



DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
31.08.2016 Bulletin 2016/35

(51) Int Cl.:
H01P 5/12 (2006.01) H01P 5/19 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16162683.3**

(22) Date de dépôt: **22.07.2009**

(84) Etats contractants désignés:
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 SE SI SK SM TR

(30) Priorité: **04.09.2008 FR 0855942**

(62) Numéro(s) de document de la (des) demande(s) initiale(s) en application de l'article 76 CBE:
09740360.4 / 2 327 120

(71) Demandeur: **Centre National d'Etudes Spatiales 75039 Paris Cedex 01 (FR)**

(72) Inventeurs:
• **PUECH, Jérôme**
31520 RAMONVILLE SAINT AGNE (FR)
• **LAPIERRE, Luc**
31500 TOULOUSE (FR)
• **HOUBLOSS, Omar**
29200 BREST (FR)

• **BOICHON, Christelle**
38460 CHOZEAU (FR)
• **AUBOURG, Michel**
33000 BORDEAUX (FR)
• **MASMOUDI, Mohamed**
31400 TOULOUSE (FR)
• **BILA, Stéphane**
87430 VERNEUIL SUR VIENNE (FR)

(74) Mandataire: **Novagraaf Technologies**
Bâtiment O2
2, rue Sarah Bernhardt
CS90017
92665 Asnières-sur-Seine Cedex (FR)

Remarques:

Cette demande a été déposée le 29-03-2016 comme demande divisionnaire de la demande mentionnée sous le code INID 62.

(54) **DIVISEUR / COMBINEUR DE PUISSANCE**

(57) L'invention concerne un Diviseur / combineur de puissance ayant un fort coefficient de transmission sur une bande de fréquence étendue.

L'invention concerne également un procédé comprenant les étapes suivantes, consistant à:

E1 : définir un volume topologique initial et une position de M entrées et N sorties sur un contour du dit volume, le volume topologique initial étant défini par une forme initiale et sa caractéristique électrique, isolant ou conducteur,

E2 : Initialiser le procédé :

E24 : mailler le volume topologique initial pour décomposer le volume topologique initial en un ensemble de volumes élémentaires

E25 : définir un critère de coût à optimiser, le critère de coût définissant au moins une caractéristique intrinsèque souhaitée pour le Diviseur / combineur,

E3 : produire un volume topologique final formant un corps d'un diviseur / combineur en optimisant le critère de coût par une méthode de gradient topologique.

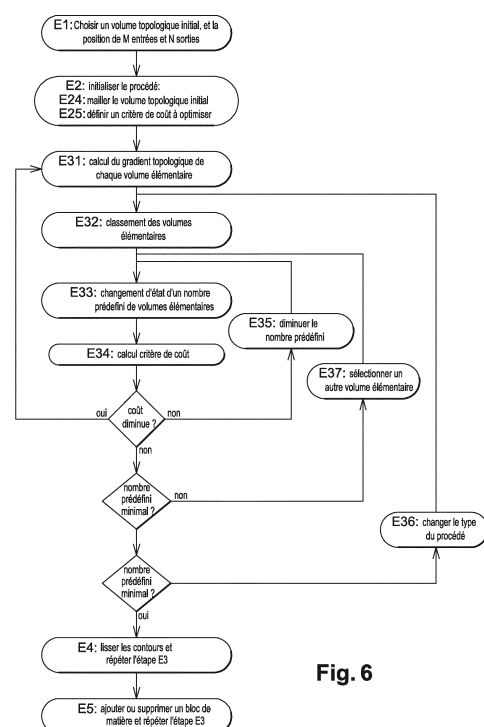


Fig. 6

Description

[0001] L'invention concerne un procédé d'obtention d'un diviseur / combineur de puissance à partir d'une forme topologique quelconque.

[0002] Ces circuits sont réversibles. Un combineur à deux voies d'entrée et une voie de sortie est ainsi identique à un diviseur à une voie d'entrée et deux voies de sortie, les entrées / sorties sont simplement échangées. Aussi, pour simplifier, on parlera souvent par la suite de diviseurs uniquement.

[0003] La technologie planaire est la plus simple pour la réalisation de diviseurs et de combineurs de puissance comprenant un grand nombre d'entrées et / ou de sorties.

[0004] Un composant de base pour la réalisation de tels combineurs ou diviseurs est le diviseur planaire 1 voie d'entrée / 2 voies de sortie de type Wilkinson. Un tel diviseur représenté sur la figure 1a comprend deux lignes quart d'onde et une résistance d'isolation. Les premières extrémités de chaque ligne sont reliées ensemble pour former l'entrée du diviseur, les deuxièmes extrémités des deux lignes forment les deux sorties du diviseur, et la résistance est connectée entre les deux sorties pour les isoler l'une de l'autre.

[0005] En associant plusieurs diviseurs élémentaires planaires selon une structure arborescente (figure 1b) à N étages associant des diviseurs 1 entrée / deux sorties par l'intermédiaire de lignes de transmission, on obtient un diviseur planaire à une entrée et 2^N sorties.

[0006] La longueur des lignes de transmission augmente fortement avec le nombre de diviseurs élémentaires à associer. Aussi, cette technologie ne peut pas être utilisée si le nombre de d'entrées ou de sorties devient important, car la puissance apportée par un étage supplémentaire devient inférieure aux pertes dans les lignes de transmission.

[0007] Un autre inconvénient des diviseurs élémentaires de type Wilkinson, et plus encore d'une combinaison de plusieurs diviseurs élémentaires est la surface des circuits, qui d'une part est non négligeable et d'autre part ne peut pas être variée. En effet, la longueur des lignes quart d'onde est fixée en fonction de leur fréquence d'utilisation.

[0008] Un autre inconvénient encore des diviseurs de type Wilkinson est la faiblesse de leur bande passante due à l'utilisation de lignes quart d'onde. Une solution pour élargir la bande passante consiste à ajouter des lignes quart d'onde sur les entrées / sorties du diviseur, mais cette solution augmente la taille du diviseur et ses pertes d'insertion.

[0009] Des diviseurs à N sorties de type Wilkinson, sont également connus, avec $N > 2$, mais ils ne peuvent pas être réalisés en technologie planaire.

[0010] Des diviseurs autres que les diviseurs de Wilkinson existent, mais tous sont réalisés à partir de lignes de transmission, et ont les mêmes limites que les diviseurs de Wilkinson, notamment en termes de pertes d'insertion, de bande passante et de taille.

[0011] L'objet de l'invention est de proposer des diviseurs / combineurs de puissance ne présentant pas les inconvénients des diviseurs / combineurs connus, ainsi qu'un procédé d'obtention d'un tel diviseur / combineur.

[0012] Ainsi, l'invention propose un diviseur / combineur de puissance comprenant M entrées et N sorties, M et N étant des nombres entiers dont l'un est supérieur à un et dont l'autre est supérieur à deux..

[0013] Le diviseur selon l'invention est caractérisé en ce qu'il comprend un corps de forme connexe réalisé dans un matériau métallique. Un contour du corps comprend une première zone et une deuxième zone, les entrées étant reliées à l'une des zones et les sorties étant reliées à l'autre des zones. Le corps comprend une première région située approximativement entre la première zone du contour et un plan milieu situé approximativement à mi-chemin de la première zone et de la deuxième zone, et une deuxième région située approximativement entre la deuxième zone du contour et le plan milieu. Le corps comprend également un évidement localisé dans la première région de sorte que chaque sortie soit reliée à au moins une entrée par deux chemins topologiques différents.

[0014] La forme du corps peut être plane avec un contour linéaire. La forme du corps peut également être volumique avec un contour surfacique. Les entrées sont réparties sur la première zone du contour et les sorties sont réparties sur la deuxième zone du contour, ou bien l'inverse.

[0015] Contrairement aux diviseurs de type Wilkinson, la forme et les dimensions du corps ne sont pas limités à une ligne quart d'onde ou un assemblage de lignes quart d'onde, comme on le verra mieux plus loin dans des exemples, de sorte que les dimensions d'un diviseur selon l'invention sont facilement adaptables à l'espace dans lequel le diviseur doit être inséré pour l'application envisagée.

[0016] Par ailleurs, comme on le verra mieux dans des exemples, les caractéristiques électriques des diviseurs selon l'invention sont particulièrement intéressantes, notamment en ce qui concerne les coefficients de transmission (en amplitude et en phase) entre une entrée et une sortie, les coefficients de réflexion (en amplitude et en phase) au niveau d'une entrée ou une sortie, et la bande passante.

[0017] Le corps du diviseur peut comprendre un axe de symétrie s'étendant sensiblement entre un point de symétrie de la première zone du contour et un point de symétrie de la deuxième zone du contour. La présence d'un axe de symétrie facilite le dimensionnement et la réalisation du diviseur. Si la forme du corps du diviseur est volumique, alors le corps peut comprendre un axe ou un plan de symétrie.

[0018] Le corps du diviseur peut comprendre également une fente s'étendant sensiblement entre l'évidement et la

deuxième zone du contour.

