



(11) **EP 3 605 730 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
01.11.2023 Bulletin 2023/44

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H01Q 5/45 (2015.01) **H01Q 9/32** (2006.01)
H01Q 15/00 (2006.01) **H01Q 19/10** (2006.01)
H01Q 1/52 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **19189713.1**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
**H01Q 15/008; H01Q 1/526; H01Q 5/45; H01Q 9/32;
H01Q 19/10**

(22) Date de dépôt: **02.08.2019**

(54) **DISPOSITIF D'ANTENNE À DEUX SUBSTRATS PLANS DIFFÉRENTS ET SÉCANTS**

ANTENNENVORRICHTUNG MIT ZWEI VERSCHIEDENEN UND SCHNEIDENDEN PLANAREN
SUBSTRATEN

ANTENNA DEVICE WITH TWO DIFFERENT AND SECANT PLANAR SUBSTRATES

(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**

• **DELAVEAUD, Christophe**
38054 Grenoble cedex 09 (FR)

(30) Priorité: **02.08.2018 FR 1857244**

(74) Mandataire: **Bonnet, Michel**
Cabinet Bonnet
93, rue Réaumur
75002 Paris (FR)

(43) Date de publication de la demande:
05.02.2020 Bulletin 2020/06

(56) Documents cités:
EP-A2- 0 945 917 WO-A1-2017/056437
US-A1- 2005 168 394 US-A1- 2018 090 833
US-B2- 7 142 822

(73) Titulaire: **Commissariat à l'Énergie Atomique
et aux Énergies Alternatives**
75015 Paris (FR)

Remarques:

(72) Inventeurs:
• **PINTOS, Jean-François**
38054 Grenoble cedex 09 (FR)

Le dossier contient des informations techniques
présentées postérieurement au dépôt de la demande
et ne figurant pas dans le présent fascicule.

EP 3 605 730 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne un dispositif d'antenne à deux substrats plans différents et sécants.

[0002] Plus précisément, elle s'applique à un dispositif d'antenne comportant :

- un premier substrat, s'étendant dans un premier plan, comportant au moins une face où sont formés :
 - au moins une antenne radioélectrique s'étendant dans une première portion rayonnante du premier substrat, et
 - des moyens électriquement conducteurs de raccordement de ladite au moins une antenne radioélectrique à un circuit électronique d'émission et/ou réception, ces moyens électriquement conducteurs s'étendant dans une deuxième portion du premier substrat,
- un deuxième substrat s'étendant dans un deuxième plan différent et sécant du premier plan, séparant la première portion rayonnante du premier substrat, située dans un premier demi-espace par rapport à ce deuxième plan, de la deuxième portion du premier substrat, située dans un deuxième demi-espace par rapport à ce deuxième plan.

[0003] Dans ce type de dispositif à structure souvent très compacte, le deuxième substrat est généralement exploité pour isoler électromagnétiquement la première portion rayonnante du premier substrat de la deuxième portion à vocation non rayonnante de raccordement électrique, par exemple en y déployant un plan de masse métallique du côté de la portion rayonnante. Mais lorsque le dispositif d'antenne est ensuite fixé sur un support qui lui aussi est métallique, par exemple un mât ou candélabre cylindrique, cette fixation s'opérant logiquement du côté du deuxième demi-espace précité, des interférences électromagnétiques entre le support et le deuxième substrat sont susceptibles d'exciter au moins un mode de résonance électromagnétique propre du deuxième substrat. Ces interférences engendrent alors, via le ou les modes de résonances électromagnétiques propres excités éventuellement dans la bande passante de l'antenne radioélectrique qui s'étend dans la première portion rayonnante du premier substrat, une perturbation du rayonnement de cette dernière. Cette perturbation nuit aux performances du dispositif d'antenne.

[0004] Une solution technique pour réduire ou annuler une telle perturbation consiste à ajouter des courts-circuits entre le plan de masse métallique du deuxième substrat et le support métallique. Mais cette solution n'est pas envisageable dans de nombreuses applications concrètes à structures compactes dans lesquelles des contraintes d'intégration ne permettent pas de tels ajouts.

[0005] Le document WO 2017/056437 A1 divulgue un dispositif d'antenne à deux substrats plans différents et

sécants tel que décrit précédemment, dans lequel une structure de métamatériau est en outre présente en face supérieure du deuxième substrat. Les documents US 2005/0168394 A1 et EP 0 945 917 A2 divulguent chacun un dispositif d'antenne à deux substrats plans différents et sécants tel que décrit précédemment. Le document US 7,142,822 B2 divulgue un substrat de circuit radiofréquence présentant une structure de métamatériau.

[0006] Il peut ainsi être souhaité de prévoir un dispositif d'antenne compact qui permette de s'affranchir d'au moins une partie des problèmes et contraintes précités, notamment d'une perturbation telle que celle mentionnée ci-dessus.

[0007] Il est donc proposé un dispositif d'antenne comportant :

- un premier substrat, s'étendant dans un premier plan, présentant au moins une face où sont formés :
 - au moins une antenne radioélectrique s'étendant dans une première portion rayonnante du premier substrat, et
 - des moyens électriquement conducteurs de raccordement de ladite au moins une antenne radioélectrique à un circuit électronique d'émission et/ou réception, ces moyens électriquement conducteurs s'étendant dans une deuxième portion du premier substrat,
- un deuxième substrat s'étendant dans un deuxième plan différent et sécant du premier plan, séparant la première portion rayonnante du premier substrat, située dans un premier demi-espace par rapport à ce deuxième plan, de la deuxième portion du premier substrat, située dans un deuxième demi-espace par rapport à ce deuxième plan,

dans lequel le deuxième substrat présente une face, dite face inférieure et orientée du côté dudit deuxième demi-espace dans lequel sont situés les moyens électriquement conducteurs de raccordement, comportant une structure de métamatériau à multiples éléments électriquement conducteurs séparés électriquement les uns des autres sur cette face inférieure.

[0008] Ladite au moins une antenne radioélectrique est au moins une antenne imprimée s'étendant sur au moins une face du premier substrat.

[0009] Ladite au moins une antenne radioélectrique comporte une première antenne imprimée à basses fréquences opérant dans une première bande de fréquences électromagnétiques et une deuxième antenne imprimée à hautes fréquences opérant dans une deuxième bande de fréquences électromagnétiques toutes plus élevées que les fréquences électromagnétiques de la première bande de fréquences.

[0010] Le deuxième substrat présente :

- un plan de masse métallique s'étendant sur une

autre face, dite face supérieure et opposée à la face inférieure comportant la structure de métamatériau, et

- des vias traversants raccordant chaque élément électriquement conducteur de la structure de métamatériau au plan de masse métallique.

