



(11)

EP 3 910 729 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
17.11.2021 Bulletin 2021/46

(51) Int Cl.:
H01P 1/161 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **21172702.9**

(22) Date de dépôt: **07.05.2021**

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

- **BOSSHARD, Pierre**
31170 TOURNEFEUILLE (FR)
- **TUBAU, Ségolène**
31000 TOULOUSE (FR)
- **CARTAILLAC, Erwan**
09700 LABATUT (FR)
- **FERRANDO, Nicolas**
31170 TOURNEFEUILLE (FR)

(30) Priorité: **15.05.2020 FR 2004878**

(74) Mandataire: **Marks & Clerk France**
Immeuble "Visium"
22, avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

(71) Demandeur: **THALES**
92400 Courbevoie (FR)

(72) Inventeurs:
• **BRU, Laurent**
31250 REVEL (FR)

(54) **TRANSDUCTEUR ORTHOMODE LARGE BANDE**

(57) L'invention concerne un transducteur orthomode et une chaîne de transmission satellite comprenant le transducteur orthomode, pour la transmission d'un premier signal et d'un deuxième signal dans des modes de propagation orthogonaux. Le transducteur comprend :

- un guide d'onde principal (501, 601) à section carrée ou rectangulaire,
- deux accès guidés (510, 520) ayant d'une part une extrémité libre par laquelle sont respectivement injectés ou récupérés le premier signal et le deuxième signal, et d'autre part deux bras reliés au guide d'onde principal.

Chaque accès guidé comprend une jonction (512, 522, 602) configurée pour relier l'extrémité libre avec les deux bras de l'accès guidé, les deux bras (513, 514, 523, 524, 610, 611) de chaque accès guidé étant reliés au guide d'onde principal en deux emplacements décentrés d'un ou plusieurs côtés du guide d'onde principal de manière symétrique par rapport à un axe de symétrie du guide d'onde principal.

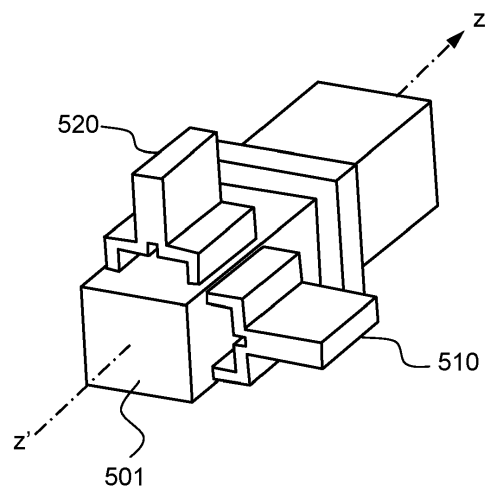


FIG.5c

Description

Domaine technique :

[0001] L'invention se situe dans le domaine des transmissions hyperfréquences, et porte plus particulièrement sur un transducteur orthomode utilisé pour transmettre deux signaux dans des polarisations orthogonales.

[0002] Si la solution proposée est particulièrement utile dans le domaine des sources d'antennes, et en particulier des antennes satellites, elle n'est pas limitée à ces applications, et le transducteur orthomode selon l'invention peut également être utilisé pour d'autres dispositifs, comme par exemple pour la réalisation de filtres ou de duplexeurs hyperfréquence.

Technique antérieure :

[0003] De manière à maximiser leur efficacité spectrale, les systèmes de transmission par satellite utilisent généralement la diversité de polarisation, qui consiste à transmettre sur la même bande de fréquence deux signaux polarisés orthogonalement (par exemple une polarisation verticale et une polarisation horizontale, ou une polarisation circulaire droite et une polarisation circulaire gauche). Lorsque les polarisations entre les deux signaux sont parfaitement orthogonales, les signaux peuvent être récupérés indépendamment, ce qui permet d'émettre ou de recevoir deux signaux simultanément dans une même bande de fréquence, ou bien d'émettre et de recevoir simultanément dans la même bande de fréquence, à partir d'une seule antenne.

[0004] Dans le cas théorique, le découplage entre les deux signaux est infini, ce qui permet de les dissocier parfaitement. En pratique, les asymétries des équipements de transmission créent une prise d'angle des champs électriques. Dans ce cas, une sous composante de chaque polarisation se confond avec la polarisation croisée, ce qui entraîne des phénomènes de couplage entre les signaux. L'homme du métier veille donc à ce que les deux signaux polarisés orthogonalement soient transmis avec le plus fort découplage possible.

[0005] Les transducteurs orthomodes, ou duplexeurs de signaux (plus connus sous le nom anglais de *Orthogonal Mode Transducer*, ou OMT) sont des dispositifs appartenant à la chaîne d'alimentation d'une antenne, en particulier d'une antenne satellite. La figure 1a représente très schématiquement une chaîne de transmission pour antenne. Elle comprend une source, généralement un cornet 101, par lequel sont émis/reçus les signaux satellites, et un transducteur orthomode 102, sous la forme d'un guide d'onde par lequel sont injectés/extraits deux signaux S_1 et S_2 103 et 104. Le transducteur orthomode est configuré pour combiner ou séparer les deux signaux en leur appliquant une polarisation orthogonale. Selon le mode de réalisation, d'autres signaux associés à d'autres bandes de fréquences peuvent être injectés/extraits du transducteur 102.

[0006] De nombreux satellites de télécommunication sont équipés d'antennes réseau, composées d'un grand nombre de chaînes de transmission telles que celle représentée à la figure 1a, permettant de réaliser une couverture géographique par faisceaux. La figure 1b représente très schématiquement les composantes d'une antenne réseau. Elle comprend une pluralité de sources 111 à 116, associées chacune à un ou plusieurs faisceaux. Un transducteur orthomode 121 à 126 est associé à chaque source, permettant ainsi la transmission de deux signaux polarisés orthogonalement dans le ou les faisceaux concernés, généralement un signal en émission et un signal en réception. Les dimensions et la forme des guides d'onde composant le transducteur orthomode sont choisies en fonction de la fréquence des signaux transmis, de manière à permettre la propagation des ondes électromagnétiques dans des modes transverse contrôlés.

[0007] Les antennes réseau embarquées dans des satellites peuvent comprendre plusieurs dizaines de chaînes de transmission, et donc autant de transducteurs orthomodes. L'encombrement et la masse de ces dispositifs sont donc des éléments très dimensionnants lors de la conception des antennes satellites.

[0008] Dans la suite de la description, et afin de simplifier la compréhension des phénomènes physiques qui s'appliquent, les explications sont données en considérant le cas d'application de deux signaux injectés sur le transducteur orthomode dans le but d'être polarisés orthogonalement et combinés puis émis par la source de l'antenne satellite. Cependant, l'invention s'applique de manière identique dans le cas de deux signaux de polarisations orthogonales reçus depuis la source de l'antenne satellite, et transmis et séparés par le transducteur orthomode, ou dans le cas où un signal est émis et l'autre est reçu.

[0009] Les transducteurs orthomodes présentent un cœur central carré configuré de manière à permettre la transmission d'un premier signal selon un mode de propagation TE₁₀, dans lequel le champ électrique du signal est linéaire et vertical, et d'un deuxième signal selon un mode de propagation TE₀₁, dans lequel le champ électrique du signal est linéaire et horizontal. Les deux signaux sont alors polarisés orthogonalement, et peuvent être transmis simultanément. Le cœur central peut être rectangulaire pour la propagation de signaux dans des bandes de fréquences distinctes. De même, les signaux peuvent être transmis selon des polarisations circulaires en associant par exemple un coupleur au transducteur orthomode, de manière à ce que chaque signal soit transmis d'une part selon un premier mode et d'autre part de manière retardée et déphasée selon un deuxième mode. Le champ électrique résultant est alors tournant, ce qui crée un signal polarisé circulairement.

[0010] Plusieurs structures différentes de transducteurs orthomodes sont connues de l'état de la technique.

[0011] La figure 2a représente une vue en trois dimensions d'un transducteur orthomode à deux branches, qui

constitue le type de transducteur orthomode le plus simple, le plus compact, le plus économique et donc le plus répandu. Il est composé d'un guide d'onde principal 201 s'étendant selon un axe longitudinal zz' . Le guide d'onde est adapté à la propagation des deux modes électromagnétiques fondamentaux dans la bande de fréquence considérée. En pratique, les deux signaux étant dans la même bande de fréquence, ce résultat est atteint en utilisant un guide d'onde de section carrée dont la taille est dimensionnée par rapport à la fréquence minimale de la bande de fréquence considérée, mais le guide d'onde peut prendre n'importe quelle forme permettant la propagation des deux signaux dans les modes souhaités.

[0012] Le guide d'onde principal est relié par un premier côté selon son axe longitudinal zz' à une source, élément rayonnant réalisant l'adaptation entre le guide d'onde et l'espace libre. Le guide d'onde principal 201 est relié à deux accès guidés 202 et 203 par lesquels sont injectés les deux signaux à transmettre. Les jonctions entre les accès guidés et le guide d'onde principal se font au même niveau du guide d'onde principal, dans un plan xy orthogonal à l'axe zz' , à travers des fentes réalisées au milieu de parois orthogonales du guide principal, ce qui a pour effet que des signaux injectés par les deux accès guidés sont combinés selon des polarisations orthogonales dans le guide d'onde principal avant d'être transmis à la source (et à l'inverse, permet d'extraire sur chacun des accès des signaux polarisés orthogonalement). L'arrière du guide d'onde principal 201 selon l'axe longitudinal zz' peut être relié, par exemple, à d'autres accès pour injecter des signaux dans une bande de fréquence distincte.

[0013] La figure 2b décrit le principe de polarisation des signaux dans un guide d'onde à deux branches, selon une vue en coupe dans le plan xy . Le premier signal, destiné à être polarisé verticalement, est injecté sur le premier accès guidé 202. Les flèches pleines donnent la direction du champ électrique du premier signal, perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde électromagnétique. Dans le guide d'onde principal 201, le premier signal se propage suivant le mode de propagation fondamental TE₁₀, correspondant à une polarisation verticale. Le deuxième signal, destiné à être polarisé horizontalement, est injecté sur le deuxième accès guidé 203. Les flèches en pointillés donnent la direction du champ électrique du deuxième signal, perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde électromagnétique. Dans le guide d'onde principal 201, le deuxième signal se propage suivant le mode de propagation fondamental TE₀₁, correspondant à une polarisation horizontale. Au sein du guide d'onde principal 201, les deux signaux se propagent selon des modes de propagation orthogonaux.