[0019] Une telle fente peut s'avérer être particulièrement intéressante pour placer soit une résistance soit une couche résistive entre les deux zones métallisées, afin, dans les deux cas, d'améliorer l'isolation entre les 2 voies de sorties. Une telle fente peut également être utilisée pour écarter les deux branches formées pour associer d'autres diviseurs et

[0020] Si le corps présente un axe de symétrie, la fente peut s'étendre selon l'axe de symétrie (ou le plan de symétrie s'il y en a un). On remarque dans la pratique que, selon l'axe de symétrie, les courants linéiques sont assez faibles voire nuls de sorte qu'il est facile de découper une fente dans le corps du diviseur.

[0021] Une fente partage la deuxième zone du contour en une première partie et une deuxième partie. Comme évoqué précédemment, on peut prévoir une résistance électrique (un fil, un tronçon de ligne, etc.) reliée entre la première partie et la deuxième partie de la deuxième zone du contour. La dite résistance sert principalement de dissipateur thermique, comme on le verra mieux dans des exemples.

[0022] Le corps peut également comprendre un ou plusieurs évidements localisés dans la deuxième région sensiblement selon un ou plusieurs plans parallèles au plan milieu.

[0023] Le corps peut encore comprendre au moins un stub au voisinage d'au moins une entrée ou d'au moins une sortie, pour adapter l'impédance de l'entrée ou de la sortie concernée.

[0024] L'invention propose également un procédé permettant d'obtenir un diviseur / combineur tel que décrit ci-dessus. Le procédé selon l'invention comprend les étapes suivantes, consistant à:

E1 : définir un volume topologique initial et une position de M entrées et N sorties sur un contour du dit volume, M et N étant des nombres entiers dont l'un est supérieur à un et dont l'autre est supérieur à deux, le volume topologique initial étant défini par une forme initiale et sa caractéristique électrique, isolant ou conducteur,

E2 : Initialiser le procédé :

E24 : mailler le volume topologique initial pour décomposer le volume topologique initial en un ensemble de volumes élémentaires ; par exemple, le volume topologique peut être décomposé en triangles élémentaires dans le cas de l'utilisation de la méthode des éléments finis;

E25 : définir un critère de coût à optimiser, le critère de coût définissant au moins une caractéristique électrique intrinsèque souhaitée pour le diviseur / combineur ; par exemple, le critère de coût peut être basé sur une combinaison linéaire des coefficients de réflexion à chaque entrée ou sortie du diviseur / combineur;

E26 : définir un type initial du procédé parmi le type métallisation et le type démétallisation, des éléments topologiques unitaires,

E3 : produire un volume topologique final formant un corps d'un diviseur / combineur en optimisant le critère de coût par une méthode de gradient topologique au cours de laquelle:

- si le procédé est de type métallisation, des volumes élémentaires de type isolant sont remplacés par des volumes élémentaires de type conducteur, ou
- si le procédé est de type démétallisation, des volumes élémentaires de type conducteur sont remplacés par des volumes élémentaires de type isolant.

[0025] Le procédé selon l'invention permet ainsi, à partir d'un volume topologique élémentaire quelconque, de développer des diviseurs / combineurs de puissance ayant les caractéristiques les plus appropriées à l'application envisagée: un nombre d'entrées et de sortie, une forme géométrique globale, une valeur maximale d'un coefficient de réflexion, une valeur minimale d'un coefficient de transmission, etc., sont des paramètres qui sont au choix de l'utilisateur, comme on le verra mieux par la suite.

[0026] Le procédé tel que décrit ci-dessus permet d'obtenir des diviseurs particulièrement performants selon les critères de son choix (coefficient de transmission maximisés et / ou coefficients de réflexion minimisés, etc.), à partir d'un volume topologique initial quelconque.

[0027] Le volume topologique initial peut notamment être choisi en fonction de la géométrie du circuit pour lequel il est destiné. Le procédé permet ainsi de développer de nouveaux coupleurs particulièrement bien adaptés à leur environnement.

[0028] Le volume topologique initial peut également être une forme quelconque dont on estime que les performances de transmission et / ou de réflexion sont très certainement intéressantes. Le procédé permet ainsi d'obtenir un diviseur / combineur de puissance performant.

[0029] Egalement, le procédé décrit peut permettre d'améliorer les performances de diviseurs / combineurs existants, tels que par exemple les diviseurs / combineurs de type Wilkinson, en choisissant par exemple comme volume topologique initial la forme des diviseurs / combineurs à améliorer, ou une forme approchée.

[0030] A noter que le volume topologique initial peut avoir une très faible épaisseur, voire peut être sensiblement plat. On parle dans ce cas de surface topologique initial plutôt que de volume topologique, mais la mise en oeuvre du procédé est la même.

[0031] L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques et avantages apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, d'exemples de mise en oeuvre d'un diviseur / combineur selon l'invention et d'un procédé susceptible d'être utilisé pour l'obtention d'un tel diviseur / combineur. La description est à lire en relation aux dessins annexés dans lesquels:

- les figures 1a et 1b sont des schémas de diviseur / combineurs de type Wilkinson connus,
- les figures 2a à 6a, sont des schémas de diviseurs/ combineurs selon l'invention,
- les figures 2b à 5b montrent l'évolution du coefficient de transmission des diviseurs des figures 2a à 5a,
- les figures 2c à 5c montrent l'évolution du coefficient de réflexion des diviseurs des figures 2a à 5a,
- la figure 6 montre un procédé d'obtention de combineurs selon l'invention,
- la figure 7 montre un exemple de volume initial pour un procédé selon l'invention.

[0032] Les combineurs /diviseurs des figures 1a, 1b sont de type Wilkinson, construits à base de lignes quart d'onde, c'est-à-dire de lignes dont la longueur est imposée en fonction de l'inverse de la fréquence d'utilisation.

[0033] Le diviseur de la figure 1a comprend $M = 1$ entrée E1 et $N = 2$ sorties S1, S2.

[0034] Le diviseur de la figure 1b comprend $M = 1$ entrée et $N = 4$ sorties. Il est réalisé par deux diviseurs 11, 12 à une entrée et deux sorties (15 et 16 pour l'un, 17 et 18 pour l'autre) associés ensemble par l'intermédiaire d'un troisième diviseur 13 à une entrée 14 et deux sorties.

[0035] Comme dit précédemment, un inconvénient de ce type de diviseur est la taille, imposée par l'utilisation de lignes quart d'onde, et qui limite nécessairement la multiplication du nombre d'entrées et / ou de sortie.

[0036] Un autre inconvénient de ce type de diviseur est la faible largeur de sa bande passante, c'est-à-dire la plage de fréquence sur laquelle le coefficient de réflexion au niveau d'une entrée ou au niveau d'une sortie du diviseur est inférieur à - 25 dB. Pour un circuit à une entrée et deux sorties tel que celui de la figure 1a, le coefficient de réflexion est inférieur ou égal à - 25 dB sur une bande de fréquence de largeur au plus 2.7 GHz.

[0037] Le circuit de la figure 2a est un diviseur 20 selon l'invention, comprenant une entrée 21 et deux sorties 22, 23. Il comprend un corps réalisé à partir d'une plaque métallique 24 (plaque de cuivre) de forme rectangulaire d'environ 4.1x1.7 cmxcm et d'épaisseur assez faible (de l'ordre de 0,1 à 1 mm), de sorte que le corps peut être considéré comme plan.

[0038] A titre de comparaison, un diviseur de type Wilkinson à une entrée et deux sorties tel que celui de la figure 1a et travaillant approximativement à la même fréquence centrale mesure approximativement 11.3x4.0 cmxcm (à titre indicatif, la largeur d'une ligne microstrip d'impédance 56.3 ohms à 2 GHz est de 1.82 mm).

[0039] L'entrée 21 est localisée dans une première zone du contour du corps, en l'espèce sur l'un des bords les plus courts de la plaque 24, et les sorties 22, 23 sont localisées dans une deuxième zone du contour du corps, en l'espèce sur l'autre des bords les plus courts de la plaque 24. Le plan milieu passant par un axe BB2 et perpendiculaire à la plaque 24 définit deux régions du corps: la première région est située entre le plan milieu et la première zone du contour (ie, sur la figure 2a, à droite de l'axe BB2, entre l'axe BB2 et l'entrée 21), et la deuxième région est située entre le plan milieu et la deuxième zone du contour (ie, sur la figure 2a, à gauche de l'axe BB2, entre l'axe BB2 et les sorties 22, 23). Le corps du diviseur comprend un premier évidement 25a situé dans la première région. L'entrée 21 est ainsi l'entrée 21 reliée à chaque sortie 22, 23 par au moins deux chemins topologiques différents.

