

(19)



(11)

EP 2 432 072 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
04.04.2018 Bulletin 2018/14

(51) Int Cl.:
H01P 5/10 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **11182224.3**

(22) Date de dépôt: **21.09.2011**

(54) **Symétriseur large bande sur circuit multicouche pour antenne réseau**

Breitband-Symmetrieüberträger auf mehrlagigem Schaltkreis für eine Netzantenne

Wideband balun on a multilayer circuit for a network antenna

(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**

(30) Priorité: **21.09.2010 FR 1003753**

(43) Date de publication de la demande:
21.03.2012 Bulletin 2012/12

(73) Titulaire: **THALES
92400 Courbevoie (FR)**

(72) Inventeurs:
• **Perpere, Bernard
78851 Elancourt (FR)**
• **Mallegol, Stéphane
78851 Elancourt (FR)**

• **Herault, Joël
78851 Elancourt (FR)**
• **Schreider, Ludovic
78851 Elancourt (FR)**

(74) Mandataire: **Collet, Alain et al
Marks & Clerk France
Conseils en Propriété Industrielle
Immeuble Visium
22, Avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)**

(56) Documents cités:
**EP-A2- 0 146 086 JP-A- 2005 333 012
US-A- 5 497 137 US-A- 5 697 088
US-A1- 2009 140 823 US-B1- 6 278 340**

EP 2 432 072 B1

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

Description

[0001] L'invention se situe dans le domaine des antennes réseau, en particulier des antennes réseau large bande à balayage électronique. Elle concerne un symétriseur pouvant alimenter une antenne élémentaire de l'antenne réseau. Elle concerne également un ensemble de symétriseurs apte à alimenter chaque antenne élémentaire d'une antenne réseau ainsi qu'un dispositif d'antenne comportant une antenne réseau et un ensemble de symétriseurs apte à alimenter chaque antenne élémentaire de l'antenne réseau.

[0002] Une antenne réseau à balayage électronique comprend notamment un ensemble d'éléments rayonnants disposés sous forme d'une matrice et, pour chaque élément rayonnant, une chaîne d'émission, une chaîne de réception et un circulateur ou commutateur permettant le transfert unidirectionnel de signaux hyperfréquence de la chaîne d'émission vers l'élément rayonnant associé et de l'élément rayonnant vers la chaîne de réception associée. Les chaînes d'émission comportent chacune un élément de déphasage de manière à permettre la modification de la directivité et de l'orientation du faisceau émis par l'antenne réseau. Une antenne réseau à balayage électronique permet ainsi, dans des temps relativement courts, d'assurer soit un balayage continu de l'espace, soit des pointages successifs dans des directions bien déterminées, soit des alternances faisceau étroit - faisceau étendu, soit toute autre combinaison de ces situations. Une antenne réseau peut en outre comporter une cavité destinée à absorber le rayonnement émis dans la direction du support d'antenne, appelé rayonnement arrière, et donc de réduire le rayonnement réfléchi en décalage de phase avec le rayonnement émis dans la direction opposée, appelé rayonnement avant. Lorsqu'une antenne réseau comporte un grand nombre d'éléments rayonnants, pouvant atteindre plusieurs milliers, elle peut comporter un formateur de voies regroupant les éléments rayonnants en différents ensembles appelés sous-réseaux. Les éléments rayonnants ne sont alors plus alimentés individuellement mais par blocs, tous les éléments rayonnants d'un même sous-réseau recevant le même signal hyperfréquence. L'ensemble des composants de l'antenne réseau permettant d'alimenter les éléments rayonnants est appelé circuit de commande.

[0003] Les antennes réseau comportant des éléments rayonnants de type planaire peuvent être réalisées sur des circuits multicouches. Les éléments rayonnants de type planaire forment par exemple des motifs carrés, également appelés "patch". Un circuit multicouche peut intégrer l'ensemble des composants hyperfréquence d'une antenne réseau avec un encombrement relativement faible. En particulier, il permet l'intégration de circuits intégrés monolithiques hyperfréquence, par exemple encapsulés dans des boîtiers à billes, ou boîtiers BGA selon l'expression anglo-saxonne "Ball Grid Array". Une couche du circuit peut remplir la fonction de cavité.

L'épaisseur de cette couche est alors de l'ordre du quart de la longueur d'onde de la fréquence centrale ($\lambda/4$) et sa constante diélectrique est choisie relativement faible.

[0004] Dans une antenne réseau à balayage électronique, la ligne d'alimentation des éléments rayonnants est symétrique alors que les lignes d'entrée et de sortie du circuit de commande sont dissymétriques. Une antenne réseau doit donc comporter un symétriseur entre chaque élément rayonnant et le circulateur (ou le commutateur) connecté aux chaînes d'émission et de réception associées à cet élément rayonnant. Un symétriseur, également appelé "balun" d'après l'expression anglo-saxonne "balanced-to-unbalanced transformer" permet non seulement d'assurer une transition entre un mode de propagation symétrique et un mode de propagation dissymétrique, mais aussi d'adapter graduellement l'impédance de chaque élément rayonnant, typiquement de l'ordre de 200 ohms à celle du circuit de commande, en principe de 50 ohms. Un symétriseur dit progressif consiste en un circuit imprimé comportant, sur deux faces opposées séparées par un substrat diélectrique, deux lignes conductrices s'étendant entre un connecteur symétrique et un connecteur dissymétrique, de longueur électrique voisine de la longueur d'onde de la fréquence centrale. La ligne conductrice de la première face est de largeur constante et la ligne conductrice de la deuxième face voit sa largeur diminuer depuis le connecteur dissymétrique jusqu'au connecteur symétrique. Les symétriseurs progressifs sont généralement disposés dans des plans orthogonaux à la surface rayonnante, c'est-à-dire orthogonaux aux différentes couches du circuit multicouche. Par conséquent, ils ne peuvent pas être intégrés dans le circuit multicouche d'une antenne réseau. Il en découle plusieurs inconvénients. Un inconvénient évident est l'encombrement de ces symétriseurs dans la direction orthogonale à la surface rayonnante, qui nuit à la compacité de l'antenne réseau. Un deuxième inconvénient est que les symétriseurs progressifs imposent une séparation mécanique entre le circuit multicouche intégrant le circuit de commande et le circuit imprimé ou multicouche sur lequel sont implantés les éléments rayonnants. Un troisième inconvénient est lié à la difficulté de réaliser une connexion fiable entre le circuit de commande et les symétriseurs d'une part, et entre les symétriseurs et les éléments rayonnants d'autre part. On pourrait envisager d'adapter les symétriseurs progressifs de manière à les disposer dans un plan parallèle au circuit multicouche. A cette fin, chaque symétriseur comporterait un élément de liaison venant s'insérer entre le connecteur symétrique et la ligne d'alimentation d'un élément rayonnant. De tels symétriseurs permettent bien entendu de gagner en encombrement dans la direction orthogonale à la surface rayonnante, mais il se pose alors un problème d'implantation dans un plan parallèle au plan de la surface rayonnante. En effet, la disposition en matrice des éléments rayonnants impose une disposition similaire des symétriseurs. Par conséquent, chaque symétriseur doit présenter une surface, dans un plan pa-

rallèle au plan de la surface rayonnante, qui soit inférieure à la surface d'un élément rayonnant. Cette surface doit même être divisée par deux pour des antennes réseau bipolarisées, c'est-à-dire comportant deux éléments rayonnants par cellule élémentaire. Dans le même temps, les symétriseurs doivent rester suffisamment découplés les uns des autres pour éviter toute interaction électromagnétique.

[0005] Le document US 6,278,340 B1 décrit un symétriseur (balun) multicouche comprenant deux paires de lignes de transmission couplées séparées par un substrat diélectrique. Le document US 5,697,088 A décrit un premier symétriseur comprenant également deux paires de lignes de transmission couplées séparées par un substrat diélectrique. Il décrit en outre un deuxième symétriseur comprenant une première ligne de transmission composée de deux portions en spirale formées sur la première couche d'un substrat diélectrique, et deux lignes de transmission prenant chacune la forme de l'une des portions de la première ligne de transmission, ces lignes de transmission étant formée sur une deuxième couche du substrat diélectrique. Le document US 5,497,137 A décrit un symétriseur comprenant des lignes de transmission gravées sur trois faces de substrats électriques.

[0006] Un but de l'invention est notamment de fournir un symétriseur apte à s'inscrire dans la surface occupée par un élément rayonnant d'une antenne réseau. Plus particulièrement, l'invention a pour objet de fournir un réseau de symétriseurs aptes à s'implanter dans un dispositif d'antenne réseau. L'invention propose à cet effet un symétriseur réalisé à partir d'un circuit multicouche comportant des lignes de transmission de type microruban, l'une des lignes de transmission formant une ligne triplaque entre deux autres lignes de transmission. Plus précisément, le symétriseur selon l'invention est apte à alimenter une antenne élémentaire comportant deux points de connexion symétriques et il comprend :

- un connecteur dissymétrique comportant un premier point de connexion apte à être relié à une âme d'un conducteur électrique et un deuxième point de connexion apte à être relié à un blindage du conducteur électrique,
- un connecteur symétrique comportant deux points de connexion symétriques aptes à être reliés aux points de connexion de l'antenne élémentaire, et
- un circuit multicouche comportant au moins trois couches conductrices, une première couche de substrat séparant une première et une deuxième couche conductrices et une deuxième couche de substrat séparant la deuxième et une troisième couches conductrices,
- la première couche conductrice formant un premier plan de masse dans lequel sont détournées une première et une deuxième lignes de transmission en série, une première extrémité libre

des lignes de transmission formant le premier point de connexion du connecteur dissymétrique, une deuxième extrémité libre des lignes de transmission étant de type circuit ouvert,

- la deuxième couche conductrice formant un deuxième plan de masse dans lequel est détournée une troisième ligne de transmission sensiblement en vis-à-vis de la ligne de transmission terminée par un circuit ouvert, la troisième ligne de transmission étant constituée de deux tronçons de ligne, une première extrémité d'un premier tronçon de ligne étant reliée à une première extrémité du deuxième tronçon de ligne par une jonction de symétriseur, les deuxièmes extrémités de chaque tronçon de ligne étant court-circuitées avec le deuxième plan de masse,
- la troisième couche conductrice formant un troisième plan de masse dans lequel sont détournées une quatrième et une cinquième ligne de transmission, la quatrième ligne de transmission étant constituée de deux tronçons de ligne, chaque tronçon de ligne de la quatrième ligne de transmission étant sensiblement en vis-à-vis d'un des tronçons de ligne de la troisième ligne de transmission, des premières extrémités de chaque tronçon de ligne de la quatrième ligne de transmission étant reliées entre elles au niveau de la jonction de symétriseur, la cinquième ligne de transmission étant constituée de deux tronçons de ligne, une extrémité de chacun de ces tronçons de ligne étant reliée à l'extrémité libre de l'un des tronçons de ligne de la quatrième ligne de transmission, les extrémités libres des tronçons de ligne de la cinquième ligne de transmission formant les points de connexion symétriques,
- les lignes de transmission étant dimensionnées de manière à ce que les longueurs électriques équivalentes des première et deuxième lignes de transmission, et les longueurs électriques équivalentes des tronçons de ligne des troisième, quatrième et cinquième lignes de transmission soient chacune sensiblement égales au quart de la longueur d'onde d'une fréquence prédéterminée, et de manière à permettre une transition d'impédance prédéterminée entre le point de connexion dissymétrique et les points de connexion symétriques.

