

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 125 886**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **21 08129**

⑤① Int Cl⁸ : **G 01 R 33/00** (2020.12)

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Sonde de champ électromagnétique.

②② Date de dépôt : 27.07.21.

③⑦ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 03.02.23 Bulletin 23/05.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 24.11.23 Bulletin 23/47.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public — FR.

⑦② Inventeur(s) : MARNAT Loïc et JOUVAUD Camille.

⑦③ Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET BEAUMONT.

FR 3 125 886 - B1



Description

Titre de l'invention : Sonde de champ électromagnétique

Domaine technique

[0001] La présente description concerne de façon générale le domaine des sondes de champ électromagnétique. Elle s'applique notamment aux transmissions d'informations sans fil, en particulier dans des milieux, tels que des cavités au moins partiellement fermées, dans lesquels la répartition des champs magnétique et électrique n'est pas homogène.

Technique antérieure

[0002] Dans le domaine des transmissions d'informations, et plus précisément des transmissions sans fil utilisant des ondes électromagnétiques, certains milieux sont tels que la répartition des champs magnétique et électrique n'est pas toujours homogène. Cela peut se produire notamment lorsqu'on souhaite transmettre des informations au sein de milieux au moins partiellement fermés, dont des dimensions ramenées à la longueur d'onde du champ électromagnétique (dimensions électriques) sont supérieures à une limite physique. Un exemple de milieu concerne une cavité métallique au moins partiellement fermée sur au moins une longueur donnée.

[0003] Pour transmettre des informations au sein d'une telle cavité métallique, il est typique d'utiliser une sonde du type à pointe ou brin (pour le champ électrique) et/ou une sonde du type à boucle (pour le champ magnétique) afin d'exciter un mode d'établissement du champ électromagnétique et se coupler au champ électromagnétique généré en retour dans la cavité. Il est alors possible de communiquer entre deux points de la cavité à condition que la (les) sonde(s) se couple(nt) avec le/les mode(s) établi(s) du champ électromagnétique dans la cavité.

[0004] Or, dans une cavité fermée, l'orientation et la distribution des champs électrique et magnétique sont principalement régies par la taille et la forme de la cavité ainsi que par les matériaux la constituant. Par exemple, pour une cavité fermée dont au moins une des dimensions transversales est de l'ordre de la demi-longueur d'onde du champ électromagnétique, les champs électrique et magnétique peuvent s'établir de manière quasi homogène (mode dit « fondamental »). En revanche, lorsque les deux dimensions transversales d'une cavité fermée sont supérieures à environ la demi-longueur d'onde du champ électromagnétique, des répartitions de champs électrique et magnétique non homogènes présentant des minimums et de maximums apparaissent (modes dits « d'ordres supérieurs »), avec des zones où le champ électrique et/ou le champ magnétique est très faible, voire nul, et d'autres zones où le champ électrique et/ou le champ magnétique est très élevé.

[0005] En outre, la répartition des champs électrique et magnétique varie en fonction de la

fréquence du champ électromagnétique dans la cavité. Pour une même taille et une même forme de cavité, plus la fréquence augmente, plus des modes d'ordres supérieurs apparaissent et moins les champs deviennent homogènes dans la cavité. Un corollaire est que plus la fréquence est élevée, plus la probabilité d'être confronté à des chutes (ou « nuls ») de champs est importante.

- [0006] Ces phénomènes rendent la transmission d'informations sans fil dépendant de la position d'une sonde dans la cavité. En d'autres termes, ces phénomènes ont un impact direct sur la capacité à transmettre et/ou à recevoir des informations en tout point de la cavité.
- [0007] Certaines solutions proposent de disposer plusieurs sondes du type à pointe (ou brin) et/ou à boucle à différents emplacements dans la cavité afin de prendre en compte les modes d'ordres supérieurs dans la cavité. Certaines solutions proposent d'adapter la forme des sondes, notamment dans le but d'exciter un mode défini d'établissement du champ, ce qui peut induire des problématiques d'assemblage et/ou de fabrication, notamment lorsque les sondes ont des formes complexes.
- [0008] En outre, l'adaptation des formes des sondes ne suffit généralement pas à s'affranchir de la nécessité de disposer d'au moins deux sondes dans la cavité : une sonde sensible au champ électrique et une autre sonde sensible au champ magnétique. En effet, une transmission en champ proche nécessite de pouvoir capter à la fois le champ électrique et le champ magnétique. Or, en champ proche (par exemple dans une cavité métallique), contrairement au champ lointain, les champs électrique et magnétique ne sont pas nécessairement liés et pouvoir capter un seul des champs électrique ou magnétique ne suffit généralement pas pour transmettre de manière robuste et en continu des informations en tout point du milieu considéré.
- [0009] En outre, les sondes connues restent généralement sensibles à l'orientation du champ magnétique, de sorte que certaines orientations de champ magnétique ne peuvent pas ou difficilement être captées par ces sondes.

Résumé de l'invention

- [0010] Il existe un besoin d'une sonde de champ électromagnétique qui puisse être sensible aux deux composantes que sont le champ électrique et le champ magnétique en tout point du volume d'un milieu (par exemple une cavité), et qui soit adaptée à la transmission d'informations dans le milieu considéré, notamment un milieu dans lequel la répartition des champs magnétique et électrique n'est pas toujours homogène. Il existe en particulier un besoin d'une sonde de champ électromagnétique qui puisse fonctionner quelle que soit l'orientation du champ magnétique dans le plan de la sonde.
- [0011] Il serait avantageux de disposer d'une telle sonde permettant en outre de maintenir un niveau de transmission suffisant en tout point du milieu, et ce, quelles que soient les

fréquences de travail de la sonde, notamment en dehors des fréquences de couplage avec les modes de transmission du champ électromagnétique dans le milieu considéré.

[0012] Il serait également avantageux de disposer d'une telle sonde dont on puisse ajuster l'impédance d'entrée et/ou de sortie ainsi que l'efficacité de rayonnement.

[0013] Il serait en outre avantageux qu'une telle sonde ait des dimensions réduites, afin de pouvoir être intégrée dans tout type de milieu et/ou tout type de système de transmission.

[0014] Un mode de réalisation pallie tout ou partie des inconvénients des sondes de champ électromagnétique connues.

[0015] Un mode de réalisation prévoit une sonde de champ électromagnétique s'étendant selon un plan principal et comprenant :

- un plan de masse conducteur électrique ;
 - un toit capacitif conducteur électrique, agencé à distance du plan de masse ;
- le plan de masse et le toit capacitif étant séparés, au moins sur une partie de leur interface, par un matériau diélectrique ;
- au moins trois vias conducteurs électriques s'étendant au travers du matériau diélectrique, chacun desdits au moins trois vias étant soit un via d'excitation relié électriquement au toit capacitif, isolé électriquement du plan de masse et destiné à être relié à une source d'alimentation électrique, soit un via de retour de masse reliant électriquement le plan de masse et le toit capacitif, les au moins trois vias comprenant au moins un via d'excitation et au moins un via de retour de masse ;

les au moins trois vias étant agencés de manière à former, lorsque le au moins un via d'excitation est alimenté, une première boucle de courant et une deuxième boucle de courant, chaque boucle de courant s'étendant dans le plan du toit capacitif et dans une direction sensiblement orthogonale audit toit capacitif, de sorte à être sensible à un champ magnétique sensiblement parallèle au plan du toit capacitif, les première et deuxième boucles de courant ayant des directions sensiblement orthogonales l'une par rapport à l'autre dans le plan du toit capacitif.

[0016] Selon un mode de réalisation, les au moins trois vias électriquement conducteurs comprennent : un via d'excitation, un premier via de retour de masse et un deuxième via de retour de masse ; la première boucle de courant cheminant entre le via d'excitation, le toit capacitif et le premier via de retour de masse ; la deuxième boucle de courant cheminant entre le via d'excitation, le toit capacitif et le deuxième via de retour de masse.

[0017] Selon un mode de réalisation particulier, la droite reliant un point de connexion du premier via de retour de masse dans le plan du toit capacitif et un point de connexion du via d'excitation dans le plan du toit capacitif est sensiblement orthogonale à la droite reliant un point de connexion du deuxième via de retour de masse dans le plan

du toit capacitif et un point de connexion du via d'excitation dans le plan du toit capacitif.