[0040] Dans l'exemple de la figure 2a, le corps du diviseur comprend également trois évidements 25b, 25c, 25d situés dans la deuxième région (ie sur la figure 2a à gauche de l'axe BB2), sensiblement selon un plan parallèle au plan milieu, plus précisément dans l'exemple selon le plan passant par un axe CC2 et perpendiculaire à la plaque 24. Dans l'exemple de la figure 2a, le corps du diviseur comprend encore un évidement additionnel 25e situé sensiblement selon un autre plan parallèle au plan milieu.

[0041] Le circuit présente également un axe de symétrie AA2 passant sensiblement par l'entrée 21 et par un point de symétrie de la deuxième zone, en l'espèce un point à équidistance des sorties 22, 23.

[0042] Le coefficient de transmission du diviseur de la figure 2a est représenté sur la figure 2b. La courbe en pointillés représente le coefficient de transmission simulé à l'aide d'un logiciel approprié et d'une représentation mécanique et électrique du diviseur de la figure 2a. La courbe en trait plein représente le coefficient de transmission mesuré à partir d'un prototype de diviseur conforme à celui de la figure 2a. Le coefficient de transmission est de l'ordre de - 3.2 dB sur une plage de fréquence de l'ordre de 600 MHz autour de 2 GHz.

[0043] Le coefficient de réflexion au niveau de l'entrée du diviseur de la figure 2a est représenté sur la figure 2c (valeur simulée représentée en pointillés et valeur mesurée représentée en trait plein). Le coefficient de réflexion est de l'ordre de - 25 dB sur une plage de fréquence de l'ordre de 400 MHz autour d'une fréquence centrale de 2 GHz.

[0044] Le circuit de la figure 3a est un diviseur 30 selon l'invention, comprenant une entrée 31 et quatre sorties 32,

33, 34, 35. Il comprend un corps réalisé à partir d'une plaque métallique 36 (plaque de cuivre) de forme sensiblement carré d'environ 3.4x4.2 cmxcm, d'épaisseur assez faible. A titre de comparaison, un diviseur de type Wilkinson à une entrée et quatre sorties tel que celui de la figure 1b et travaillant approximativement à la même fréquence centrale mesure approximativement 22.5x12.0 cmxcm.

[0045] L'entrée 31 est localisée dans une première zone du contour du corps, en l'espèce sur un premier côté de la plaque, et les sorties 32, 33, 34, 35 sont localisées dans une deuxième zone du contour du corps, en l'espèce sur un deuxième côté la plaque 24 opposé au premier côté.

[0046] Le plan milieu du corps du diviseur est perpendiculaire à la plaque 36 et passe par un axe BB3 à équidistance du premier côté et du deuxième côté. La première région du corps s'étend entre le plan milieu et la première zone du contour du corps du diviseur (e.g. le premier côté de la plaque sur lequel est relié l'entrée 31) ; la deuxième région du corps s'étend entre le plan milieu et la deuxième zone du contour du corps du diviseur (e.g. le deuxième côté de la plaque sur lequel sont reliées les sorties 32, 33, 34, 35).

[0047] Dans la plaque 36 est percé un premier évidement 37a situé dans la première région du corps, entre la première zone et le plan milieu. L'évidement 37a mesure environ 2.2x1.0 cmxcm.

[0048] Sept autres évidements 36b, 36c, 36d, 36e, 36f, 36g, 36h, sont percés selon un plan sensiblement parallèle au plan milieu (le plan passant par un axe CC3). Deux des sept évidements (36b, 36h) débouchent sur un côté du corps. Les évidements 36b, 36h mesurent environ 0.3x0.1 cmxcm, les évidements 36c, 36g mesurent environ 0.3x0.2 cmxcm, les évidements 36d, 36f mesurent environ 0.2x0.1 cmxcm et l'évidement 36e : 1.0x0.1 cmxcm.

[0049] De même que dans le cas précédent, dans l'exemple de la figure 3a, du fait de la présence d'au moins un évidement, l'entrée 31 est reliée à chaque sortie 32, 33, 34 ou 35 par au moins deux chemins topologiques différents. Le circuit 30 présente également un axe de symétrie AA3 passant sensiblement par l'entrée 21 et par un point de symétrie de la deuxième zone du contour du corps, en l'espèce à équidistance des sorties 33, 34, et également à équidistance des sorties 32, 35.

[0050] Sur la figure 3b, le coefficient de transmission entre l'entrée 31 et la sortie 33 est représenté en pointillés sur la figure 3b, et le coefficient de transmission entre l'entrée et la sortie 34 est représenté en trait plein. On peut remarquer la quasi-symétrie électrique entre les sorties (coefficients de transmission quasi-identiques). De plus, les coefficients de transmission sont de l'ordre de -6.5 à -7.5 dB sur une plage de fréquence de l'ordre de 1 GHz autour de 2.25 GHz.

[0051] Le coefficient de réflexion au niveau de l'entrée 31 du diviseur de la figure 3a est représenté sur la figure 3c (valeur simulée représentée en pointillés et valeur mesurée représentée en trait plein). Il est inférieur à environ -8 dB sur une plage de fréquence de l'ordre de 1 GHz autour de 2.25 GHz.

[0052] Le diviseur de la figure 4a est un diviseur 40 selon l'invention, comprenant une entrée 41 et huit sorties 42a à 42h.

[0053] En pratique, le diviseur 40 est obtenu en associant deux diviseurs 43, 44 à une entrée et quatre sorties (obtenus par modification d'un diviseur selon la figure 3a) par l'intermédiaire d'un diviseur 45 à une entrée et deux sorties (obtenus par modification d'un diviseur selon la figure 2a) de la manière suivante.

[0054] Pour obtenir le diviseur 45, dans un diviseur selon la figure 2a, une fente est découpée selon l'axe de symétrie AA2. La fente part de la deuxième zone du contour, plus précisément d'un point de la deuxième zone situé environ à mi-chemin des deux sorties du diviseur le la figure 2a, et s'étend jusqu'à l'évidement 25a le plus proche de l'entrée 21, puis les deux sorties ont été écartées l'une de l'autre pour former deux branches 46, 47 du diviseur 45 de la figure 5a.

[0055] Pour obtenir les diviseurs 43, 44, dans un diviseur selon la figure 3a, une fente est découpée selon l'axe AA3. La fente part de la deuxième zone du contour, plus précisément d'un point de la deuxième zone situé environ à mi-chemin des deux sorties centrales 33, 34 et s'étend jusqu'à l'évidement 37a le plus proche de l'entrée 31.

[0056] Le diviseur 45 est ensuite associé aux diviseurs 43, 44 de sorte que:

- l'entrée du diviseur 45 forme l'entrée du diviseur 40,
- les sorties des diviseurs 43, 44 forment les huit sorties du diviseur 40,
- les entrées des diviseurs 43, 44 sont reliées aux sorties du diviseur 45.

[0057] Les branches 46, 47 forment la première zone du contour sur laquelle est reliée l'entrée 41 du diviseur ; les deuxièmes côtés des diviseurs 43, 44 sur lesquels sont reliés les sorties 42a à 42h forment ensemble la deuxième zone du diviseur 40. Le plan milieu du diviseur passe par un axe BB4 à équidistance de la première zone et de la deuxième zone. La première région du corps du diviseur est localisée entre l'entrée 41 et l'axe BB4, et la deuxième région du corps est localisée entre l'axe BB4 et les sorties 42a à 42h.

[0058] L'association des diviseurs 43, 44, 45 forme un évidement 48 délimité approximativement par les deux branches 46, 47 du diviseur 45, et une partie 43a, 44a des contours des diviseurs 44, 45 située au voisinage de l'entrée des dits diviseurs 44, 45.

[0059] Le diviseur 40 présente également une série d'évidements plus petits situés dans la deuxième région du corps du diviseur, sensiblement le long d'un plan passant par un axe CC4 et parallèle au plan milieu. Le diviseur 40 présente enfin deux évidements 49a, 49b, localisés dans la première région du corps du diviseur, entre l'évidement 48 et le plan

milieu.

[0060] Le diviseur 40 de la figure 4a présente un axe de symétrie AA4, passant par l'entrée 41 du diviseur et par un point de symétrie PS4 de la deuxième zone du contour du diviseur 40 sur laquelle sont réparties les sorties 42a à 42h.

[0061] Le diviseur 40 comprend également une fente s'étendant selon l'axe de symétrie, depuis le point PS4 jusqu'à l'évidement 48.

[0062] Le diviseur 40 comprend également une résistance électrique 60 reliant les deux parties de la deuxième zone du contour du diviseur 40.

[0063] Cette résistance sert essentiellement de dissipateur thermique. Par exemple, lorsque le diviseur 40 est utilisé comme combineur à huit entrées et une sorties (les entrées et les sorties sont inversées), et qu'on applique une énergie +E sur les entrées 52a à 52d, et une énergie opposée -E sur les entrées 52e à 52h, l'énergie transmise sur la sortie 51 est nulle et l'énergie appliquée sur les entrées se dissipe à travers la résistance 60.

[0064] A titre indicatif, la distance entre le point PS4 et l'entrée 41 est de l'ordre de 4 cm à 2 GHz, la distance entre les deux sorties 42a et 42h les plus éloignées l'une de l'autre est de l'ordre de 6 cm à 2 GHz.