[0014] Comme représenté à la figure 2c, un transducteur orthomode à deux branches peut être associé à un coupleur 90° pour polariser circulairement les deux signaux. Le coupleur 90° 210 est relié à l'accès guidé 202 et à l'accès guidé 203 par deux extrémités. Le signal

destiné à être transmis selon une polarisation, par exemple la polarisation LHCP (sigle anglais pour *Left Hand Circular Polarisation*, ou polarisation circulaire gauche), est injecté sur l'extrémité 211 du coupleur. Il se retrouve alors présenté sur l'accès guidé 202, et de manière retardée et déphasée de 90° sur l'accès guidé 203. De la même manière, le signal destiné à être transmis selon la polarisation croisée, ici la polarisation RHCP (sigle anglais pour *Right Hand Circular Polarisation*, ou polarisation circulaire droite), est injecté sur l'extrémité 212 du coupleur. Il est alors présenté sur l'accès guidé 203, et dans une version retardée et déphasée de 90° sur l'accès guidé 202. Les retards et déphasages appliqués ont pour effet de faire tourner le champ électrique, et donc de polariser circulairement les signaux.

[0015] La figure 2d représente le champ électrique du signal injecté sur l'accès guidé 203 d'un transducteur orthomode à deux branches, dans une vue en coupe dans le plan xy orthogonal à zz' à la jonction entre les accès guidés et le guide principal 201. Les niveaux de gris représentent l'intensité, et les flèches la direction, du champ électrique.

[0016] Le signal injecté par l'accès guidé 203 se propage à l'intérieur du guide d'onde principal 201 selon le mode de propagation TE₀₁, c'est-à-dire qu'il est linéaire et horizontal. Au sein du guide d'onde principal, les champs électriques ne sont pas parfaitement alignés. Ces légères distorsions sont liées la sensibilité du champ électrique aux asymétries présentes sur un accès centré, et ont pour effet de produire des phénomènes de couplage entre les deux signaux polarisés orthogonalement.

[0017] En outre, une petite partie du signal injecté par l'accès 203 se propage dans l'accès guidé 202. Le champ électrique étant toujours perpendiculaire au support, celui-ci tourne en entrant dans l'accès guidé 202. Des résidus du signal transmis sur l'accès 203 se retrouvent alors sur l'accès guidé 202 avec la même polarisation que le signal transmis sur cet accès (linéaire vertical), ce qui est à l'origine de phénomènes de couplage parasite supplémentaires. Pour cette raison, le découplage généralement atteint grâce à un transducteur orthomode à deux branches est de l'ordre de -20 dB. Ce niveau de découplage peut s'avérer trop faible pour un certain nombre d'applications, comme par exemple pour les antennes satellites, où les pertes liées au découplage se traduisent par une dégradation du bilan de liaison et donc des débits atteignables.

[0018] Une manière connue permettant d'améliorer le découplage entre les voies d'un transducteur orthomode à deux accès guidés est décrite dans le brevet EP 2.202.839 B1 et représentée à la figure 2e, en vue de coupe, pour des signaux polarisés circulairement. Le dispositif comprend un coupleur à branches déséquilibrées 231 permettant de transmettre chacun des signaux dans des proportions maîtrisées sur les accès guidés 202 et 203 d'un transducteur orthomode à deux branches, et des guides d'onde court-circuités (en anglais *stub*) 232 et 233 configurés pour filtrer les signaux. Les coefficients

de partage du coupleur 231 sont ajustés pour qu'une portion d'une polarisation du signal injecté sur une voie soit injectée sur l'autre voie, avec un calage en phase très précis permettant d'annuler la portion d'énergie parasite liée au mauvais découplage. Cette opération est gérée par l'action sur les guides d'onde court-circuités des filtres 232 et 233 de la voie d'émission qui permettent, outre la réjection de la bande de réception, la mise en quadrature de phase de la composante croisée par rapport à la composante principale.

[0019] Cette solution permet d'atteindre des niveaux élevés de découplage, mais est complexe à mettre en œuvre et encombrante.

[0020] Une autre manière d'améliorer le découplage d'un transducteur orthomode à deux accès est représentée à la figure 2f. Les accès sont toujours injectés orthogonalement sur le guide d'onde 201, mais sont décalés dans l'axe zz' de la source. Ce guide d'onde permet d'atteindre des niveaux de découplage importants, d'environ -50 dB, mais est encombrant.

[0021] Il est également connu de l'état de la technique des transducteurs orthomodes à quatre branches, permettant d'atteindre des découplages plus importants que ceux à deux branches. Un tel transducteur orthomode est représenté à la figure 3a. Il est composé d'un guide d'onde principal 301 s'étendant longitudinalement le long d'un axe zz' et relié à deux paires de guides d'onde (302/304 et 303/305) constituant des accès par lesquels sont injectés les deux signaux à transmettre. Les deux guides d'onde d'une même paire sont positionnés face à face dans un même plan orthogonal à l'axe zz' . Les deux guides d'onde de l'autre paire sont reliés aux deux autres côtés du guide d'onde principal.

[0022] La figure 3b décrit le principe de polarisation des signaux dans un transducteur orthomode à quatre branches.

[0023] Le signal destiné à être polarisé verticalement est injecté sur le guide d'onde principal 301 depuis les accès guidés 303 et 305, opposées par rapport au guide d'onde principal 301. Les signaux injectés depuis les deux accès guidés sont identiques, synchronisés, en phase et ont le même niveau de puissance. Ils se recombinaient alors de manière constructive dans le guide d'onde principal, et le signal se propage selon le mode TE₁₀. De même, le deuxième signal, destiné à être polarisé horizontalement, est injecté de manière synchronisée et en phase sur le guide d'onde principal 301 depuis les accès guidés 304 et 306, opposées par rapport au guide d'onde principal 301. Là aussi, les deux signaux injectés se recombinaient de manière constructive, et le signal se propage dans le guide d'onde principal dans le mode de propagation TE₀₁.

[0024] La symétrie du transducteur orthomode à quatre branches a pour effet que les lignes de champ électriques sont plus rectilignes que dans un transducteur à deux branches.

[0025] Comme dans le guide d'onde à deux accès, une partie du signal injecté depuis l'accès guidé 303 se re-

trouve dans l'accès guidé 302 avec un champ électrique 310 pivoté de 90°, et donc polarisé horizontalement. De même, une partie du signal injecté depuis l'accès guidé 305 se retrouve dans l'accès guidé 302 avec un champ électrique 311 pivoté de 90°, et donc polarisé horizontalement. Les signaux étant injectés en phase depuis les accès guidés 303 et 305, le champ électrique 310 et le champ électrique 311 des résidus de ces signaux transmis dans le guide 302 se retrouvent alors en opposition de phase (180°). Leur recombinaison se fait de manière destructive, et les résidus des signaux injectés par les accès guidés 303 et 305 se retrouvant dans l'accès guidé 302 s'évanouissent. Le principe est le même dans chacun des guides d'onde 302 à 305.

[0026] Les propriétés de symétrie des transducteurs orthomodes à quatre branches permettent donc d'obtenir un champ électrique parfaitement linéaire, la polarisation croisée s'évanouissant naturellement dans les accès croisés. Ils présentent généralement des niveaux de découplage importants, de l'ordre de -40 dB.

[0027] Cependant, générer deux signaux identiques et en phase pour chaque polarisation reporte la complexité en amont puisqu'il est alors nécessaire de dupliquer la génération des signaux, les signaux transmis à un couple d'accès devant être parfaitement identiques et synchronisés. En outre le transducteur orthomode disposant de quatre accès indépendants n'est pas optimal en terme de compacité.

[0028] De manière alternative, les accès guidés utilisés pour injecter un signal donné peuvent être recombinaison deux à deux, en prenant garde à ce que les chemins vers chaque point d'injection soient de même longueur pour que les signaux soient injectés simultanément et en phase. Les circuits de recombinaison sont alors complexes, d'autant que les deux accès guidés sont entrelacés, et requièrent un grand nombre de composants élémentaires de liaison, augmentant ainsi la dispersion. Au final les performances obtenues sont limitées et les pertes ohmiques importantes, pour un dispositif encombrant et lourd.

[0029] Un objet de l'invention est donc de décrire un transducteur orthomode présentant un important niveau de découplage, qui soit à la fois simple à mettre en œuvre et compact.

Résumé de l'invention :

[0030] A cet effet, la présente invention décrit un transducteur orthomode, pour la transmission d'un premier signal et d'un deuxième signal dans des modes de propagation orthogonaux. Le transducteur orthomode comprend :

- un guide d'onde principal à section carrée ou rectangulaire,
- deux accès guidés ayant d'une part une extrémité libre par laquelle sont respectivement injectés ou ré-

cupérés le premier signal et le deuxième signal, et d'autre part deux bras reliés au guide d'onde principal.

[0031] Chaque accès guidé comprend une jonction configurée pour relier l'extrémité libre aux deux bras de l'accès guidé, les deux bras de chaque accès guidé étant reliés au guide d'onde principal en deux emplacements décentrés d'un ou plusieurs côtés du guide d'onde principal, de manière symétrique par rapport à un axe de symétrie du guide d'onde principal.

[0032] Avantageusement, la liaison entre le guide d'onde principal et les deux bras d'un accès guidé comprend les deux angles d'un même côté du guide d'onde principal.

[0033] Selon le mode de réalisation du transducteur orthomode selon l'invention, la jonction de chaque accès guidé est configurée pour que les signaux transmis sur les deux bras d'un accès guidé soient en phase ou en opposition de phase suivant leur mode de propagation dans le guide d'onde principal.

[0034] Avantageusement, les deux bras d'un même accès guidé sont de dimensions sensiblement identiques.

[0035] Avantageusement, les accès guidés sont agencés de manière symétrique par rapport à un axe de symétrie du guide d'onde principal.

[0036] Dans un mode de réalisation du transducteur orthomode décrit, chaque accès guidé comprend une jonction particulière choisie parmi une jonction en T plan E et une jonction en T plan H, et deux bras particuliers.

[0037] Dans un mode de réalisation alternatif, les deux accès guidés comprennent une même jonction sous la forme d'une jonction en T magique dont les ports latéraux sont reliés à une paire de bras commune, le premier et le deuxième signal étant transmis par deux ports distincts de la jonction en T magique.

[0038] L'invention décrite porte également sur un dispositif permettant de transmettre les signaux selon des polarisations circulaires orthogonales. Il comprend :

- un transducteur orthomode tel que décrit précédemment, et
- un coupleur 90° relié aux extrémités libres des accès guidés du transducteur orthomode de manière à polariser circulairement le premier et le deuxième signal.

