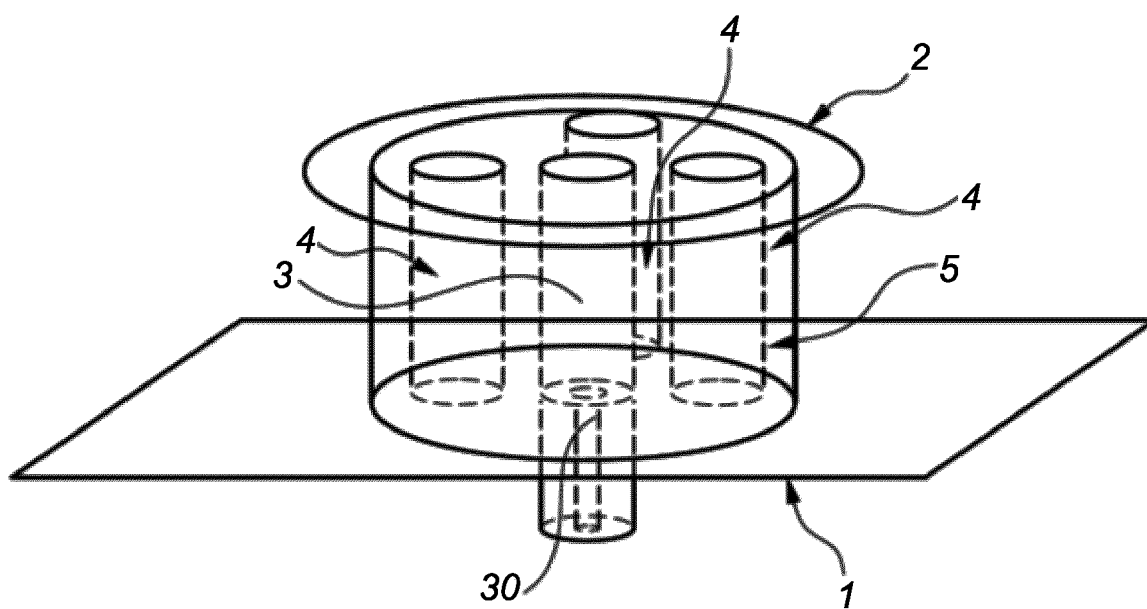


Fig. 6

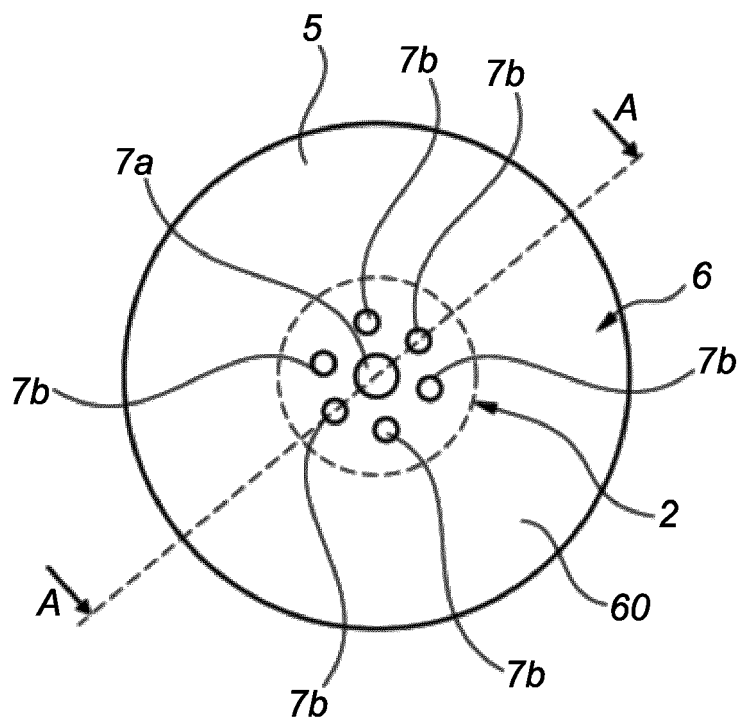


Fig. 7

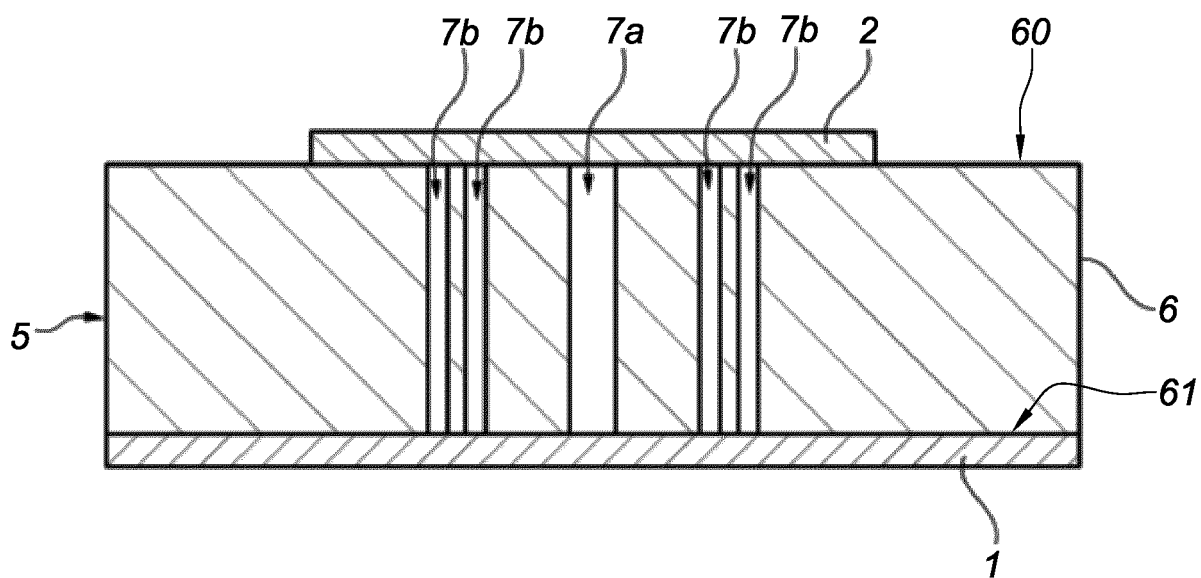


Fig. 8

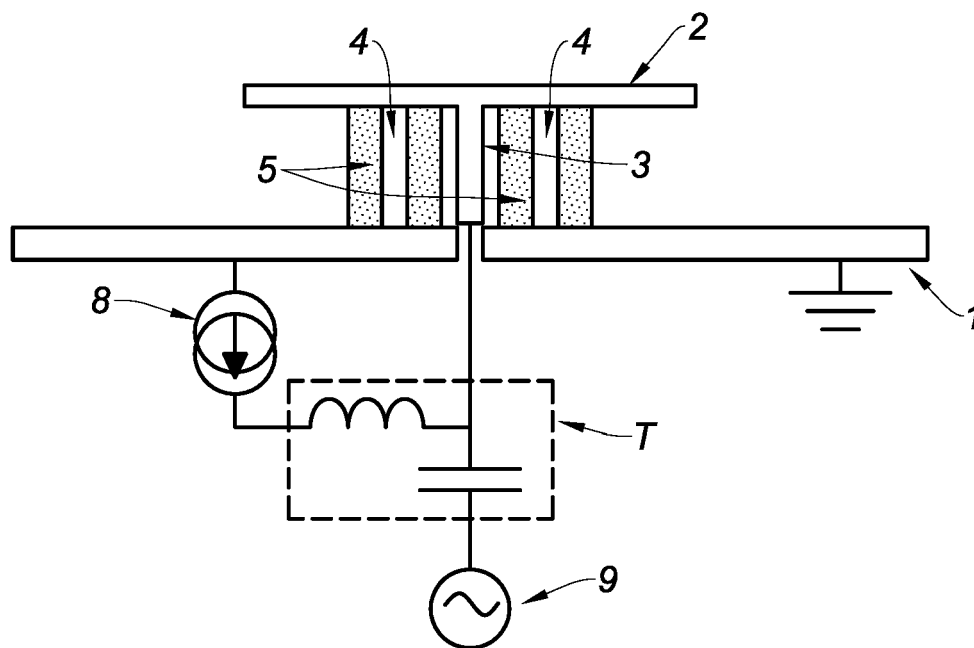


Fig. 9

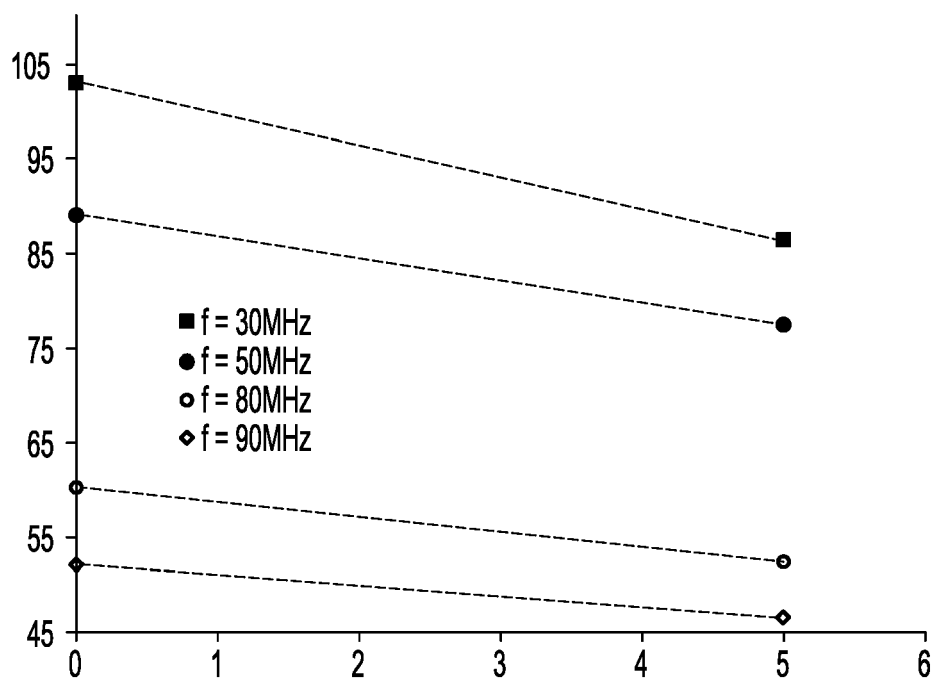


Fig. 10

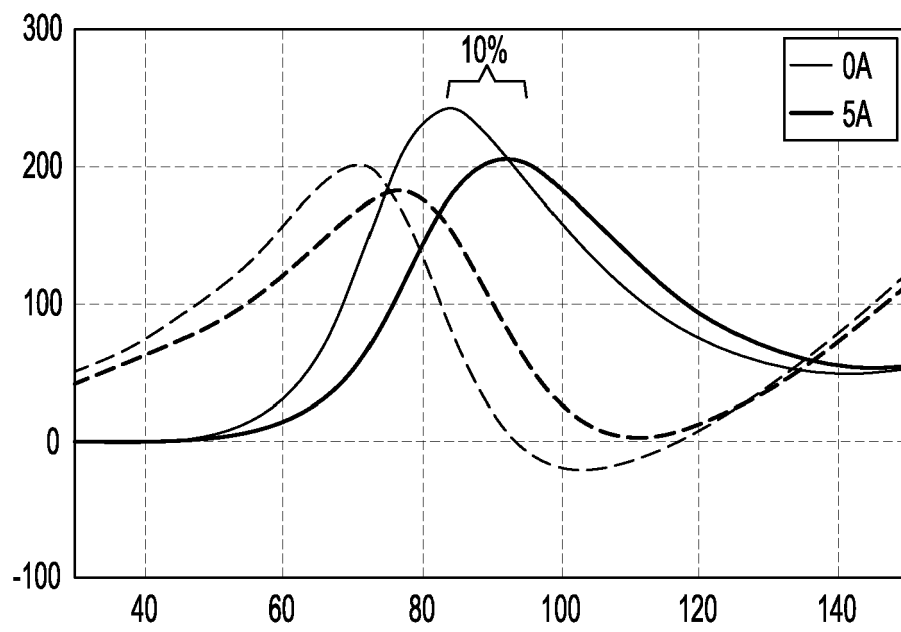


Fig. 11

5

10

15

20

25

30

35

40

45

1

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	BATEL LOTFI ET AL: "Miniaturization strategy of compact antenna using magneto-dielectric material", 2019 13TH EUROPEAN CONFERENCE ON ANTENNAS AND PROPAGATION (EUCAP), EUROPEAN ASSOCIATION ON ANTENNAS AND PROPAGATION, 31 mars 2019 (2019-03-31), pages 1-5, XP033562276,	1,7,8, 12-15	INV. H01Q1/48 H01Q9/04 H01Q9/14 H01Q9/36