[0065] Sur la figure 4c est représenté en pointillés le coefficient de réflexion du diviseur de la figure 4a à l'entrée 41. Sur la plage de fréquence de l'ordre de 5 GHz de large autour de 12,5 GHz, le coefficient de réflexion est de l'ordre de -10 dB.

[0066] Sur la figure 4b sont représentés les coefficients de transmission entre l'entrée et quatre des sorties 42a à 42d. Sur la plage de fréquence de 5 GHz de large autour de 12,5GHz, les coefficients sont quasi-identiques (donc une très bonne symétrie électrique entre les différentes sorties), de l'ordre de -6.7 dB. Ces valeurs correspondent à des simulations avec prise en compte du plan de symétrie de type Court-Circuit magnétique, sinon, sans ce plan, les valeurs sont autour de -9 dB).

[0067] Le diviseur selon la figure 5a est un diviseur 50 selon l'invention, comprenant une entrée 51 et deux sorties 52, 53. Il comprend un corps réalisé à partir d'une plaque métallique 54 de forme sensiblement trapézoïdale ayant pour dimensions approximativement, pour un diviseur travaillant autour de 2 GHz : grand côté 2 cm, petit côté 1 cm et hauteur 4 cm. L'entrée 51 est localisée sur le petit côté, et les sorties sont localisées sur le grand côté.

[0068] Sur la figure 5b, est représenté le coefficient de transmission entre l'entrée 51 et la sortie 53 et sur la figure 5c est représenté le coefficient de réflexion sur la voie d'entrée 51 du diviseur. Sur la plage de fréquence comprise entre 1.7 et 2.4 GHz, le coefficient de transmission est très proche de -3 dB et le coefficient de réflexion est inférieur à -17 dB.

[0069] L'invention propose également un procédé permettant d'obtenir des diviseurs / combineurs de puissance selon l'invention. Le procédé est représenté sur la figure 6.

[0070] Le procédé comprend tout d'abord une étape E1 de définition du volume topologique initial à partir duquel le combineur va être obtenu. Au cours de l'étape E1 également, les M entrées et les N sorties souhaitées pour le diviseur sont positionnées sur le contour du volume initial choisi. M et N sont des entiers, dont l'un est supérieur à un et l'autre est supérieur à deux. Egalement au cours de l'étape E1, la caractéristique électrique du volume initial est précisée. La caractéristique électrique est ici choisie parmi deux valeurs: isolant ou conducteur.

[0071] Le volume topologique initial peut être défini par une forme initiale quelconque et sa caractéristique électrique, isolant ou conducteur.

[0072] Par exemple, le volume topologique initial peut être défini par une forme initiale telle qu'une forme volumique simple, éventuellement de très faible épaisseur (le volume est dans ce cas plutôt une surface), par exemple un tétraèdre, un parallélépipède rectangle (cf figures 2a, 3a), ou une surface carrée plane, de type isolant ou conducteur.

[0073] Le volume topologique initial peut également être défini par un assemblage de formes initiales et leur caractéristique électrique initiale respective. Par exemple, le volume topologique initial peut être défini par (figure 7) un ensemble de guides d'ondes: M = 3 guides d'onde d'entrée et N = 4 guides d'ondes de sortie G1 à GN. Les M entrées sont positionnées à une entrée des guides GE1 à GEM et les N sorties sont positionnées à une sortie des guides GS1 à GSN. L'étape E3 suivante permettra de définir et d'optimiser les liaisons métalliques entre les guides d'ondes d'entrée et les guides d'ondes de sortie, comme on le verra par la suite.

[0074] Des volumes topologiques initiaux plus complexes peuvent également être utilisés, tels qu'un assemblage de volumes topologiques finals obtenus par le procédé selon l'invention. Par exemple, dans le cas du diviseur selon la figure 4a, une association de plusieurs diviseurs a été utilisée comme volume topologique initial pour l'obtention d'un diviseur comprenant un plus grand nombre de sorties.

[0075] Au cours de l'étape E1, on peut également prévoir une étape E12, consistant à définir un plan ou un axe de symétrie souhaité pour le diviseur à obtenir. Cela peut permettre de simplifier les calculs et ainsi d'accélérer l'exécution du procédé.

[0076] Par exemple, le diviseur de la figure 2a, à une entrée et deux sorties a été obtenu par le procédé selon l'invention, à partir d'une surface initiale de type rectangle (équivalent à un volume topologique initial de type parallélépipède à très faible épaisseur) en matériau conducteur comme par exemple du cuivre. L'entrée a été positionnée au milieu d'un petit côté et les sorties ont été positionnées sur le petit côté opposé, avec un plan de symétrie passant par l'entrée et par le milieu d'un segment dont les sorties forment les extrémités.

[0077] Le procédé comprend ensuite une étape E2 d'initialisation du procédé. Au cours de l'étape E2, les sous-étapes E24 et E25 suivantes sont réalisées.

[0078] Tout d'abord, le volume topologique initial est maillé (E24) pour décomposer le volume topologique initial en un ensemble de volumes élémentaires. Les volumes élémentaires sont par exemple tous de forme tétraédrique ou de forme cubique. Si le volume initial est plat, c'est-à-dire si c'est une surface, la surface élémentaire pourra être décomposée en un ensemble de surfaces élémentaires, par exemple de forme triangulaire ou de forme rectangulaire.

[0079] Ensuite, un critère de coût à optimiser est défini (E25). Le critère de coût définit au moins une caractéristique intrinsèque, par exemple une caractéristique électrique, souhaitée pour le diviseur. En fonction des applications envisagées, un diviseur / combineur est considéré comme performant dans une bande de fréquence donnée si, dans la dite bande de fréquence:

- ses coefficients de transmission sont maximum et / ou
- si ses coefficients de réflexion sont minimum et / ou
- ses sorties et / ou ses entrées sont électriquement équilibrées (c'est-à-dire si ses coefficients de transmission sont sensiblement égaux).

[0080] Le critère de coût est défini comme une somme, éventuellement pondérée, des différences entre une valeur souhaitée de chaque caractéristique intrinsèque et une valeur réelle de la dite caractéristique.

[0081] Par exemple, pour obtenir un combineur à une entrée et deux sorties ayant des coefficients de transmission les meilleurs possibles (c'est-à-dire le plus proche possible de 0dB) et des sorties équilibrées, on peut définir le critère de coût suivante:

$$C = A \cdot \text{abs}(S_{11}) + B \cdot \text{abs}(S_{21} - S_{31}), \text{ avec}$$

avec

S21 le coefficient de transmission de puissance entre l'entrée et une première sortie, exprimé en dB

S31 le coefficient de transmission de puissance entre l'entrée et une deuxième sortie exprimé en dB,

A et B sont des coefficients de pondération.

[0082] Le terme S11 représente le coefficient de réflexion en entrée de la structure. Les pertes de puissance du diviseur sont minimales lorsque S11 tend vers zéro, c'est-à-dire vers $-\infty$ en dB. La différence S21 - S31 est minimale lorsque la puissance d'entrée est parfaitement partagée entre les deux sorties, c'est-à-dire si les deux sorties sont bien isolées l'une de l'autre. Ces deux caractéristiques (pertes minimales et sorties équilibrées) définissent un diviseur optimal.

[0083] L'étape E2 peut également comprendre une étape E26 de définition d'un type initial du procédé parmi le type métallisation et le type démétallisation.

[0084] Si le procédé est de type métallisation, l'étape E3 suivante va consister à remplacer des volumes élémentaires de type isolant par des volumes élémentaires de type conducteur, le choix des volumes élémentaires à remplacer étant optimisé pour minimiser le critère de coût.

[0085] Si le procédé est de type démétallisation, l'étape E3 suivante va consister à remplacer des volumes élémentaires de type conducteur par des volumes élémentaires de type isolant, le choix des volumes élémentaires à remplacer étant optimisé pour minimiser le critère de coût. A noter que les volumes élémentaires de type isolant peuvent être tout simplement des volumes élémentaires remplis d'air.

[0086] Lors de l'étape E3, est produit un volume topologique final formant un corps d'un diviseur / combineur en optimisant le critère de coût par une méthode de gradient topologique au cours de laquelle:

- si le procédé est de type métallisation, des volumes élémentaires de type isolant sont remplacés par des volumes élémentaires de type conducteur, ou
- si le procédé est de type démétallisation, des volumes élémentaires de type conducteur sont remplacés par des volumes élémentaires de type isolant.

[0087] Une version très générale de la méthode du gradient topologique est décrite notamment dans le document de J. Pommier, L'asymptotique Topologique en Electromagnétisme, PhD Thesis, Université Paul-Sabatier, Toulouse, May 2002.

[0088] Le procédé peut également comprendre l'étape E4 suivante, réalisée après l'étape E3 et consistant à :

E4 : lisser des contours du Diviseur / combineur puis répéter l'étape E3. Cette étape est intéressante pour faciliter la réalisation pratique du diviseur, notamment si l'étape E3 fait apparaître un diviseur comprenant un corps dont le contour est particulièrement dentelé.