[0011] En effet, alors que les structures de métamatériaux sont réputées pour engendrer de multiples modes de résonances électromagnétiques, voire même d'augmenter le nombre de résonances dans des cavités, comme par exemple enseigné dans l'article de Seetharamdoo et al, intitulé « Investigation on the use of metamaterials to lower the operating frequency of réverbération chamber », publié à l'occasion de la conférence EMC Europe 2011 York (UK), 26-30 septembre 2011 (pages 680 à 685 des Proceedings), il a été observé de façon étonnante que l'ajout d'une structure de métamatériau sur la face du deuxième substrat orientée vers le deuxième demi-espace est apte à protéger et isoler électromagnétiquement le premier demi-espace dans lequel se situe l'antenne radioélectrique dans la structure particulière de ce type de dispositif d'antenne.

[0012] De façon optionnelle, les éléments électriquement conducteurs de la structure de métamatériau sont disposés matriciellement sur la face inférieure du deuxième substrat.

[0013] De façon optionnelle également, au moins l'un des paramètres de l'ensemble constitué :

- du nombre d'éléments électriquement conducteurs de la structure de métamatériau,
- d'une distribution des éléments électriquement conducteurs de la structure de métamatériau sur la face inférieure du deuxième substrat,
- d'au moins une dimension de chaque élément électriquement conducteur de la structure de métamatériau, et
- des espaces entre éléments électriquement conducteurs de la structure de métamatériau,

est réglé de manière à supprimer au moins un mode stationnaire de résonance électromagnétique propre du deuxième substrat.

[0014] De façon optionnelle également, des broches de raccordement électrique sont disposées entre les premier et deuxième substrats pour une jonction électrique d'au moins une partie des moyens électriquement conducteurs de raccordement au plan de masse métallique.

[0015] De façon optionnelle également, ladite au moins une partie des moyens électriquement conducteurs de raccordement comporte une portion de plan de masse métallique formée dans le premier substrat.

[0016] De façon optionnelle également, le deuxième substrat présente une ouverture, par exemple un trou rectiligne, traversée par le premier substrat.

[0017] De façon optionnelle également, les premier et deuxième substrats sont disposés orthogonalement.

[0018] L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement et en vue de face la structure générale des éléments principaux d'un dispositif d'antenne selon un mode de réalisation de l'invention, tel qu'inséré dans un support de type mât ou candélabre cylindrique,
- les figures 2 et 3 illustrent en perspectives vues de dessus et de dessous une réalisation concrète du dispositif d'antenne de la figure 1,
- la figure 4 illustre en perspective une installation comportant le dispositif d'antenne des figures 2 et 3 fixé à un support,
- les figures 5A et 5B sont des courbes comparatives de coefficients de réflexion de dispositifs d'antennes respectivement selon l'état de l'art et selon l'invention, et
- les figures 6A et 6B sont des courbes comparatives de rendements de dispositifs d'antennes respectivement selon l'état de l'art et selon l'invention.

[0019] Le dispositif d'antenne 10 représenté schématiquement en vue de face sur la figure 1 comporte un premier substrat 12 qui s'étend dans un premier plan, celui de la figure. Il comporte en outre un deuxième substrat 14 qui s'étend dans un deuxième plan différent et sécant du premier plan, notamment un plan horizontal orthogonal à celui de la figure. Le deuxième substrat 14 présente une ouverture, par exemple un trou rectiligne, traversée par le premier substrat 12, de sorte que ce dernier présente une première portion 16, située dans un premier demi-espace supérieur par rapport au deuxième plan du deuxième substrat 14, et une deuxième portion 18, située dans un deuxième demi-espace inférieur par rapport au deuxième plan du deuxième substrat 14. Les deux substrats sont par exemple en matériau de type FR-4 (de l'anglais « Flame Résistant 4 »), c'est-à-dire en composite de résine époxy renforcé de fibre de verre.

[0020] Sur la face avant visible et dans la première portion supérieure 16 du premier substrat 12, formant une première portion rayonnante de ce premier substrat 12, deux antennes radioélectriques 20 et 22 sont formées par impression métallique selon une technologie sérigraphique connue.

[0021] La plus grande des deux antennes radioélectriques, i.e. la première antenne imprimée 20, comporte deux bandes métalliques 20A, 20B s'étendant orthogonalement depuis le deuxième plan. Ces deux bandes métalliques 20A, 20B forment deux pieds reliés entre eux à leurs extrémités les plus distantes du deuxième plan par une portion de bande métallique supplémentaire, ainsi qu'à une autre bande métallique 20C s'étendant horizontalement en partie supérieure de la première portion rayonnante 16 du premier substrat 12. La configuration précise de cette première antenne imprimée 20, située

la plus à gauche en face avant du premier substrat 12, ainsi que son dimensionnement restent concrètement à l'appréciation de l'homme du métier en fonction de l'application, de l'adaptation d'impédance et du rayonnement visés. Elle opère à basses fréquences, dans une première bande de fréquences électromagnétiques prédéterminées.

[0022] La plus petite des deux antennes radioélectriques, i.e. la deuxième antenne imprimée 22, comporte elle aussi deux bandes métalliques 22A, 22B s'étendant orthogonalement depuis le deuxième plan. Ces deux bandes métalliques 22A, 22B sont plus courtes que les bandes métalliques 20A, 20B. Elles forment également deux pieds reliés entre eux à leurs extrémités les plus distantes du deuxième plan par une portion de bande métallique supplémentaire, ainsi qu'à une autre bande métallique 22C s'étendant horizontalement sous la bande métallique 20C dans la première portion rayonnante 16 du premier substrat 12. La bande métallique 22C est plus courte que la bande métallique 20C. La configuration précise de cette deuxième antenne imprimée 22, située la plus à droite en face avant du premier substrat 12, ainsi que son dimensionnement restent concrètement à l'appréciation de l'homme du métier en fonction de l'application, de l'adaptation d'impédance et du rayonnement visés. Elle opère à hautes fréquences, dans une deuxième bande de fréquences électromagnétiques prédéterminées, par exemple toutes plus élevées que les fréquences électromagnétiques de la première bande de fréquences de la première antenne imprimée 20.