[0007] L'invention a notamment pour avantage que tout le dispositif d'antenne réseau, du circuit de commande aux éléments rayonnants en passant par les symétriseurs, peut être réalisé sur un circuit multicouche. En outre, le symétriseur selon l'invention permet d'obtenir une largeur de bande relativement large, par exemple entre une et trois octaves.

[0008] Selon une forme particulière de réalisation, le symétriseur comprend, en outre :

- une quatrième couche conductrice séparée de la première couche conductrice par une troisième couche de substrat et formant un quatrième plan de masse,
- une cinquième couche conductrice séparée de la troisième couche conductrice par une quatrième couche de substrat et formant un cinquième plan de masse, les quatrième et cinquième couches conductrices formant un blindage électromagnétique des trois premières couches conductrices.

[0009] La quatrième couche conductrice peut être apte à recevoir l'antenne élémentaire, le symétriseur comprenant, en outre, un trou métallisé traversant les première, deuxième et quatrième couches de substrat de manière à relier électriquement le premier point de connexion dissymétrique à un point d'entrée du symétriseur situé sur la cinquième couche conductrice, le point d'entrée étant isolé du plan de masse formé sur cette couche conductrice.

[0010] Le point d'entrée du symétriseur est par exemple formé par un connecteur de type coaxial.

[0011] Le symétriseur peut en outre comporter deux trous métallisés traversant les première, deuxième et troisième couches de substrat de manière à relier électriquement chaque point de connexion symétrique à un point de sortie du symétriseur situé sur la quatrième couche conductrice, les points de sortie étant isolés du plan de masse formé sur cette couche conductrice.

[0012] Avantageusement, au moins la première ligne de transmission, ou la cinquième ligne de transmission, ou les deuxième, troisième et quatrième lignes de transmission sont courbées de manière à réduire leur encombrement sur la couche conductrice sur laquelle elles sont formées.

[0013] Au moins une ligne de transmission peut être entourée de trous métallisés reliés à des plans de masse afin de renforcer l'isolation électromagnétique de cette ligne de transmission.

[0014] La jonction de symétriseur est par exemple réalisée par une zone d'épargne coupant la quatrième ligne de transmission.

[0015] Avantageusement, la fréquence prédéterminée est sensiblement égale à la fréquence centrale de la bande de fréquences de fonctionnement du symétriseur.

[0016] L'invention a également pour objet un ensemble de symétriseurs tels que décrits précédemment, chaque symétriseur étant apte à alimenter une antenne élémentaire, les antennes élémentaires formant globalement une antenne réseau, les couches conductrices de chaque symétriseur formant un même circuit multicouche.

[0017] Les symétriseurs de l'ensemble peuvent être agencés de manière à ce que leurs points de sortie soient aptes à coïncider avec des points d'alimentation d'une antenne élémentaire.

[0018] L'invention a enfin pour objet un dispositif d'antenne réseau comportant une antenne réseau formée

d'antennes élémentaires comprenant chacune deux éléments rayonnants et un ensemble de symétriseurs tel que décrit précédemment.

[0019] L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, faite en regard de dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente un symétriseur de type Laughlin à topologie conventionnelle ;
- la figure 2 représente un exemple de circuit multicouche sur lequel peuvent être intégrés un ou plusieurs symétriseurs selon l'invention ;
- la figure 3 représente les différentes couches conductrices du circuit multicouche par plusieurs vues de dessus ;
- la figure 4 représente une forme particulière de réalisation du symétriseur selon l'invention dans une vue de dessus ;
- la figure 5 représente un exemple d'antenne réseau à bipolarisation en vue de dessus ;
- la figure 6 représente un ensemble de symétriseurs selon l'invention permettant d'alimenter l'antenne réseau de la figure 5.

[0020] Un symétriseur, également appelé balun dans la littérature anglo-saxonne, permet de réaliser une transition graduelle d'impédance entre une impédance d'entrée et une impédance de sortie. Il permet également d'assurer une transition entre un mode de propagation dissymétrique et un mode de propagation symétrique. Dans le cadre de l'invention, le symétriseur permet une transition d'impédance entre l'impédance d'un circuit de commande, typiquement de 50 ohms, et l'impédance d'éléments rayonnants, de l'ordre de 190 ohms pour des éléments rayonnants d'une antenne planaire. Il permet en outre d'alimenter deux éléments rayonnants d'une antenne élémentaire par deux signaux hyperfréquence en opposition de phase à partir d'un connecteur coaxial. Le symétriseur faisant l'objet de l'invention s'appuie sur un symétriseur de type Laughlin tel que décrit dans le document LAUGHLIN, G. J.: "A New Impedance-Matched Wide-Band Balun and Magic Tee", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-24, Mars 1976. Il s'appuie en particulier sur la version micro-ruban ("Microstrip balun") de ce symétriseur.

[0021] La figure 1 représente un symétriseur 10 de type Laughlin à topologie conventionnelle. Un tel symétriseur est composé de transformateurs quart d'onde à la fréquence centrale de la bande de fréquences de fonctionnement. Dans la bande L, cette fréquence centrale f_0 est égale à 1,45 GHz. Le symétriseur 10 comporte six lignes de transmission, notées 11 à 16, d'impédance respective Z11 à Z16. Les lignes de transmission 14 à 16 sont dédoublées. Autrement dit, elles comportent chacune deux tronçons de ligne, notés XA et XB, où X désigne l'une des lignes de transmission 14 à 16. Chaque tronçon de ligne XA et XB a une impédance Z'X deux

fois plus faible que l'impédance Z_X de la ligne de transmission à laquelle il appartient. Les lignes de transmission 12 à 15 comportent chacune une extrémité reliée aux autres en un point appelé jonction du symétriseur 18. L'extrémité libre de la deuxième ligne de transmission 12 est reliée à une extrémité de la première ligne de transmission 11, l'autre extrémité de la ligne de transmission 11 formant un point d'entrée dissymétrique IN du symétriseur 10. L'extrémité libre de la troisième ligne de transmission 13 se termine par un circuit ouvert. L'extrémité libre de la quatrième ligne de transmission 14 se termine par un court-circuit, les tronçons de ligne 14A et 14B étant reliés à une masse électrique du symétriseur 10. L'extrémité libre de la cinquième ligne de transmission 15 est reliée à une extrémité de la sixième ligne de transmission 16. Plus précisément, l'extrémité libre de chaque tronçon de ligne 15A et 15B est reliée à une extrémité d'un tronçon de ligne 16A et 16B, respectivement. Les extrémités libres des tronçons de ligne 16A et 16B forment les points de sortie symétriques, notés OUTA et OUTB, du symétriseur 10. Pour un symétriseur en bande L, la longueur électrique de chaque ligne de transmission est environ égale à 29 mm. Le symétriseur 10 présente par conséquent des dimensions sensiblement égales à 58 mm par 116 mm. Ces dimensions sont incompatibles avec les dimensions d'une maille d'une antenne réseau fonctionnant dans la bande L, à savoir de l'ordre de 80 mm par 80 mm.

[0022] L'invention propose un symétriseur réalisé à partir d'un circuit multicouche et dont les dimensions peuvent être compatibles avec les dimensions d'une maille d'une antenne réseau. La figure 2 représente un exemple de circuit multicouche sur lequel peuvent être intégrés un ou plusieurs symétriseurs selon l'invention. Pour la suite de la description, on considère cependant un circuit multicouche comportant un unique symétriseur. Le circuit multicouche 20 comporte par exemple quatre couches de substrat en matériau diélectrique. Le matériau diélectrique présente de préférence une faible constante diélectrique. Ainsi, les lignes de transmission du symétriseur peuvent être réalisées à partir de pistes métalliques de largeur supérieure au dixième de millimètre tout en ayant une impédance relativement élevée. En outre, une faible constante diélectrique permet aux couches de substrat sur lesquelles sont réalisées les lignes de transmission d'être suffisamment épaisses pour pouvoir y réaliser des trous métallisés. La constante diélectrique du matériau diélectrique peut différer entre les différentes couches de substrat afin d'obtenir les impédances souhaitées. Le matériau diélectrique présente aussi de préférence une tangente d'angle de pertes diélectriques relativement faible afin de limiter la contribution des pertes matériau aux pertes d'insertion du circuit multicouche. Enfin, le matériau diélectrique présente de préférence un coefficient de dilatation thermique selon l'axe d'empilement des couches du circuit relativement faible. L'axe d'empilement correspond à l'axe des trous métallisés pouvant être réalisés dans les couches de substrat. Les