Y	* Abstract, I. introduction : 2nd paragraph, II.A. MWPA without material, II.B. MDM's miniaturization effects on MWPA. *	2-6,9-11	
Y	----- RONGAS DIMITRIOS K ET AL: "Towards 600 MHz LTE smartphones via tunable magnetodielectric Printed Inverted-F Antennas", 2017 INTERNATIONAL WORKSHOP ON ANTENNA TECHNOLOGY: SMALL ANTENNAS, INNOVATIVE STRUCTURES, AND APPLICATIONS (IWAT), IEEE, 1 mars 2017 (2017-03-01), pages 111-114, XP033090567, DOI: 10.1109/IWAT.2017.7915331 * le document en entier *	2-6,9-11	
A	----- WU XU ET AL: "A Novel Compact Microstrip Antenna Embedded with Magneto-Dielectric Ferrite Materials For 433 MHz Band Applications", 2019 13TH EUROPEAN CONFERENCE ON ANTENNAS AND PROPAGATION (EUCAP), EUROPEAN ASSOCIATION ON ANTENNAS AND PROPAGATION, 31 mars 2019 (2019-03-31), pages 1-4, XP033562218, * abstract, last paragraph of I. introduction *	1-15	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 30 juin 2021	Examineur Wattiaux, Véronique
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 21 16 1201

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	CANNEVA F ET AL: "Miniature reconfigurable antenna with magneto dielectric substrate for DVB-H band", ANTENNAS AND PROPAGATION (EUCAP), PROCEEDINGS OF THE 5TH EUROPEAN CONFERENCE ON, IEEE, 11 avril 2011 (2011-04-11), pages 2289-2292, XP031877746, ISBN: 978-1-4577-0250-1 * abstract, I. Introduction, II.A. Structure of the antenna et B. Magneto-dielectric substrate. *	1-15	
A	US 2006/256017 A1 (ISHIZAKI TOSHIO [JP]) 16 novembre 2006 (2006-11-16) * alinéas [0002], [0015] - [0017]; figures 1-3 *	1-15	
			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 30 juin 2021	Examineur Wattiaux, Véronique
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 21 16 1201

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.

30-06-2021

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2006256017 A1	16-11-2006	JP 2006319867 A	24-11-2006
		US 2006256017 A1	16-11-2006

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.

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 Conférence on Antennas and Propagation)*, Avril 2018 [0003]