[0039] Enfin, l'invention adresse une chaîne de transmission pour antenne satellite comprenant une source reliée à un transducteur orthomode tel que décrit précédemment, ou un dispositif tel que décrit précédemment pour la transmission de signaux selon des polarisations circulaires orthogonales.

Brève description des figures :

[0040] L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques, détails et avantages apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit, donnée à titre non limitatif, et grâce aux figures annexées qui suivent, données à titre d'exemple, parmi lesquelles :

- la figure 1a représente très schématiquement une chaîne de transmission pour antenne, par exemple une antenne satellite,
- la figure 1b représente très schématiquement les composantes d'une antenne réseau embarquée dans un satellite,
- la figure 2a représente une vue en trois dimensions d'un transducteur orthomode à deux branches selon l'état de l'art,
- la figure 2b décrit le principe de polarisation des signaux dans un guide d'onde à deux branches,
- la figure 2c représente un montage permettant de polariser circulairement et combiner des signaux dans un transducteur orthomode à deux branches,
- la figure 2d représente le champ électrique du signal injecté sur l'accès guidé 203 d'un transducteur orthomode à deux branches,
- la figure 2e représente un montage permettant d'améliorer le découplage d'un transducteur orthomode à deux branches,
- la figure 2f représente un transducteur orthomode à deux branches décalées,
- la figure 3a représente une vue en trois dimensions d'un transducteur orthomode à quatre branches selon l'état de l'art,
- la figure 3b décrit le principe de polarisation des signaux dans un transducteur orthomode à quatre branches,
- la figure 4a représente grossièrement le champ électrique dans l'angle d'un guide d'onde de section carrée ou rectangle,
- la figure 4b représente schématiquement les principes physiques s'appliquant lors de l'injection d'un signal par deux accès situés sur les bords d'un côté du guide d'onde principal,
- la figure 4c représente une configuration permettant d'injecter un signal de manière décentrée sur les côtés d'un guide d'onde,

- la figure 4d représente une configuration permettant d'injecter un signal de manière décentrée sur les côtés d'un guide d'onde,
- la figure 4e représente une configuration permettant d'injecter un signal de manière décentrée sur les côtés d'un guide d'onde,
- la figure 5a représente un mode de réalisation d'un transducteur orthomode à deux branches selon l'invention,
- la figure 5b représente le champ électrique du signal injecté sur l'accès 510 d'un transducteur orthomode à deux branches selon un mode de réalisation de l'invention,
- la figure 5c est une représentation en trois dimensions d'un transducteur orthomode selon un mode de réalisation de l'invention,
- la figure 5d distingue les différentes parties d'un transducteur orthomode selon un mode de réalisation de l'invention pour une fabrication par fraisage,
- la figure 6a représente un mode de réalisation d'un transducteur orthomode à deux branches selon l'invention,
- la figure 6b distingue les différentes parties d'un transducteur orthomode selon un mode de réalisation de l'invention pour une fabrication par fraisage.

[0041] Des références identiques sont utilisées dans des figures différentes lorsque les éléments désignés sont identiques.

Description détaillée :

[0042] S'ils présentent de bonnes performances en découplage, les transducteurs orthomodes à quatre branches de l'état de l'art sont complexes à mettre en œuvre et encombrants. L'invention s'oriente donc naturellement vers les transducteurs orthomodes à deux branches.

[0043] Elle s'appuie sur les propriétés du champ électromagnétique, qui s'oriente de manière perpendiculaire aux parois métalliques du guide d'onde.

[0044] La figure 4a représente grossièrement la direction du champ électrique dans l'angle d'un guide d'onde 401 de section carrée ou rectangulaire. Le champ électromagnétique étant toujours perpendiculaire au support, dans l'angle du guide d'onde, il est incliné en fonction de la distance aux deux parois.

[0045] L'invention propose d'injecter les signaux non pas par des accès centrés sur les côtés de la cavité du guide d'onde principal du transducteur orthomode, mais par des accès décentrés situés sur les bords d'un ou

plusieurs côtés de ce guide d'onde principal. Avec un seul point d'injection décentré, le mode de propagation dans le guide d'onde n'est pas maîtrisé puisqu'il n'est pas certain que le champ électrique dans le guide d'onde sera parfaitement linéaire et orienté dans la direction voulue. L'invention propose d'injecter chaque signal non par un, mais par deux accès décentrés d'un ou plusieurs côtés du guide d'onde principal, et ce de manière symétrique par rapport à un axe de symétrie du guide d'onde principal. La figure 4b représente schématiquement les principes physiques s'appliquant lors de l'injection d'un signal par deux accès situés sur les bords d'un même côté du guide d'onde principal.

[0046] La figure 4b prend l'exemple de l'injection d'un premier signal dans le guide d'onde principal 401 d'un transducteur orthomode à travers un accès guidé 410, dans le but que ce signal se propage selon le mode TE₁₀ (linéaire vertical). Les flèches pleines représentent l'orientation du champ électrique. Le signal injecté sur l'accès guidé 410 est séparé en deux signaux de même puissance par une jonction 411 jouant le rôle de moyen de séparation des signaux. La jonction est raccordée à deux bras 412 et 413 de même longueur. La jonction peut par exemple être un T hyperfréquence plan E, réalisant la division du signal en deux signaux en opposition de phase et de même puissance. Les bras de chaque accès sont reliés au guide d'onde principal 401 par deux fentes décentrées situées aux extrémités du bord droit du guide d'onde principal 401, de manière symétrique par rapport à l'axe xx'. Les champs électriques appliqués de cette manière dans les angles du guide d'onde principal (représentés par les flèches pleines) ne sont pas verticaux dans les angles. Cependant, la recombinaison vectorielle de ces deux injections donne le champ électrique souhaité, ici un champ électrique polarisé parfaitement verticalement.

[0047] La jonction 411 peut également être une jonction hyperfréquence en T plan H, réalisant la division du signal en deux signaux en phase et de même puissance. Dans ce cas, le champ électrique des signaux (représenté par les flèches en pointillés) en sortie de la jonction 411 est en phase. Le signal dans le guide d'onde principal 401, résultant de la combinaison vectorielle des signaux injectés par les bras 412 et 413, est alors polarisé horizontalement (mode TE₀₁, linéaire horizontal). Le type de jonction est donc choisi selon le mode de propagation recherché dans le guide d'onde principal.

[0048] En injectant un même signal, en phase ou en opposition de phase, à travers deux accès décentrés et symétriques dans le guide d'onde principal d'un transducteur orthomode, il est donc possible de « forcer » le mode de propagation de l'onde électromagnétique. Dans l'exemple de la figure 4b, où les bras 412 et 413 de l'accès guidé 410 sont positionnés dans les angles d'une paroi verticale du guide d'onde principal 401, la jonction 411 sépare le signal en deux signaux en opposition de phase pour polariser verticalement le signal, ou deux signaux en phase pour le polariser horizontalement.

[0049] L'utilisation de bras de mêmes dimensions (même longueur, même largeur et même hauteur) permet d'injecter le signal dans le guide d'onde principal de manière synchronisée et avec un même niveau de puissance. Un moyen simple d'obtenir des bras de même longueur consiste à agencer l'ensemble de l'accès guidé de manière symétrique par rapport à l'axe de symétrie xx' du guide d'onde principal 401.

[0050] La disposition décrite à la figure 4b n'est pas la seule possible pour un accès guidé à deux bras dans un transducteur orthomode selon l'invention. Les figures 4c, 4d et 4e décrivent d'autres configurations permettant d'injecter un signal de manière décentrée sur les côtés du guide d'onde principal 401.

[0051] Dans la figure 4c, la jonction 421 est un T plan E, qui génère deux signaux en opposition de phase sur les deux bras 422 et 423, qui injectent les signaux dans les deux angles d'un côté horizontal du guide d'onde principal 401, de manière symétrique par rapport à l'axe yy' . Par conséquent, le mode de propagation dans le guide d'onde principal est le mode TE01, soit une polarisation linéaire horizontale. En utilisant une jonction 421 configurée pour générer des signaux en phase, tel qu'une jonction en T plan H, le mode de propagation obtenu est le mode TE10, soit une polarisation linéaire verticale.

[0052] Dans la figure 4d, les deux bras sont reliés à des accès décentrés situés sur deux côtés opposés du guide d'onde principal 401. Les accès sont toujours symétriques par rapport à l'axe xx' . Le champ électrique évolue comme sur la figure 4b, en mode TE10, bien que les points d'injection des bras 432 et 433 dans le guide d'onde principal soient différents de ceux des bras 412 et 413 de la figure 4b. En utilisant une jonction en T plan H au lieu d'une jonction en T plan E, le signal est polarisé horizontalement (mode TE01).

[0053] Dans la figure 4e, les deux bras sont reliés à un même côté horizontal du guide d'onde principal 401, et sont décentrés de manière symétrique par rapport à l'axe yy' mais sans englober les angles. Le champ électrique évolue de la même manière que sur la figure 4c, bien que l'agencement des bras et leur positionnement par rapport aux angles du guide d'onde principal diffèrent.

[0054] Les bras d'un accès guidé ne rejoignent donc pas nécessairement le guide d'onde principal 401 dans un de ses angles, à condition que les points d'injection dans le guide d'onde principal soient symétriques par rapport à un axe de symétrie du guide d'onde principal 401, pour que la combinaison des signaux injectés depuis les deux bras génère un champ électrique parfaitement rectilinéaire. Cependant, la proximité des angles améliore les performances du transducteur orthomode selon l'invention, car les fentes de jonction entre les bras d'accès et le guide d'onde central créent un couplage magnétique (champ H), leur positionnement dans les angles optimisant l'efficacité de ce couplage.

[0055] La figure 5a représente un mode de réalisation d'un transducteur orthomode à deux branches selon l'invention. Le transducteur est configuré pour émettre un

premier signal dans une polarisation linéaire verticale, et un deuxième signal dans une polarisation linéaire horizontale.

[0056] Il comprend un guide d'onde principal 501, à section carrée, mais l'invention s'appliquerait de manière identique pour un guide d'onde à section rectangulaire, dans le cas de deux signaux injectés fonctionnant dans des bandes de fréquences différentes. Le guide d'onde principal 501 s'étend selon un axe zz' dans lequel peut par exemple se trouver une source pour un système antenne. Il est adapté à la propagation de signaux selon les deux modes fondamentaux TE10 et TE01 dans la ou les bandes de fréquences considérées. La figure 5a représente le transducteur orthomode dans une vue en coupe au niveau des intersections avec les accès guidés, selon un plan xy orthogonal à l'axe zz' dans lequel s'étend le guide d'onde principal 501.