trous métallisés présentent ainsi une bonne tenue mécanique face aux variations possibles de température. Chaque couche de substrat comporte une face dite supérieure, notée YA, et une face dite inférieure, notée YB, où Y désigne une couche de substrat. Ces faces sont sensiblement planes et parallèles entre elles. Certaines peuvent être métallisées. La couche métallisée ou couche conductrice est alors notée YAM ou YBM selon qu'elle est appliquée sur la face supérieure YA ou inférieure YB de la couche de substrat Y. Une première couche de substrat 21 est métallisée sur sa face supérieure 21A de manière à former une première couche conductrice 21 AM. Cette couche conductrice 21 AM peut servir de support pour une antenne réseau. En particulier, un circuit intégré ou un circuit multicouche comportant des éléments rayonnants peut être monté sur la couche conductrice 21 AM. La couche conductrice 21 AM forme un premier plan de masse et constitue ainsi un blindage électromagnétique vis-à-vis de l'antenne réseau. La première couche de substrat 21 est montée sur une deuxième couche de substrat 22, la face inférieure 21B de la première couche de substrat 21 venant en regard de la face supérieure 22A de la deuxième couche de substrat 22. La couche de substrat 22 est métallisée sur ses faces supérieure 22A et inférieure 22B de manière à former respectivement des deuxième et troisième couches conductrices 22AM et 22BM. La couche conductrice 22AM forme un deuxième plan de masse dans lequel sont détournées trois lignes de transmission d'impédances respectives Z_1 , Z_2 et Z_3 et de longueur électrique équivalente sensiblement égale au quart de la longueur d'onde de la fréquence centrale f_0 . Autrement dit, la couche conductrice 22AM forme des lignes de transmission et un plan de masse en dehors de ces lignes de transmission. Les lignes de transmission sont isolées du plan de masse, par exemple par des zones d'épargne, c'est-à-dire des zones non métallisées. Les lignes de transmission formées sur la couche conductrice 22AM correspondent aux lignes de transmission 11 à 13 de la figure 1. La couche conductrice 22BM forme un troisième plan de masse dans lequel est détournée une ligne de transmission d'impédance Z_4 correspondant à la ligne de transmission 14 de la figure 1. Cette ligne de transmission est constituée de deux tronçons de ligne séparés l'un de l'autre à l'une de leurs extrémités par une jonction de symétriseur et terminés à leur autre extrémité par un court-circuit avec le troisième plan de masse. Une jonction de symétriseur est également appelée coupure capacitive. Chaque tronçon de ligne a une impédance égale à la moitié de l'impédance Z_4 et une longueur électrique équivalente sensiblement égale au huitième de la longueur d'onde de la fréquence centrale f_0 . La deuxième couche de substrat 22 est elle-même montée sur une troisième couche de substrat 23, la face inférieure 22B de la deuxième couche de substrat 22 venant en regard de la face supérieure 23A de la troisième couche de substrat 23. La couche de substrat 23 est métallisée sur sa face inférieure 23B afin de former une quatrième couche

conductrice 23BM. Cette couche conductrice 23BM forme un quatrième plan de masse dans lequel sont détournées deux lignes de transmission d'impédances respectives Z5 et Z6. Les longueurs électriques équivalentes de ces lignes de transmission sont chacune sensiblement égales au quart de la longueur d'onde de la fréquence centrale f_0 . Ces lignes de transmission correspondent respectivement aux lignes de transmission 15 et 16 de la figure 1. Bien que l'on considère dans cet exemple un symétriseur comportant trois lignes de transmission en série formées sur la couche conductrice 22AM et deux lignes de transmission formées sur la couche conductrice 23BM, le symétriseur selon l'invention peut comporter un nombre différent de lignes de transmission sur ces couches conductrices. En particulier, il peut ne comporter que deux lignes de transmission en série sur la couche conductrice 22AM. Le nombre total de lignes de transmission du symétriseur, appelé ordre du symétriseur, influe sur le taux d'ondes stationnaires et les pertes d'insertion du circuit. Plus l'ordre du symétriseur est élevé, plus le taux d'ondes stationnaires et le module du coefficient de réflexion sont élevés. Cependant, les pertes d'insertion augmentent également avec l'ordre du symétriseur. Un compromis est alors nécessaire en fonction de l'application visée.

[0023] Les couches de substrats 21 à 24 peuvent être maintenues entre elles par collage, par exemple par l'intermédiaire de films collants disposés entre deux couches superposées. Elles peuvent également être maintenues par des vis traversant des trous non métallisés réalisés dans les différentes couches de substrat 21 à 24.

[0024] La figure 3 représente les différentes couches conductrices du circuit multicouche en vue de dessus. Les figures 3a à 3e représentent respectivement les couches conductrices 21 AM, 22AM, 22BM, 23BM et 24BM. La figure 3f illustre l'agencement des différentes couches conductrices par une projection sur un même plan des lignes de transmission.

[0025] Sur la figure 3b sont représentées les lignes de transmission de la couche conductrice 22AM, notées 31, 32 et 33. La ligne de transmission 32 est reliée par une extrémité à une extrémité de la ligne de transmission 31 et par son autre extrémité à une extrémité de la ligne de transmission 33. Les lignes de transmission 31, 32 et 33 sont adaptées de manière à passer progressivement d'une largeur de ligne à une autre. L'extrémité libre de la ligne de transmission 31 forme un point de connexion dissymétrique 31IN. L'extrémité libre de la ligne de transmission 33 se termine par un circuit ouvert. Avantagusement, les lignes de transmission 31, 32 et 33 sont courbées afin de réduire leur encombrement dans le plan de la couche conductrice 22AM. Elles sont par exemple courbées autour d'un point central de la couche conductrice 22AM. Chaque ligne de transmission 31 à 33 est entourée d'une zone d'épargne permettant de l'isoler du

[0026] Sur la figure 3c est représentée la ligne de trans-

mission, notée 34, d'impédance Z4. Elle est entourée d'une zone d'épargne permettant de l'isoler du troisième plan de masse 22BPM formé par la couche conductrice 22BM. Les deux tronçons de ligne 34A et 34B sont séparés l'un de l'autre à l'une de leurs extrémités par une jonction de symétriseur 34J. La jonction de symétriseur 34J est par exemple réalisée en faisant couper la ligne de transmission 34 par la zone d'épargne. Les extrémités libres des tronçons de ligne 34A et 34B se terminent par un court-circuit. En l'occurrence, elles viennent en contact direct avec le plan de masse 22BPM. La ligne de transmission 34 est formée sur la couche conductrice 22BM de manière à venir en vis-à-vis de la ligne de transmission 33. Autrement dit, les lignes de transmission 33 et 34 sont dimensionnées et positionnées de manière à ce que, par projection dans un plan parallèle aux plans des faces 22A et 22B, elles soient sensiblement confondues, comme illustré sur la figure 3f. Ce positionnement permet un couplage électromagnétique entre les lignes de transmission 33 et 34.

[0027] Sur la figure 3d sont représentées les lignes de transmission de la couche conductrice 23BM, notées 35 et 36. La ligne de transmission 35 comporte deux tronçons de ligne 35A et 35B reliés à l'une de leurs extrémités au niveau de la jonction de symétriseur 34J. Les longueurs électriques des tronçons de ligne 35A et 35B sont chacune sensiblement égales au huitième de la longueur d'onde de la fréquence centrale f_0 . La ligne de transmission 35 est formée sur la couche conductrice 23BM de manière à ce que les tronçons de ligne 35A et 35B viennent respectivement en vis-à-vis des tronçons de ligne 34A et 34B. Autrement dit, les lignes de transmission 33, 34 et 35 sont dimensionnées et positionnées de manière à ce que, par projection sur un plan parallèle aux plans des couches conductrices 22AM, 22BM et 23BM, elles soient sensiblement confondues, comme illustré sur la figure 3f. Ce positionnement permet un couplage électromagnétique entre, d'une part, les tronçons de ligne 34A et 35A et, d'autre part, les tronçons de ligne 34B et 35B. Les couches de substrat 22 et 23 peuvent avoir sensiblement la même épaisseur. Par conséquent, la ligne de transmission 34 se trouve sensiblement à mi-distance entre les lignes de transmission 33 et 35. Elle forme en quelque sorte une ligne triplée. La jonction de symétriseur 34J et le positionnement relatif de la ligne de transmission 34 par rapport aux lignes de transmission 33 et 35 permet de passer d'un mode de propagation dissymétrique sur une seule ligne, en l'occurrence la ligne de transmission 33, à un mode de propagation symétrique sur deux tronçons de ligne, en l'occurrence les tronçons de ligne 35A et 35B. En outre, la superposition des lignes de transmission 33, 34 et 35 permet de réduire la surface occupée par le symétriseur. La ligne de transmission 36 comporte également deux tronçons de ligne 36A et 36B. L'une des extrémités du tronçon de ligne 36A, respectivement 36B, est reliée à l'extrémité libre du tronçon de ligne 35A, respectivement 36B. Les extrémités libres des tronçons de ligne 36A et 36B forment des

points de connexion symétriques 36OUTA et 36OUTB. Dans le mode de réalisation de la figure 3, ces points de connexion sont reliés à des points de sortie du symétriseur OUTA et OUTB situés sur la couche conductrice 21 AM. Ils sont reliés par l'intermédiaire de trous métallisés réalisés dans les couches de substrat 21, 22 et 23. Ces trous métallisés peuvent être isolés des plans de masse 21APM, 22APM, 22BPM et 23BPM en ménageant des zones d'épargne sur les couches conductrices correspondantes. Avantagusement, les tronçons de ligne 36A et 36B sont courbés afin de réduire leur encombrement dans le plan de la couche conductrice 23BM. Selon une forme de réalisation particulièrement avantageuse, ils sont courbés de manière à s'inscrire dans la surface délimitée par la projection des lignes de transmission 31, 32 et 33 sur la couche conductrice 23BM, comme représenté sur la figure 3f. Les tronçons de ligne 36A et 36B sont chacun entourés d'une zone d'épargne permettant de les isoler du plan de masse 23BPM.