- [0018] Selon un mode de réalisation, les au moins trois vias électriquement conducteurs comprennent : un via de retour de masse, un premier via d'excitation et un deuxième via d'excitation ; la première boucle de courant cheminant entre le premier via d'excitation, le toit capacitif et le via de retour de masse ; la deuxième boucle de courant cheminant entre le deuxième via d'excitation, le toit capacitif et le via de retour de masse.
- [0019] Selon un mode de réalisation particulier, la droite reliant un point de connexion du premier via d'excitation dans le plan du toit capacitif et un point de connexion du via de retour de masse dans le plan du toit capacitif est sensiblement orthogonale à la droite reliant un point de connexion du deuxième via d'excitation dans le plan du toit capacitif et un point de connexion du via de retour de masse dans le plan du toit capacitif.
- [0020] Selon un mode de réalisation, la sonde comprend une fente constituée par une ouverture traversant toute l'épaisseur du toit capacitif.
- [0021] Selon un mode de réalisation particulier, la fente présente une symétrie axiale par rapport à une droite passant par le point de connexion du via d'excitation dans le plan du toit capacitif et passant sensiblement à égale distance du point de connexion du premier via de retour de masse dans le plan du toit capacitif et du point de connexion du deuxième via de retour de masse dans le plan du toit capacitif.
- [0022] Selon un autre mode de réalisation particulier, la fente présente une symétrie axiale par rapport à une droite passant par le point de connexion du via de retour de masse dans le plan du toit capacitif et passant sensiblement à égale distance du point de connexion du premier via d'excitation dans le plan du toit capacitif et du point de connexion du deuxième via d'excitation dans le plan du toit capacitif.
- [0023] Selon un mode de réalisation, la sonde comprend en outre au moins un via complémentaire conducteur électrique, le au moins un via complémentaire étant un via de retour de masse complémentaire ou un via d'excitation complémentaire.
- [0024] Selon un mode de réalisation, le matériau diélectrique est de l'air.
- [0025] Selon un autre mode de réalisation, le matériau diélectrique est un substrat, par exemple un substrat organique ou un substrat céramique.
- [0026] Selon un mode de réalisation, les dimensions de la sonde dans le plan principal sont inférieures à un quart de la longueur d'onde d'utilisation de ladite sonde, par exemple comprises entre un vingtième et un quart de la longueur d'onde d'utilisation de ladite sonde, voire comprises entre un vingtième et un dixième de la longueur d'onde d'utilisation de ladite sonde.
- [0027] Selon un mode de réalisation, la hauteur de la sonde est inférieure à un trentième de

la longueur d'onde d'utilisation de ladite sonde, par exemple comprise entre un centième et un trentième de la longueur d'onde d'utilisation de ladite sonde, voire comprise entre un cent cinquième et un trentième de la longueur d'onde d'utilisation de ladite sonde.

[0028] Selon un mode de réalisation, le plan de masse est parallèle au toit capacitif.

[0029] Un mode de réalisation prévoit un procédé de fabrication d'une sonde de champ électromagnétique comprenant :

- une étape de fourniture d'un plan de masse conducteur électrique ;
- un étape de fourniture d'un toit capacitif conducteur électrique ;
- une étape d'agencement du toit capacitif à distance du plan de masse ;
- une étape de liaison d'au moins un via d'excitation au toit capacitif, ledit au moins un via d'excitation étant isolé électriquement du plan de masse ;
- une étape de liaison d'au moins un via de retour de masse au plan de masse et au toit capacitif ;

le nombre de vias d'excitation et de retour de masse étant au moins égal à trois ;

lesdits vias d'excitation et de retour de masse étant agencés de manière à former,

lorsqu'un via d'excitation est alimenté, une première boucle de courant et une deuxième boucle de courant, chaque boucle de courant s'étendant dans le plan du toit capacitif et dans une direction sensiblement orthogonale audit toit capacitif, de sorte à être sensible à un champ magnétique sensiblement parallèle au plan du toit capacitif, les première et deuxième boucles de courant ayant des directions sensiblement orthogonales l'une par rapport à l'autre dans le plan du toit capacitif.

[0030] Pour l'ensemble des modes de réalisation, un milieu considéré est par exemple une cavité au moins partiellement fermée, comme par exemple une cavité métallique.

Brève description des dessins

[0031] Ces caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres, seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

[0032] la [Fig.1A] représente une sonde selon un mode de réalisation en vue de dessus (plan principal) ;

[0033] la [Fig.1B] représente la sonde de la [Fig.1A] vue en coupe selon un plan perpendiculaire au plan principal (coupe BB) ;

[0034] la [Fig.1C] représente la sonde de la [Fig.1A] selon une vue en 3D ;

[0035] la [Fig.2] représente le schéma de principe d'une sonde selon un mode de réalisation ;

[0036] la [Fig.3] représente une sonde selon un autre mode de réalisation en vue de dessus ;

[0037] la [Fig.4] représente une sonde selon un autre mode de réalisation en vue de dessus ;

- [0038] la [Fig.5A] ;
- [0039] la [Fig.5B] et
- [0040] la [Fig.5C] illustrent les résultats de mesures obtenus pour une sonde orientée selon deux orientations à 90° l'une par rapport à l'autre de manière à être équivalente à une sonde selon un mode de réalisation ;
- [0041] la [Fig.6A] illustre un premier exemple d'utilisation d'une sonde selon un mode de réalisation ;
- [0042] la [Fig.6B] illustre un deuxième exemple d'utilisation d'une sonde selon un mode de réalisation ;
- [0043] la [Fig.6C] illustre un troisième exemple d'utilisation d'une sonde selon un mode de réalisation.

Description des modes de réalisation

- [0044] De mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références dans les différentes figures. En particulier, les éléments structurels et/ou fonctionnels communs aux différents modes de réalisation peuvent présenter les mêmes références et peuvent disposer de propriétés structurelles, dimensionnelles et matérielles identiques.
- [0045] Par souci de clarté, seuls les étapes et éléments utiles à la compréhension des modes de réalisation décrits ont été représentés et sont détaillés. En particulier, l'alimentation des vias d'excitation n'est généralement pas décrite, étant à la portée d'une personne du métier dans le domaine de l'invention.
- [0046] Sauf précision contraire, lorsque l'on fait référence à deux éléments connectés entre eux, cela signifie directement connectés sans éléments intermédiaires autres que des conducteurs, et lorsque l'on fait référence à deux éléments reliés (en anglais "coupled") entre eux, cela signifie que ces deux éléments peuvent être connectés ou être reliés par l'intermédiaire d'un ou plusieurs autres éléments.
- [0047] Dans la description qui suit, lorsque l'on fait référence à des qualificatifs de position absolue, tels que les termes "avant", "arrière", "haut", "bas", "gauche", "droite", etc., ou relative, tels que les termes "dessus", "dessous", "supérieur", "inférieur", etc., ou à des qualificatifs d'orientation, tels que les termes "horizontal", "vertical", etc., il est fait référence sauf précision contraire à l'orientation des figures ou à une sonde dans une position normale d'utilisation.
- [0048] Sauf précision contraire, les expressions "environ", "approximativement", "sensiblement", et "de l'ordre de" signifient à 10 % près, de préférence à 5 % près.
- [0049] Les figures 1A, 1B et 1C représentent trois vues d'une sonde 10 selon un mode de réalisation : une vue de dessus (plan principal), une coupe BB selon un plan perpendiculaire au plan principal XY et une vue en 3D.
- [0050] La sonde 10 de champ électromagnétique représentée comprenant :

- un plan de masse 12 ;
 - un toit capacitif 13 agencé à distance du plan de masse 12 ;
- le plan de masse 12 et le toit capacitif 13 étant séparés par un matériau diélectrique 14 ;
- trois vias électriquement conducteurs 110, 111, 112 traversant le matériau diélectrique 14, les trois vias étant :
 - un via d'excitation 110 relié électriquement au toit capacitif 13 et apte à être relié à une source d'alimentation électrique ;
 - un premier via de retour de masse 111 ; et
 - un deuxième via de retour de masse 112,
- les vias de retour de masse étant aptes à relier électriquement le plan de masse 12 et le toit capacitif 13.

- [0051] Le via d'excitation 110 n'est pas relié électriquement au plan de masse 12.
- [0052] Par raccourci, les vias de retour de masse peuvent être désignés par « via de masse ». Un via de retour de masse a pour fonction de former un court-circuit entre le plan de masse 12 et le toit capacitif 13.
- [0053] Le toit capacitif 13 est électriquement conducteur et adopte préférentiellement une forme plane (par exemple sous forme de plaque ou de dépôt métallique sur un substrat). Le plan de masse 12 est électriquement conducteur et adopte préférentiellement une forme plane (par exemple sous forme de plaque ou de dépôt métallique sur un substrat). Le toit capacitif 13 est de préférence sensiblement parallèle au plan de masse 12.
- [0054] La sonde s'étend selon un plan principal XY. Le toit capacitif 13 étant parallèle au plan de masse 12, on considère que le toit capacitif, le plan de masse et donc la sonde s'étendent selon un même plan principal XY (d'épaisseur égale à la distance entre le plan de masse et le toit capacitif, auxquelles s'ajoutent les épaisseurs du plan de masse et du toit capacitif).
- [0055] Le plan de masse 12, le toit capacitif 13 et chaque via peuvent chacun être au moins partiellement, de manière non limitative, en métal, par exemple en cuivre, en aluminium ou en acier.
- [0056] Dans l'exemple représenté, la droite CC reliant le point de connexion 111A du premier via de masse 111 dans le plan du toit capacitif 13 et le point de connexion 110A du via d'excitation 110 dans le plan du toit capacitif 13 est sensiblement orthogonale à la droite DD reliant le point de connexion 112A du deuxième via de masse 112 dans le plan du toit capacitif 13 et le point de connexion 110A du via d'excitation 110 dans le plan du toit capacitif 13.
- [0057] En d'autres termes, le toit capacitif 13 représenté étant de forme carrée, le deuxième via de masse 112 est situé de manière symétrique au premier via de masse 111 par rapport à la diagonale AA (ou axe de symétrie AA) du toit capacitif 13 passant par le

point de connexion 110A du via d'excitation 110 dans le plan du toit capacitif.