[0057] Un premier accès guidé 510 est configuré pour injecter le premier signal dans le guide d'onde principal 501. Il comprend un guide d'onde 511 présentant une extrémité libre par laquelle est injecté le signal à émettre en polarisation verticale, une jonction 512 configurée pour diviser le premier signal en deux signaux identiques, de même puissance, et en opposition de phase, tel qu'une jonction en T plan E, et deux bras 513 et 514, reliés d'une part à la jonction 512 et d'autre part à un même côté du guide d'onde principal de manière décentrée et symétrique par rapport à son axe xx' . Les éléments constituant l'accès guidé 510 sont dimensionnés de manière à permettre la propagation du premier signal (dont le champ électromagnétique est représenté par des flèches pleines sur la figure) selon un mode fondamental dans la bande de fréquence considérée. Ils peuvent être reliés avec le guide d'onde principal 501 à travers des iris réalisant l'adaptation d'impédance. La combinaison vectorielle des champs électriques des signaux injectés par les deux bras 513 et 514 dans le guide d'onde 501 forme le mode de propagation du signal dans le guide d'onde, c'est-à-dire ici le mode TE10, correspondant à une polarisation linéaire verticale.

[0058] De manière identique, un deuxième accès guidé 520 est configuré pour injecter le deuxième signal dans le guide d'onde principal 501, au même niveau que le premier accès guidé. Il comprend un guide d'onde 521, par lequel est injecté le signal, relié à une jonction 522, configurée pour diviser le deuxième signal en deux signaux identiques, de même puissance et en opposition de phase. Les deux sorties de la jonction 522 donnent sur les bras 523 et 524. Les deux bras sont respectivement reliés aux bords d'un même côté du guide d'onde principal, de manière symétrique par rapport à son axe de symétrie yy' . Le côté du guide d'onde choisi ici est le côté orthogonal à celui où sont reliés les bras du premier accès guidé. Cependant, dans le transducteur orthomode selon l'invention, n'importe quel autre côté aurait pu être sélectionné puisque la polarisation finale du signal est fonction de la combinaison des positions où le signal est injecté par les deux bras et du type de jonction choisi.

Les éléments constituant l'accès guidé 520 sont dimensionnés de manière à permettre la propagation du deuxième signal (dont le champ électromagnétique est représenté par des flèches en pointillés sur la figure) selon un mode fondamental dans la bande de fréquence considérée. Ils peuvent être reliés avec le guide d'onde principal 501 par des fentes pourvues d'iris pour l'adaptation d'impédance. La combinaison vectorielle des champs électriques des signaux injectés par les deux bras 523 et 524 permet de former le mode de propagation du signal dans le guide d'onde, ici le mode TE₀₁ correspondant à une polarisation linéaire horizontale.

[0059] Le transducteur orthomode selon l'invention permet donc, à partir de deux accès 510 et 520, de combiner deux signaux avec les polarisations croisées voulues dans le guide d'onde principal 501.

[0060] La figure 5b représente le champ électrique du signal injecté sur l'accès 510 d'un transducteur orthomode à deux branches selon un mode de réalisation de l'invention, dans une vue en coupe dans le plan xy à l'intersection entre les accès guidés et le guide principal 501. La longueur et la direction des flèches représentent l'intensité et la direction du champ électrique.

[0061] Le champ électrique dans l'accès 510 évolue de sorte que la combinaison vectorielle du signal injecté en phase à travers les bras 513 et 514 se propage dans le guide d'onde principal selon le mode TE₁₀, c'est-à-dire polarisé verticalement. On observe que le champ électrique est orienté beaucoup plus précisément que dans un transducteur orthomode à deux accès représenté à la figure 2d, de par la symétrie des accès à deux branches : le découplage entre les polarisations est donc plus important.

[0062] Une partie de l'énergie injectée depuis l'accès guidé 510 se propage dans les bras 523 et 524 de l'accès guidé 520, où le champ électrique tourne pour se retrouver orienté horizontalement. La jonction en phase 522 (jonction en T plan E) joue alors le rôle de moyen de combinaison en opposition de phase des signaux. La position des deux bras étant symétrique par rapport à l'axe de symétrie yy' du guide d'onde principal 501, les signaux transmis dans les deux bras sont identiques et de même puissance. L'orientation du champ électrique fait qu'ils sont en opposition de phase (180°) dans l'accès 521. Par conséquent, ils s'annulent, et les résidus du signal émis par l'accès guidé 510 et reçus dans la jonction 522 s'évanouissent naturellement dans le guide d'onde 521. Il n'y a donc pas ou peu d'effets de couplage dus aux résidus d'un signal dans l'accès guidé du signal de polarisation croisé.

[0063] Le phénomène est le même dans l'autre sens, où des résidus du signal émis par l'accès 520 se retrouvent en opposition de phase dans les bras 513 et 514. Leur recombinaison par la jonction 511 en opposition de phase fait que le signal polarisé horizontalement s'évanouit en sortie. Il n'y a donc pas ou peu d'effets de couplage dans ce sens non plus.

[0064] Grâce aux propriétés de symétrie des accès dé-

centrés, le transducteur orthomode selon l'invention tel que représenté à la figure 5a permet d'améliorer les performances de découplage de quelques dB par rapport aux transducteurs orthomodes à deux bras tel que celui représenté à la figure 2a, en générant des champs électriques parfaitement linéaires, et en bloquant par construction la propagation du signal d'un accès guidé vers l'autre. En outre, ce transducteur orthomode est plus large bande que les transducteurs orthomodes à deux branches de l'état de l'art car ses propriétés de symétrie font qu'il construit des alignements de polarisation toujours bien orientés, indépendamment de la bande de fréquence considérée. Ce n'est pas le cas avec les transducteurs orthomodes à deux bras, qui ne sont pas symétriques et doivent donc être optimisés pour une bande de fréquence donnée.

[0065] La figure 5c est une représentation en trois dimensions d'un transducteur orthomode selon un mode de réalisation de l'invention. On y retrouve le guide d'onde principal 501, auquel sont reliés un premier accès 510, pour l'injection du signal émis selon une polarisation, et un deuxième accès 520, pour l'injection du signal émis selon la polarisation croisée.

[0066] Ce dispositif présente l'avantage d'être particulièrement simple et d'occuper un volume réduit de près de 75% par rapport aux transducteurs orthomodes à quatre branches reliées deux à deux tel que celui de la figure 3a, ce qui est un des buts recherchés par l'invention. Cette compacité est importante, notamment pour la réalisation d'antennes réseau impliquant un grand nombre de transducteurs orthomode disposés selon une maille restreinte. La diminution de masse est dans les mêmes proportions, ce qui est également très apprécié pour la réalisation d'antennes réseau embarquées dans la charge utile de satellites.

[0067] Un autre avantage du transducteur orthomode selon l'invention est que le fond de cavité du transducteur orthomode (l'arrière du guide d'onde principal selon l'axe zz') reste libre. Il est donc possible d'ajouter à la suite d'autres accès permettant de traiter les polarisations de signaux transmis dans une autre bande de fréquence, ou une charge jouant le rôle de terminaison du guide d'onde principal.

[0068] Si le transducteur orthomode selon l'invention, où chacun des accès comprend un couple de bras distincts, permet de polariser des signaux selon des polarisations linéaires orthogonales, il peut être associé à un coupleur de manière à polariser circulairement les signaux, de manière comparable à ce qui se fait avec les transducteurs orthomodes à deux branches connus de l'état de la technique tel que celui représenté à la figure 2c.

[0069] Enfin, la réalisation du transducteur orthomode selon l'invention est envisageable en fabrication additive (impression en trois dimensions métallique) pour un coût réduit ou en technique fraisée, en seulement trois parties 531, 532 et 533 représentées à la figure 5d, la partie 533 représentant une marche permettant d'adaptation du

transducteur orthomode à la source de l'antenne.

[0070] Un autre mode de réalisation d'un transducteur orthomode selon l'invention est donné à la figure 6a. Ce mode de réalisation implique toujours un guide d'onde principal 601, mais les accès guidés des deux signaux à polarisations croisés sont injectés par la même paire de bras.

[0071] Pour ceci, le transducteur orthomode comprend un dispositif connu de l'homme du métier, nommé jonction en T magique (en anglais *magic T*). Une jonction en T magique est un composant hyperfréquence à trois dimensions et quatre ports : deux ports latéraux, un port somme et un port différence. Il réalise conjointement la fonction de jonction en T plan E et plan H, les ports latéraux et le port somme formant le T plan H, les ports latéraux et le port différence formant le T plan E.

[0072] Le premier accès au guide d'onde principal est formé par un guide d'onde 603 présentant une extrémité libre par laquelle est injecté le premier signal, et relié au port différence de la jonction en T magique. Les deux ports latéraux de la jonction en T magique sont reliés à deux bras 610 et 611, eux-mêmes reliés au guide d'onde principal 601 par des accès décentrés positionnés sur les bords d'un même côté du guide d'onde principal, de manière symétrique par rapport sont axe de symétrie yy'.

[0073] Le deuxième accès au guide d'onde principal est formé par un guide d'onde 604 présentant une extrémité libre par laquelle est injecté le deuxième signal, et relié au port somme de la jonction en T magique. Les bras de cet accès sont les bras 610 et 611 raccordés aux ports latéraux de la jonction en T magique, tout comme le premier accès.

[0074] L'utilisation d'une jonction en T magique permet de pouvoir partager les bras entre les deux accès guidés dans des polarisations orthogonales. Le positionnement des accès permet d'obtenir des modes de propagation orthogonaux dans le guide d'onde principal 601 avec des champs électriques parfaitement formés. Enfin, le positionnement et la structure des accès, associés à la jonction en T magique, permettent d'éviter les effets de couplage entre les deux signaux à polarisations croisées.

[0075] Le guide d'onde selon le mode de réalisation présenté à la figure 6a permet d'obtenir des niveaux de découplage très élevés, de l'ordre de -70 dB, avec un dispositif extrêmement compact. Par rapport aux modes de réalisations présentés précédemment, il fonctionne cependant sur une bande de fréquence réduite, donnée par la bande de fonctionnement de la jonction en T magique.