[0028] Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 3, le point de connexion 31IN est relié à un connecteur coaxial de type SMA. Le connecteur SMA est monté sur la couche conductrice 24BM. L'âme centrale du connecteur SMA forme un point d'entrée IN du symétriseur, comme représenté sur la figure 3e. Le connecteur SMA peut être connecté à une ligne prismatique afin d'adapter l'impédance d'entrée du symétriseur. Une ligne prismatique comporte un conducteur électrique central et quatre conducteurs électriques périphériques parallèles et répartis régulièrement selon un cercle centré sur le conducteur électrique central. Dans le cadre de l'invention, les conducteurs électriques peuvent être réalisés par des trous métallisés. Le conducteur électrique central est relié au point de connexion 31IN, le trou métallisé correspondant traversant les couches de substrat 22, 23 et 24. Les conducteurs électriques périphériques traversent les couches de substrat 21 à 24. Des zones d'épargne sont par exemple aménagées sur les couches conductrices 22AM, 22BM, 23BM et 24BM au voisinage des trous métallisés. L'impédance caractéristique de la ligne prismatique peut être définie par la relation :

$$Z_c = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \times \frac{5}{4} \times \log \frac{D}{2.d},$$

où d est le diamètre des conducteurs électriques, D est le diamètre du cercle selon lequel sont répartis les conducteurs électriques et ϵ_r est la permittivité relative des couches de substrat 21 à 24.

[0029] Les lignes de transmission 31 à 36 sont par exemple réalisées sur les différentes couches conductrices par gravure. Du fait de la présence du plan de masse 22BPM, les lignes de transmission 31, 32 et 36 forment des lignes microruban, également appelées lignes microstrip dans la littérature anglo-saxonne.

[0030] La figure 4 représente une forme particulière de

réalisation du symétriseur selon l'invention dans une vue de dessus du circuit multicouche 20. Selon cette forme de réalisation, les lignes de transmission 31 à 36 sont entourées de trous métallisés 41 réalisés dans les couches de substrat adjacentes aux couches conductrices sur lesquelles elles sont formées. Les trous métallisés 41 sont reliés à des plans de masse du circuit multicouche. Cette forme de réalisation apporte une meilleure isolation électromagnétique des lignes de transmission.

[0031] Les lignes de transmission 31 à 36 de même que l'épaisseur et la permittivité des couches de substrat 21 à 24 peuvent être dimensionnées à partir d'un logiciel de simulation électromagnétique de circuits multicouches. Pour un symétriseur selon l'invention fonctionnant en bande L, les couches de substrat 22 et 23 ont par exemple une épaisseur de 254 μm et les couches de substrat 21 et 24 une épaisseur de 762 μm pour une permittivité relative sensiblement égale à 2,94. Les couches conductrices 21AM, 22AM, 22BM, 23BM et 24BM ont par exemple une épaisseur de 17,5 μm . La ligne de transmission 31 a alors une impédance Z1 égale à 61,89 Ω et une largeur moyenne de 300 μm , la ligne de transmission 32 une impédance Z2 égale à 74,21 Ω et une largeur moyenne de 200 μm , et la ligne de transmission 33 une impédance Z3 égale à 78,97 Ω et une largeur moyenne de 200 μm . Les tronçons de ligne 34A et 34B ont chacun une impédance Z'4 de 30,83 Ω et une largeur moyenne de 1,2 mm, les tronçons de ligne 35A et 35B une impédance Z'5 de 48,18 Ω et une largeur moyenne de 800 μm , et les tronçons de ligne 36A et 36B une impédance Z'6 de 84,82 Ω et une largeur moyenne de 200 μm . Avantagusement, la largeur des tronçons de ligne 35A et 35B, celle des tronçons de ligne 36A et 36B, ou celle de chacun des tronçons de ligne évolue graduellement au voisinage des points de connexion entre les tronçons de ligne 35A et 36A d'une part, et entre les tronçons de ligne 35B et 36B d'autre part. L'impédance des tronçons de ligne 35A et 35B est ainsi adaptée graduellement à celle des tronçons de ligne 36A et 36B.

[0032] Le symétriseur décrit précédemment permet d'alimenter une antenne monopolarisation. De par son encombrement réduit, il est particulièrement bien adapté aux antennes réseau. Plusieurs symétriseurs selon l'invention sont alors réalisés sur un circuit multicouche. Il est notamment possible de satisfaire la contrainte classique de pas du réseau, à savoir $d = \lambda/2$, où d est le pas du réseau et λ la longueur d'onde correspondant à la plus haute fréquence de la bande de fréquences de fonctionnement. Le symétriseur est également adapté à l'alimentation d'antennes réseau à bipolarisation. Deux symétriseurs peuvent être superposés ou réalisés sur les mêmes couches d'un circuit multicouche. Ils permettent l'alimentation d'une antenne selon deux polarisations orthogonales tout en respectant les dimensions de la maille du réseau. Le faible encombrement des symétriseurs peut aussi être exploité pour élargir la bande de fréquences d'une antenne réseau, la bande de fréquences étant répartie sur plusieurs symétriseurs. La figure 5 représen-

te, en vue de dessus, un exemple d'antenne réseau à bipolarisation. L'antenne réseau 50 comporte 17 éléments rayonnants 51 de type patch disposés suivant une matrice de 7 lignes par 5 colonnes. Les éléments rayonnants 51 situés dans les coins de la matrice ne sont alimentés qu'en un point d'alimentation 52. Ils ne sont pas utilisés dans cet exemple d'antenne. Les autres éléments rayonnants 51 situés à la périphérie de la matrice sont alimentés en deux points d'alimentation 52. Tous les autres éléments rayonnants 51 sont alimentés en quatre points d'alimentation 52. Deux éléments rayonnants adjacents 51 sont alimentés par une ligne d'alimentation symétrique, dite bifilaire, la ligne d'alimentation étant reliée à deux points d'alimentation 52. Deux éléments rayonnants adjacents 51 reçoivent ainsi des signaux hyperfréquence en opposition de phase et forment une antenne élémentaire monopolarisation inclinée soit à -45° , soit à $+45^\circ$. Suivant les lignes d'alimentation utilisées, la polarisation de l'antenne réseau 50 résultant de tous les éléments rayonnants 51 peut être de -45° , de $+45^\circ$, horizontale ou verticale. Sur la figure 5, les éléments rayonnants 51 forment des carrés. Les éléments rayonnants peuvent néanmoins prendre toute autre forme.

[0033] La figure 6 illustre l'agencement de symétriseurs selon l'invention permettant d'alimenter les éléments rayonnants 51 de l'antenne réseau 50 représentée sur la figure 5. Le circuit multicouche 20 comporte vingt symétriseurs 61 représentés sur la figure 6 par une projection sur un même plan de leurs lignes de transmission. Les symétriseurs 61 sont agencés suivant une matrice de quatre lignes par quatre colonnes, complétée par deux symétriseurs 61 sur la deuxième colonne et deux autres symétriseurs 61 sur la troisième colonne. Les symétriseurs 61 sont agencés de manière à ce que leurs points de connexion symétriques OUTA et OUTB coïncident avec des points d'alimentation 52 de deux éléments rayonnants 51 adjacents. Ainsi, chaque symétriseur 61 alimente soit une antenne monopolarisation inclinée à -45° , soit une antenne monopolarisation inclinée à $+45^\circ$.

Revendications

1. Symétriseur apte à alimenter une antenne élémentaire comportant deux points de connexion symétriques, le symétriseur (61) comprenant :

- un connecteur dissymétrique comportant un premier point de connexion dissymétrique (31 IN) apte à être relié à une âme d'un conducteur électrique et un deuxième point de connexion dissymétrique apte à être relié à un blindage du conducteur électrique,
- un connecteur symétrique comportant deux points de connexion symétriques (36OUTA, 36OUTB) aptes à être reliés aux points de connexion de l'antenne élémentaire, et

▪ un circuit multicouche (20) comportant au moins trois couches conductrices (22AM, 22BM, 23BM), une première couche de substrat (22) séparant une première et une deuxième couche conductrices (22AM, 22BM) et une deuxième couche de substrat (23) séparant la deuxième et une troisième couches conductrices (22BM, 23BM),

- la première couche conductrice (22AM) formant un premier plan de masse (22APM) dans lequel sont détournées une première et une deuxième lignes de transmission (31, 33) en série, une première extrémité libre des lignes de transmission (31, 33) formant le premier point de connexion dissymétrique (31 IN), une deuxième extrémité libre des lignes de transmission (31, 33) étant de type circuit ouvert,

- la deuxième couche conductrice (22BM) formant un deuxième plan de masse (22BPM) dans lequel est détournée une troisième ligne de transmission (34) sensiblement en vis-à-vis de la ligne de transmission (33) terminée par un circuit ouvert de manière à les coupler électromagnétiquement, la troisième ligne de transmission (34) étant constituée de deux tronçons de ligne (34A, 34B), une première extrémité d'un premier tronçon de ligne (34A) étant reliée à une première extrémité du deuxième tronçon de ligne (34B) par une jonction de symétriseur (34J), les deuxièmes extrémités de chaque tronçon de ligne (34A, 34B) étant court-circuitées avec le deuxième plan de masse (22BPM),

- la troisième couche conductrice (23BM) formant un troisième plan de masse (23BPM) dans lequel sont détournées une quatrième et une cinquième ligne de transmission (35, 36), la quatrième ligne de transmission étant constituée de deux tronçons de ligne (35A, 35B), chaque tronçon de ligne (35A, 35B) de la quatrième ligne de transmission (35) étant sensiblement en vis-à-vis d'un des tronçons de ligne (34A, 34B) de la troisième ligne de transmission (34) de manière à les coupler électromagnétiquement, des premières extrémités de chaque tronçon de ligne (35A, 35B) de la quatrième ligne de transmission étant reliées entre elles au niveau de la jonction de symétriseur (34J), la cinquième ligne de transmission (36) étant constituée de deux tronçons de ligne (36A, 36B), une extrémité de chacun de ces tronçons de ligne (36A, 36B) étant reliée à l'extrémité libre de l'un des tronçons de ligne (35A, 35B) de la qua-