- [0058] Cet agencement des trois vias d'excitation et de masse permet, lorsque le via d'excitation 110 est alimenté, de former deux boucles de courant 201, 202 cheminant dans le plan du toit capacitif et dans une direction sensiblement orthogonale au toit capacitif 13.
- [0059] Par raccourci, il pourra être décrit que chaque boucle de courant est sensiblement orthogonale au plan de masse, bien qu'elle chemine également dans le plan du toit capacitif. Par boucle sensiblement orthogonale au plan de masse, il est notamment entendu que la boucle d'alimentation s'étend selon un profil inclus, ou pouvant être projeté orthogonalement, dans un plan orthogonal au plan de masse. En d'autres termes, le profil d'une telle boucle peut cheminer, selon la longueur de la boucle, au sein d'un plan sensiblement orthogonal au plan de masse.
- [0060] Ainsi, chaque boucle de courant s'étend verticalement (selon la direction Z) et selon une direction du plan principal XY, les deux boucles de courant ayant des directions sensiblement orthogonales l'une par rapport à l'autre dans le plan principal XY. De ce fait, la première boucle de courant 201 est sensible au champ magnétique H1 dans la première direction X du plan principal XY, et la deuxième boucle de courant 202 est sensible au champ magnétique H2 dans la deuxième direction Y du plan principal XY, comme ceci est expliqué plus après. Il est précisé que la deuxième direction Y est orthogonale à la première direction X.
- [0061] En outre, le toit capacitif 13 comporte une fente 130 correspondant à une ouverture dans toute l'épaisseur du toit capacitif, et présentant deux parties 1301, 1302 sensiblement symétriques l'une de l'autre par rapport à l'axe de symétrie AA. Chaque partie présente une forme en spirale rectangulaire faisant un angle de 45° avec l'axe de symétrie AA. Cette forme en spirale permet d'obtenir une longueur de fente importante même lorsque les dimensions du toit capacitif sont réduites. L'augmentation de la longueur de la fente permet de diminuer la fréquence de travail de la sonde. Plus largement, la présence et le dimensionnement d'une fente dans le toit capacitif permet d'ajuster la fréquence de travail de la sonde. En particulier, la longueur de la fente a un impact sur la fréquence de résonance de la sonde.
- [0062] Cet exemple de forme de fente n'est pas limitatif et d'autres formes de fente sont possibles pour obtenir une longueur de fente donnée. Par exemple, la fente peut présenter d'autres formes rectilignes, d'autres formes en spirale ou des formes en méandres. La fente peut être divisée en plusieurs tronçons reliés les uns aux autres pour former une fente continue.
- [0063] La présence d'une fente permet en outre de réduire les dimensions électriques d'une sonde selon des modes de réalisation.
- [0064] La présence et le dimensionnement d'une fente permettent également d'ajuster à une

valeur donnée l'impédance d'entrée (et/ou l'impédance de sortie) d'une sonde selon différents modes de réalisation. Ce dimensionnement est réalisé en tenant compte de la propagation des courants sur le toit capacitif et en modifiant celle-ci de manière à obtenir une impédance d'entrée (et/ou impédance de sortie) recherchée. La fente peut être dimensionnée pour ajuster l'impédance d'entrée d'une sonde à une valeur donnée, par exemple 50 Ohms, qui est une impédance typique dans le domaine des transmissions d'informations sans fil.

[0065] Outre les paramètres liés à la présence d'une fente (qui n'est pas toujours nécessaire), une sonde selon différents modes de réalisation dispose de plusieurs paramètres de conception pour pouvoir agir sur tout ou partie de ses caractéristiques, notamment sur sa fréquence et sa longueur d'onde de travail, son impédance d'entrée, son impédance de sortie, et/ou son efficacité de rayonnement :

- les diamètres des vias : permettent principalement d'agir sur l'impédance de la sonde ;
- les distances entre les vias : permettent principalement d'agir sur l'impédance de la sonde ;
- les dimensions de la sonde / du toit capacitif : permettent principalement d'agir sur la fréquence de résonance de la sonde ;
- la hauteur de la sonde : permet principalement d'agir sur la bande passante de la sonde (facteur de qualité) ;
- le choix du matériau diélectrique : permet principalement d'agir sur la fréquence de résonance de la sonde.

[0066] En particulier, les diamètres des vias et les distances entre les vias peuvent permettre de régler l'impédance d'entrée de la sonde afin que celle-ci soit adaptée par exemple à celle d'un système de mesure (par exemple un capteur), et/ou à celle d'un système communiquant (par exemple une puce de radiofréquence RFIC).

[0067] Les dimensions du plan de masse sont supérieures ou égales, par exemple égales, à celles du toit capacitive.

[0068] Ainsi, il est possible d'adapter la sonde, notamment à toutes sortes de milieux, de contraintes et/ou d'applications, en agissant, en conception, sur tout ou partie des paramètres listés ci-dessus.

[0069] En particulier, le matériau diélectrique peut être :

- de l'air ;
- un substrat organique, par exemple un substrat Rogers 4003®, un substrat duroid 5880®, un substrat FR4;
- un substrat céramique, par exemple un substrat Rogers curamik®, ou un substrat à base de céramiques cocuites à basse température (LTCC pour « Low Temperature Cofired Ceramic » en anglais).

- [0070] Un substrat diélectrique peut être constitué d'une superposition de plusieurs couches de matériaux diélectriques, éventuellement avec des matériaux diélectriques différents, voire mixtes organique/céramique.
- [0071] Lorsque le matériau diélectrique est de l'air, les vias peuvent remplir une fonction de support mécanique du toit capacitif sur le plan de masse. Lorsque le matériau diélectrique est de l'air, des piliers en matériau isolant, par exemple en plastique ou en nylon, peuvent être ajoutés entre le plan de masse et le toit capacitif pour renforcer le maintien mécanique du toit capacitif sur le plan de masse. Ces piliers peuvent être placés sous le toit capacitif ou sur les bords dudit toit.
- [0072] Les vias de masse et d'excitation peuvent présenter des profils différents (circulaire, polygonal ...). Lorsque les vias sont du type circulaire, comme dans l'exemple représenté, leurs diamètres peuvent être de l'ordre de 1 mm ou comprises entre 100 μm et 5 mm.
- [0073] Les dimensions électriques de la sonde (ramenées à la longueur d'onde de travail de la sonde) dans le plan peuvent être comprises entre $1/20$ et $1/4$, voire comprises entre $1/20$ et $1/10$, ou encore comprises entre $1/20$ et $1/15$.
- [0074] La hauteur électrique de la sonde (ramenée à la longueur d'onde de travail de la sonde) peut être comprise entre $1/150$ et $1/30$, voire comprise entre $1/100$ et $1/30$, par exemple sensiblement égale à $1/100$.
- [0075] Ainsi, la sonde peut présenter des dimensions réduites. Elle peut notamment être intégrée dans différents types de milieu et/ou de systèmes de transmission.
- [0076] A titre d'exemple, la sonde 10 de la [Fig.2] peut être destinée à travailler à une fréquence de 433 MHz. Les dimensions de la sonde dans le plan principal XY, équivalentes dans cet exemple aux dimensions du toit capacitif, peuvent être de $40 \times 40 \text{ mm}^2$. La hauteur h_1 de la sonde peut être de 4 mm. Les diamètres des vias peuvent être de 1,5 mm pour le via d'excitation et 0,3 mm pour les vias de masse et la distance D_4 entre chaque via de masse et le via d'excitation peut être de 8 mm. La longueur de la fente peut être égale à 164,4 mm et la largeur égale à 1,65 mm. Cette longueur peut être obtenue en formant deux spirales rectangulaires à cinq segments, deux segments consécutifs étant reliés perpendiculairement entre eux comme illustré en [Fig.1A], chaque spirale comprenant : un premier segment de longueur L_1 égale à 21 mm, un deuxième segment de longueur L_2 égale à 13,15 mm, un troisième segment de longueur L_3 égale à 24,65 mm, un quatrième segment de longueur L_4 égale à 11,2 mm et un cinquième segment de longueur L_5 égale à 12,2 mm. La première spirale 1301 est distante d'une distance D_1 de la droite CC. La deuxième spirale est distante d'une même distance D_1 de la droite DD. Dans l'exemple, la distance D_1 est égale à 3 mm.
- [0077] La [Fig.2] représente le schéma de principe d'une sonde, en prenant comme exemple la sonde 10 des figures 1A à 1C, bien que le schéma de principe puisse s'appliquer à

une sonde selon un autre mode de réalisation. La sonde représentée sur le schéma de principe est une sonde des figures 1A à 1C vue en coupe CC selon un plan perpendiculaire au plan principal XY (le plan de coupe est visible sur la [Fig.1A]).