[0076] Sa réalisation est très simple puisqu'il peut être généré par fabrication additive, ou par un fraisage requérant uniquement l'assemblage de deux pièces. La figure 6b représente les deux pièces 621 et 622 requises pour la réalisation par fraisage d'un transducteur orthomode selon l'invention.

[0077] Les modes de réalisation présentés précédemment pour un transducteur orthomode selon l'invention permettent de combiner des signaux dans des polarisa-

tions orthogonales de manière simple, peu encombrante et très performante.

[0078] Le transducteur orthomode selon l'invention a été décrit dans le cas d'application de l'injection de deux signaux depuis les extrémités libres des accès guidés vers le guide d'onde principal. Cependant, l'invention s'applique de manière identique pour l'extraction de signaux depuis le guide d'onde principal vers les deux accès guidés. Dans ce cas, les jonctions en T jouent le rôle de moyens de combinaison des signaux reçus par les bras depuis le guide d'onde principal. L'invention s'applique également de la même manière pour l'injection d'un premier signal et l'extraction simultanée d'un deuxième signal en polarisation croisée.

Revendications

1. Transducteur orthomode, pour la transmission d'un premier signal et d'un deuxième signal dans des modes de propagation orthogonaux, **caractérisé en ce qu'il comprend :**

- un guide d'onde principal (501, 601) à section carrée ou rectangulaire,
- deux accès guidés (510, 520) ayant d'une part une extrémité libre par laquelle sont respectivement injectés ou récupérés le premier signal et le deuxième signal, et d'autre part deux bras reliés au guide d'onde principal,

et dans lequel chaque accès guidé comprend une jonction (512, 522, 602) configurée pour relier l'extrémité libre avec les deux bras de l'accès guidé, les deux bras (513, 514, 523, 524, 610, 611) de chaque accès guidé étant reliés au guide d'onde principal en deux emplacements décentrés d'un ou plusieurs côtés du guide d'onde principal, les deux emplacements étant symétriques par rapport à un axe de symétrie du guide d'onde principal.

2. Transducteur orthomode selon la revendication 1, dans lequel la liaison entre le guide d'onde principal et les deux bras d'un accès guidé comprend les deux angles d'un même côté du guide d'onde principal.

3. Transducteur orthomode selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la jonction (512, 522, 602) de chaque accès guidé est configurée pour que les signaux transmis sur la paire de bras d'un accès guidé soient en phase ou en opposition de phase suivant leur mode de propagation dans le guide d'onde principal.

4. Transducteur orthomode selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les deux bras d'un même accès guidé sont de dimensions sensiblement identiques.

5. Transducteur orthomode selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les accès guidés sont agencés de manière symétrique par rapport à un axe de symétrie du guide d'onde principal. 5
6. Transducteur orthomode selon l'une des revendications précédentes, dans lequel chaque accès guidé comprend une jonction (512, 522) particulière choisie parmi une jonction en T plan E et une jonction en T plan H, et deux bras particuliers (513, 514, 523, 524). 10
7. Transducteur orthomode selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel les deux accès guidés comprennent une même jonction (602) sous la forme d'une jonction en T magique dont les ports latéraux sont reliés à une paire de bras commune (610, 611), le premier et le deuxième signal étant transmis par deux ports distincts (603, 604) de la jonction en T magique. 15
20
8. Dispositif comprenant :
 - un transducteur orthomode (102) selon l'une des revendications 1 à 7, et 25
 - un coupleur 90° (210) relié aux extrémités libres des accès guidés du transducteur orthomode de manière à polariser circulairement le premier et le deuxième signal. 30
9. Chaîne de transmission pour antenne satellite comprenant une source (101) reliée à un transducteur orthomode (102) selon l'une des revendications 1 à 7 ou à un dispositif selon la revendication 8. 35
40
45
50
55