5 **[0089]** Le procédé peut encore comprendre l'étape E5 suivante, réalisée après l'étape E3 et / ou après l'étape E4, et consistant à :

E5 : ajouter ou supprimer localement un bloc de matière conductrice dans la forme intermédiaire issue d'une étape E3, puis répéter l'étape E3. Dans certains cas, l'étape E5 est appropriée pour diminuer encore le critère de coût et ainsi obtenir un diviseur plus performant.

[0090] Par exemple, le diviseur de la figure 4a a été obtenu par un procédé selon l'invention au cours duquel une étape E5 a été effectuée, par exemple après quelques réalisations de l'étape E3, pour ajouter des tronçons de ligne au voisinage de l'entrée et des sorties du diviseur.

15 **[0091]** Lors de l'étape E3, une méthode dite du gradient topologique est utilisée pour optimiser le critère de coût. L'étape E3 d'utilisation de la méthode du gradient topologique comprend notamment les sous-étapes E31 à E34 suivantes.

[0092] Tout d'abord, pour chaque volume élémentaire, le gradient topologique est calculé (E31) en fonction de la caractéristique électrique, isolant ou conducteur, de chaque volume élémentaire.

20 **[0093]** Tous les volumes élémentaires sont ensuite classés (E32) en fonction de leur valeur du gradient topologique.

[0094] Lors de l'étape E33 suivante, on change l'état, isolant ou diélectrique, des volumes élémentaires ayant les plus faibles gradients topologiques, en fonction du type de procédé. Plus précisément :

- si le procédé est de type procédé de démétallisation, on remplace un nombre prédéfini NP (nombre prédéfini déterminé par une valeur seuil du gradient topologique en dessous de laquelle les volumes/surfaces élémentaires ont leur valeur de gradient ou par un pourcentage d'éléments unitaires choisis parmi les plus négatifs en tenant compte de leur classement) de volumes élémentaires parmi les volumes élémentaires de type conducteur ayant les plus faibles gradients topologiques, par des volumes élémentaires de type isolant, les volumes élémentaires de type isolant ne sont pas modifiés, ou
- si inversement, le procédé est de type procédé de métallisation, remplacement d'un nombre prédéfini de volumes élémentaires parmi les volumes élémentaires de type isolant ayant les plus faibles gradients topologiques, par des volumes élémentaires de type conducteur, les volumes élémentaires de type conducteur ne sont pas modifiés.

Enfin, le critère de coût est calculé (E34) à partir des caractéristiques électriques modifiées des volumes élémentaires.

35 **[0095]** Si le critère de coût diminue, c'est-à-dire si la valeur calculée du critère de coût est inférieure à une valeur calculée lors d'une précédente étape E3, les étapes E31 à E34 sont répétées.

[0096] Si le critère de coût augmente, cela signifie que, pour le critère de coût, une valeur minimale a été atteinte. Ce minimum peut être un minimum local. Les étapes suivantes du procédé permettent le cas échéant de sortir d'un minimum local pour le critère de coût, et de rechercher une valeur plus faible du critère de coût.

40 **[0097]** Pour cela, l'étape E3 peut également comprendre la sous-étape E35 suivante, réalisée après l'étape E34 de calcul du critère de coût si le critère de coût augmente. L'étape E35 consiste à diminuer le nombre prédéfini NP. Les étapes E33 et E34 sont ensuite répétées. L'étape E35 permet de réaliser des variations plus fines du critère de coût.

[0098] Si, après exécution d'étapes E35, le critère de coût augmente et le nombre prédéfini est égal à 1, cela signifie que la diminution du nombre prédéfini ne permet pas de sortir d'un minimum local. Dans ce cas, l'étape E3 peut également comprendre la sous-étape E37 suivante, réalisée après l'étape E34 de calcul de critère de coût si le critère de coût augmente et si le nombre prédéfini est égal à 1. L'étape E37 consiste à sélectionner un volume élémentaire autre que le volume élémentaire de plus faible gradient topologique, par exemple le volume élémentaire classé avant dernier dans la liste des volumes élémentaires classés par ordre de gradient topologique décroissant. Les étapes E33, E34 sont ensuite répétées.

50 **[0099]** L'étape E3 peut également comprendre la sous-étape E36 suivante, réalisée après la sous-étape E35 si le nombre prédéfini est égal à une valeur minimale (par exemple 0). L'étape E36 consiste à changer le type du procédé (on passe d'un procédé de métallisation à un procédé de démétallisation ou l'inverse) puis à répéter l'étape E3.

55 Revendications

1. Procédé d'obtention d'un diviseur / combineur de puissance, comprenant les étapes suivantes, consistant à :

EP 3 062 385 A1

E1 : définir un volume topologique initial et une position de M entrées et N sorties sur un contour du dit volume, M et N étant des nombres entiers dont l'un est supérieur à un et dont l'autre est supérieur à deux, le volume topologique initial étant défini par une forme initiale et sa caractéristique électrique, isolant ou conducteur,
E2 : Initialiser le procédé :

5

E24 : mailler le volume topologique initial pour décomposer le volume topologique initial en un ensemble de volumes élémentaires

E25 : définir un critère de coût à optimiser, le critère de coût définissant au moins une caractéristique intrinsèque souhaitée pour le diviseur / combineur,

10

E26 : définir un type initial du procédé parmi le type métallisation et le type démétallisation,

E3 : produire un volume topologique final formant un corps d'un diviseur / combineur en optimisant le critère de coût par une méthode de gradient topologique au cours de laquelle :

15

- si le procédé est de type métallisation, des volumes élémentaires de type isolant sont remplacés par des volumes élémentaires de type conducteur, ou

- si le procédé est de type démétallisation, des volumes élémentaires de type conducteur sont remplacés par des volumes élémentaires de type isolant.

20

2. Procédé selon la revendication 1, comprenant également l'étape E4 suivante, réalisée après l'étape E3 et consistant à :

E4 : lisser des contours du volume topologique final puis répéter l'étape E3.

25

3. Procédé selon la revendication 2, comprenant également l'étape E5 suivante, réalisée après l'étape E3 et / ou après l'étape E4, et consistant à :

E5 : ajouter ou supprimer localement un bloc de matière conductrice dans le volume topologique final, puis répéter l'étape E3.

30

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel l'étape E3 d'utilisation de la méthode du gradient topologique comprend notamment les sous-étapes suivantes, consistant à :

E31 Calcul du gradient topologique de chaque volume élémentaire en fonction de sa caractéristique électrique,
E32 : classement des volumes topologiques élémentaires en fonction de la valeur du gradient topologique,
E33 :

35

- si le procédé est de type procédé de démétallisation, remplacement d'un nombre prédéfini (NP) de volumes élémentaires parmi les volumes élémentaires de type conducteur ayant les plus faibles gradients topologiques, par des volumes élémentaires de type isolant, ou

40

- si le procédé est de type procédé de métallisation, remplacement d'un nombre prédéfini (NP) de volumes élémentaires parmi les volumes élémentaires de type isolant ayant les plus faibles gradients topologiques, par des volumes élémentaires de type conducteur,

45

E34 : calcul du critère de coût et, si le critère de coût diminue, répéter les étapes E31 à E34.

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel l'étape E3 comprend également la sous-étape E35 suivante, réalisée après l'étape E34 de calcul du critère de coût si le critère de coût augmente, l'étape E35 consistant à :

50

E35 : diminuer le nombre prédéfini, puis répéter les étapes E33 et E34.

6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel l'étape E3 comprend également la sous-étape E37 suivante, réalisée après l'étape E34 de calcul du critère de coût si le critère de coût augmente et si le nombre prédéfini est égal à 1, sélectionner un volume élémentaire autre que le volume élémentaire ayant le plus faible gradient topologique, puis répéter les étapes E33 et E34.

55

7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel l'étape E3 comprend également la sous-étape E36 suivante, réalisée après la sous-étape E35 si le nombre prédéfini est égal à une valeur minimale, l'étape E36 consistant à :

EP 3 062 385 A1

E36 : changer le type du procédé puis répéter les étapes E32 à E34.

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel, lors de l'étape E1, le volume topologique initial est défini par :

5

- une forme initiale telle qu'une forme volumique simple, par exemple un tétraèdre, un parallélépipède rectangle, de type isolant ou conducteur,
- une forme initiale telle qu'une forme volumique de très faible épaisseur et de surface simple, par exemple un triangle, un rectangle ou un trapèze, de type isolant ou conducteur, ou
- un assemblage de formes volumiques simples, ou
- un assemblage de volumes topologiques finals.

10

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel, lors de l'étape E1, le volume topologique initial est obtenu par un assemblage de plusieurs Diviseurs / combineurs obtenus par le procédé selon l'une des revendications 8 à 14.

15

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel l'étape E1 comprend également une sous-étape E12 consistant à :

E12 : définir au moins un plan de symétrie ou au moins un axe de symétrie pour le volume topologique initial.