- [0078] Le via d'excitation 110, lorsqu'il est alimenté par une source d'alimentation 300, génère un premier courant 200 qui se concentre dans le premier via de masse 111, ce qui rend la sonde sensible aux champs électriques E verticaux. En outre, un deuxième courant est généré, qui forme une première boucle de courant 201 entre le via d'excitation 110, le toit capacitif 13 et le premier via de masse 111, ce qui rend la sonde sensible aux composantes de champ magnétique H1 selon la première direction X du plan principal XY de la sonde.
- [0079] Le schéma et les courants décrits ci-dessus sont équivalents pour le deuxième via de masse 112, une deuxième boucle de courant 202 étant formée entre le via d'excitation 110, le toit capacitif 13 et le deuxième via de masse 112, ce qui rend la sonde sensible aux composantes de champ magnétique H2 selon la deuxième direction Y du plan principal.
- [0080] Ainsi, la sonde peut se coupler de manière omnidirectionnelle au champ électromagnétique : au champ électrique E vertical (dans la direction Z) et au champ magnétique H dans le plan principal XY (en étant sensible aux composantes dans les deux directions perpendiculaires X, Y du plan).
- [0081] Ceci permet notamment d'améliorer la qualité de la transmission d'informations entre différents points d'un milieu, en particulier de rendre les transmissions plus uniformes au sein du milieu considéré, et ce, sans avoir à multiplier les sondes dans ledit milieu.
- [0082] La [Fig.3] représente une sonde 10' selon un autre mode de réalisation, selon une vue de dessus.
- [0083] La sonde représentée 10' se distingue de la sonde des figures 1A-1C par la forme de la fente 131, et par la réduction de sa longueur. Comme pour la sonde 10 des figures 1A-1C, la fente 131 présente deux parties 1311, 1312 sensiblement symétriques par rapport à l'axe de symétrie AA du toit capacitif 13, chaque partie faisant un angle de 45° avec ledit axe de symétrie, mais elle s'en distingue en ce que chacune des deux parties 1311, 1312 est agencée en trois segments reliés perpendiculairement entre eux, réduisant ainsi la longueur de la fente par rapport à une fente à cinq segments. La diminution de la longueur de la fente permet d'augmenter la fréquence de travail de la sonde.
- [0084] Les autres caractéristiques, les éléments de dimensionnements, et les alternatives décrits en lien avec les figures 1A-1C ainsi que le schéma de fonctionnement de la [Fig.2] peuvent s'appliquer à la sonde de la [Fig.3].
- [0085] A titre d'exemple, la sonde 10' de la [Fig.3] peut être destinée à fonctionner à une

fréquence de 900 MHz. Les dimensions de la sonde dans le plan principal XY, équivalentes dans cet exemple aux dimensions du toit capacitif, peuvent être de 30x30 mm². La hauteur de la sonde peut être de 4 mm. Les diamètres des vias peuvent être de 1,8 mm pour le via d'excitation et 0,8 mm pour les vias de masse et la distance entre chaque via de masse et le via d'excitation peut être de 5 mm. La longueur de la fente peut être de 65 mm et la largeur de 1 mm. La longueur peut être obtenue en formant deux spirales rectangulaires à trois segments chacune, deux segments consécutifs étant reliés perpendiculairement entre eux comme illustré en [Fig.3], chaque spirale comprenant : un premier segment de longueur L1 égale à 14,93 mm, un deuxième segment de longueur L2 égale à 8,95 mm et un troisième segment de longueur L3 égale à 8,7 mm. La première spirale 1311 est distante d'une distance D1 de la droite CC. La deuxième spirale 1312 est distante d'une même distance D1 de la droite DD. Dans l'exemple, la distance D1 est égale à 4,2 mm. En outre chaque deuxième segment est distant d'une distance D2 du bord du toit capacitif, par exemple égale à 4,2 mm et chaque troisième segment est distant d'une distance D3 du bord du toit capacitif, par exemple égale à 1,8 mm.

- [0086] La [Fig.4] représente une sonde 10'' selon un autre mode de réalisation en vue de dessus.
- [0087] La sonde représentée se distingue de la sonde des figures 1A-1C en ce qu'elle comprend un via de retour de masse 113 et des premier et deuxième vias d'excitation 114, 115 (au lieu d'un via d'excitation 110 et de deux vias de retour de masse 111, 112 pour la sonde 10 des figures 1A-1C).
- [0088] La description de la [Fig.2] s'applique à cet autre mode de réalisation, à ceci près que la première boucle de courant 201 est formée par le premier via d'excitation 114 et le via de masse 113 connectés avec le toit capacitif 13 et que la deuxième boucle de courant 202 est formée par formée par le deuxième via d'excitation 115 et le via de masse 113 connectés avec le toit 13.
- [0089] Cet autre mode de réalisation permet de discriminer les deux composantes orthogonales du champ magnétique dans le plan principal XY. En effet, la proportion du champ magnétique H1 orienté selon l'axe X se couple avec la première boucle de courant 201. Le champ magnétique orienté selon l'axe Y n'est pas ou est très faiblement couplé à la première boucle de courant 201. De manière complémentaire, la proportion du champ magnétique H2 orienté selon l'axe Y se couple avec la deuxième boucle de courant 202. Le champ magnétique orienté selon l'axe X n'est pas ou est très faiblement à la deuxième boucle de courant 202.
- [0090] Les premier et deuxième vias d'excitation 114, 115 ne sont pas reliés électriquement au plan de masse 12.
- [0091] En fonctionnement, les premier et deuxième vias d'excitation 114, 115 peuvent être

alimentés soit par une même source d'alimentation pouvant fournir deux courants (qui peuvent être déphasés l'un par rapport à l'autre), soit par deux sources d'alimentation indépendantes.

- [0092] Dans l'exemple représenté, la droite CC reliant le point de connexion 114A du premier via d'excitation 114 dans le plan du toit capacitif 13 et le point de connexion 113A du via de masse 113 dans le plan du toit capacitif 13 est sensiblement orthogonale à la droite DD reliant le point de connexion 115A du deuxième via d'excitation 115 dans le plan du toit capacitif 13 et le point de connexion 113A du via de masse 113 dans le plan du toit capacitif 13.
- [0093] En d'autres termes, le toit capacitif 13 représenté étant de forme carrée, le deuxième via d'excitation 115 est situé de manière symétrique au premier via d'excitation 114 par rapport à la diagonale (ou axe de symétrie) AA du toit capacitif 13 passant par le point de connexion 113A du via de masse 113 dans le plan du toit capacitif.
- [0094] Les autres caractéristiques, les éléments de dimensionnements et les alternatives décrits en lien avec les figures 1A-1C et 3 peuvent s'appliquer à la sonde de la [Fig.4].
- [0095] En ce qui concerne le schéma de fonctionnement de la [Fig.2], comme décrit plus avant, il reste fondamentalement le même. Une différence est que, puisqu'il y a deux vias d'excitation et un seul via de masse, lorsque les vias d'excitation 114, 115 sont alimentés par la (ou les) source(s) d'alimentation, une première boucle de courant 201 est formée entre le premier via d'excitation 114, le toit capacitif 13 et le via de masse 113, ce qui rend la sonde sensible au champ magnétique H1 selon la première direction X du plan principal XY de la sonde, et une deuxième boucle de courant 202 est formée entre le deuxième via d'excitation 115, le toit capacitif 13 et le via de masse 113, ce qui rend la sonde sensible au champ magnétique H2 selon la deuxième direction Y du plan principal.
- [0096] Selon d'autres modes de réalisation (non illustrés), la sonde peut comporter un quatrième via qui peut être :
- un via de retour de masse complémentaire : selon une variante se référant au mode des figures 1A-1B ou 2, un via de retour de masse complémentaire peut être sensiblement aligné avec le premier via de masse 111 et le via d'excitation 110 ou avec le deuxième via de masse 112 et le via d'excitation 110, et ce, soit du même côté que le premier ou deuxième via de masse par rapport à l'axe de symétrie AA, soit de l'autre côté ; selon une autre variante se référant au mode de la [Fig.3], un via de retour de masse complémentaire peut être sensiblement aligné avec le via de masse 113 et le premier via d'excitation 114 ou avec le via de masse 113 et le deuxième via d'excitation 115, et ce, soit du même côté que le premier ou deuxième via d'excitation par rapport à l'axe de symétrie AA, soit de l'autre côté ;
 - un via d'excitation complémentaire : selon une variante se référant au mode des

figures 1A-1B ou 2, un via d'excitation complémentaire peut être sensiblement aligné avec le premier via de masse 111 et le via d'excitation 110 ou avec le deuxième via de masse 112 et le via d'excitation 110, et ce, soit du même côté que le premier ou deuxième via de masse par rapport à l'axe de symétrie AA, soit de l'autre côté ; dans ce cas, l'ensemble des vias d'excitation d'une même boucle de courant 201 et 202 sont électriquement connectés ensemble.