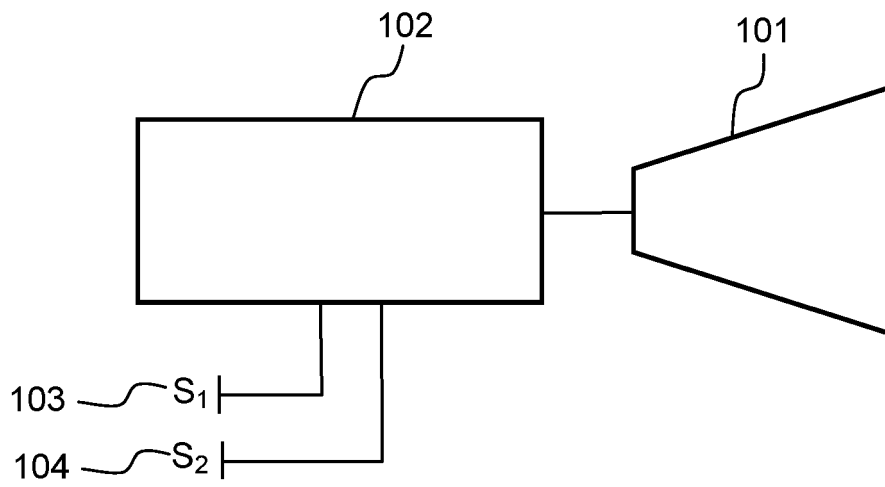


FIG.1a

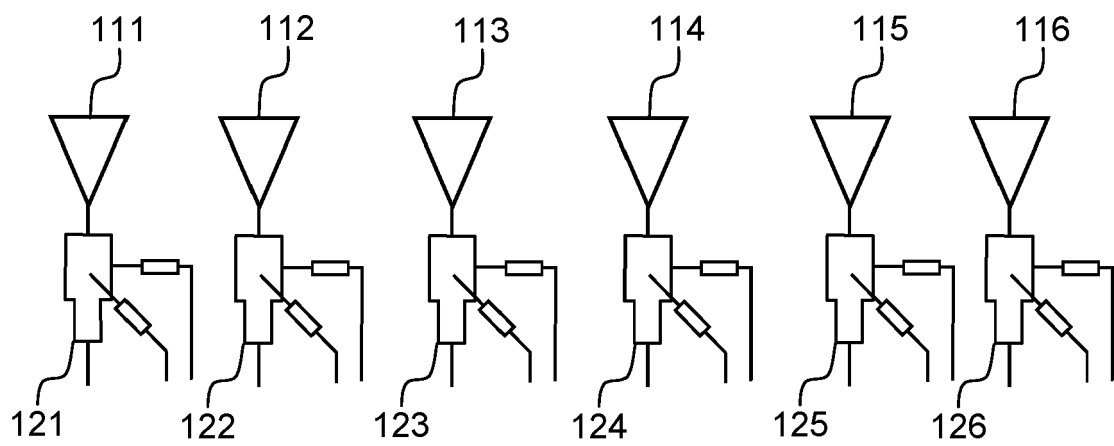


FIG.1b

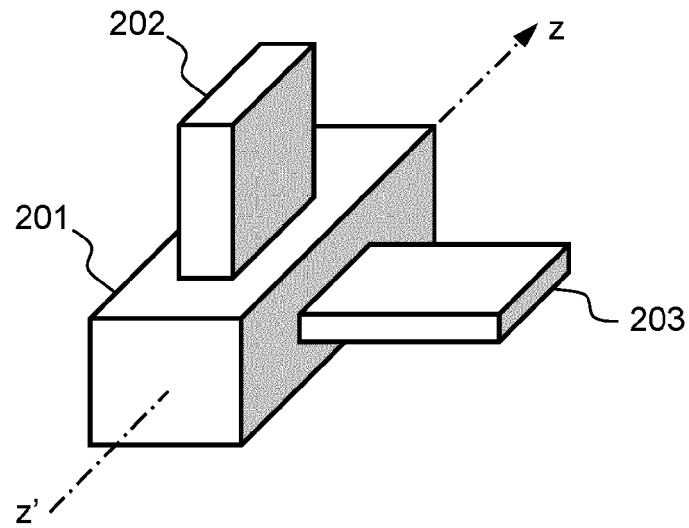


FIG.2a

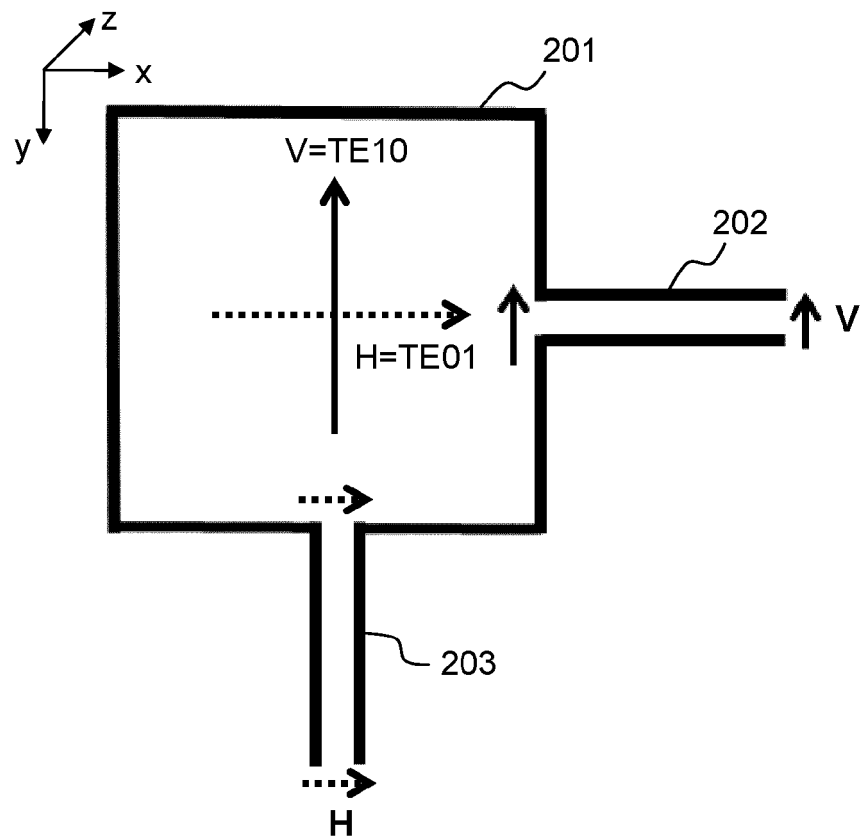
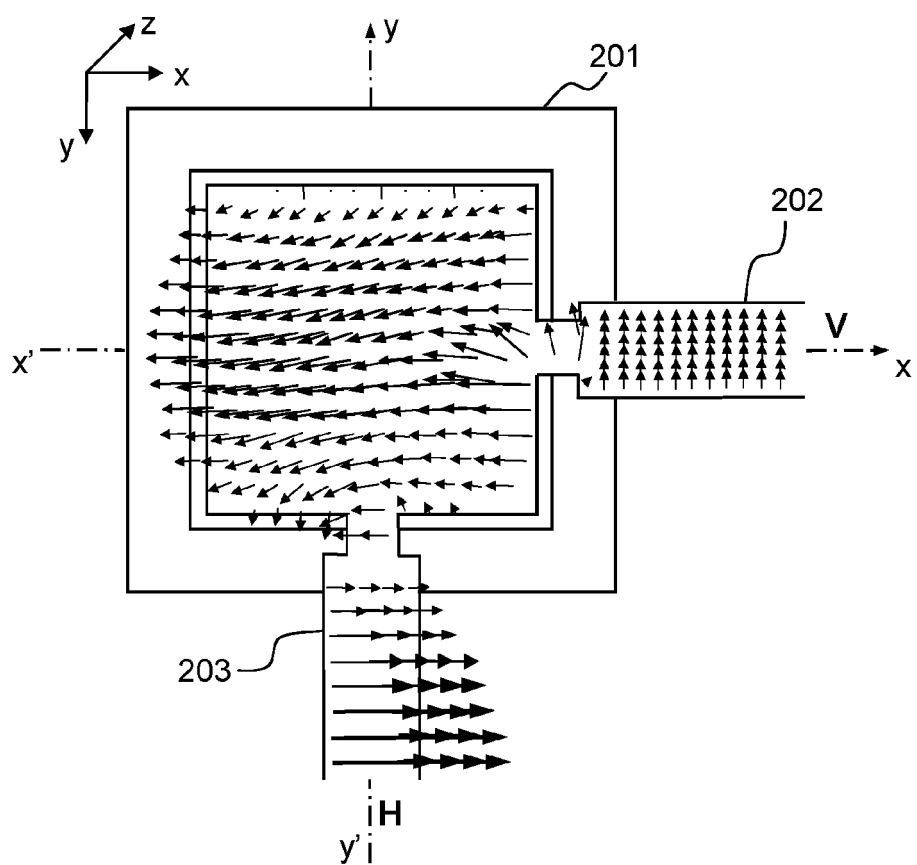
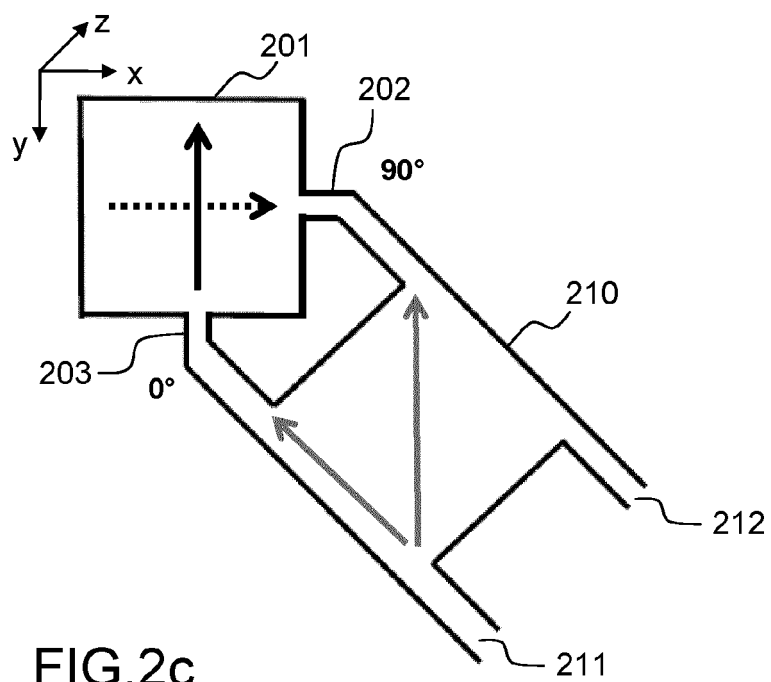