- trième ligne de transmission (35), les extrémités libres des tronçons de ligne (36A, 36B) de la cinquième ligne de transmission (36) formant les points de connexion symétriques (36OUTA, 36OUTB),
 - les lignes de transmission (31-36) étant dimensionnées de manière à ce que les longueurs électriques équivalentes des première et deuxième lignes de transmission (31, 33), et les longueurs électriques équivalentes des tronçons de ligne (34A, 34B, 35A, 35B, 36A, 36B) des troisième, quatrième et cinquième lignes de transmission (34, 35, 36) soient chacune sensiblement égales au quart de la longueur d'onde d'une fréquence prédéterminée, et de manière à permettre une transition d'impédance prédéterminée entre le premier point de connexion dissymétrique (31IN) et les points de connexion symétriques (36OUTA, 36OUTB), le deuxième point de connexion dissymétrique étant connecté à au moins l'un des plans de masse (22APM, 22BPM, 23BPM).
2. Symétriseur selon la revendication 1 comprenant, en outre :
- une quatrième couche conductrice (21AM) séparée de la première couche conductrice (22AM) par une troisième couche de substrat (21) et formant un quatrième plan de masse (21APM),
 - une cinquième couche conductrice (24BM) séparée de la troisième couche conductrice (23BM) par une quatrième couche de substrat (24) et formant un cinquième plan de masse (24BPM), les quatrième et cinquième couches conductrices (21 AM, 24BM) formant un blindage électromagnétique des trois premières couches conductrices (22AM, 22BM, 23BM).
3. Symétriseur selon la revendication 2, dans lequel la quatrième couche conductrice (21 AM) est apte à recevoir l'antenne élémentaire, le symétriseur (61) comprenant, en outre, un trou métallisé traversant les première, deuxième et quatrième couches de substrat (22, 23, 24) de manière à relier électriquement le premier point de connexion dissymétrique (31 IN) à un point d'entrée (IN) du symétriseur situé sur la cinquième couche conductrice (24BM), le point d'entrée (IN) étant isolé du plan de masse (24BPM) formé sur cette couche conductrice (24BM).
4. Symétriseur selon la revendication 3, dans lequel le point d'entrée (IN) du symétriseur est formé par un connecteur de type coaxial.
5. Symétriseur selon l'une des revendications 3 et 4 comprenant, en outre, deux trous métallisés traversant les première, deuxième et troisième couches de substrat (21, 22, 23) de manière à relier électriquement chaque point de connexion symétrique (36OUTA, 36OUTB) à un point de sortie (OUTA, OUTB) du symétriseur situé sur la quatrième couche conductrice (21 AM), les points de sortie (OUTA, OUTB) étant isolés du plan de masse (21APM) formé sur cette couche conductrice (21 AM).
6. Symétriseur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel au moins la première ligne de transmission (31), ou la cinquième ligne de transmission (36), ou les deuxième, troisième et quatrième lignes de transmission (33, 34, 35) sont courbées de manière à réduire leur encombrement sur la couche conductrice (22AM, 22BM, 23BM) sur laquelle elles sont formées.
7. Symétriseur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel au moins une ligne de transmission (31-36) est entourée de trous métallisés reliés à des plans de masse (21APM, 22APM, 22BPM, 23BPM, 24BPM).
8. Symétriseur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la jonction de symétriseur (34J) est réalisée par une zone d'épargne coupant la troisième ligne de transmission (34).
9. Symétriseur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la fréquence prédéterminée est sensiblement égale à la fréquence centrale de la bande de fréquences de fonctionnement du symétriseur (61).
10. Ensemble de symétriseurs selon l'une des revendications précédentes, chaque symétriseur (61) étant apte à alimenter une antenne élémentaire, les antennes élémentaires formant globalement une antenne réseau (50), les couches conductrices (22AM, 22BM, 23BM) de chaque symétriseur (61) formant un même circuit multicouche (20).
11. Ensemble de symétriseurs selon la revendication 10, les symétriseurs (61) étant agencés de manière à ce que leurs points de sortie (OUTA, OUTB) soient aptes à coïncider avec des points d'alimentation (52) d'une antenne élémentaire.
12. Dispositif d'antenne réseau comportant une antenne réseau (50) formée d'antennes élémentaires comprenant chacune deux éléments rayonnants (51) et un ensemble de symétriseurs selon l'une des revendications 10 et 11.

Patentansprüche

1. Symmetrierglied, das geeignet ist, eine Elementarantenne zu speisen, die zwei symmetrische Verbindungspunkte aufweist, wobei das Symmetrierglied (61) umfasst:

- einen unsymmetrischen Verbinder, der einen ersten unsymmetrischen Verbindungspunkt (31IN), der geeignet ist, mit einem Kern eines elektrischen Leiters verbunden zu werden und einen zweiten unsymmetrischen Verbindungspunkt aufweist, der geeignet ist, mit einer Abschirmung des elektrischen Leiters verbunden zu werden,

- einen symmetrischen Verbinder, der zwei symmetrische Verbindungspunkte (36OUTA, 36OUTB) aufweist, die geeignet sind, mit den Verbindungspunkten der Elementarantenne verbunden zu werden, und

- eine Mehrlagenschaltung (20), die mindestens drei leitfähige Lagen (22AM, 22BM, 23BM) aufweist, wobei eine erste Trägermateriallage (22) eine erste und eine zweite leitfähige Lage (22AM, 22BM) trennt und eine zweite Trägermateriallage (23) die zweite und eine dritte leitfähige Lage (22BM, 23BM) trennt,

- wobei die erste leitfähige Lage (22AM) eine erste Massefläche (22APM) bildet, in der eine erste und eine zweite Transmissionsleitung (31, 33) in Reihe geroutet werden, wobei ein erstes freies Ende der Transmissionsleitungen (31, 33) den ersten unsymmetrischen Verbindungspunkt (31IN) bildet, wobei ein zweites freies Ende der Transmissionsleitung (31, 33) vom Typ offener Stromkreis ist,

- wobei die zweite leitfähige Lage (22BM) eine zweite Massefläche (22BPM) bildet, in der eine dritte Transmissionsleitung (34) geroutet wird, die der Transmissionsleitung (33) im Wesentlichen gegenüberliegt, die durch einen offenen Stromkreis abgeschlossen wird, um sie elektromagnetisch zu koppeln, wobei die dritte Transmissionsleitung (34) aus zwei Leitungsabschnitten (34A, 34B) gebildet wird, wobei ein erstes Ende eines ersten Leitungsabschnitts (34A) mit einem ersten Ende des zweiten Leitungsabschnitts (34B) durch eine Symmetriergliedverbindung (34J) verbunden wird, wobei die zweiten Enden jedes Leitungsabschnitts (34A, 34B) mit der zweiten Massefläche (22BPM) kurzgeschlossen werden,

- wobei die dritte leitfähige Lage (23BM) eine dritte Massefläche (23BPM) bildet, in der

eine vierte und eine fünfte Transmissionsleitung (35, 36) geroutet werden, wobei die vierte Transmissionsleitung aus zwei Leitungsabschnitten (35A, 35B) gebildet wird, wobei jeder Leitungsabschnitt (35A, 35B) der vierten Transmissionsleitung (35) sich im Wesentlichen gegenüber einem der Leitungsabschnitte (34A, 34B) der dritten Transmissionsleitung (34) befindet, um sie elektromagnetisch zu koppeln, wobei erste Enden jedes Leitungsabschnitts (35A, 35B) der vierten Transmissionsleitung untereinander an der Symmetriergliedverbindung (34J) verbunden werden, wobei die fünfte Transmissionsleitung (36) aus zwei Leitungsabschnitten (36A, 36B) gebildet wird, wobei ein Ende jedes dieser Leitungsabschnitte (36A, 36B) mit dem freien Ende eines der Leitungsabschnitte (35A, 35B) der vierten Transmissionsleitung (35) verbunden wird, wobei die freien Enden der Leitungsabschnitte (36A, 36B) der fünften Transmissionsleitung (36) die symmetrischen Verbindungspunkte (36OUTA, 36OUTB) bilden,

- wobei die Transmissionsleitungen (31-36) so dimensioniert werden, dass die äquivalenten elektrischen Längen der ersten und zweiten Transmissionsleitung (31, 33) und die äquivalenten elektrischen Längen der Leitungsabschnitte (34A, 34B, 35A, 35B, 36A, 36B) der dritten, vierten und fünften Transmissionsleitung (34, 35, 36) jeweils im Wesentlichen ein Viertel der Wellenlänge einer vorbestimmten Frequenz betragen und um einen vorbestimmten Impedanzübergang zwischen dem ersten unsymmetrischen Verbindungspunkt (31IN) und den symmetrischen Verbindungspunkten (36OUTA, 36OUTB) zu ermöglichen, wobei der zweite unsymmetrische Verbindungspunkt mit mindestens einer der Masseflächen (22APM, 22BPM, 23BPM) verbunden wird.

2. Symmetrierglied nach Anspruch 1, das ferner umfasst:

- eine von der ersten leitfähigen Lage (22AM) durch eine dritte Trägermateriallage (21) getrennte vierte leitfähige Lage (21AM), die eine vierte Massefläche (21APM) bildet,
- eine von der dritten leitfähigen Lage (23BM) durch eine vierte Trägermateriallage (24) getrennte fünfte leitfähige Lage (24BM), die eine fünfte Massefläche (24BPM) bildet, wobei die vierte und fünfte leitfähige Lage (21AM, 24BM) eine elektromagnetische Abschirmung der drei

ersten leitfähigen Lagen (22AM, 22BM, 23BM) bilden.