[0023] Sur la face avant visible et dans la deuxième portion inférieure 18 du premier substrat 12, séparée de la première portion rayonnante 16 par le deuxième substrat 14, des moyens électriquement conducteurs de raccordement des deux antennes radioélectriques 20 et 22 à un circuit électronique d'émission et/ou réception sont formés notamment par impression métallique selon la technologie sérigraphique précitée. En particulier, ces moyens conducteurs de raccordement comportent une portion de plan de masse métallique 24 formée par impression métallique sur la face avant de la deuxième portion inférieure 18 du premier substrat 12. La façon dont les pieds d'antennes 20A, 20B et 22A, 22B sont raccordés électriquement au circuit électronique d'émission et/ou réception et à la portion de plan de masse métallique 24 n'est pas précisément illustrée sur la figure 1 parce qu'elle est à la portée de l'homme du métier. Généralement, chaque antenne doit préalablement être conformée de manière à assurer une adaptation d'impédance avec le circuit électronique d'émission et/ou réception, puis doit être respectivement raccordée au circuit électronique d'émission et/ou réception et à la portion de plan de masse métallique 24 par ses deux pieds. Le raccordement de la première antenne imprimée 20 à la portion de plan de masse métallique 24 est ainsi réalisé par son pied d'antenne 20A selon des moyens connus, non détaillés sur la figure 1, qui ne sont pas nécessairement disposés uniquement en face avant du premier substrat

12. Le raccordement de la première antenne imprimée 20 au circuit électronique d'émission et/ou réception est quant à lui représenté symboliquement par un premier bloc connecteur 26. De même, le raccordement de la deuxième antenne imprimée 22 à la portion de plan de masse métallique 24 est réalisé par son pied d'antenne 22A : cela peut par exemple se faire par continuité d'impression métallique en face avant du premier substrat 12. Le raccordement de la deuxième antenne imprimée 22 à la portion de plan de masse métallique 24 est quant à lui représenté symboliquement par un deuxième bloc connecteur 28. Enfin, le circuit électronique d'émission et/ou réception est situé d'une façon générale dans le deuxième demi-espace inférieur par rapport au deuxième plan du deuxième substrat 14, mais n'est pas représenté sur la figure 1 parce qu'il n'est pas utile à la bonne compréhension de l'invention.

[0024] Le deuxième substrat 14 présente une face, dite face supérieure parce que c'est celle qui est orientée du côté du premier demi-espace supérieur dans lequel sont situées les deux antennes radioélectriques 20 et 22, sur laquelle est formé un plan de masse 30 par impression métallique. Grâce à la présence du trou rectiligne traversé par le premier substrat 12, le plan de masse 30 n'est pas en contact électrique direct avec les deux antennes radioélectriques 20 et 22. Le contact est établi à l'aide de broches de raccordement électrique dont deux paires 32 et 34 sont représentées sur la figure 1. Une première paire de broches 32 est disposée au voisinage des pieds de la première antenne imprimée 20. Elle comporte deux broches, raccordées électriquement entre elles à l'aide d'éléments mâles et femelles de façon connue en soi, dont l'une est disposée et connectée électriquement à la portion de plan de masse métallique 24 du premier substrat 12 et l'autre au plan de masse 30 du deuxième substrat 14. Une deuxième paire de broches 34 est disposée de la même façon au voisinage des pieds de la deuxième antenne imprimée 22. D'autres broches de raccordement électrique peuvent être ajoutées pour le raccordement d'autres éléments, par exemple des éléments du circuit électronique d'émission et/ou réception, au plan de masse 30 du deuxième substrat 14.

[0025] Conformément à la présente invention, le deuxième substrat 14 présente une face opposée à sa face supérieure, dite face inférieure, orientée du côté du deuxième demi-espace inférieur dans lequel est située la deuxième portion inférieure 18 du premier substrat 12, qui est exploitée pour isoler électromagnétiquement le demi-espace supérieur de toute interférence électromagnétique due à l'insertion au moins partielle de la deuxième portion inférieure 18 du premier substrat 12 dans une fente correspondante d'un support métallique 36 tel qu'un mât ou candélabre cylindrique. Cette exploitation de la face inférieure du deuxième substrat 14 consiste à y déployer, par impression métallique, une structure de métamatériau 38 à multiples éléments électriquement conducteurs 40 séparés électriquement les uns des autres sur cette face inférieure. Avantagusement, cha-

que élément électriquement conducteur 40 de la structure de métamatériau 38 est raccordé au plan de masse métallique 30 à l'aide d'un via métallique traversant 42 s'étendant dans l'épaisseur du deuxième substrat 14.

[0026] Plus précisément, la structure de métamatériau 38 est dimensionnée de manière à supprimer au moins un mode stationnaire de résonance électromagnétique propre du deuxième substrat 14 susceptible d'être excité par la proximité du support métallique 36, c'est-à-dire au moins un mode stationnaire de distribution de courant pouvant apparaître dans le plan de masse 30 du deuxième substrat 14 à au moins une fréquence, notamment au moins une fréquence de la bande passante de l'une quelconque des deux antennes 20 et 22.

[0027] L'homme du métier est apte à régler, par essais et mesures, certains paramètres de la structure de métamatériau 38, tels que :

- le nombre d'éléments électriquement conducteurs 40 et leur distribution,
- la forme, la largeur, la longueur ou toute autre dimension caractéristique de chaque élément conducteur 40,
- les espaces entre les éléments électriquement conducteurs 40.

[0028] En particulier, il est avantageux de dimensionner les éléments conducteurs 40 à l'échelle des demi-longueurs d'ondes visées pour conférer pleinement à la structure 38 ses propriétés de métamatériau.

[0029] On notera qu'en pratique, le deuxième substrat 14 peut être simplement fabriqué, avec son plan de masse 30 en face supérieure et sa structure de métamatériau 38 en face inférieure, à partir d'un substrat vendu dans le commerce avec une métallisation complète sur ses deux faces. Il suffit alors de retirer une partie de la métallisation en fonction des motifs souhaités en faces supérieure et inférieure du substrat 14.

[0030] Comme illustré sur les figures 2 et 3, il est concrètement avantageux d'intégrer le dispositif d'antenne 10 dans un boîtier protecteur 44 (représenté transparent pour une meilleure visibilité du dispositif 10 sur la figure 2), seule au moins une partie de la deuxième portion inférieure 18 sortant sous le boîtier 44 pour son insertion dans le support métallique 36. Il s'agit généralement d'un radôme en matière plastique. En perspective vue de dessus, la figure 2 illustre également des moyens classiques 46 à vis latérales de fixation du radôme 44 sur le support métallique 36 ainsi que le trou rectiligne 48 du deuxième substrat 14 traversé par le premier substrat 12. En perspective vue de dessous, la figure 3 montre en outre que les éléments électriquement conducteurs 40 de la structure de métamatériau 38 peuvent être de forme carrée ou rectangulaire et disposés matriciellement sur tout ou partie de la face inférieure du deuxième substrat 14. Cela signifie que les éléments électriquement conducteurs 40 sont disposés en lignes et colonnes selon deux axes principaux, notamment selon une répétition périodique ou

pseudo-périodique (par exemple à dimensions croissantes ou décroissantes des motifs) le long de l'un des deux axes ou des deux.

[0031] La figure 4 illustre en perspective une installation comportant le dispositif d'antenne 10, intégré dans le radôme 44 et donc non visible sur cette figure, tel que fixé par vissage sur le support métallique 36. On y voit que la mise en oeuvre de la présente invention permet de conserver une très bonne compacité de l'ensemble.

[0032] Des tests ont été effectués pour une première antenne imprimée 20 conformée et dimensionnée pour opérer dans la bande passante [860 ; 865] MHz et pour une deuxième antenne imprimée 22 conformée et dimensionnée pour opérer dans la bande passante [2,4000 ; 2,4835] GHz.