- [0097] Un via de retour de masse complémentaire permet par exemple de contrôler principalement l'amplitude de la résonance de la sonde et un via d'excitation complémentaire permet par exemple de contrôler la partie imaginaire de l'impédance d'entrée de la sonde.
- [0098] Dans les sondes des figures 1A, 1B, 1C, 3 et 4, le toit capacitif présente de préférence une forme sensiblement carrée, mais les modes de réalisation ne sont bien entendu pas limités à ce type de forme. Le toit capacitif peut par exemple présenter une forme polygonale autre que carrée, une forme circulaire ou ovale, ou toute autre forme adaptée.
- [0099] Des exemples de procédés de fabrication d'une sonde selon un mode de réalisation sont présentés dans ce qui suit. On peut se référer aux figures 1A, 1B, 1C, 3 et 4 pour les références numériques.
- [0100] Selon un mode de réalisation, on dispose d'un substrat 14 en matériau diélectrique, par exemple un substrat de type FR4, puis :
- dans une première étape, on forme une couche métallique sur la surface inférieure 14B du substrat pour réaliser un plan de masse 12 selon des dimensions définies ;
 - dans une deuxième étape, on forme une couche métallique sur la surface supérieure 14A du substrat pour réaliser un toit capacitif 13 selon des dimensions définies ;
 - dans une troisième étape et dans certains cas, on forme dans l'épaisseur du toit capacitif 13 une fente 130, 131 selon une longueur et un motif définis ;
 - dans une quatrième étape, on forme dans le substrat diélectrique des vias de masse 111, 112 (ou un via de masse 113) reliant électriquement le plan de masse 12 et le toit capacitif 13 ainsi qu'un via d'excitation 110 (ou des vias d'excitation 114, 115) relié(s) électriquement au toit capacitif 13, mais isolé(s) électriquement du plan de masse 12 ;
 - dans certains cas, dans une cinquième étape (qui peut être avant ou après la quatrième étape), on forme une ouverture dans l'épaisseur du plan de masse 12 afin de faire passer le via d'excitation 110 (ou dans certains cas, plusieurs ouvertures pour faire passer plusieurs vias d'excitation 114, 115), et on isole électriquement chaque via d'excitation du plan de masse, par exemple en ajoutant un isolant électrique au niveau de chaque passage de via d'excitation au travers du plan de masse.
- [0101] La première étape peut comprendre une étape de métallisation du substrat en matériau diélectrique totalement sur sa surface inférieure pour former le plan de masse.
- [0102] La deuxième étape peut comprendre une étape de métallisation du substrat en

matériau diélectrique au moins partiellement sur sa surface supérieure pour former le toit capacitif.

- [0103] La troisième étape peut comprendre une étape d'usinage ou de gravure du toit capacitif pour former la fente.
- [0104] La quatrième étape peut comprendre une étape d'impression des vias dans le substrat, selon des techniques connues dans le domaine de la microélectronique.
- [0105] Selon un autre mode de réalisation, on peut disposer d'un substrat dans lequel les deux couches métalliques sont déjà formées. Les première et deuxième étapes ne sont alors plus nécessaires. Par exemple, on peut disposer de deux substrats simple face (une face métallisée sur une couche isolante), par exemple des substrats de type FR4. La face métallisée de chaque substrat peut être gravée, le cas échéant, pour former la fente dans le substrat formant le toit capacitif et/ou pour former la (ou les) ouverture(s) dans le substrat formant le plan de masse afin de faire passer le ou les via(s) d'excitation. Les deux substrats simple face sont ensuite assemblés par leurs couches isolantes revêtues préalablement chacune d'une couche de colle. La structure ainsi obtenue est ensuite percée et les trous sont métallisés afin de former les vias de masse et d'excitation.
- [0106] Selon un autre mode de réalisation, on ne dispose pas d'un substrat, le matériau diélectrique étant l'air. Les première et deuxième étapes sont alors supprimées et peuvent être remplacées par une étape de disposition d'une plaque métallique pour former un plan de masse selon des dimensions définies et une autre étape de disposition d'une autre plaque métallique pour former un toit capacitif selon des dimensions définies. En outre, selon ce mode de réalisation, dans la quatrième étape, les vias de masse et d'excitation ne sont pas formés dans le substrat. Le(s) via(s) de masse peu(ven)t être assemblé(s) (par exemple soudé(s) ou vissé(s)) au plan de masse et au toit capacitif, et le(s) via(s) d'excitation peu(ven)t être assemblé(s) (par exemple soudé(s) ou vissé(s)) au toit capacitif tout en étant électriquement isolé(s) du plan de masse. Afin de stabiliser la structure, des piliers en matériau isolant, par exemple en plastique ou en nylon, peuvent être ajoutés entre le plan de masse et le toit capacitif. Ces piliers peuvent être placés sous le toit capacitif ou sur les bords dudit toit.
- [0107] Les figures 5A à 5C illustrent les résultats de mesures, obtenus pour une sonde orientée selon deux orientations à 90° l'une par rapport à l'autre de manière à être équivalente à une sonde selon un mode de réalisation, comparés avec des résultats de mesures obtenus pour des sondes de l'état de la technique, et ce, au sein d'une cavité cylindrique métallique de diamètre 336 millimètres.
- [0108] Pour chaque graphique, l'abscisse représente la fréquence de travail de chaque sonde considérée. L'ordonnée représente la perte en transmission en dB entre une antenne d'émission placée en un point de la cavité et la sonde considérée en différents points de

la cavité. Dans les figures 5A à 5C, des courbes 501 et 502 représentent les niveaux minimaux et maximaux de transmission entre une antenne d'émission et la sonde selon un mode de réalisation, les courbes 501 représentant les niveaux minimaux et les courbes 502 représentant les niveaux maximaux. D'autres graphiques 503, 504 montrent des résultats obtenus avec des sondes de l'état de la technique positionnées selon deux orientations orthogonales l'une par rapport à l'autre.

[0109] La [Fig.5A] illustre les résultats de mesures obtenus pour des fréquences comprises entre 300 et 500 MHz. La [Fig.5B] illustre les résultats de mesures obtenus pour des fréquences comprises entre 600 et 1100 MHz. La [Fig.5C] illustre les résultats de mesures obtenus pour des fréquences comprises entre 1800 et 2600 MHz.

[0110] Plus la fréquence augmente, plus des modes d'ordres supérieurs apparaissent et moins les champs électrique et magnétique deviennent homogènes dans la cavité, ce qui se traduit par davantage de chutes (nuls) de transmission dans les graphiques 503, 504 des sondes de l'état de la technique.

[0111] En revanche, les courbes 501, 502 montrent que la sonde selon un mode de réalisation permet de compenser ces pertes en transmission, même pour des fréquences très élevées. Les zones entourées en pointillés correspondent à des exemples de zones dans lesquelles la sonde améliore très nettement la transmission par rapport aux sondes de l'état de la technique.

[0112] Les figures 6A, 6B et 6C illustrent trois exemples d'utilisation d'une sonde selon un mode de réalisation.

[0113] Dans le premier exemple illustré en [Fig.6A], un composant 20 (par exemple un capteur ou une puce RFIC) est couplé avec une sonde 10 selon un mode de réalisation, l'ensemble sonde-composant étant dans une cavité 40. Par ailleurs, une antenne 30 est adaptée à émettre des ondes électromagnétiques 50 dans la cavité 40 afin de communiquer avec le composant couplé à la sonde. Des modes s'établissent dans la cavité, le champ électromagnétique est capté par la sonde, qui peut rétro-diffuser les informations du composant à l'antenne 30. Dans cet exemple, le composant est disposé sous la sonde, en contact avec celle-ci.

[0114] Dans le deuxième exemple illustré en [Fig.6B], un composant 20 est relié par un connecteur à une sonde 10 selon un mode de réalisation, seule la sonde est dans une cavité 40. Par ailleurs une antenne 30 est adaptée à émettre des ondes électromagnétiques 50 dans la cavité 40, et est également reliée par un connecteur au composant 20. Des modes s'établissent dans la cavité, le champ électromagnétique généré par l'antenne 30 (respectivement la sonde 10) est capté par la sonde 10 (respectivement l'antenne 30) afin d'effectuer par exemple des mesures en transmission.

[0115] Dans le troisième exemple illustré en [Fig.6C], un composant 20 est relié par un connecteur à une sonde 10 selon un mode de réalisation, seule la sonde est dans une

cavité 40. Par ailleurs, une antenne 30 est adaptée à émettre des ondes électromagnétiques 50 dans la cavité 40. Un objectif de cette configuration est par exemple de mesurer le champ émis par l'antenne 30 afin de cartographier la valeur des composantes du champ électromagnétique pour toute position de la sonde 10 dans la cavité.