3. Symmetrierglied nach Anspruch 2, in dem die vierte leitfähige Lage (21 AM) geeignet ist, die Elementarantenne zu empfangen, wobei das Symmetrierglied (61) ferner ein metallisiertes Loch umfasst, das durch die erste, zweite und vierte Trägermateriallage (22, 23, 24) geht, um den ersten unsymmetrischen Verbindungspunkt (31 IN) mit einem auf der fünften leitfähigen Lage (24BM) angeordneten Eingangspunkt (IN) des Symmetrierglieds elektrisch zu verbinden, wobei der Eingangspunkt (IN) von der auf dieser leitfähigen Lage (24BM) gebildeten Massefläche (24BPM) isoliert wird. 5
4. Symmetrierglied nach Anspruch 3, in dem der Eingangspunkt (IN) des Symmetrierglieds durch einen koaxialen Verbinder gebildet wird. 10
5. Symmetrierglied nach einem der Ansprüche 3 und 4, das ferner zwei metallisierte Löcher umfasst, die durch die erste, zweite und dritte Trägermateriallage (21, 22, 23) gehen, um jeden symmetrischen Verbindungspunkt (36OUTA, 36OUTB) mit einem auf der vierten leitfähigen Lage (21 AM) angeordneten Ausgangspunkt (OUTA, OUTB) des Symmetrierglieds elektrisch zu verbinden, wobei die Ausgangspunkte (OUTA, OUTB) von der auf dieser leitfähigen Lage (21 AM) gebildeten Massefläche (21 APM) isoliert werden. 15
6. Symmetrierglied nach einem der vorhergehenden Ansprüche, in dem mindestens die erste Transmissionsleitung (31) oder die fünfte Transmissionsleitung (36) oder die zweite, dritte und vierte Transmissionsleitung (33, 34, 35) gekrümmt werden, um ihren Platzbedarf auf der leitfähigen Lage (22AM, 22BM, 23BM), auf der sie gebildet werden, zu reduzieren. 20
7. Symmetrierglied nach einem der vorhergehenden Ansprüche, in dem mindestens eine Transmissionsleitung (31-36) von mit Masseflächen (21APM, 22APM, 22BPM, 23BPM, 24BPM) verbundenen metallisierten Löchern umgeben wird. 25
8. Symmetrierglied nach einem der vorhergehenden Ansprüche, in dem die Symmetriergliedverbindung (34J) durch einen Aussparbereich ausgeführt wird, der die dritte Transmissionsleitung (34) schneidet. 30
9. Symmetrierglied nach einem der vorhergehenden Ansprüche, in dem die vorbestimmte Frequenz im Wesentlichen gleich der Mittenfrequenz des Bandes der Betriebsfrequenzen des Symmetrierglieds (61) ist. 35
10. Gesamtheit der Symmetrierglieder nach einem der

vorhergehenden Ansprüche, wobei jedes Symmetrierglied (61) geeignet ist, eine Elementarantenne zu speisen, wobei die Elementarantennen insgesamt ein Antennennetzwerk (50) bilden, wobei die leitfähigen Lagen (22AM, 22BM, 23BM) jedes Symmetrierglieds (61) dieselbe Mehrlagenschaltung (20) bilden.

11. Gesamtheit der Symmetrierglieder nach Anspruch 10, wobei die Symmetrierglieder (61) so angeordnet werden, dass ihre Ausgangspunkte (OUTA, OUTB) geeignet sind, mit Einspeisepunkten (52) einer Elementarantenne übereinzustimmen. 40
12. Vorrichtung eines Antennennetzwerks, das ein Antennennetzwerk (50), das aus Elementarantennen gebildet wird, die jeweils zwei Strahlerelemente (51) umfassen und eine Gesamtheit von Symmetriergliedern nach einem der Ansprüche 10 und 11 aufweist. 45

Claims

1. A balun capable of supplying an elementary antenna comprising two symmetrical connection points, the balun (61) comprising:
 - an unsymmetrical connector comprising a first unsymmetrical connection point (31IN) capable of being connected to a core of an electrical conductor and a second unsymmetrical connection point capable of being connected to a shield of the electrical conductor;
 - a symmetrical connector comprising two symmetrical connection points (36OUTA, 36OUTB) capable of being connected to the connection points of the elementary antenna; and
 - a multilayer circuit (20) comprising at least three conductive layers (22AM, 22BM, 23BM), a first substrate layer (22) separating a first and a second conductive layer (22AM, 22BM) and a second substrate layer (23) separating the second conductive layer and a third conductive layer (22BM, 23BM);
 - the first conductive layer (22AM) forming a first ground plane (22APM), in which a first and a second transmission line (31, 33) are routed in series, a first free end of the transmission lines (31, 33) forming the first unsymmetrical connection point (31IN), a second free end of the transmission lines (31, 33) being of the open circuit type;
 - the second conductive layer (22BM) forming a second ground plane (22BPM), in which a third transmission line (34) is routed substantially opposite the transmission line

(33) terminated by an open circuit so as to electromagnetically couple them together, the third transmission line (34) being formed by two line sections (34A, 34B), a first end of a first line section (34A) being connected to a first end of the second line section (34B) by a balun junction (34J), the second ends of each line section (34A, 34B) being short-circuited with the second ground plane (22BPM);

- the third conductive layer (23BM) forming a third ground plane (23BPM), in which a fourth and a fifth transmission line (35, 36) are routed, the fourth transmission line being formed by two line sections (35A, 35B), each line section (35A, 35B) of the fourth transmission line (35) being substantially opposite one of the line sections (34A, 34B) of the third transmission line (34) so as to electromagnetically couple them together, first ends of each line section (35A, 35B) of the fourth transmission line being connected together at the balun junction (34J), the fifth transmission line (36) being formed by two line sections (36A, 36B), an end of each of said line sections (36A, 36B) being connected to the free end of one of the line sections (35A, 35B) of the fourth transmission line (35), the free ends of the line sections (36A, 36B) of the fifth transmission line (36) forming the symmetrical connection points (36OUTA, 36OUTB);

- the transmission lines (31-36) being designed so that the equivalent electrical lengths of the first and second transmission lines (31, 33) and the equivalent electrical lengths of the line sections (34A, 34B, 35A, 35B, 36A, 36B) of the third, fourth and fifth transmission lines (34, 35, 36) are each substantially equal to a quarter of the wavelength of a predetermined frequency, and so as to allow a predetermined impedance transition between the first unsymmetrical connection point (31IN) and the symmetrical connection points (36OUTA, 36OUTB), the second unsymmetrical connection point being connected to at least one of the ground planes (22APM, 22BPM, 23BPM).

2. The balun as claimed in claim 1, further comprising:

- a fourth conductive layer (21 AM) separated from the first conductive layer (22AM) by a third substrate layer (21) and forming a fourth ground plane (21APM);
- a fifth conductive layer (24BM) separated from the third conductive layer (23BM) by a fourth substrate layer (24) and forming a fifth

ground plane (24BPM), the fourth and fifth conductive layers (21 AM, 24BM) forming an electromagnetic shield for the three first conductive layers (22AM, 22BM, 23BM).

3. The balun as claimed in claim 2, wherein the fourth conductive layer (21 AM) is capable of receiving the elementary antenna, the balun (61) further comprising a metallised hole passing through the first, second and fourth substrate layers (22, 23, 24) so as to electrically connect the first unsymmetrical connection point (31IN) to an input point (IN) of the balun located on the fifth conductive layer (24BM), the input point (IN) being isolated from the ground plane (24BPM) formed on said conductive layer (24BM).
4. The balun as claimed in claim 3, wherein the input point (IN) of the balun is formed by a connector of the coaxial type.
5. The balun as claimed in any one of claims 3 and 4, further comprising two metallised holes passing through the first, second and third substrate layers (21, 22, 23) so as to electrically connect each symmetrical connection point (36OUTA, 36OUTB) to an output point (OUTA, OUTB) of the balun located on the fourth conductive layer (21 AM), the output points (OUTA, OUTB) being isolated from the ground plane (21APM) formed on said conductive layer (21 AM).
6. The balun as claimed in any one of the preceding claims, wherein at least the first transmission line (31) or the fifth transmission line (36) or the second, third and fourth transmission lines (33, 34, 35) are curved so as to reduce their spatial requirement on the conductive layer (22AM, 22BM, 23BM) on which they are formed.
7. The balun as claimed in any one of the preceding claims, wherein at least one transmission line (31-36) is surrounded by metallised holes connected to ground planes (21APM, 22APM, 22BPM, 23BPM, 24BPM).
8. The balun as claimed in any one of the preceding claims, wherein the balun junction (34J) is effected by a spare zone cutting the third transmission line (34).
9. The balun as claimed in any one of the preceding claims, wherein the predetermined frequency is substantially equal to the central frequency of the band of operating frequencies of the balun (61).
10. A set of baluns as claimed in any one of the preceding claims, each balun (61) being capable of supplying an elementary antenna, the elementary antennae generally forming an array antenna (50), the conduc-

tive layers (22AM, 22BM, 23BM) of each balun (61) forming the same multilayer circuit (20).

11. The set of baluns as claimed in claim 10, the baluns (61) being arranged so that their output points (OUTA, OUTB) are capable of coinciding with supply points (52) of an elementary antenna. 5
12. An array antenna device comprising an array antenna (50) formed by elementary antennae each comprising two radiating elements (51) and a set of baluns as claimed in any one of claims 10 and 11. 10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