[0033] La figure 5A illustre une courbe de coefficients de réflexion S_{11} mesurés en entrée de chacune des deux antennes du dispositif d'antenne 10 lorsque ce dernier ne comporte pas la structure de métamatériau 38. Entre 0,7 et 2 GHz, il s'agit de l'évolution du coefficient de réflexion S_{11} de la première antenne imprimée 20. Entre 2 et 3 GHz, il s'agit de l'évolution du coefficient de réflexion S_{11} de la deuxième antenne 22. Il en résulte une rupture de courbe tout à fait normale à 2GHz. On y a par ailleurs noté le point m1 qui mesure un coefficient $S_{11} = -16,7$ dB à 860 MHz et le point m2 qui mesure un coefficient $S_{11} = -28,8$ dB à 865 MHz pour la première antenne 20, ainsi que le point m3 qui mesure un coefficient $S_{11} = -10,6$ dB à 2,4000 GHz et le point m4 qui mesure un coefficient $S_{11} = -10,1$ dB à 2,4835 GHz pour la deuxième antenne imprimée 22.

[0034] La figure 5B illustre une autre courbe de coefficients de réflexion S_{11} mesurés en entrée de chacune des deux antennes du même dispositif d'antenne 10, mais cette fois-ci lorsque ce dernier comporte la structure de métamatériau 38 avec des éléments électriquement conducteurs 40 carrés de 11 mm de côtés. Entre 0,7 et 2 GHz, il s'agit de l'évolution du coefficient de réflexion S_{11} de la première antenne imprimée 20. Entre 2 et 3 GHz, il s'agit de l'évolution du coefficient de réflexion S_{11} de la deuxième antenne imprimée 22. Le point m1 mesure désormais un coefficient $S_{11} = -17,3$ dB à 860 MHz. Le point m2, mesurant un coefficient $S_{11} = -32,2$ dB à 865 MHz, n'est même plus apparent sur la courbe. Le point m3 mesure un coefficient $S_{11} = -17,5$ dB à 2,4000 GHz et le point m4 mesure un coefficient $S_{11} = -14,7$ dB à 2,4835 GHz. D'une façon générale, les coefficients de réflexion des antennes 20 et 22 présentent des valeurs nettement réduites dans les deux bandes passantes [860 ; 865] MHz et [2,4000 ; 2,4835] GHz par rapport à la figure 5A, ce qui démontre que les deux antennes 20 et 22 présentent de meilleures performances en transmission (i.e. en réception et émission) dans le cas de la figure 5B que dans celui de la figure 5A.

[0035] La figure 6A illustre une courbe de valeurs de rendement total mesurées pour la deuxième antenne imprimée 22 du dispositif d'antenne 10 lorsque ce dernier ne comporte pas la structure de métamatériau 38, entre

2,35 et 2,5 GHz. On y a par ailleurs noté le point m1 qui mesure un rendement $\rho = 51,6 \%$ à 2,4000 GHz et le point m2 qui mesure un rendement $\rho = 80,2 \%$ à 2,4835 GHz.

[0036] La figure 6B illustre une autre courbe de valeurs de rendement total mesurées pour la deuxième antenne imprimée 22 du même dispositif d'antenne 10 entre 2,35 et 2,5 GHz, mais cette fois-ci lorsque ce dernier comporte la structure de métamatériau 38 avec des éléments électriquement conducteurs 40 carrés de 11 mm de côtés. Le point m1 mesure désormais un rendement $\rho = 75,2 \%$ à 2,4000 GHz et le point m2 mesure un rendement $\rho = 74,4 \%$ à 2,4835 GHz. D'une façon générale, le rendement est plus stable et meilleur, dans la bande passante [2,4000 ; 2,4835] GHz, dans le cas de la figure 6B que dans celui de la figure 6A.

[0037] Il apparaît clairement qu'un dispositif d'antenne tel que celui décrit précédemment permet de préserver les performances radioélectriques de la ou des antennes qu'il comporte tout en conservant une très bonne compacité, lorsque ce dispositif est destiné à être fixé sur un support métallique susceptible de le perturber électromagnétiquement. La fonctionnalisation de la face inférieure du deuxième substrat à l'aide d'une structure de métamatériau permet en effet de réduire les interactions de la ou des antennes du dispositif avec son environnement proche.

[0038] On notera par ailleurs que l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation décrit précédemment.

[0039] Notamment, deux antennes radioélectriques ont été décrites dans le dispositif d'antenne 10, mais les principes de la présente invention sont aisément généralisables à un dispositif d'antenne à plus de deux antennes radioélectriques. Ils sont également applicables à un dispositif d'antenne ne comportant qu'une antenne radioélectrique.

[0040] Les antennes précitées 20 et 22 sont imprimées en technologie sérigraphique, mais d'autres types d'antennes sont compatibles avec la présente invention.

[0041] Les antennes précitées 20 et 22 sont en outre imprimées sur une même face de substrat, mais des antennes imprimées sur deux faces différentes d'un même substrat conviennent également.

[0042] Il apparaîtra plus généralement à l'homme de l'art que diverses modifications peuvent être apportées au mode de réalisation décrit ci-dessus, à la lumière de l'enseignement qui vient de lui être divulgué. Dans la présentation détaillée de l'invention qui est faite précédemment, les termes utilisés ne doivent pas être interprétés comme limitant l'invention au modes de réalisation exposé dans la présente description, mais doivent être interprétés pour y inclure tous les équivalents dont la prévision est à la portée de l'homme de l'art en appliquant ses connaissances générales à la mise en oeuvre de l'enseignement qui vient de lui être divulgué.

Revendications

1. Dispositif d'antenne (10) comportant :

- un premier substrat (12), s'étendant dans un premier plan, présentant au moins une face où sont formés :

- au moins une antenne radioélectrique (20, 22) s'étendant dans une première portion rayonnante (16) du premier substrat (12), et
- des moyens électriquement conducteurs (24, 26, 28) de raccordement de ladite au moins une antenne radioélectrique (20, 22) à un circuit électronique d'émission et/ou réception, ces moyens électriquement conducteurs (24, 26, 28) s'étendant dans une deuxième portion (18) du premier substrat (12),