20

25

30

35

40

45

50

55

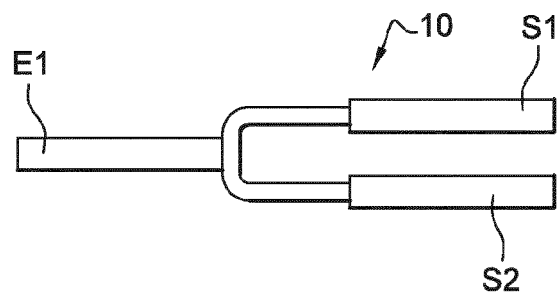


Fig. 1a

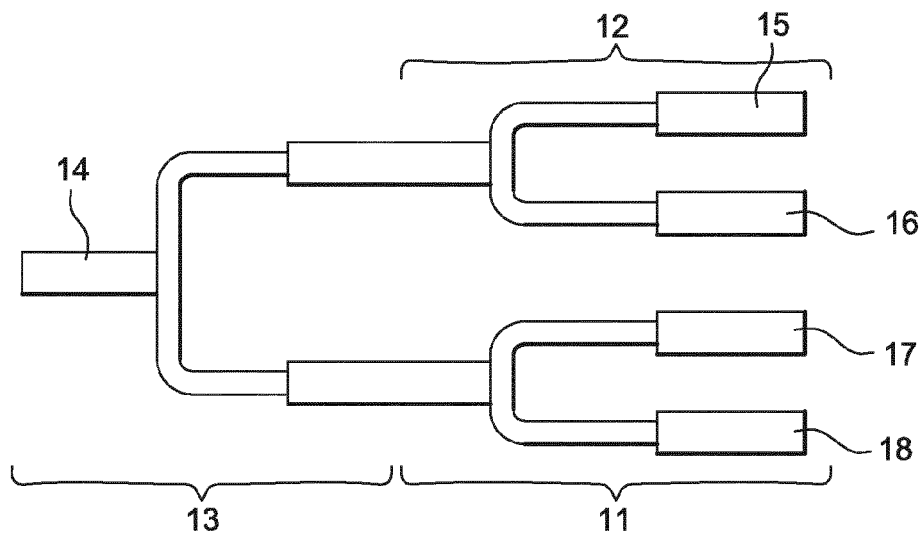


Fig. 1b

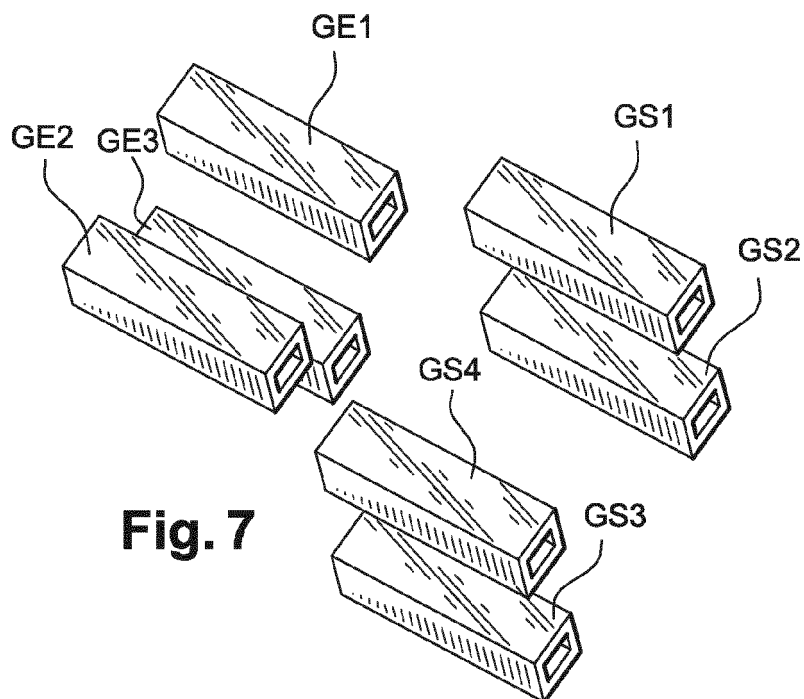
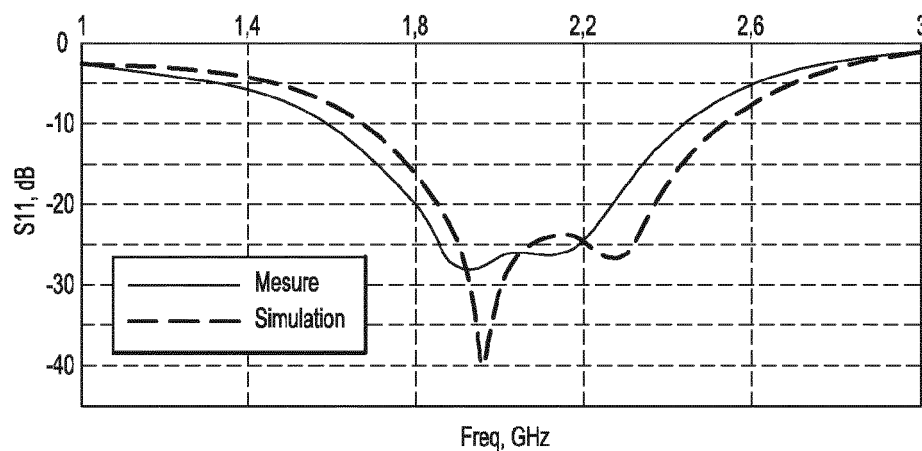
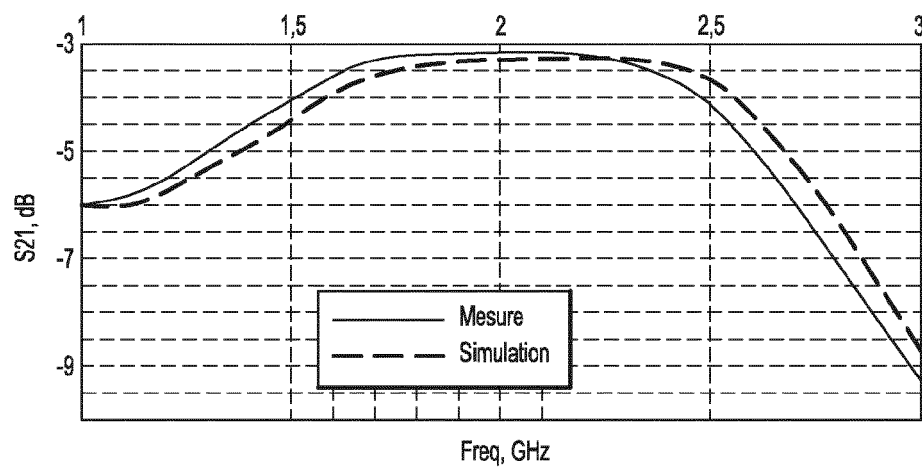
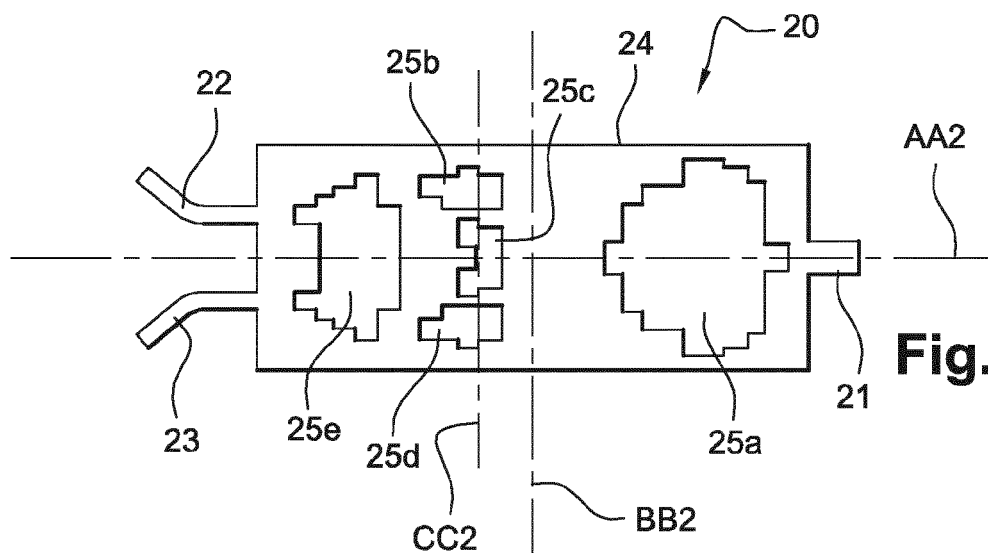