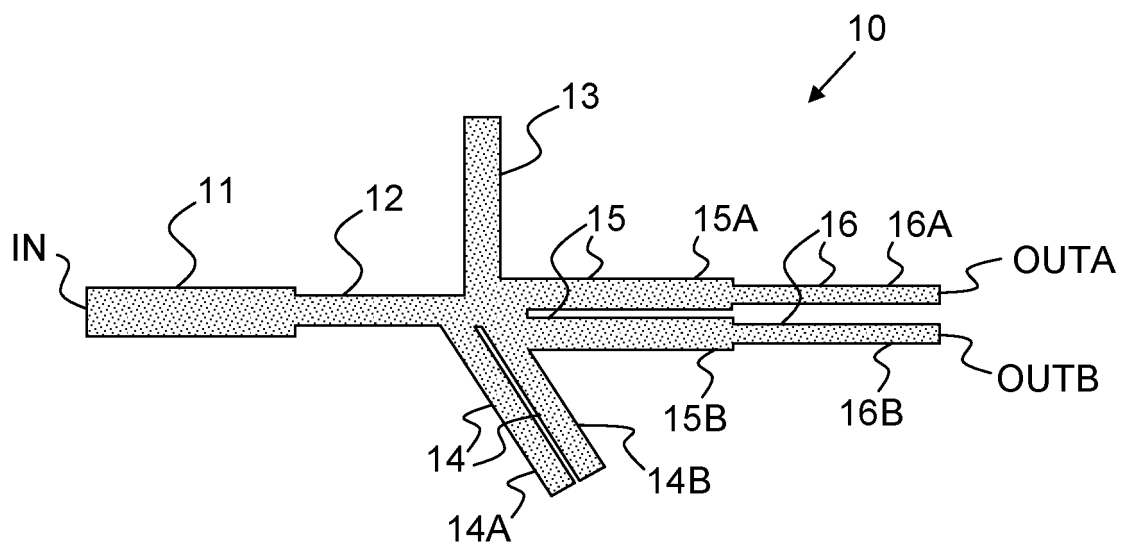


FIG. 1

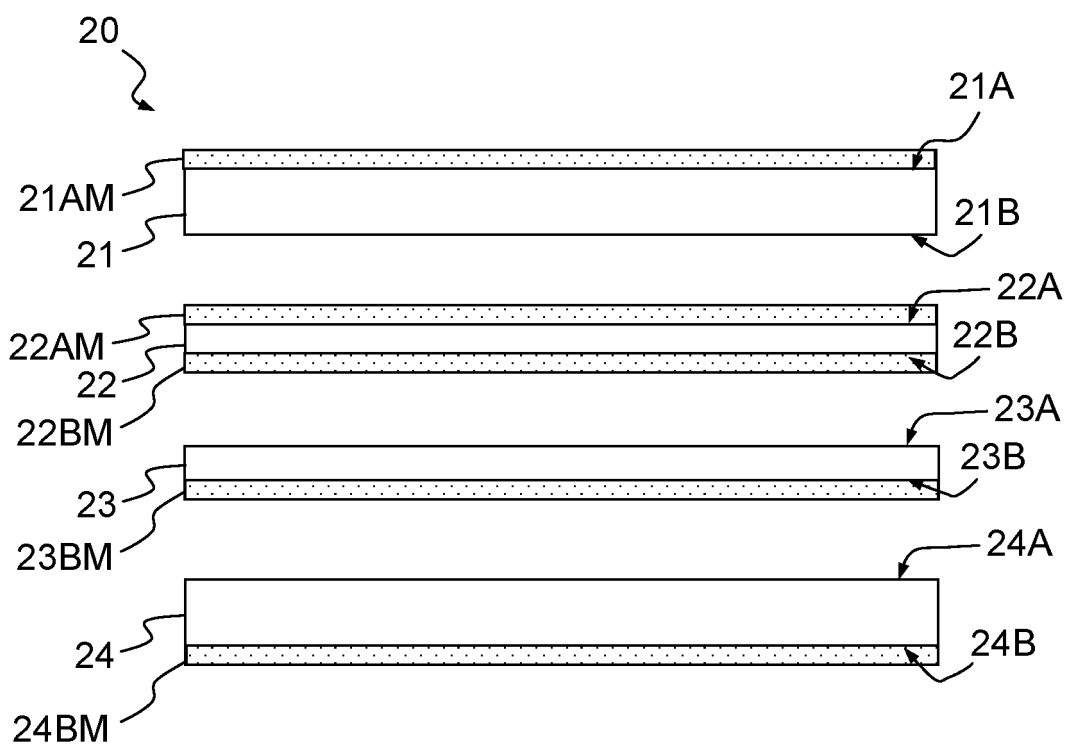


FIG. 2

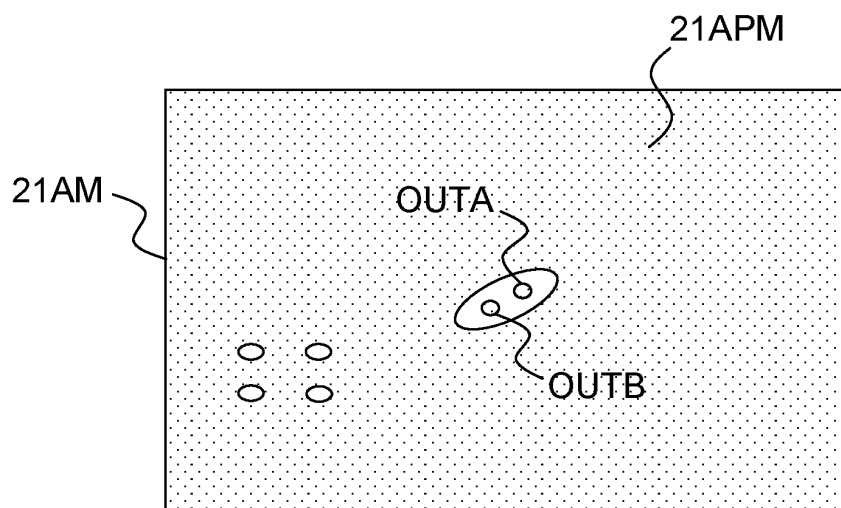


FIG. 3a

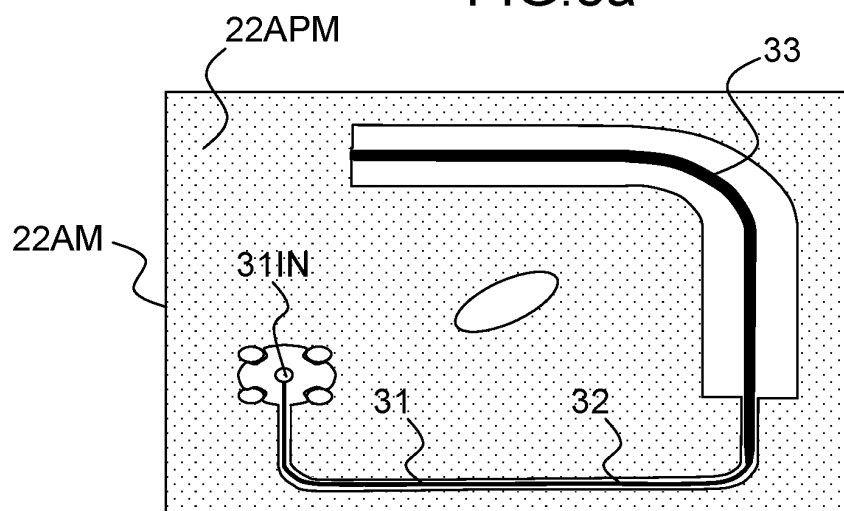


FIG. 3b

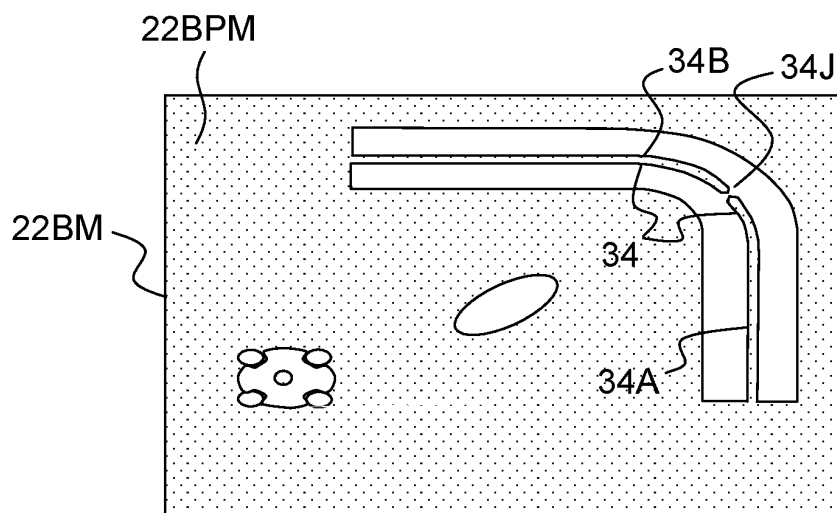


FIG. 3c

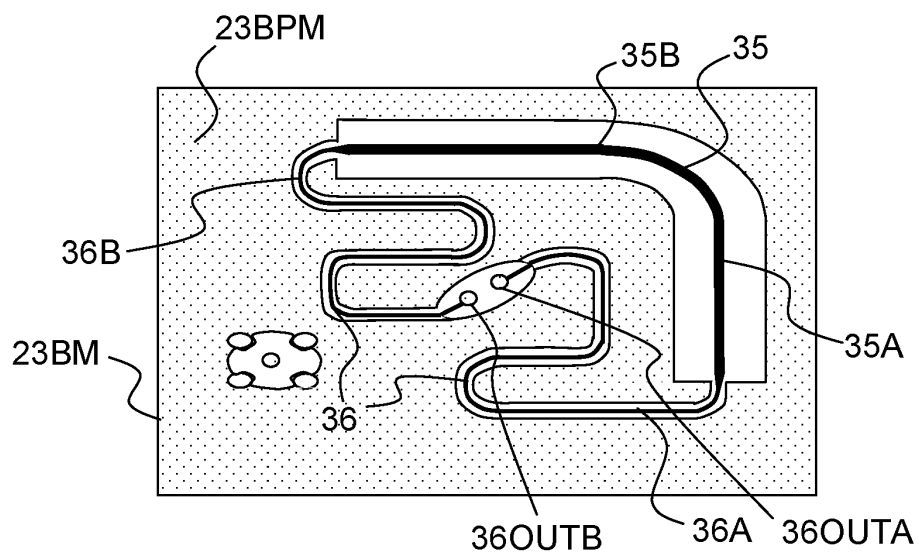


FIG.3d

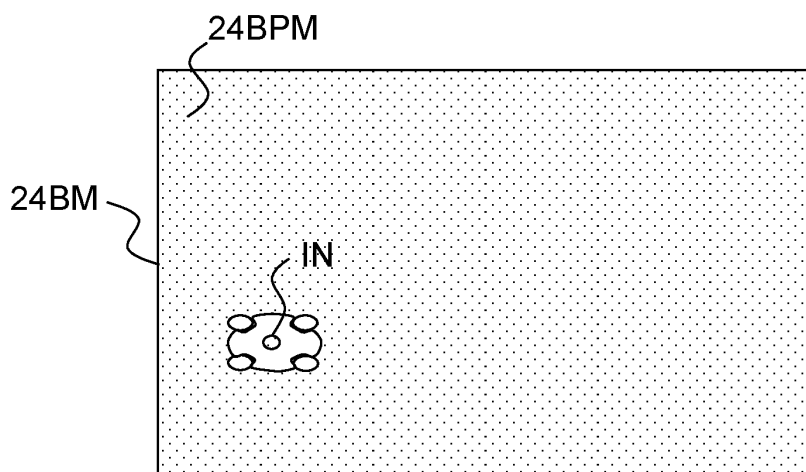


FIG.3e

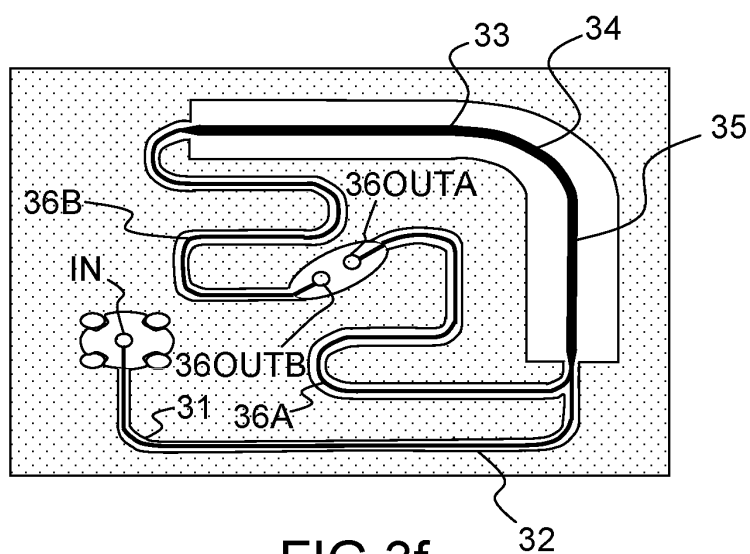


FIG.3f

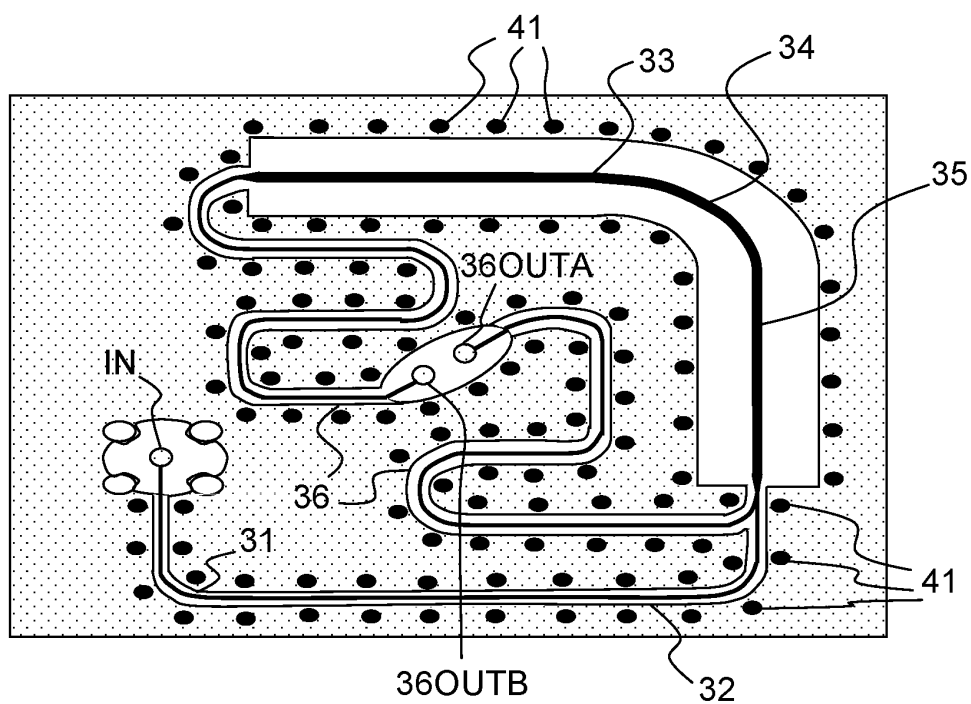