- un deuxième substrat (14) s'étendant dans un deuxième plan différent et sécant du premier plan, séparant la première portion rayonnante (16) du premier substrat (12), située dans un premier demi-espace par rapport à ce deuxième plan, de la deuxième portion (18) du premier substrat (12), située dans un deuxième demi-espace par rapport à ce deuxième plan, le deuxième substrat (14) présentant une face, dite face inférieure et orientée du côté dudit deuxième demi-espace dans lequel sont situés les moyens électriquement conducteurs de raccordement (24, 26, 28), comportant une structure de métamatériau (38) à multiples éléments électriquement conducteurs (40) séparés électriquement les uns des autres sur cette face inférieure, ladite au moins une antenne radioélectrique (20, 22) étant au moins une antenne imprimée s'étendant sur au moins une face du premier substrat (12), ladite au moins une antenne radioélectrique comportant une première antenne imprimée à basses fréquences (20) opérant dans une première bande de fréquences électromagnétiques et une deuxième antenne imprimée à hautes fréquences (22) opérant dans une deuxième bande de fréquences électromagnétiques toutes plus élevées que les fréquences électromagnétiques de la première bande de fréquences, le deuxième substrat (14) présentant :

- un plan de masse métallique (30) s'étendant sur une autre face, dite face supérieure et opposée à la face inférieure comportant la structure de métamatériau (38), et
- des vias traversants (42) raccordant chaque élément électriquement conducteur

- (40) de la structure de métamatériau (38) au plan de masse métallique (30).
2. Dispositif d'antenne (10) selon la revendication 1, dans lequel les éléments électriquement conducteurs (40) de la structure de métamatériau (38) sont disposés matriciellement sur la face inférieure du deuxième substrat (14). 5
 3. Dispositif d'antenne (10) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel au moins l'un des paramètres de l'ensemble constitué : 10
 - du nombre d'éléments électriquement conducteurs (40) de la structure de métamatériau (38), 15
 - d'une distribution des éléments électriquement conducteurs (40) de la structure de métamatériau (38) sur la face inférieure du deuxième substrat (14), 20
 - d'au moins une dimension de chaque élément électriquement conducteur (40) de la structure de métamatériau (38), et 25
 - des espaces entre éléments électriquement conducteurs (40) de la structure de métamatériau (38), 30
 est réglé de manière à supprimer au moins un mode stationnaire de résonance électromagnétique propre du deuxième substrat (14). 35
 4. Dispositif d'antenne (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel des broches de raccordement électrique (32, 34) sont disposées entre les premier et deuxième substrats (12, 14) pour une jonction électrique d'au moins une partie (24) des moyens électriquement conducteurs de raccordement (24, 26, 28) au plan de masse métallique (30). 40
 5. Dispositif d'antenne (10) selon la revendication 4, dans lequel ladite au moins une partie (24) des moyens électriquement conducteurs de raccordement (24, 26, 28) comporte une portion de plan de masse métallique formée dans le premier substrat (12). 45
 6. Dispositif d'antenne (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le deuxième substrat (14) présente une ouverture, par exemple un trou rectiligne (48), traversée par le premier substrat (12). 50
 7. Dispositif d'antenne (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel les premier et deuxième substrats (12, 14) sont disposés orthogonalement. 55

Patentansprüche

1. Antennenvorrichtung (10), beinhaltend:

- ein erstes Substrat (12), das sich in einer ersten Ebene erstreckt und mindestens eine Fläche aufweist, auf der geformt sind:

- mindestens eine Funkantenne (20, 22), die sich in einem ersten Strahlungsabschnitt (16) des ersten Substrats (12) erstreckt, und
- elektrisch leitende Mittel (24, 26, 28) zum Anschließen der mindestens einen Funkantenne (20, 22) an eine elektronische Send- und/oder Empfangsschaltung, wobei sich diese elektrisch leitenden Mittel (24, 26, 28) in einem zweiten Abschnitt (18) des ersten Substrats (12) erstrecken,

- ein zweites Substrat (14), das sich in einer zweiten Ebene erstreckt, die die erste Ebene schneidet und sich von dieser unterscheidet, und den ersten Strahlungsabschnitt (16) vom ersten Substrat (12) trennt, der sich in einem ersten Halbraum relativ zu dieser zweiten Ebene befindet, vom zweiten Abschnitt (18) des ersten Substrats (12), der sich in einem zweiten Halbraum relativ zu dieser zweiten Ebene befindet,

wobei das zweite Substrat (14) eine Fläche aufweist, untere Fläche genannt, und zur Seite des zweiten Halbraums hin ausgerichtet ist, in dem sich die elektrisch leitenden Mittel zum Anschließen (24, 26, 28) befinden, die eine Metamaterialstruktur (38) mit mehreren elektrisch leitenden Elementen (40) beinhalten, die auf dieser unteren Fläche elektrisch voneinander getrennt sind, wobei die mindestens eine Funkantenne (20, 22) mindestens eine gedruckte Antenne ist, die sich über mindestens eine Fläche des ersten Substrats (12), erstreckt, wobei die mindestens eine Funkantenne eine erste gedruckte niederfrequente Antenne (20) beinhaltet, die in einem ersten elektromagnetischen Frequenzband arbeitet, und eine zweite gedruckte hochfrequente Antenne (22), die in einem zweiten elektromagnetischen Frequenzband arbeitet, dessen elektromagnetischen Frequenzen alle höher sind als die elektromagnetischen Frequenzen des ersten Frequenzbandes, wobei das zweite Substrat (14) aufweist:

- eine metallische Massenebene (30), die sich über einer anderen Fläche erstreckt, obere Fläche genannt, und der unteren Fläche gegenüberliegt, die die Metamaterialstruktur (38) beinhaltet, und

- durchgehende Vias (42), die jedes elektrisch leitende Element (40) der Metamaterialstruktur (38) an die metallische Massenebene (30) anschließen.
2. Antennenvorrichtung (10) nach Anspruch 1, wobei die elektrisch leitenden Elemente (40) der Metamaterialstruktur (38) matrixartig auf der unteren Fläche des zweiten Substrats (14) angeordnet sind.
3. Antennenvorrichtung (10) nach Anspruch 1 oder 2, wobei mindestens einer der Parameter der Anordnung, die aus:
- einer Anzahl von elektrisch leitenden Elementen (40) der Metamaterialstruktur (38),
 - einer Verteilung elektrisch leitender Elemente (40) der Metamaterialstruktur (38) auf der unteren Fläche des zweiten Substrats (14),
 - mindestens einer Dimension jedes elektrisch leitenden Elements (40) der Metamaterialstruktur (38), und
 - Zwischenräumen zwischen elektrisch leitenden Elementen (40) der Metamaterialstruktur (38),
- besteht, so eingestellt ist, dass mindestens ein stationärer Modus elektromagnetischer Resonanz des zweiten Substrats (14) beseitigt wird.
4. Antennenvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei Stifte (32, 34) zum elektrischen Anschluss zwischen dem ersten und dem zweiten Substrat (12, 14) angeordnet sind für einen elektrischen Übergang von mindestens einem Teil (24) der elektrisch leitenden Mittel zum Anschließen (24, 26, 28) an die metallische Massenebene (30).
5. Antennenvorrichtung (10) nach Anspruch 4, wobei der mindestens eine Teil (24) der elektrisch leitenden Mittel zum Anschließen (24, 26, 28) einen Abschnitt der metallischen Massenebene beinhaltet, der im ersten Substrat (12) gebildet ist.
6. Antennenvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das zweite Substrat (14) eine Öffnung aufweist, beispielsweise ein geradliniges Loch (48), durch das das erste Substrat (12) verläuft.
7. Antennenvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das erste und das zweite Substrat (12, 14) orthogonal angeordnet sind.