Fig. 7



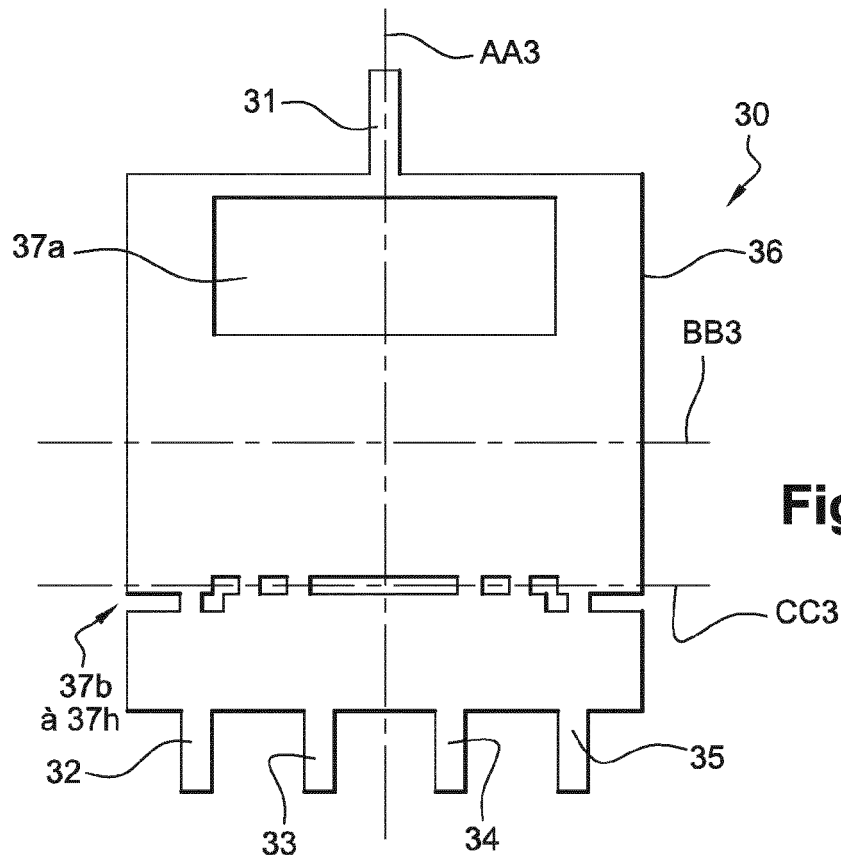


Fig. 3a

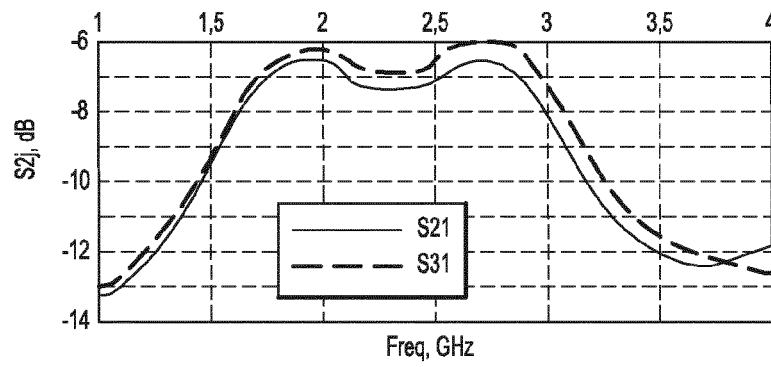


Fig. 3b

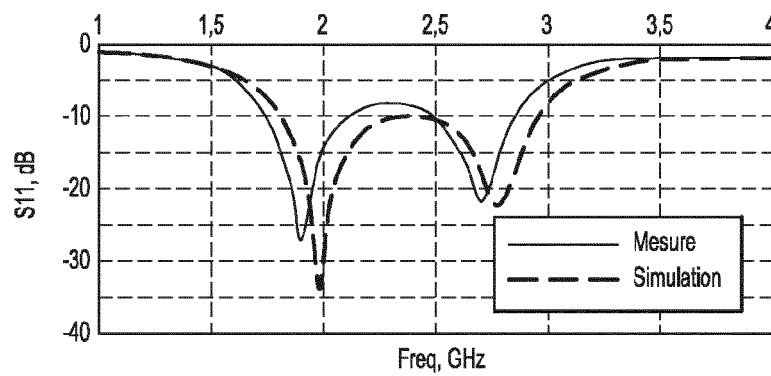


Fig. 3c

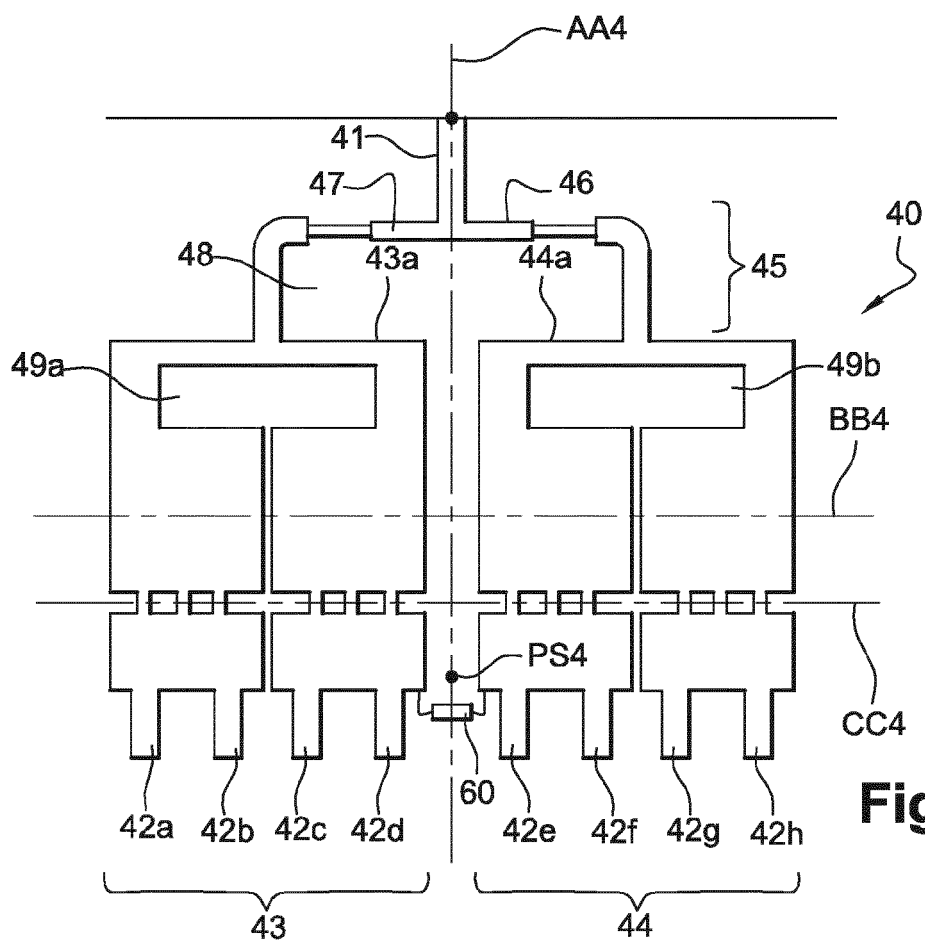


Fig. 4a

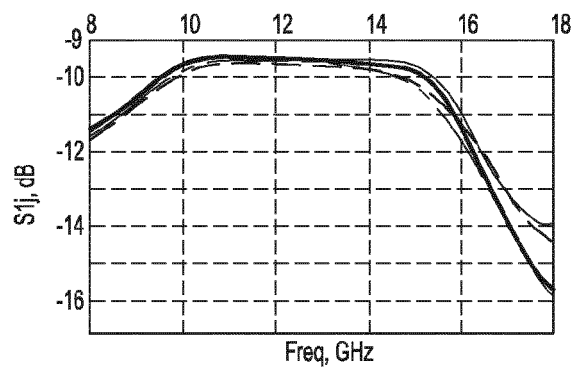


Fig. 4b

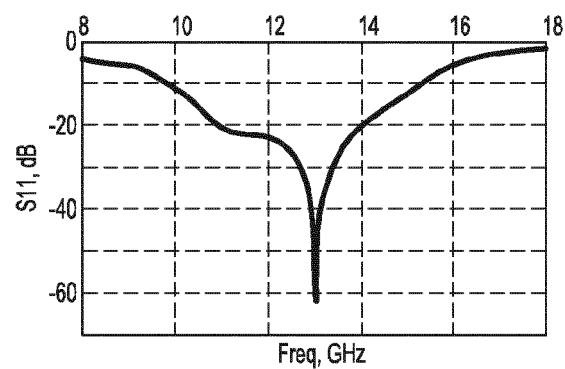
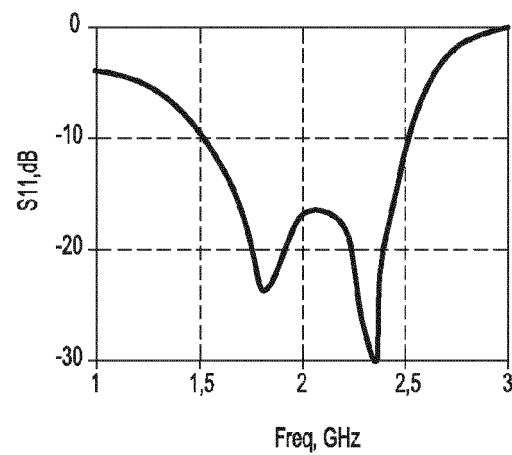
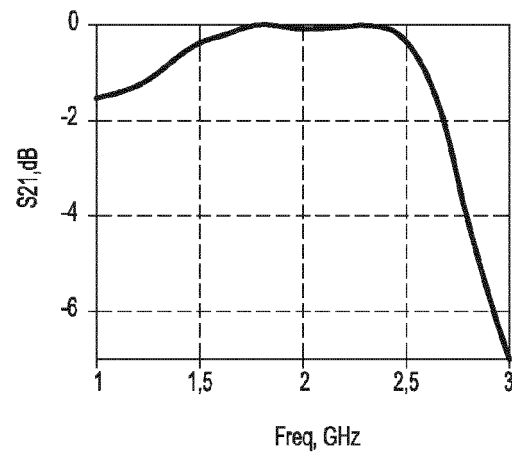
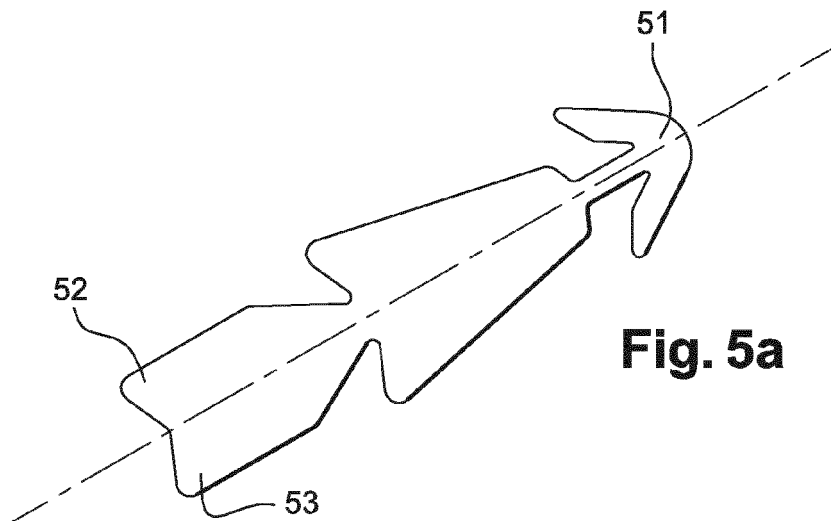


Fig. 4c



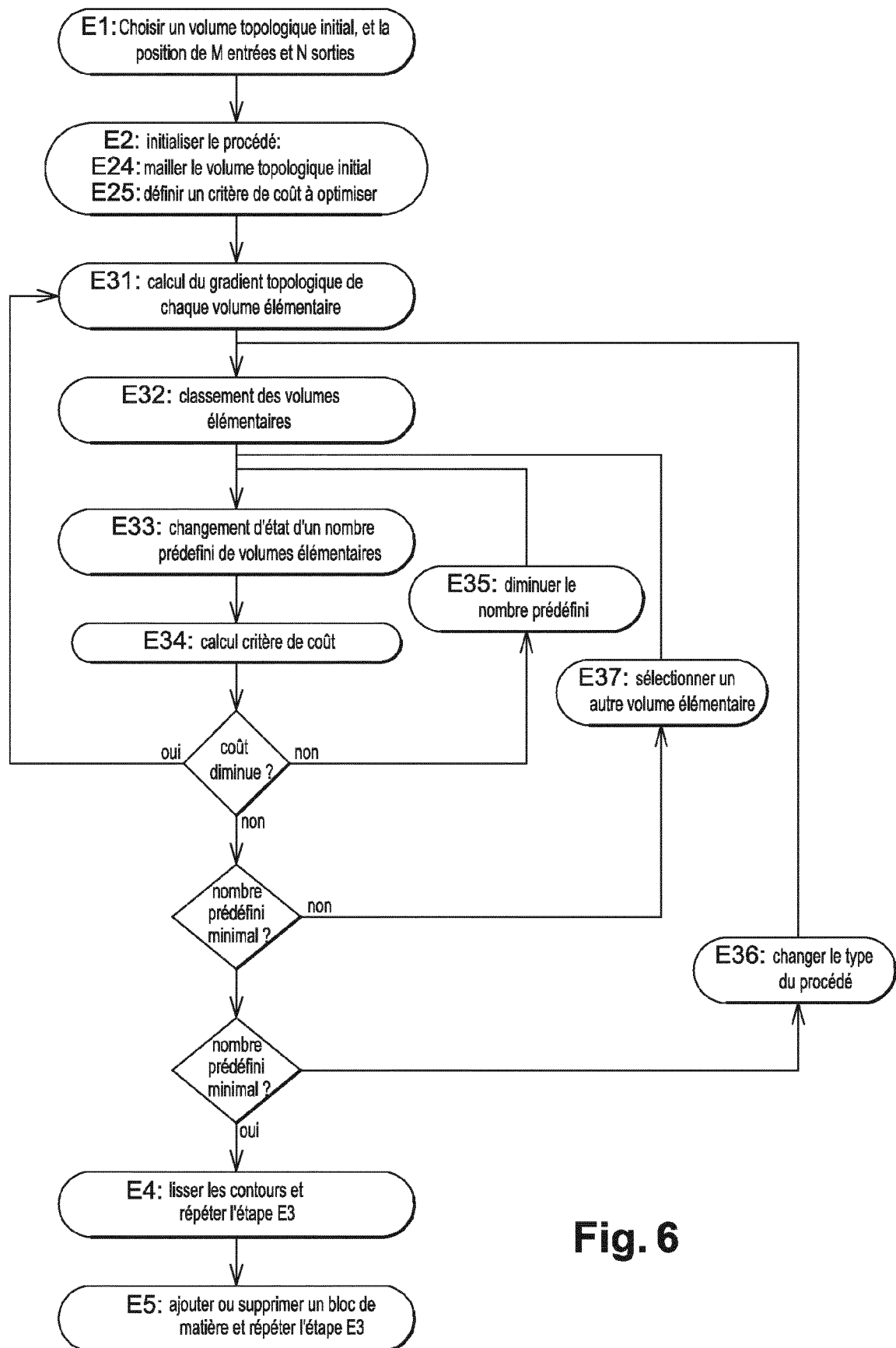


Fig. 6



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 16 16 2683

5

10

15

20

25

30

35

40

45

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Y	ASSADIHAGHI A ET AL: "Design of Microwave Components using Topology Gradient Optimization", MICROWAVE CONFERENCE, 2006. 36TH EUROPEAN, IEEE, PI, 1 septembre 2006 (2006-09-01), pages 462-465, XP031005601, ISBN: 978-2-9600551-6-0 * le document en entier *	1-10	INV. H01P5/12 H01P5/19
Y	US 5 291 155 A (WATERMAN TIMOTHY G [US] ET AL) 1 mars 1994 (1994-03-01) * colonne 2, ligne 31 - colonne 4, ligne 53; figures 2,3 *	1-10	
A	GB 2 096 404 A (MARCONI CO LTD) 13 octobre 1982 (1982-10-13) * le document en entier *	1-10	
A	US 2006/291796 A1 (METZ NORBERT C [US] METZ NORBERT CARSTEN [US]) 28 décembre 2006 (2006-12-28) * alinéa [0023] - alinéa [0029]; figure 1 *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H01P