FIG. 4

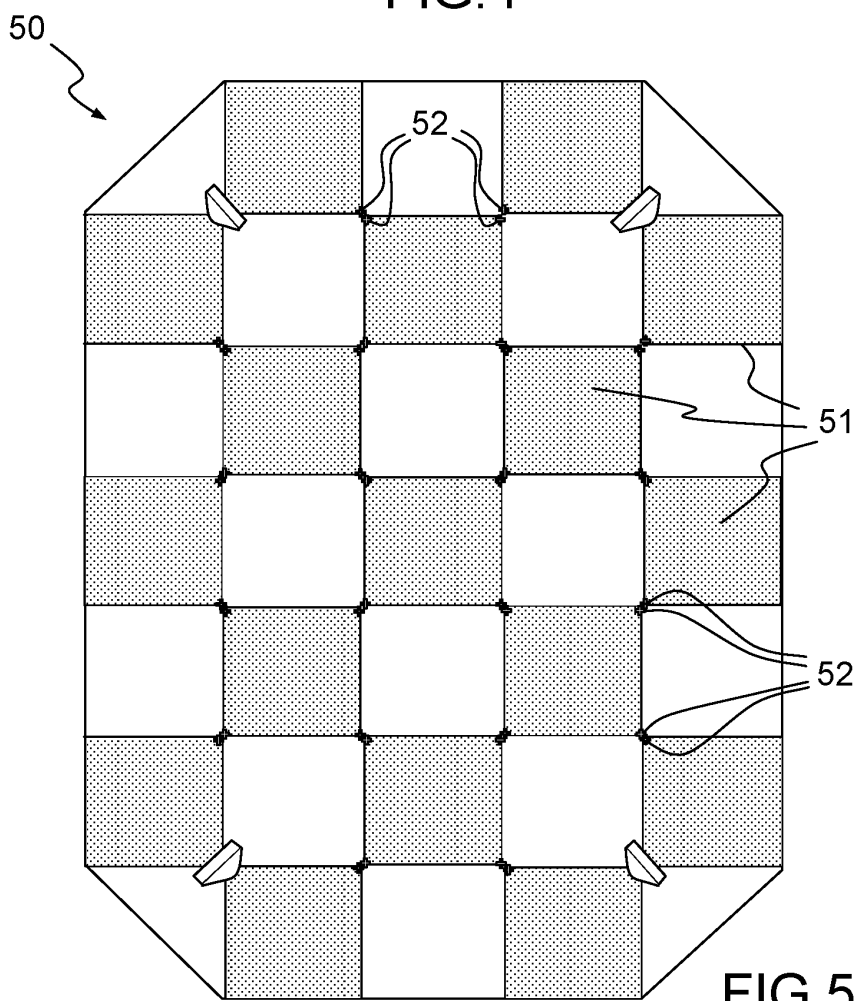


FIG. 5

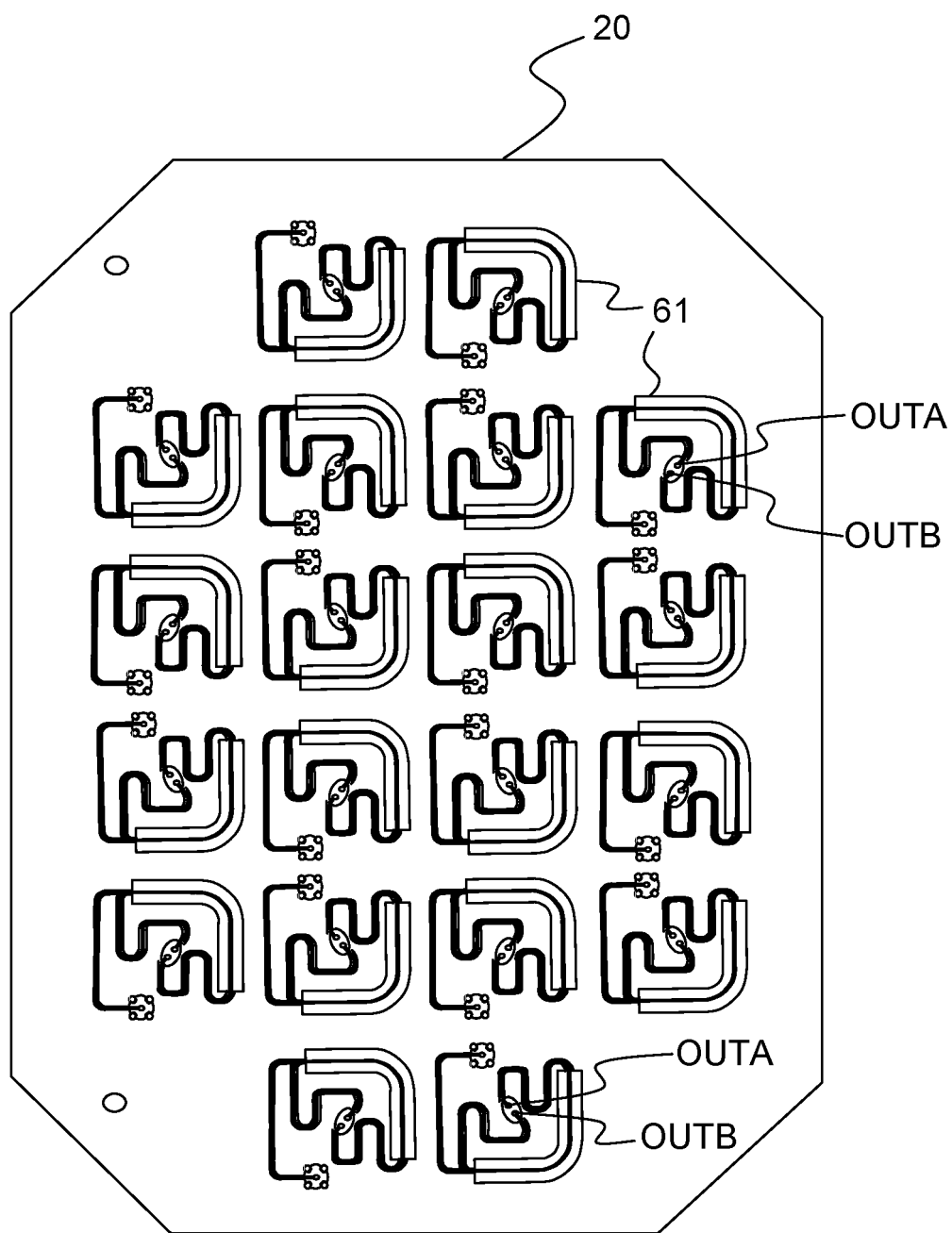


FIG.6

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

- US 6278340 B1 [0005]
- US 5697088 A [0005]
- US 5497137 A [0005]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **LAUGHLIN, G. J.** A New Impedance-Matched Wide-Band Balun and Magic Tee. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Mars 1976, vol. MTT-24 [0020]