Claims

1. An antenna device (10) comprising:

- a first substrate (12), extending in a first plane, having at least one face on which are formed:

- at least one radio antenna (20, 22) extending into a first radiating portion (16) of the first substrate (12), and
- electrically conductive means (24, 26, 28) for connecting said at least one radio antenna (20, 22) to an electronic transmitter and/or receiver circuit, said electrically conductive means (24, 26, 28) extending in a second portion (18) of the first substrate (12),

- a second substrate (14) extending in a second plane different from and intersecting the first plane, separating the first radiating portion (16) of the first substrate (12), located in a first half-space with respect to this second plane, from the second portion (18) of the first substrate (12), located in a second half-space with respect to this second plane, the second substrate (14) having a face, referred to as the lower face and oriented on the side of said second half-space in which the electrically conductive connection means (24, 26, 28) are located, comprising a metamaterial structure (38) with multiple electrically conductive elements (40) electrically separated from one another on this lower face, said at least one radio antenna (20, 22) being at least one printed antenna extending over at least one face of the first substrate (12), said at least one radio antenna comprising a first low-frequency printed antenna (20) operating in a first band of electromagnetic frequencies and a second high-frequency printed antenna (22) operating in a second band of electromagnetic frequencies all higher than the electromagnetic frequencies of the first band of frequencies the second substrate (14) comprising:

- a metallic ground plane (30) extending on another face, called the upper face and opposite the lower face comprising the metamaterial structure (38), and
- through vias (42) connecting each electrically conductive element (40) of the metamaterial structure (38) to the metal ground plane (30).

2. The antenna device (10) according to claim 1, wherein the electrically conductive elements (40) of the metamaterial structure (38) are arranged in a matrix on the lower face of the second substrate (14).

3. The antenna device (10) according to claim 1 or 2, wherein at least one of the parameters of the set

consisting of:

- the number of electrically conductive elements (40) of the metamaterial structure (38),
- a distribution of the electrically conductive elements (40) of the metamaterial structure (38) on the lower face of the second substrate (14),
- at least one dimension of each electrically conductive element (40) of the metamaterial structure (38), and
- the spaces between electrically conductive elements (40) of the metamaterial structure (38),

is set to suppress at least one stationary electromagnetic resonance mode of the second substrate (14).

4. The antenna device (10) according to any one of claims 1 to 3, wherein electrical connection pins (32, 34) are arranged between the first and second substrates (12, 14) for electrical connection of at least part (24) of the electrically conductive connection means (24, 26, 28) to the metallic ground plane (30).
5. The antenna device (10) according to claim 4, wherein said at least one part (24) of the electrically conductive connection means (24, 26, 28) comprises a metal ground plane portion formed in the first substrate (12).
6. The antenna device (10) according to any one of claims 1 to 5, wherein the second substrate (14) has an opening, for example a rectilinear hole (48), through which the first substrate (12) passes.
7. The antenna device (10) according to any one of claims 1 to 6, wherein the first and second substrates (12, 14) are arranged orthogonally.