A	KOBEISSI H ET AL: "DESIGN TECHNIQUE AND PERFORMANCE ASSESSMENT OF NEW MULTI-PORT MULTI-HOLE POWER DIVIDER SUITABLE FOR M(H)MIC'S", IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 47, no. 4, 1 avril 1999 (1999-04-01), pages 499-504, XP000805696, ISSN: 0018-9480 * le document en entier *	1-10	
----- -/--			
1 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 13 juillet 2016	Examineur La Casta Muñoa, S
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

50

55



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 16 16 2683

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	KHALIL H ET AL: "Topology gradient optimization of dielectric material distribution for the design of microwave components", MICROWAVE CONFERENCE, 2007. APMC 2007. ASIA-PACIFIC, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 11 décembre 2007 (2007-12-11), pages 1-4, XP031280230, ISBN: 978-1-4244-0748-4 * le document en entier * -----	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
Munich		13 juillet 2016	La Casta Muñoa, S
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03.02 (P04C02)

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

EP 16 16 2683

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

13-07-2016

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5291155 A	01-03-1994	AUCUN	
GB 2096404 A	13-10-1982	AUCUN	
US 2006291796 A1	28-12-2006	AUCUN	

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Littérature non-brevet citée dans la description

- L'asymptotique Topologique en Electromagnétisme.
J. POMMIER. PhD Thesis. Université Paul-Sabatier,
Mai 2002 [0087]