FIG.2b



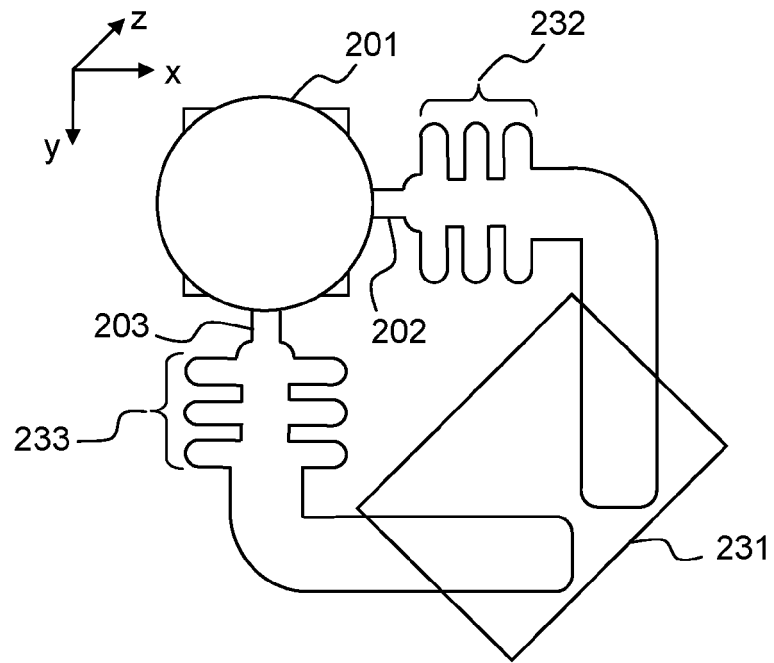


FIG. 2e

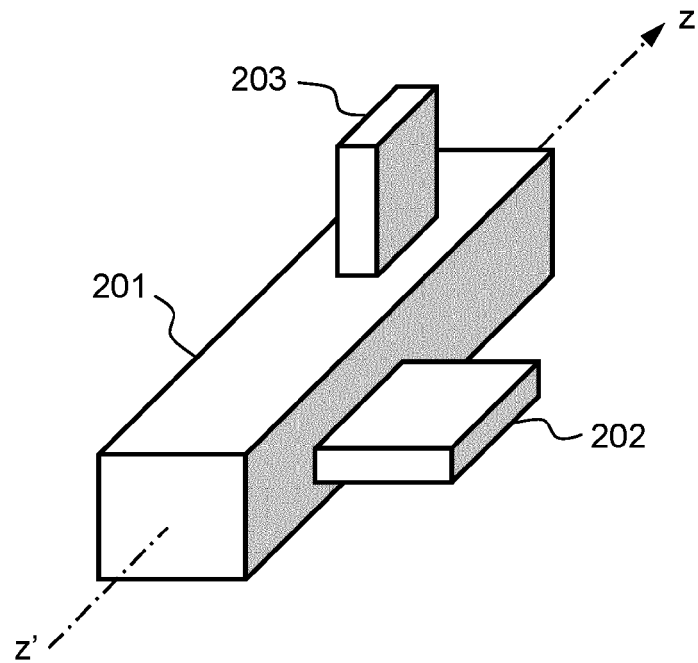


FIG. 2f

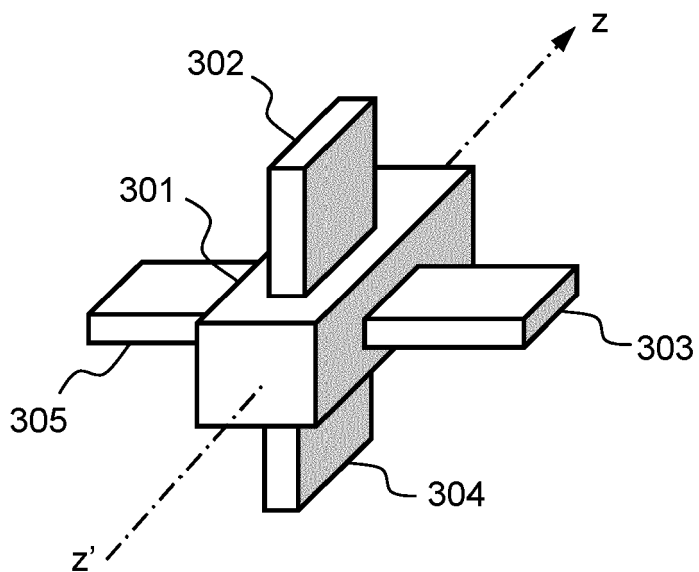


FIG.3a

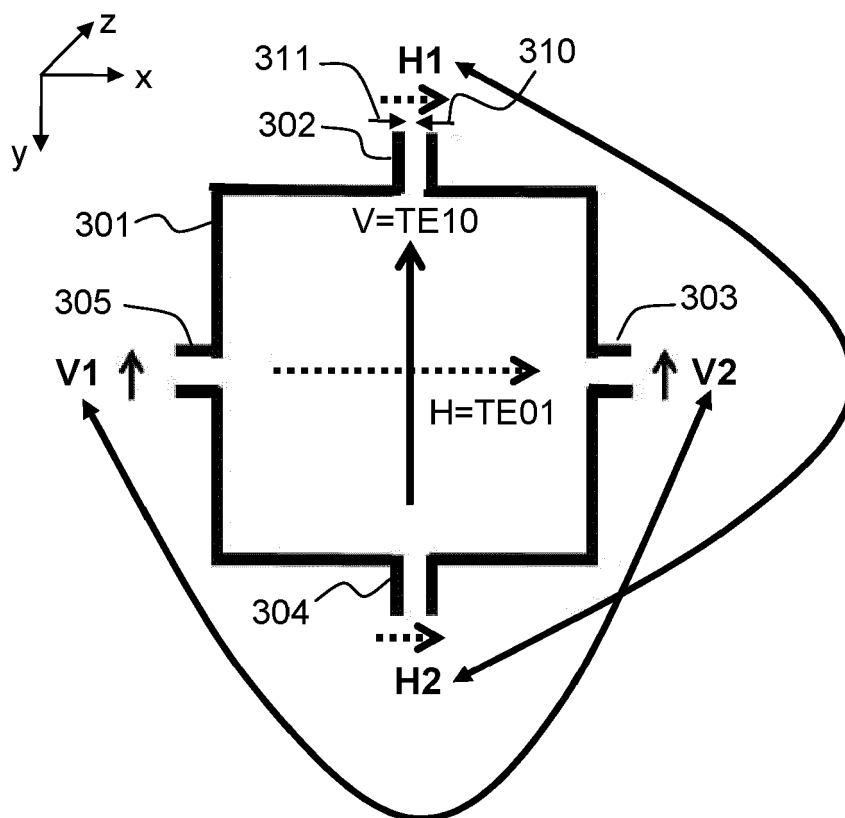


FIG.3b

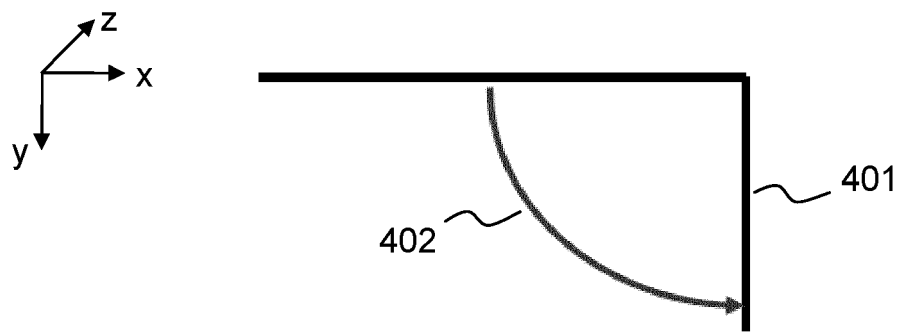


FIG. 4a

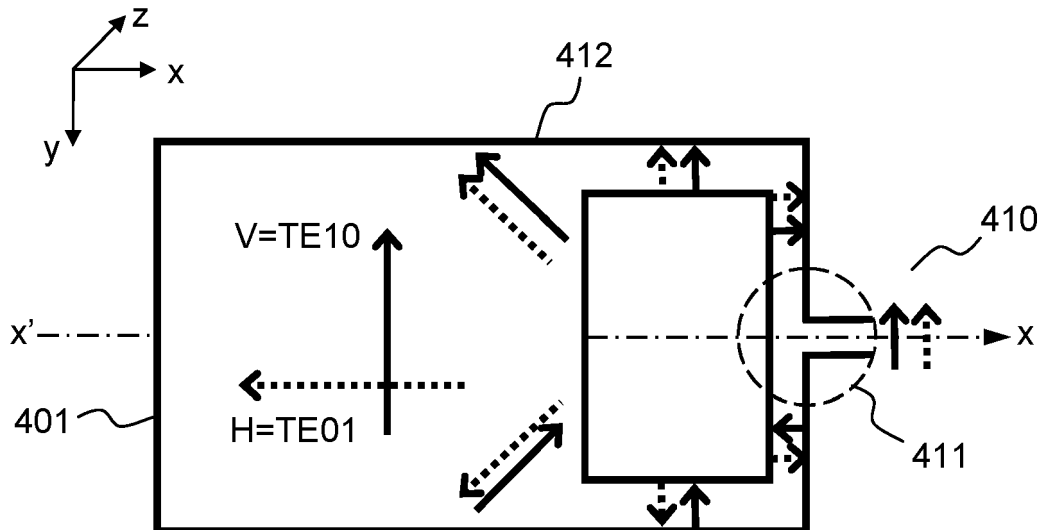


FIG. 4b

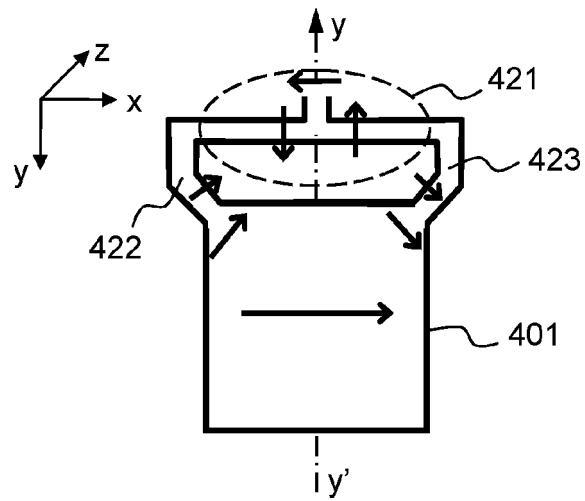


FIG. 4c

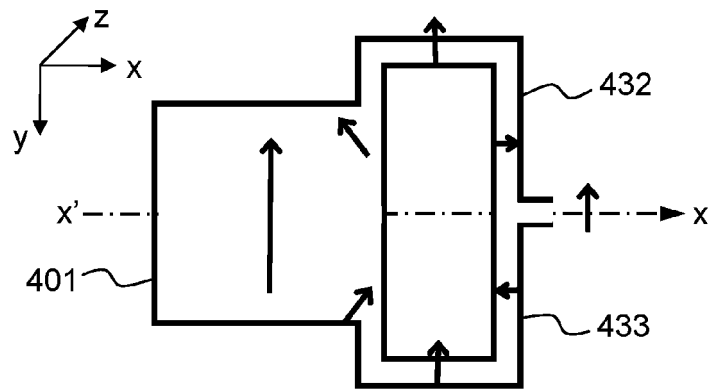


FIG. 4d

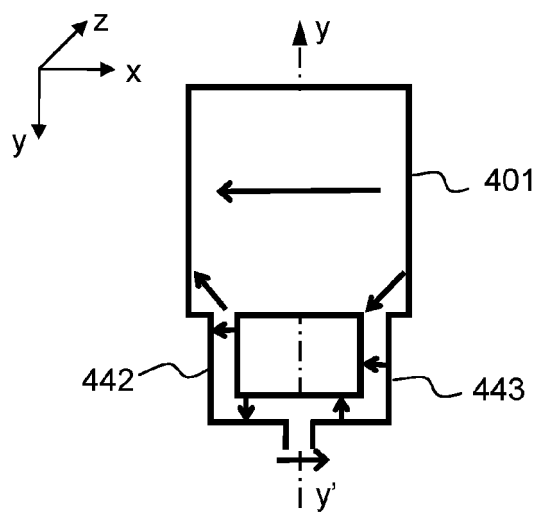


FIG. 4e

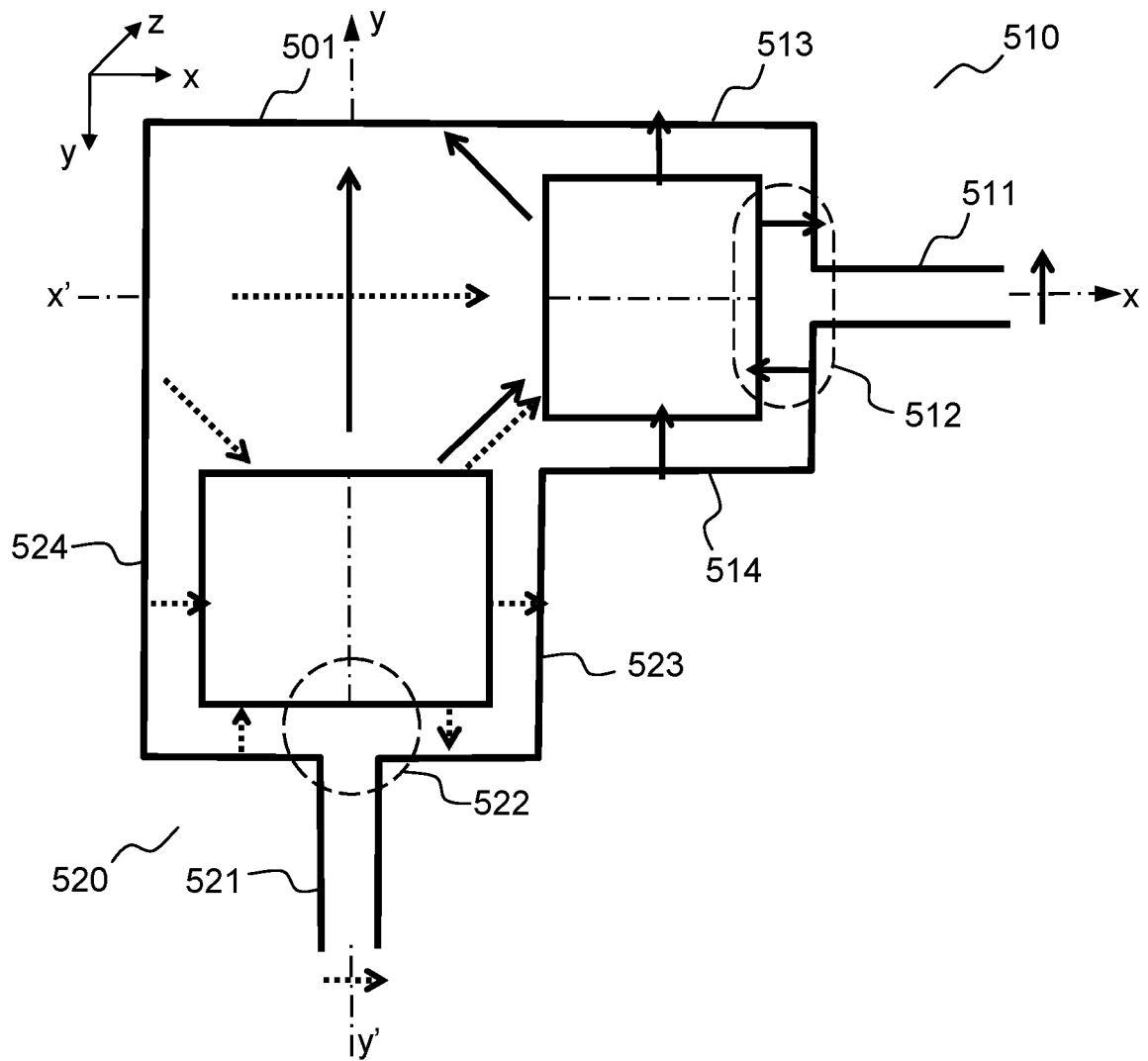


FIG.5a

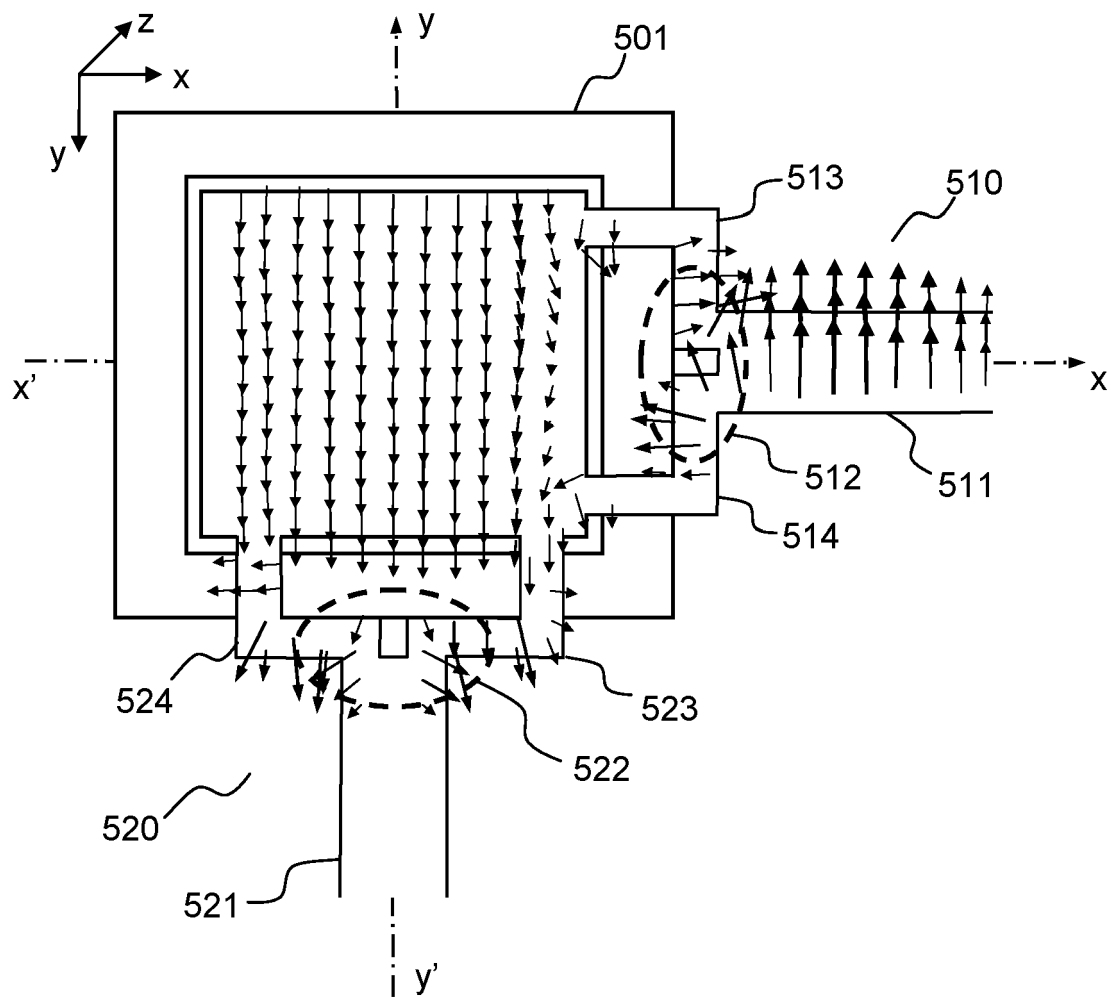


FIG.5b

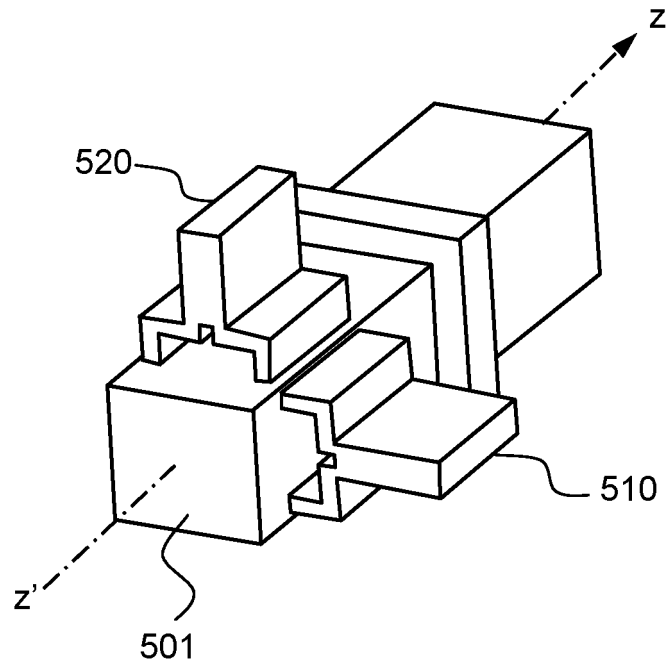


FIG. 5c

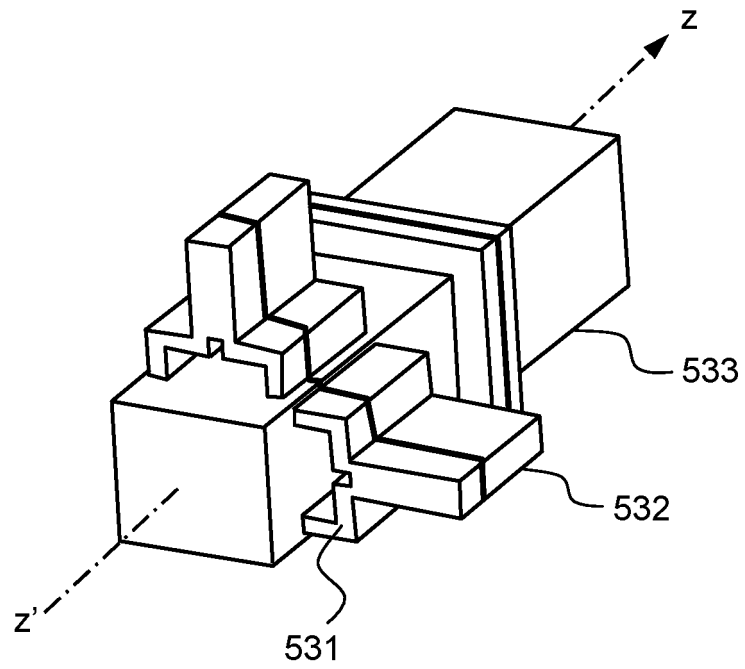


FIG. 5d

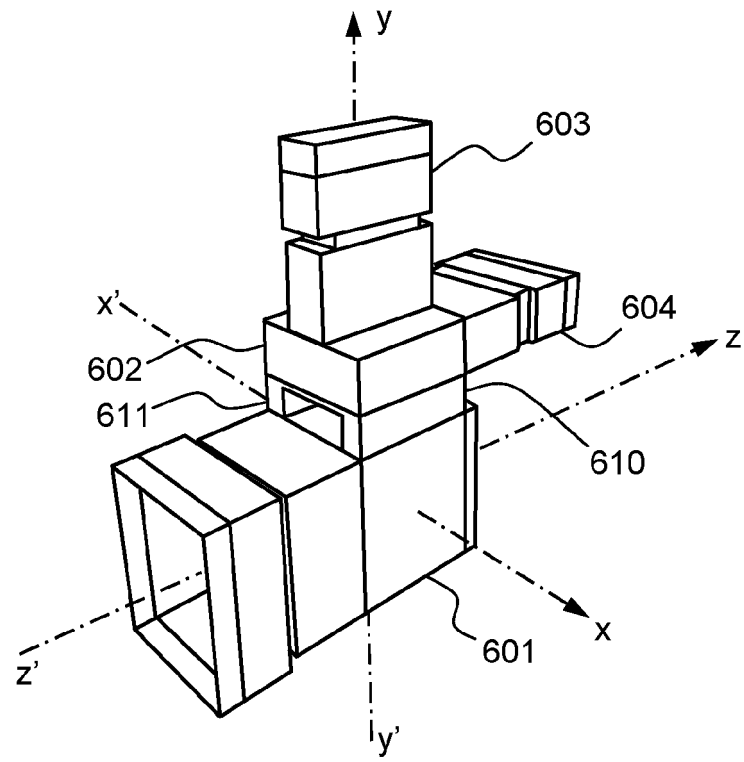


FIG. 6a

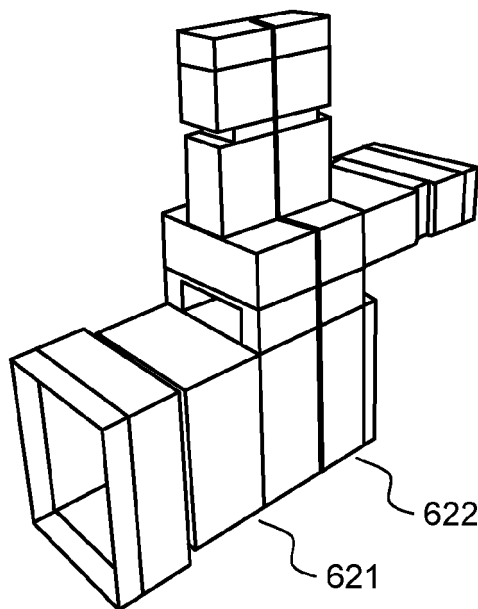


FIG. 6b



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 21 17 2702

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	GB 2 054 974 A (ERA TECH LTD) 18 février 1981 (1981-02-18) * page 3, ligne 20 - page 4, ligne 33; figures 1-4 *	1-9	INV. H01P1/161
A	US 2013/307719 A1 (GRANET CHRISTOPHE JEAN-MARC [AU] ET AL) 21 novembre 2013 (2013-11-21) * alinéa [0102] - alinéa [0110]; figures 7A-7K *	1-9	
A	US 3 715 688 A (WOODWARD O) 6 février 1973 (1973-02-06) * colonne 2, ligne 46 - colonne 4, ligne 31; figure 1 *	1-9	
A	GB 835 575 A (STANDARD TELEPHONES CABLES LTD) 25 mai 1960 (1960-05-25) * page 1, ligne 75 - page 2, ligne 95; figures 1-5 *	1-9	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01P
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		1 octobre 2021	Pastor Jiménez, J
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 21 17 2702

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.
01-10-2021

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
GB 2054974 A	18-02-1981	AUCUN	
US 2013307719 A1	21-11-2013	AU 2011326337 A1 CA 2816602 A1 EP 2638600 A1 JP 5745080 B2 JP 2014502084 A KR 20130141580 A US 2013307719 A1 WO 2012061881 A1	30-05-2013 18-05-2012 18-09-2013 08-07-2015 23-01-2014 26-12-2013 21-11-2013 18-05-2012
US 3715688 A	06-02-1973	CA 930041 A US 3715688 A	10-07-1973 06-02-1973
GB 835575 A	25-05-1960	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.

Documents brevets cités dans la description

- EP 2202839 B1 [0018]