40

45

50

55

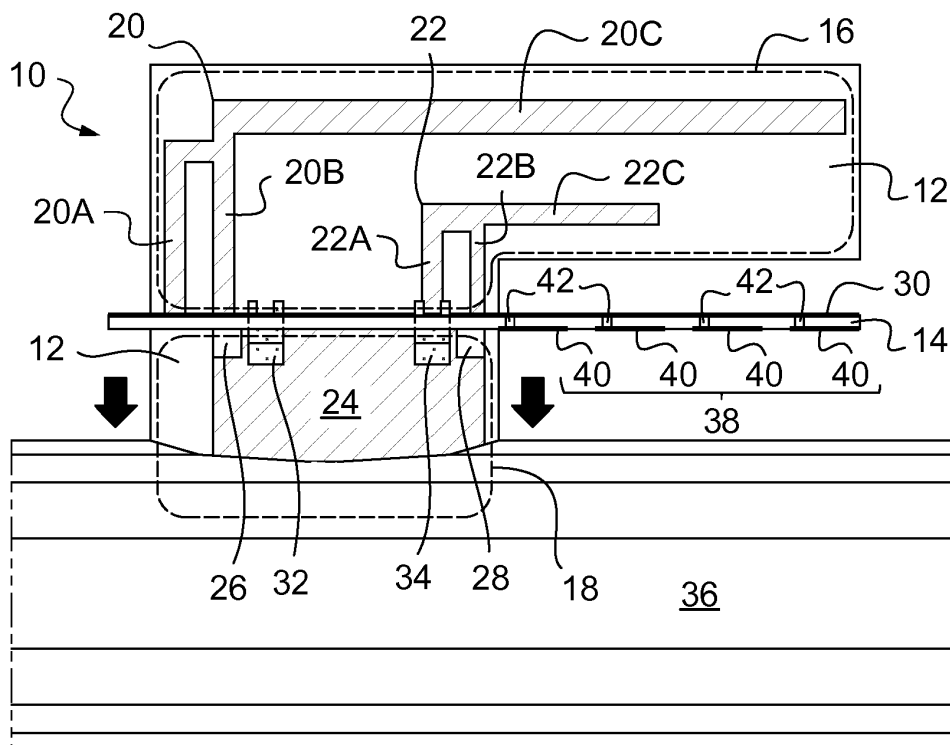


Fig.1

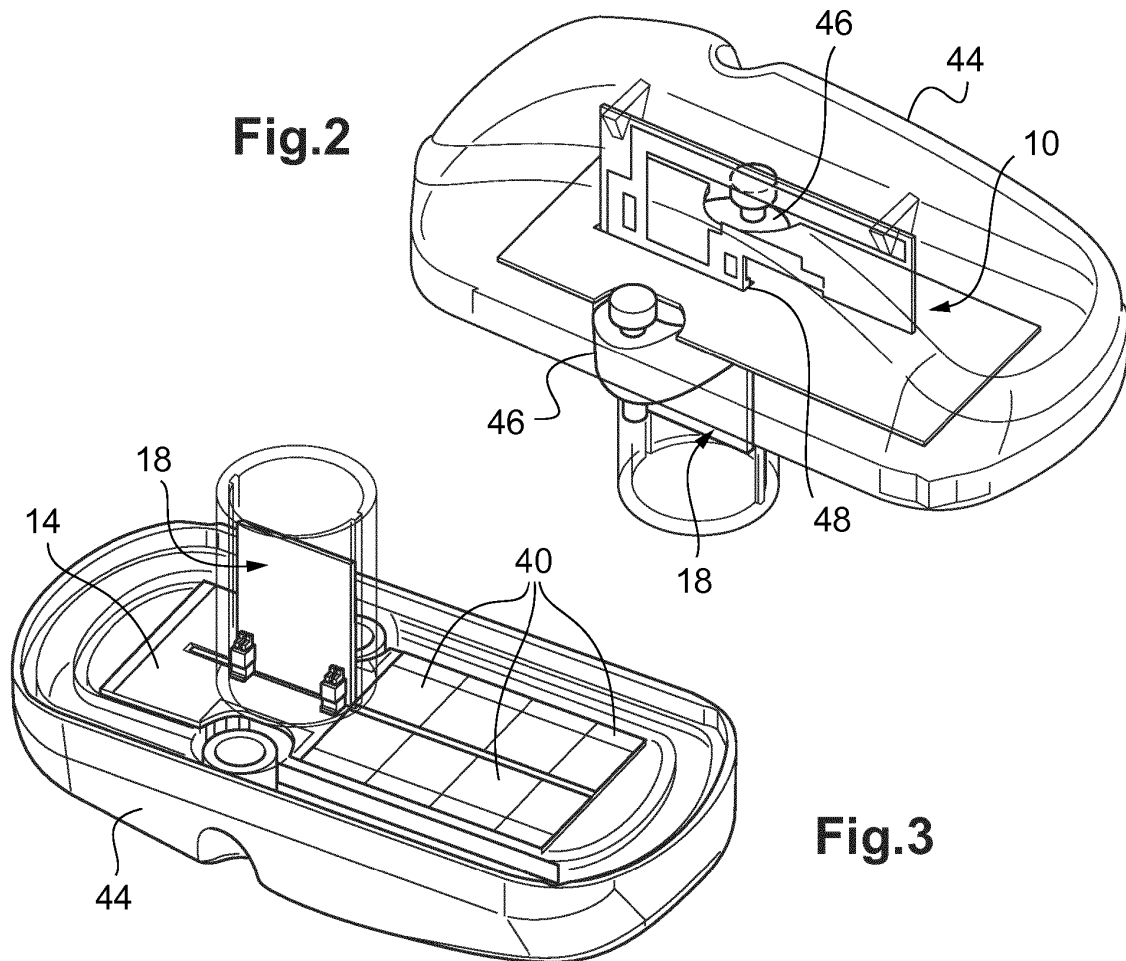


Fig.3

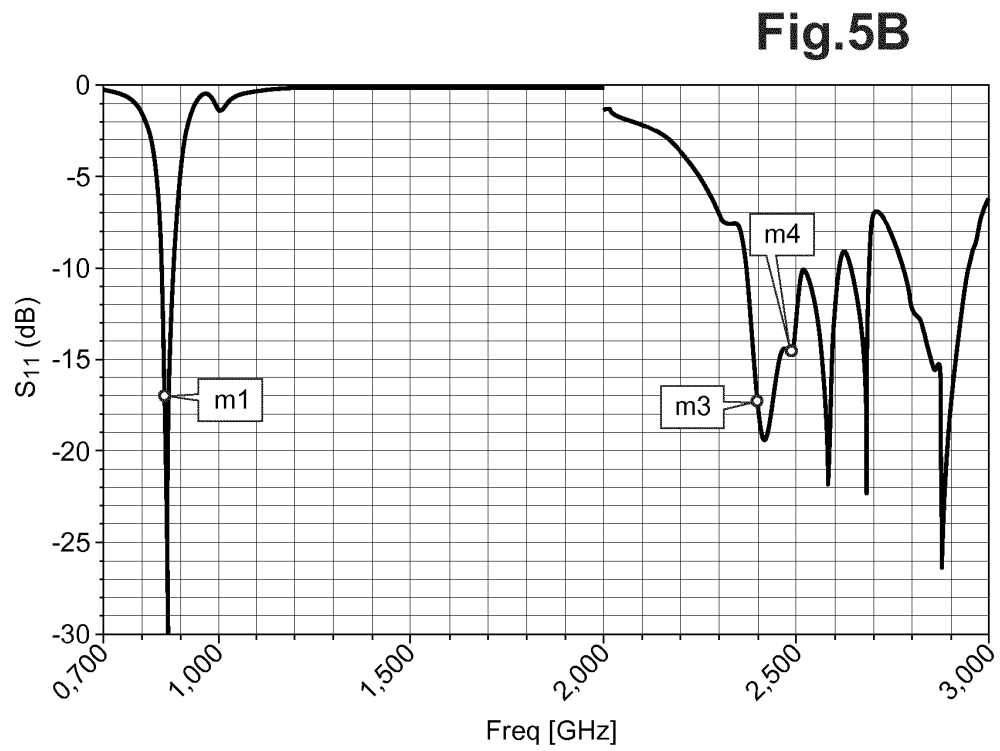
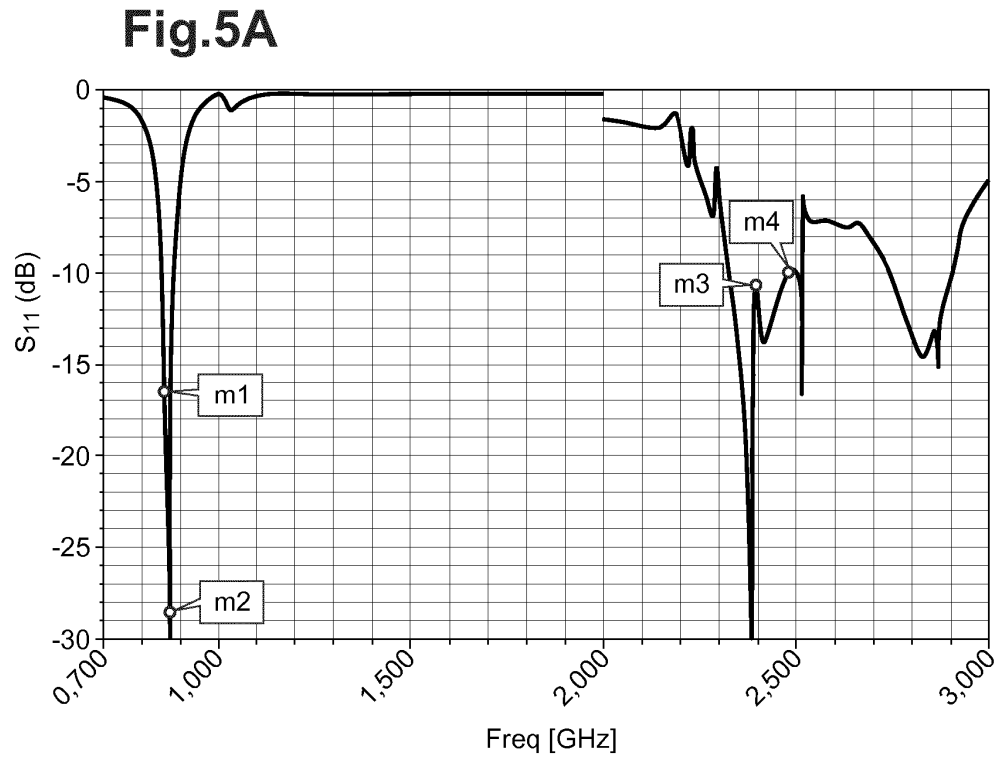
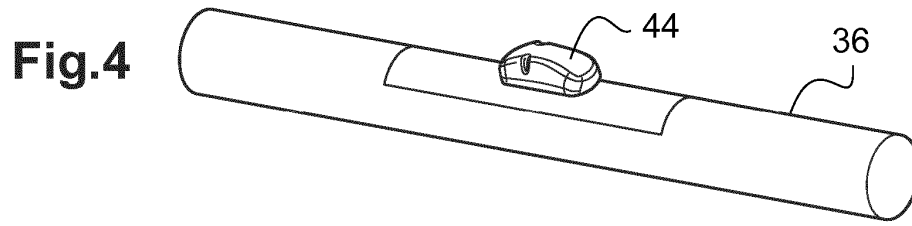
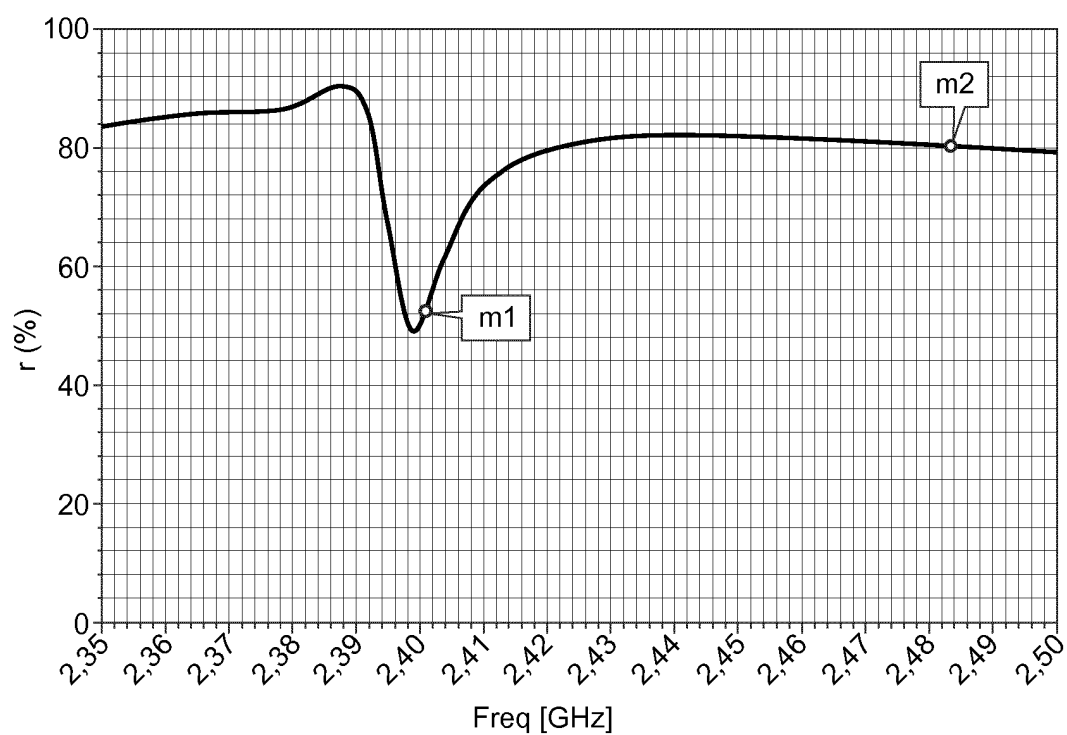
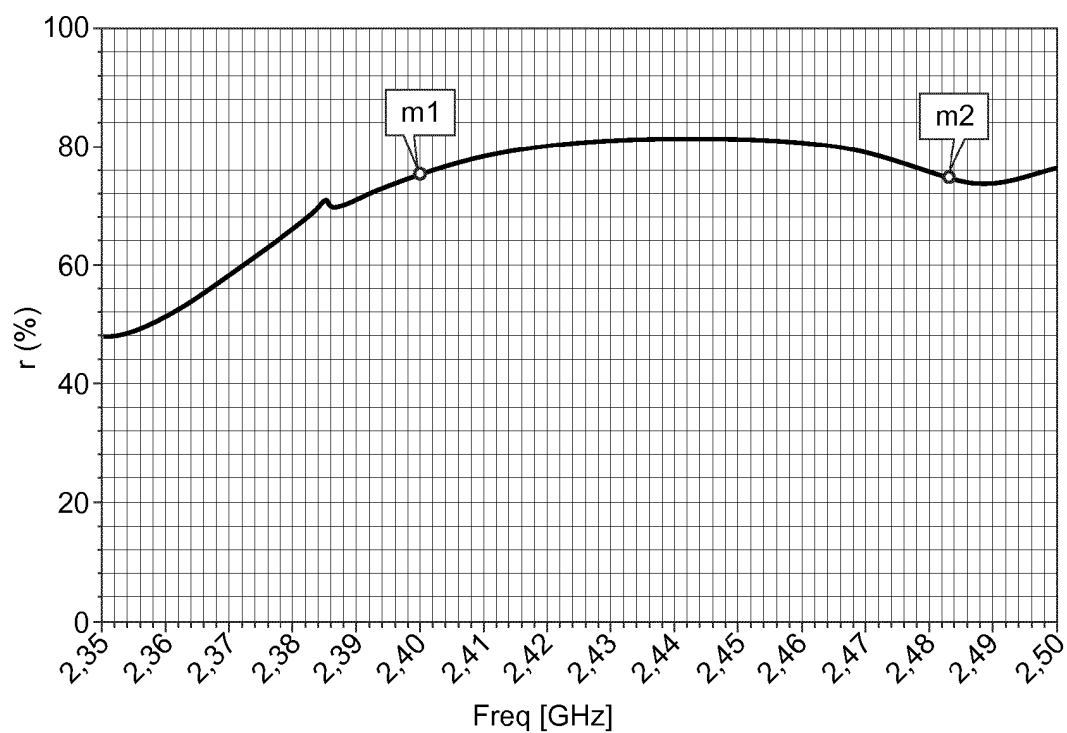


Fig.6A**Fig.6B**

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

- WO 2017056437 A1 [0005]
- US 20050168394 A1 [0005]
- EP 0945917 A2 [0005]
- US 7142822 B2 [0005]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **SEETHARAMDOO et al.** Investigation on the use of metamaterials to lower the operating frequency of réverbération chamber. *l'occasion de la conférence EMC Europe 2011 York (UK)*, 26 Septembre 2011, 680-685 [0011]