[0116] Dans chacun des exemples d'utilisation décrits, il est possible d'utiliser plusieurs sondes dans la cavité. En outre, la cavité illustrée peut être fermée ou partiellement fermée.

[0117] Parmi les applications possibles d'une sonde de champ magnétique selon les différents modes de réalisation, on peut citer :

- la métrologie: par exemple des mesures en champ proche ;
- la communication : par exemple la transmission d'informations sans fil dans des cavités de grandes dimensions ;
- les hyperfréquences : par exemple pour l'excitation de champs électromagnétiques dans des guides d'ondes sur des modes supérieurs.

[0118] Divers modes de réalisation et variantes ont été décrits. La personne du métier comprendra que certaines caractéristiques de ces divers modes de réalisation et variantes pourraient être combinées, et d'autres variantes apparaîtront à la personne du métier. En particulier, le plan de masse et le toit capacitif sont représentés comme étant de même surface. Alternativement, le plan de masse peut avoir une plus grande surface que le toit capacitif, voire le toit capacitif peut avoir une plus grande surface que le plan de masse. En outre, le toit capacitif ne comprend pas nécessairement de fente.

[0119] Enfin, la mise en oeuvre pratique des modes de réalisation et variantes décrits est à la portée de la personne du métier à partir des indications fonctionnelles données ci-dessus.

Revendications

[Revendication 1]

Sonde (10, 10', 10'') de champ électromagnétique s'étendant selon un plan principal (XY) et comprenant :

- un plan de masse (12) conducteur électrique ;
- un toit capacitif (13) conducteur électrique, agencé à distance du plan de masse (12) ;

le plan de masse et le toit capacitif étant séparés, au moins sur une partie de leur interface, par un matériau diélectrique (14) ;

- au moins trois vias (110, 111, 112, 113, 114, 115) conducteurs électriques s'étendant au travers du matériau diélectrique (14), chacun desdits au moins trois vias étant soit un via d'excitation (110, 114, 115) relié électriquement au toit capacitif (13), isolé électriquement du plan de masse (12) et destiné à être relié à une source d'alimentation électrique, soit un via de retour de masse (111, 112, 113) reliant électriquement le plan de masse (12) et le toit capacitif (13), les au moins trois vias comprenant au moins un via d'excitation et au moins un via de retour de masse ;

les au moins trois vias étant agencés de manière à former, lorsque le au moins un via d'excitation est alimenté, une première boucle de courant (201) et une deuxième boucle de courant (202), chaque boucle de courant s'étendant dans le plan du toit capacitif (13) et dans une direction sensiblement orthogonale audit toit capacitif à travers au moins un desdits au moins trois vias, de sorte à être sensible à un champ magnétique (H1, H2) sensiblement parallèle au plan du toit capacitif (13), les première et deuxième boucles de courant ayant des directions sensiblement orthogonales l'une par rapport à l'autre dans le plan du toit capacitif (13) ;

la hauteur de la sonde étant inférieure à un trentième de la longueur d'onde d'utilisation de ladite sonde.

[Revendication 2]

Sonde (10, 10') selon la revendication 1, les au moins trois vias électriquement conducteurs comprenant un via d'excitation (110), un premier via de retour de masse (111) et un deuxième via de retour de masse (112), la première boucle de courant (201) cheminant entre le via d'excitation (110), le toit capacitif (13) et le premier via de retour de masse (111), la deuxième boucle de courant (202) cheminant entre le via d'excitation (110), le toit capacitif (13) et le deuxième via de retour de masse (112).

- [Revendication 3] Sonde (10, 10') selon la revendication 2, la droite (CC) reliant un point de connexion (111A) du premier via de retour de masse (111) dans le plan du toit capacitif (13) et un point de connexion (110A) du via d'excitation (110) dans le plan du toit capacitif (13) étant sensiblement orthogonale à la droite (DD) reliant un point de connexion (112A) du deuxième via de retour de masse (112) dans le plan du toit capacitif (13) et un point de connexion (110A) du via d'excitation (110) dans le plan du toit capacitif (13).
- [Revendication 4] Sonde (10'') selon la revendication 1, les au moins trois vias électriquement conducteurs comprenant un via de retour de masse (113), un premier via d'excitation (114) et un deuxième via d'excitation (115), la première boucle de courant cheminant entre le premier via d'excitation (114), le toit capacitif (13) et le via de retour de masse (113), la deuxième boucle de courant cheminant entre le deuxième via d'excitation (115), le toit capacitif (13) et le via de retour de masse (113).
- [Revendication 5] Sonde (10'') selon la revendication 4, la droite (CC) reliant un point de connexion (114A) du premier via d'excitation (114) dans le plan du toit capacitif (13) et un point de connexion (113A) du via de retour de masse (113) dans le plan du toit capacitif (13) étant sensiblement orthogonale à la droite (DD) reliant un point de connexion (115A) du deuxième via d'excitation (115) dans le plan du toit capacitif (13) et un point de connexion (113A) du via de retour de masse (113) dans le plan du toit capacitif (13).
- [Revendication 6] Sonde (10, 10', 10'') selon l'une des revendications 1 à 5, comprenant une fente (130, 131) constituée par une ouverture traversant toute l'épaisseur du toit capacitif (13).
- [Revendication 7] Sonde (10, 10') selon la revendication 6 en combinaison avec la revendication 3, la fente (130, 131) présentant une symétrie axiale par rapport à une droite (AA) passant par le point de connexion (110A) du via d'excitation (110) dans le plan du toit capacitif (13) et passant sensiblement à égale distance du point de connexion (111A) du premier via de retour de masse (111) dans le plan du toit capacitif (13) et du point de connexion (112A) du deuxième via de retour de masse (112) dans le plan du toit capacitif (13).
- [Revendication 8] Sonde (10'') selon la revendication 6 en combinaison avec la revendication 5, la fente (130) présentant une symétrie axiale par rapport à une droite (AA) passant par le point de connexion (113A) du via de

retour de masse (113) dans le plan du toit capacitif (13) et passant sensiblement à égale distance du point de connexion (114A) du premier via d'excitation (114) dans le plan du toit capacitif (13) et du point de connexion (115A) du deuxième via d'excitation (115) dans le plan du toit capacitif (13).

- [Revendication 9] Sonde selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre au moins un via complémentaire conducteur électrique, le au moins un via complémentaire étant un via de retour de masse complémentaire ou un via d'excitation complémentaire.
- [Revendication 10] Sonde selon l'une des revendications 1 à 9, le matériau diélectrique étant de l'air.
- [Revendication 11] Sonde selon l'une des revendications 1 à 9, le matériau diélectrique étant un substrat, par exemple un substrat organique ou un substrat céramique.
- [Revendication 12] Sonde selon l'une des revendications précédentes, les dimensions de ladite sonde dans le plan principal (XY) étant inférieures à un quart de la longueur d'onde d'utilisation de ladite sonde, par exemple comprises entre un vingtième et un quart de la longueur d'onde d'utilisation de ladite sonde, voire comprises entre un vingtième et un dixième de la longueur d'onde d'utilisation de ladite sonde, ou entre un vingtième et un quinzième de la longueur d'onde d'utilisation de ladite sonde.
- [Revendication 13] Sonde selon l'une des revendications précédentes, la hauteur de ladite sonde étant comprise entre un centième et un trentième de la longueur d'onde d'utilisation de ladite sonde, voire comprise entre un cent cinquième et un trentième de la longueur d'onde d'utilisation de ladite sonde.
- [Revendication 14] Sonde (10, 10', 10'') selon l'une des revendications précédentes, le plan de masse (13) étant parallèle au toit capacitif (12).
- [Revendication 15] Procédé de fabrication d'une sonde (10, 10', 10'') de champ électromagnétique comprenant :
- une étape de fourniture d'un plan de masse (12) conducteur électrique ;
 - un étape de fourniture d'un toit capacitif (13) conducteur électrique ;
 - une étape d'agencement du toit capacitif (13) à distance du plan de masse (12) de sorte que la hauteur de la sonde soit inférieure à un trentième de la longueur d'onde d'utilisation de ladite sonde ;
 - une étape de liaison d'au moins un via d'excitation (110, 114, 115) au toit capacitif (13), ledit au moins un via d'excitation étant isolé électriquement du plan de masse (12) ;

- une étape de liaison d'au moins un via de retour de masse (111, 112, 113) au plan de masse (12) et au toit capacitif (13) ;

le nombre de vias d'excitation et de retour de masse étant au moins égal à trois ;

lesdits vias d'excitation et de retour de masse étant agencés de manière à former, lorsqu'un via d'excitation est alimenté, une première boucle de courant (201) et une deuxième boucle de courant (202), chaque boucle de courant s'étendant dans le plan du toit capacitif (13) et dans une direction sensiblement orthogonale audit toit capacitif, de sorte à être sensible à un champ magnétique (H1, H2) sensiblement parallèle au plan du toit capacitif (13), les première et deuxième boucles de courant ayant des directions sensiblement orthogonales l'une par rapport à l'autre dans le plan du toit capacitif (13).

[Fig. 1C]

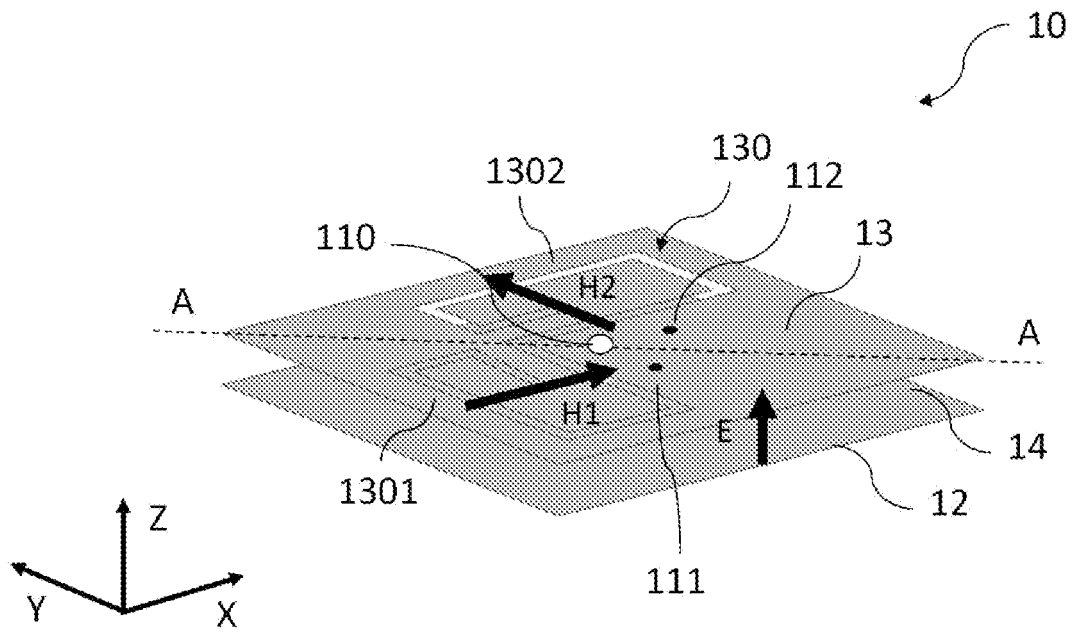


Figure 1C

[Fig. 2]

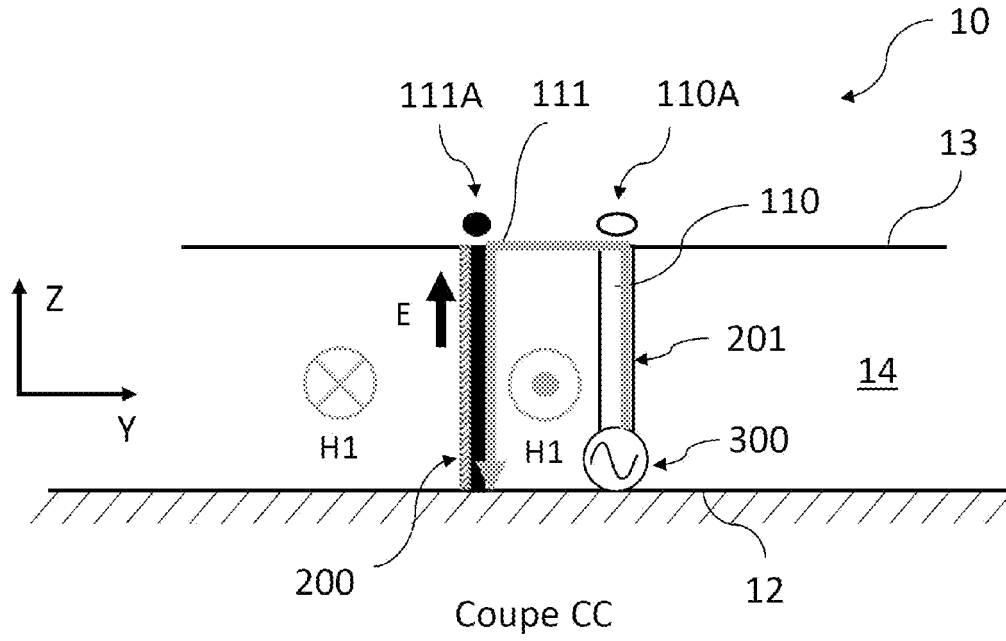


Figure 2

[Fig. 3]

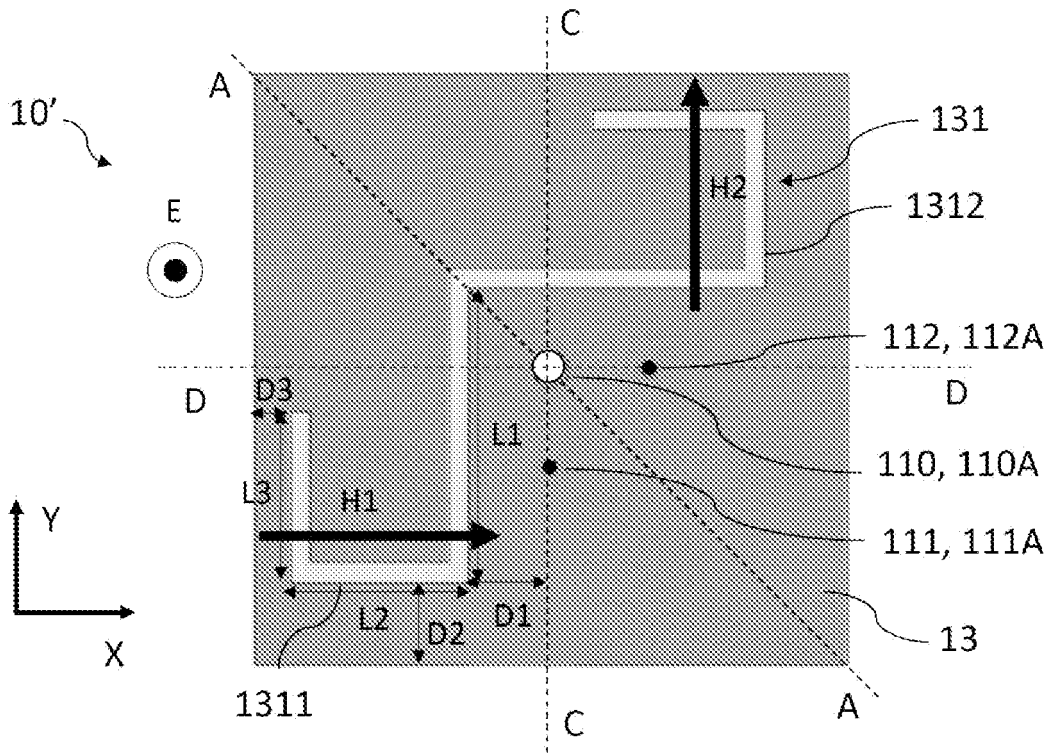


Figure 3

[Fig. 4]

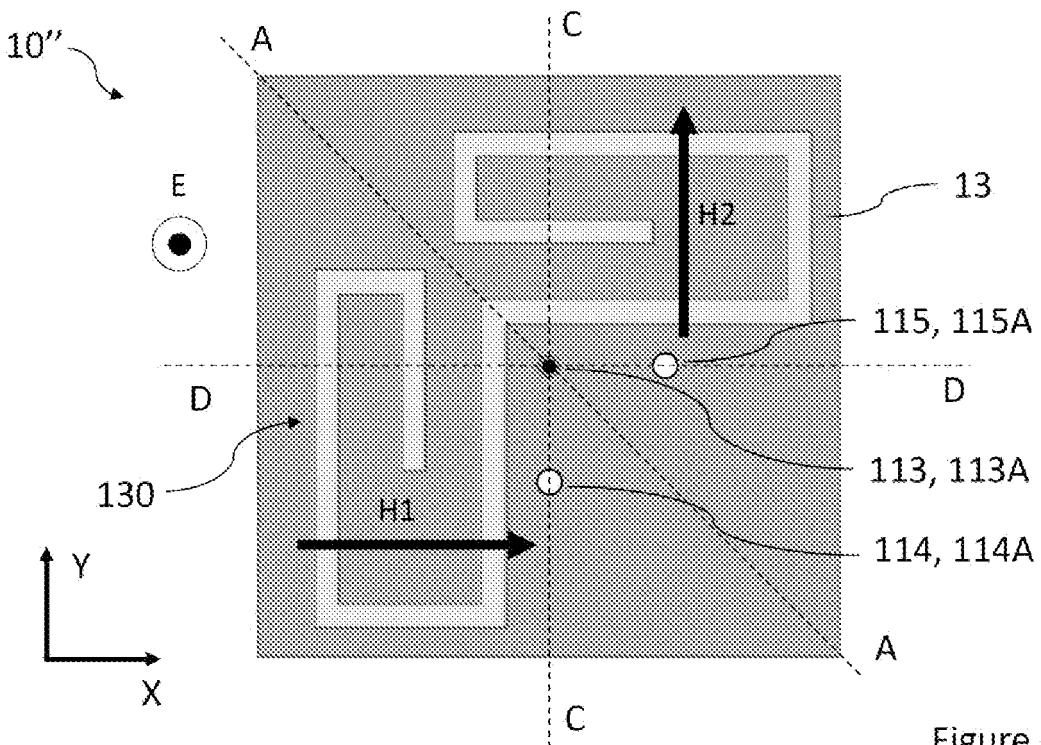


Figure 4

[Fig. 5A]

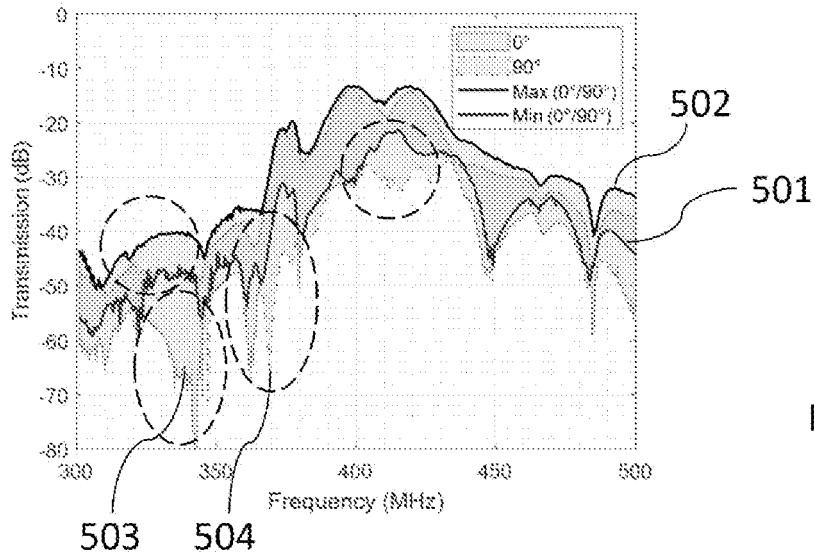


Figure 5A

[Fig. 5B]

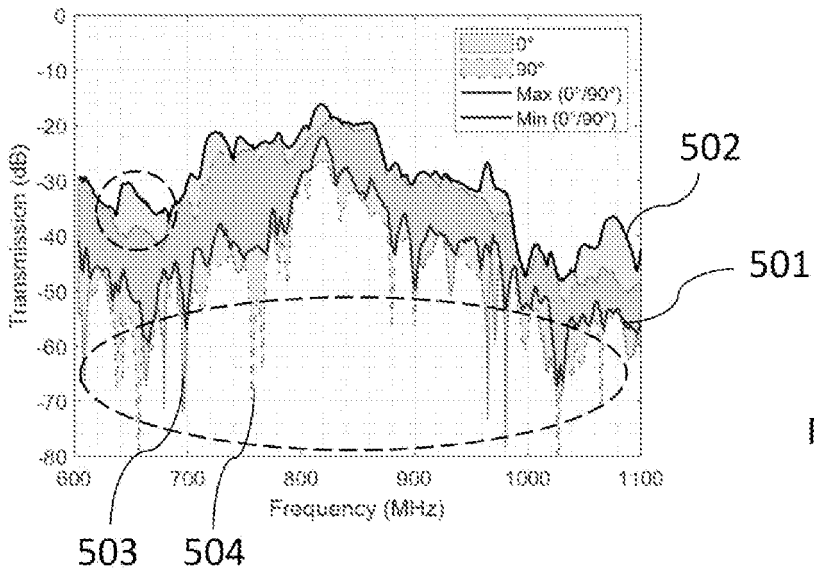


Figure 5B

[Fig. 5C]

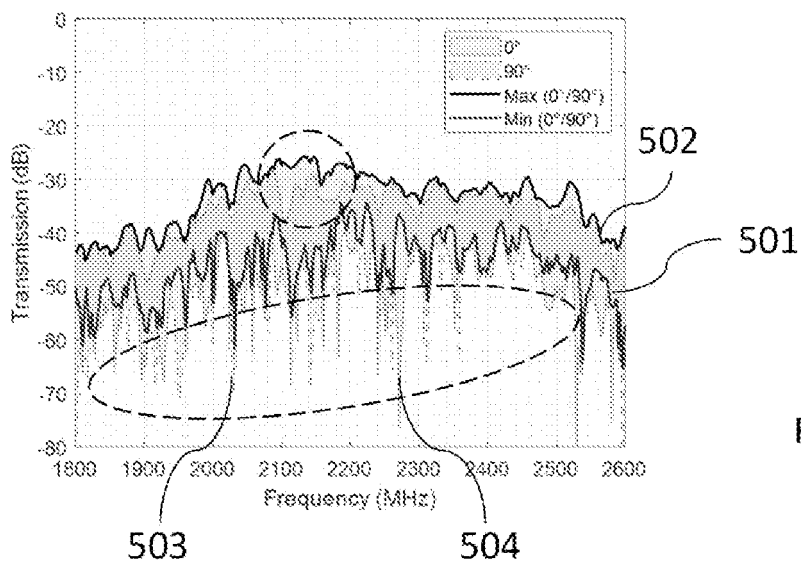


Figure 5C

[Fig. 6A]

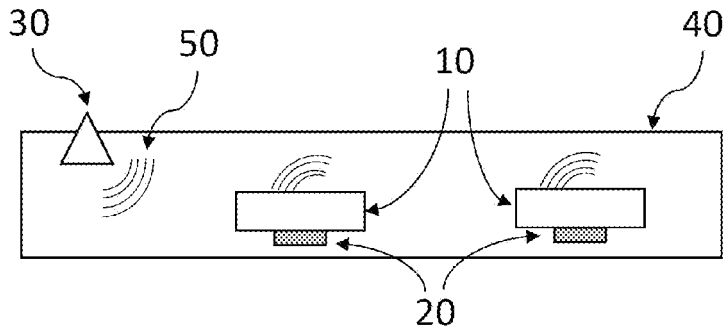


Figure 6A

[Fig. 6B]

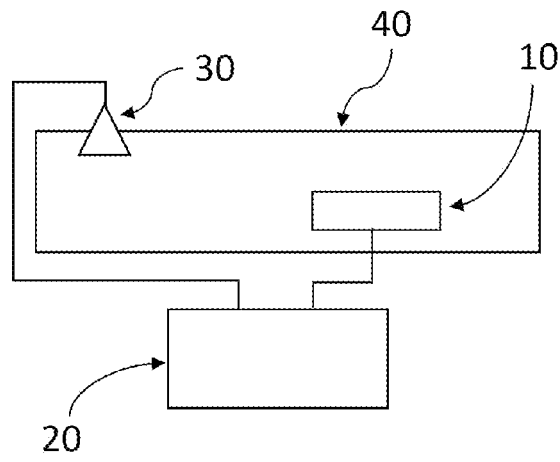


Figure 6B

[Fig. 6C]

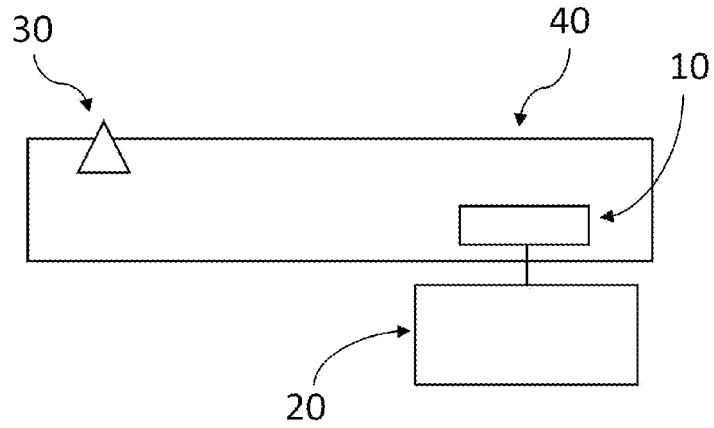


Figure 6C

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

EP 3 671 953 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 24 juin 2020 (2020-06-24)

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, [extrait le 2019-06-18]

S-L S YANG ET AL: "The design of microstrip patch antenna with four polarizations", RADIO AND WIRELESS SYMPOSIUM, 2008 IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 22 janvier 2008 (2008-01-22), pages 467-470, XP031237200, ISBN: 978-1-4244-1462-8

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

US 2020/328516 A1 (KAKUYA YUUJI [JP] ET AL) 15 octobre 2020 (2020-10-15)

US 2019/044234 A1 (ISOM ROBERT S [US]) 7 février 2019 (2019-02-07)

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT