(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 3 975 331 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
30.03.2022 Bulletin 2022/13

(21) Numéro de dépôt: **21198879.5**

(22) Date de dépôt: **24.09.2021**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H01P 5/10 *(2006.01)*

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H01P 5/10

(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

(30) Priorité: **29.09.2020 FR 2009890**

(71) Demandeur: **Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives**
75015 Paris (FR)

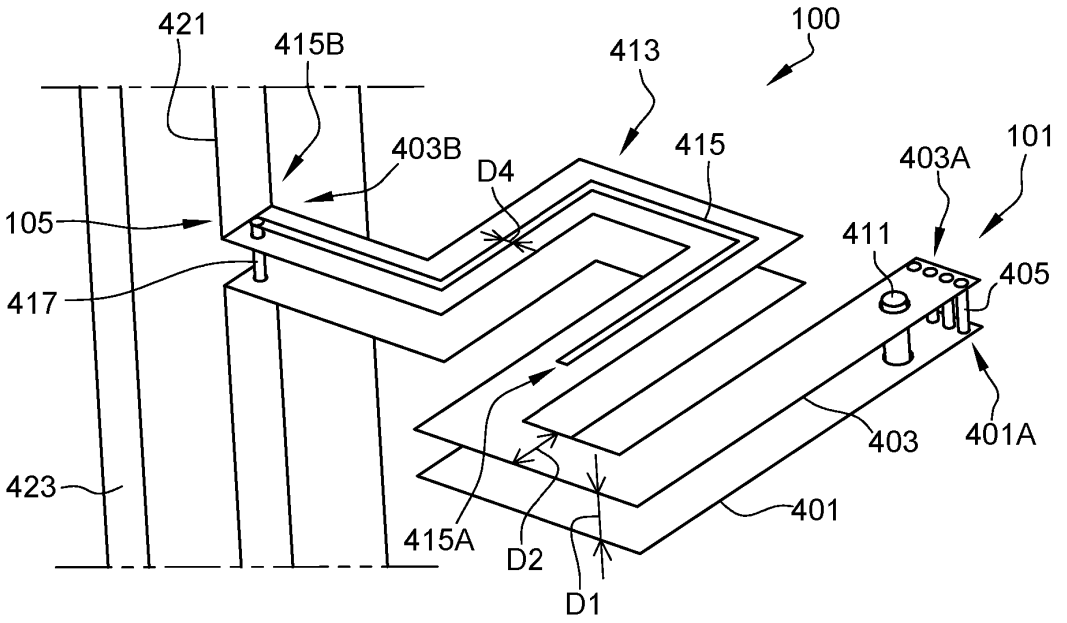
(72) Inventeurs:
- **BATEL, Lotfi**
  38054 Grenoble (FR)
- **DELAVEAUD, Christophe**
  38054 Grenoble (FR)

(74) Mandataire: **Cabinet Beaumont**
4, Place Robert Schuman
B.P. 1529
38025 Grenoble Cedex 1 (FR)

(54) **TRANSFORMATEUR À CHANGEMENT DE MODE**

(57) La présente description concerne un transformateur à changement de mode (100) comportant des première et deuxième pistes conductrices (401, 403) situées à l'aplomb et à distance (D1) l'une de l'autre et présentant un même tracé.

Fig. 4



EP 3 975 331 A1

Description

Domaine technique

[0001] La présente description concerne de façon générale les dispositifs électroniques. La présente description concerne plus particulièrement les transformateurs à changement de mode utilisés pour convertir une tension de mode commun en mode différentiel et inversement. De tels transformateurs sont généralement appelés « balun », de l'anglais « balanced-unbalanced ».

Technique antérieure

[0002] Un transformateur à changement de mode est souvent utilisé dans des chaînes d'émission-réception radiofréquence, par exemple de téléphones mobiles. Ce genre d'application a couramment recours à des dispositifs de type balun, le côté antenne étant le plus souvent associé à un dispositif à une seule extrémité.

[0003] On connaît notamment des baluns à lignes couplées, dits distribués, constitués de pistes conductrices couplées deux à deux, la fréquence de fonctionnement du transformateur étant conditionnée par la longueur des lignes. Toutefois, l'intégration de tels baluns dans des dispositifs de petite taille nuit à leurs performances.

Résumé de l'invention

[0004] Il existe un besoin d'améliorer les baluns à lignes couplées actuels.

[0005] Un mode de réalisation pallie tout ou partie des inconvénients des baluns à lignes couplées connus.

[0006] Un mode de réalisation prévoit un transformateur à changement de mode comportant des première et deuxième pistes conductrices situées à l'aplomb et à distance l'une de l'autre et présentant un même tracé.

[0007] Selon un mode de réalisation, une extrémité de la première piste conductrice et une extrémité de la deuxième piste conductrice sont connectées par au moins un via conducteur.

[0008] Selon un mode de réalisation, les autres extrémités des première et deuxième pistes conductrices sont destinées à être connectées respectivement à des première et deuxième bornes d'une antenne.

[0009] Selon un mode de réalisation, les première et deuxième pistes conductrices et le via conducteur définissent une fente quart d'onde.

[0010] Selon un mode de réalisation, les première et deuxième pistes conductrices présentent une même largeur.

[0011] Selon un mode de réalisation, les première et deuxième pistes conductrices présentent des méandres.

[0012] Selon un mode de réalisation, les première et deuxième pistes conductrices sont formées respectivement dans des première et deuxième couches métalliques d'une carte de circuit imprimé, les première et deuxième couches métalliques étant isolées l'une de l'autre par au moins une couche isolante.

[0013] Selon un mode de réalisation, le transformateur comporte en outre des première et deuxième lignes microruban, comprenant chacune un ruban situé respectivement à l'aplomb et à distance des première et deuxième pistes conductrices, les première et deuxième pistes conductrices étant intercalées entre les rubans.

[0014] Selon un mode de réalisation, les rubans des première et deuxième lignes microruban sont formés respectivement dans des troisième et quatrième couches métalliques de la carte de circuit imprimé, les troisième et quatrième couches métalliques étant isolées respectivement des première et deuxième couches métalliques par des couches isolantes.

[0015] Selon un mode de réalisation, un deuxième via conducteur connecte une extrémité du ruban de la première ligne microruban à une extrémité du ruban de la deuxième ligne microruban.

[0016] Selon un mode de réalisation, l'autre extrémité du ruban de la première ligne microruban est destinée à être connectée à un conducteur d'une ligne asymétrique.

[0017] Selon un mode de réalisation, la première ligne microruban présente une impédance caractéristique égale à environ 50 Ω.

[0018] Un mode de réalisation prévoit un système de communication radiofréquence comportant :

- un transformateur à changement de mode tel que décrit ; et
- une antenne dipolaire symétrique, connectée à des ports symétriques du transformateur à changement de mode.

Brève description des dessins

[0019] Ces caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres, seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

la figure 1 représente de façon schématique la fonction d'un balun ;

la figure 2 représente de façon schématique un circuit équivalent d'un balun classique de type Marchand ;

la figure 3 représente, de façon schématique et sous forme de blocs, un exemple de montage utilisant un balun du type auquel s'appliquent les modes de réalisation décrits ;

la figure 4 est une vue en perspective, schématique et partielle, d'un balun selon un mode de réalisation ;

la figure 5 est une autre vue en perspective, schématique et partielle, du balun de la figure 4 ;

la figure 6 est une vue en perspective illustrant un exemple d'intégration du balun de la figure 4 dans un système de communication radiofréquence ;

la figure 7A est une vue de dessus du mode de réalisation du balun de la figure 4 ;

la figure 7B est une vue de dessous du mode de réalisation du balun de la figure 4 ;

la figure 7C est une vue en coupe du mode de réalisation du balun de la figure 4 selon le plan CC des figures 7A et 7B ;

la figure 8 est un graphique de variation du module du paramètre S_{33} du balun de la figure 4 ;

la figure 9 est un graphique de variation du module des paramètres S_{31} et S_{32} du balun de la figure 4 ;

la figure 10 est un graphique de variation de la phase des paramètres S_{31} et S_{32} du balun de la figure 4 ;

la figure 11 est un diagramme de rayonnement d'une antenne du système de communication radiofréquence de la figure 6 ;

la figure 12 est un graphique de variation d'impédance de l'antenne du système de communication radiofréquence de la figure 6 ; et

la figure 13 est un graphique de variation du paramètre S_{11} de l'antenne du système de communication radiofréquence de la figure 6.

Description des modes de réalisation

[0020] De mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références dans les différentes figures. En particulier, les éléments structurels et/ou fonctionnels communs aux différents modes de réalisation peuvent présenter les mêmes références et peuvent disposer de propriétés structurelles, dimensionnelles et matérielles identiques.

[0021] Par souci de clarté, seuls les étapes et éléments utiles à la compréhension des modes de réalisation décrits ont été représentés et sont détaillés. En particulier, les circuits amont et aval d'un balun n'ont pas été détaillés, les modes de réalisation décrits s'appliquant quels que soient les circuits ou équipements connectés côté mode différentiel et côté mode commun. De plus, la réalisation pratique de pistes conductrices et de lignes microruban sur un substrat multiniveau n'a pas été détaillée, la mise en œuvre des modes de réalisation décrits faisant appel à des techniques usuelles de réalisation de pistes conductrices et de lignes microruban.

[0022] Sauf précision contraire, lorsque l'on fait référence à deux éléments connectés entre eux, cela signifie directement connectés sans éléments intermédiaires autres que des conducteurs, et lorsque l'on fait référence à deux éléments reliés (en anglais "coupled") entre eux, cela signifie que ces deux éléments peuvent être connectés ou être reliés par l'intermédiaire d'un ou plusieurs autres éléments.

[0023] Dans la description qui suit, lorsque l'on fait référence à des qualificatifs de position absolue, tels que les termes "avant", "arrière", "haut", "bas", "gauche", "droite", etc., ou relative, tels que les termes "dessus", "dessous", "supérieur", "inférieur", etc., ou à des qualificatifs d'orientation, tels que les termes "horizontal", "vertical", etc., il est fait référence, sauf précision contraire, à l'orientation des figures.

[0024] Sauf précision contraire, les expressions "environ", "approximativement", "sensiblement", et "de l'ordre de" signifient à 10 % près, de préférence à 5 % près.

[0025] La figure 1 représente de façon schématique la fonction d'un transformateur à changement de mode 100 (BALUN), également appelé balun (de l'anglais « balanced-unbalanced ») ou circuit symétriseur dans la présente description. Dans l'exemple représenté, le balun 100 comporte, côté mode commun, un port 101 dit de mode commun. À titre d'exemple, le port 101 de mode commun est destiné à être connecté à un conducteur d'une ligne asymétrique, par exemple à une âme d'un câble coaxial ou à un ruban d'une ligne microruban.

[0026] Dans l'exemple représenté, le balun 100 comporte en outre, côté mode commun, deux ports 103 et 105. Les ports 103 et 105 sont par exemple symétriques par rapport à une référence REF, par exemple la masse. À titre d'exemple, les ports 103 et 105 sont destinés à être connectés respectivement à deux bornes d'une antenne, par exemple une antenne dipolaire symétrique.

[0027] Côté mode commun, le signal reçu ou émis est le plus souvent référencé à la terre GND. Les masses côté mode commun et côté mode différentiel peuvent présenter des potentiels différents l'une de l'autre. En variante, les masses côté mode commun et côté mode différentiel sont à un même potentiel. Pour un balun 100 parfaitement symétrique, une tension V côté mode commun est convertie en deux tensions V/2 côté mode différentiel.

[0028] La figure 2 représente de façon schématique un circuit équivalent d'un balun classique de type Marchand. Un balun de type Marchand est un balun symétrique comportant des lignes couplées calculées à partir d'une longueur en $\lambda/4$, où λ représente une longueur d'onde correspondant à une fréquence centrale d'une bande passante souhaitée pour le balun.

[0029] Dans l'exemple représenté, des sections conductrices 201, 203, 205 et 207 sont couplées deux à deux. Plus précisément, les deux sections 201 et 203 sont connectées en série entre le port 101 d'accès de mode commun et un accès 209 généralement ouvert et laissé en l'air. Les deux autres sections 205 et 207 sont connectées en série entre les deux ports 103 et 105 d'accès de mode différentiel et présentent un point milieu 211

connecté à la masse REF qui constitue la référence du côté différentiel. Les signaux présents sur les bornes 103 et 105 d'entrée-sortie de mode différentiel sont par exemple déphasés de 180° l'un par rapport à l'autre.

[0030] La section conductrice 201 est par exemple une ligne microruban présentant une impédance caractéristique égale à environ 50 Ω. La section conductrice 203 est par exemple un élément ou tronçon de réglage (« stub », en anglais) de longueur ajustable de sorte à régler une impédance d'entrée d'une antenne. Les sections conductrices 205 et 207 présentent par exemple chacune une longueur quart d'onde ($\lambda/4$).

[0031] Un balun tel qu'illustré par la figure 2 dans lequel toutes les sections conductrices 201, 203, 205 et 207 présentent des structures et des longueurs identiques, conduit à un rapport d'impédance unitaire entre le primaire (mode commun) et le secondaire (mode différentiel).

[0032] La figure 3 représente, de façon schématique et sous forme de blocs, un exemple de montage utilisant un balun 100 (BALUN) du type auquel s'appliquent les modes de réalisation décrits.

[0033] Dans l'exemple représenté, les deux ports 103 et 105 d'accès différentiel sont connectés à une antenne 301 (ANTENNA) d'émission-réception radiofréquence. Le port 101 d'accès de mode commun est relié à un ou plusieurs circuits 303 (APPLI) d'exploitation de signaux reçus et de préparation de signaux à émettre.

[0034] Dans l'exemple représenté, un circuit 305 (ZMATCH) d'adaptation d'impédance est intercalé entre le balun 100 et le ou les circuits 303.

[0035] Les figures 4 et 5 sont des vues en perspective, schématiques et partielles, du balun ou transformateur à changement de mode 100 selon un mode de réalisation. La figure 5 correspond plus précisément à une vue dans laquelle le balun 100 est tourné d'environ 180° par rapport à l'orientation de la figure 4. Afin de faciliter la compréhension, seules des parties électriquement conductrices du balun 100 ont été représentées en figures 4 et 5.

[0036] Dans l'exemple représenté, le balun 100 comporte une première piste conductrice 401 et une deuxième piste conductrice 403. La deuxième piste conductrice 403 est située à l'aplomb et à distance de la première piste conductrice 401. Dit autrement, les première et deuxième pistes conductrices 401, 403 du balun 100 sont superposées et situées en regard l'une de l'autre. Les première et deuxième pistes conductrices 401, 403 sont isolées l'une de l'autre, par exemple par une couche électriquement isolante non visible en figures 4 et 5. La première piste conductrice 401 est séparée de la deuxième piste conductrice 403 par une distance D1. À titre d'exemple, la distance D1 est comprise entre 100 μm et 5 mm, par exemple égale à environ 1,28 mm.

[0037] Dans l'exemple représenté, la deuxième piste conductrice 403 présente un tracé identique à celui de la première piste conductrice 401, aux dispersions de fabrication près. En outre, la première piste conductrice 401 et la deuxième piste conductrice 403 présentent par exemple une même largeur D2, aux dispersions de fabrication près. À titre d'exemple, la largeur D2 des première et deuxième pistes conductrices 401, 403 est comprise entre 100 μm et 10 mm, par exemple égale à environ 3 mm. La distance D2 est par exemple conditionnée par une largeur de brins d'une antenne symétrique destinée à être connectée au balun 100.

[0038] De manière plus générale, les première et deuxième pistes 401, 403 présentent par exemple des formes semblables, par exemple identiques aux dispersions de fabrication près. Les première et deuxième pistes 401, 403 sont également appelées lignes jumelles.

[0039] Dans l'exemple représenté, le tracé des première et deuxième pistes conductrices 401, 403 présente des méandres. Les méandres des première et deuxième pistes conductrices 401, 403 permettent notamment de réduire l'encombrement du balun 100. À titre de variante, le tracé des première et deuxième pistes conductrices 401, 403 peut être de forme quelconque, par exemple rectiligne, en serpentin, en spirale, etc. Le tracé des première et deuxième pistes conductrices 401, 403 est par exemple choisi de manière à optimiser l'espace disponible pour la réalisation du balun 100 tout en évitant ou en limitant la formation d'un couplage entre des parties voisines d'une même piste conductrice 401, 403.

[0040] Dans l'exemple représenté, une extrémité 401A de la première piste conductrice 401 est connectée à une extrémité 403A de la deuxième piste conductrice 403 par des premiers vias conducteurs 405. Plus précisément, dans l'exemple représenté, les première et deuxième pistes conductrices 401, 403 sont mises en court-circuit par les premiers vias conducteurs 405. Bien que quatre premiers vias conducteurs 405 aient été représentés en figures 4 et 5, le balun 100 peut comporter un nombre quelconque, supérieur ou égal à un, de premiers vias conducteurs 405 connectant l'extrémité 401A de la première piste conductrice 401 à l'extrémité 403A de la deuxième piste conductrice 403.

[0041] Les première et deuxième pistes conductrices 401, 403 présentent par exemple chacune une longueur sensiblement égale au quart de la longueur d'onde λ correspondant à la fréquence centrale de la bande passante souhaitée pour le balun 100. Les première et deuxième pistes conductrices 401, 403 et les premiers vias conducteurs 405 définissent alors conjointement une fente quart d'onde ($\lambda/4$) du balun 100. À titre d'exemple, pour une fréquence centrale de l'ordre de 868 MHz, la longueur de chacune des première et deuxième pistes conductrices 401, 403 est comprise entre 5 et 10 cm, par exemple égale à environ 8,6 cm dans l'air. Cette longueur est par exemple réduite d'un facteur égal à environ $1/\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}$ lorsque les lignes 401, 403 sont imprimées sur un substrat de permittivité diélectrique relative ε_r et de perméabilité magnétique relative μ_r. À titre d'exemple, le substrat présente une permittivité diélectrique relative

ε_r égale à environ 6,15 et une perméabilité magnétique relative μ_r égale à environ 1.

[0042] Dans l'exemple représenté, le balun 100 comporte en outre une première ligne microruban 407 (figure 5). La première ligne microruban 407 comprend un ruban 409 situé à l'aplomb et à distance de la première piste conductrice 401. Le ruban 409 est isolé de la première piste conductrice 401, par exemple par une couche électriquement isolante non visible en figures 4 et 5. Le ruban 409 présente par exemple un tracé identique à celui de la première piste conductrice 401. Dans l'exemple représenté, le ruban 409 est sensiblement aligné par rapport à la ligne médiane de la première piste conductrice 401. La première piste conductrice 401 constitue par exemple un plan de masse de la ligne microruban 407. Le ruban 409 présente une largeur D3 inférieure à la largeur D2 de la première piste conductrice 401. À titre d'exemple, le ruban 409 est environ trois fois moins large que la première piste conductrice 401. Cela permet notamment de concentrer des lignes de champ entre le ruban 409 et son plan de masse, constitué par la piste conductrice 401, de sorte à obtenir un mode de propagation guidé de type microruban.

[0043] Dans l'exemple représenté, le ruban 409 présente une longueur légèrement inférieure à celle de la première piste conductrice 401. Plus précisément, le ruban 409 s'interrompt avant l'aplomb de l'extrémité 401A de la première piste conductrice 401.

[0044] À titre d'exemple, la ligne microruban 407 présente une impédance caractéristique sensiblement égale à 50 Ω.

[0045] Dans l'exemple représenté, le port 101 de mode commun du balun 100 est défini par un deuxième via conducteur 411 connecté à une extrémité 409A du ruban 409 de la première ligne microruban 407. Le deuxième via conducteur 411 peut toutefois être remplacé par un élément de reprise de contact quelconque permettant de réaliser le port 101, par exemple un plot conducteur connecté à l'extrémité 409A du ruban 409.

[0046] Le deuxième via conducteur 411 est par exemple isolé des première et deuxième pistes conductrices 401, 403. Dans l'exemple représenté, le deuxième via conducteur 411 traverse les première et deuxième pistes conductrices 401, 403 sans les contacter.

[0047] Dans l'exemple représenté, le balun 100 comporte en outre une deuxième ligne microruban 413 (figure 4). La deuxième ligne microruban 413 est par exemple analogue à la première ligne microruban 407, mais présente notamment une longueur inférieure à celle de la première ligne microruban 407. La deuxième ligne microruban 413 définit un élément ou tronçon de réglage (« stub », en anglais) terminé en circuit ouvert. En variante, le tronçon de réglage est terminé par un court-circuit. La longueur de la deuxième ligne microruban 413 est par exemple ajustée de sorte à obtenir une valeur d'impédance d'entrée souhaitée d'une antenne destinée à être connectée au balun 100.

[0048] La deuxième ligne microruban 413 comprend un ruban 415 situé à l'aplomb et à distance de la deuxième piste conductrice 403. Le ruban 415 est isolé de la première piste conductrice 401, par exemple par une couche électriquement isolante non visible en figures 4 et 5. Le ruban 415 présente par exemple un tracé identique à celui de la deuxième piste conductrice 403. Dans l'exemple représenté, le ruban 415 est sensiblement aligné par rapport à la ligne médiane de la deuxième piste conductrice 403. La deuxième piste conductrice 403 constitue par exemple un plan de masse de la ligne microruban 413. Le ruban 415 présente une largeur D4. La largeur D4 du ruban 415 est par exemple sensiblement égale à la largeur D3 du ruban 409.

[0049] Dans l'exemple représenté, le ruban 415 présente une longueur inférieure à celle du ruban 409. Du côté de l'extrémité 403A de la deuxième piste conductrice 403, le ruban 415 présente par exemple une extrémité 415A située à l'aplomb de la deuxième piste conductrice 403. Dans l'exemple représenté, l'extrémité 415A du ruban 415 n'est pas connectée à la deuxième piste conductrice 403. En variante, l'extrémité 415A du ruban 415 est connectée à la deuxième piste conductrice 403, par exemple par un via conducteur situé à l'aplomb de l'extrémité 415A.

[0050] Le ruban 415 de la deuxième ligne microruban 413 constitue un élément de réglage du balun 100. À titre d'exemple, la longueur du ruban 415 de la deuxième ligne microruban 413 est choisie de façon à atteindre une valeur d'impédance cible permettant d'obtenir, côté mode différentiel, deux signaux sensiblement symétriques.

[0051] Dans l'exemple illustré en figures 4 et 5, l'autre extrémité 409B du ruban 409, opposée à l'extrémité 409A, et l'autre extrémité 415B du ruban 415, opposée à l'extrémité 415A, sont connectées entre elles par un troisième via conducteur 417. Le troisième via conducteur 417 est isolé des première et deuxième pistes conductrices 401, 403. Dans l'exemple représenté, le troisième via conducteur 417 traverse les première et deuxième pistes conductrices 401, 403 sans les contacter.

[0052] Le via conducteur 417 constitue par exemple un via d'excitation de la fente quart d'onde du balun 100.

[0053] Dans l'exemple représenté, l'autre extrémité 401B de la première piste conductrice 401, opposée à l'extrémité 401A, constitue le port symétrique 103 du balun 100. De façon analogue, l'autre extrémité 403B de la deuxième piste conductrice 403, opposée à l'extrémité 403A, constitue le port symétrique 105 du balun 100.

[0054] Dans l'exemple représenté, les ports symétriques 103 et 105 du balun 100 sont respectivement connectés à des troisième et quatrième pistes conductrices 419, 421 formées en surface d'un support 423. À titre d'exemple, les troisième et quatrième pistes conductrices 419 et 421 sont destinées à connecter les ports symétriques 103 et 105 du balun 100 à des bornes d'une antenne, non représentées en figures 4 et 5.

[0055] Un avantage du mode de réalisation du balun

100 exposé ci-dessus en relation avec les figures 4 et 5 tient au fait que les première et deuxième pistes conductrices 401, 403 de sa fente quart d'onde sont superposées et présentent des méandres. Cela permet au balun 100 d'être plus compact, notamment par rapport à un cas où les pistes conductrices de la fente quart d'onde seraient coplanaires et/ou rectilignes. En particulier, le fait que les première et deuxième pistes conductrices 401, 403 soient formées dans le volume, et non dans un même plan, permet de réduire les dimensions latérales du balun 100 tout en conservant des performances similaires à celles d'un balun qui comporterait par exemple une structure planaire. L'utilisation d'un substrat de permittivité diélectrique relative ε_r élevée contribue également à la réduction des dimensions du balun 100. On facilite ainsi l'intégration du balun 100 dans des dispositifs de communication radiofréquence de faibles dimensions, par exemple des objets connectés tels que des montres connectées, des bracelets connectés, des porte-clés connectés, etc.

[0056] La figure 6 est une vue en perspective illustrant un exemple d'intégration du balun 100 de la figure 4 dans un système 600 de communication radiofréquence.

[0057] Dans l'exemple représenté, le système 600 de communication radiofréquence comporte, outre le balun 100, une antenne 601. L'antenne 601 est par exemple une antenne dipolaire symétrique, par exemple une antenne fil-plaque différentielle compacte comprenant deux toits capacitifs 603 situés de part et d'autre du balun 100. Chaque toit capacitif 603 comporte des motifs de fentes 605, destinés par exemple à émettre un champ électromagnétique lorsqu'ils sont excités par le balun 100. Les ports symétriques 103 et 105 du balun 100 sont par exemple connectés chacun à l'un des toits capacitifs 603 de l'antenne 601 par l'une des pistes conductrices 419, 421.

[0058] Le balun 100 présente un fonctionnement semblable à celui du balun de type Marchand tel qu'exposé précédemment en relation avec la figure 2. Un signal est par exemple appliqué sur le port 101 de mode commun. Cela permet d'exciter, par le troisième via 417 (figure 5), la fente quart d'onde du balun 100. La fente quart d'onde du balun 100 excite alors à son tour l'antenne dipolaire 601, par exemple de façon symétrique avec des courants d'amplitudes égales et en opposition de phase sur chaque toit capacitif 603 de l'antenne dipolaire 601. Les courants sont par exemple d'amplitude égale et en opposition de phase de part et d'autre de la fente quart d'onde. Cela permet aux courants de se remettre en phase avec une amplitude égale le long des brins symétriques de l'antenne, par exemple dans le cas d'une alimentation différentielle.

[0059] Les figures 7A, 7B et 7C correspondent respectivement à des vues de dessus, de dessous et en coupe du mode de réalisation du balun 100 des figures 4 et 5. La figure 7C est plus précisément une vue en coupe selon le plan CC des figures 7A et 7B.

[0060] Comme illustré en figures 7A à 7C, le balun 100 est par exemple réalisé dans une carte de circuit imprimé 701, par exemple une carte multicouche. Dans l'exemple représenté, la carte de circuit imprimé 701 comporte quatre couches métalliques correspondant par exemple chacune à un niveau de métallisation. Ces couches sont empilées verticalement et séparées les unes des autres par des couches isolantes. Plus précisément, la carte de circuit imprimé 701 comporte, partant d'une face inférieure 701B vers une face supérieure 701T, des première, deuxième, troisième et quatrième couches électriquement conductrices 703, 705, 707 et 709. À titre d'exemple, les première, deuxième, troisième et quatrième couches électriquement conductrices 703, 705, 707 et 709 sont en un métal, par exemple le cuivre, ou en un alliage métallique.

[0061] Dans l'exemple représenté, les première, deuxième, troisième et quatrième couches électriquement conductrices 703, 705, 707 et 709 sont régulièrement espacées. À titre de variante, certaines couches voisines parmi les première, deuxième, troisième et quatrième couches électriquement conductrices 703, 705, 707 et 709 peuvent être séparées par une distance inférieure à la distance séparant d'autres couches voisines.

[0062] Dans la carte de circuit imprimé 701, les première, deuxième, troisième et quatrième couches électriquement conductrices 703, 705, 707 et 709 sont isolées entre elles par trois couches électriquement isolantes 711. Les couches isolantes 711 peuvent présenter une structure monocouche ou multicouche. À titre d'exemple, les couches électriquement isolantes 711 sont en un matériau diélectrique, par exemple en résine.

[0063] De manière générale, les couches électriquement isolantes 711 sont par exemple en un matériau présentant une permittivité diélectrique relative ε_r importante. Cela permet notamment de réduire la distance D1 séparant les première et deuxième pistes conductrices 401, 403, donc d'obtenir un balun 100 plus compact, tout en conservant une isolation électrique suffisante entre ces pistes pour éviter tout phénomène de claquage. À titre d'exemple, la permittivité diélectrique relative ε_r du matériau des couches isolantes 711 est comprise entre 2 et 30, par exemple égale à environ 6,15.

[0064] Dans l'exemple représenté, le ruban 409, la première piste conductrice 401, la deuxième piste conductrice 403 et le ruban 415 sont respectivement formés dans les première, deuxième, troisième et quatrième couches conductrices 703, 705, 707 et 709 de la carte de circuit imprimé 701.

[0065] Dans l'exemple représenté, les deuxième et troisième vias conducteurs 411 et 417 s'étendent verticalement, depuis la face inférieure 701B, dans l'épaisseur de la carte de circuit imprimé 701 et débouchent du côté de la face supérieure 701T. Dans l'exemple représenté, les deuxième et troisième vias conducteurs 411, 417 traversent chacun les première et deuxième pistes conductrices 401, 403 par des orifices réalisés dans chacune de ces pistes. Ces orifices sont par exemple alignés par rapport à l'axe des vias 411 et 417, mais présentent

un diamètre supérieur à celui des vias 411 et 417. Cela permet notamment d'éviter tout contact électrique entre les première et deuxième pistes 401, 403 d'une part et les deuxième et troisième vias 411, 417 d'autre part.

[0066] Dans l'exemple représenté, les ports 103 et 105 d'accès symétrique du balun 100 sont respectivement formés dans les deuxième et troisième couches conductrices 705, 707. La carte de circuit imprimé 701 est par exemple gravée du côté de sa face supérieure 701T de manière à exposer une partie de troisième couche conductrice 707 à l'emplacement du port 105 d'accès symétrique. De façon analogue, la carte de circuit imprimé 701 est par exemple gravée du côté de sa face inférieure 701B de manière à exposer une partie de deuxième couche conductrice 705 à l'emplacement du port 103 d'accès symétrique. À titre de variante, les ports 103 et 105 d'accès symétrique peuvent par exemple être réalisés respectivement en face inférieure 701B et en face supérieure 701T de la carte de circuit imprimé 701, par exemple en prévoyant des éléments de reprise de contact connectés aux première et deuxième pistes conductrices 401, 403 par des vias conducteurs.

[0067] Le balun 100 peut en outre comporter, comme dans l'exemple illustré en figures 7A à 7B, des régions métalliques 713 et 715. Dans l'exemple représenté, les régions métalliques 713 et 715 sont situées respectivement du côté des faces inférieure 701B et supérieure 701T de la carte de circuit imprimé 701. Les régions métalliques 713 et 715 sont par exemple formées respectivement dans les première et quatrième couches conductrices 703, 709. La région métallique 715 est par exemple connectée au deuxième via conducteur 411.

[0068] Les régions métalliques 713 et 715 sont par exemple destinées à faciliter la connexion de la ligne asymétrique au balun 100. Plus précisément, la région métallique 715 est par exemple destinée à être connectée à un conducteur de la ligne asymétrique, par exemple une âme d'un câble coaxial. La région métallique 715 permet notamment de faciliter la connexion de la ligne asymétrique au port 105 du balun 100. La région métallique 713 est par exemple destinée à être connectée à l'autre conducteur de la ligne asymétrique, par exemple une tresse de masse du câble coaxial.

[0069] Dans l'exemple représenté, les premiers vias conducteurs 405 s'étendent verticalement depuis la deuxième couche 705 jusqu'à la troisième couche 707. En variante, les premiers vias conducteurs 405 s'étendent verticalement, depuis la face inférieure 701B, dans l'épaisseur de la carte de circuit imprimé 701 et débouchent du côté de la face supérieure 701T.

[0070] À titre d'exemple, le balun 100 présente une longueur L (figure 7A) comprise entre 15 et 25 mm, par exemple égale à environ 17 mm, une largeur W (figure 7A) comprise entre 10 et 20 mm, par exemple égale à environ 12 mm, et une épaisseur T (figure 7C) comprise entre 0,5 et 3 mm, par exemple égale à environ 2 mm.

[0071] Les figures 8 à 10 ci-dessous illustrent, par des graphiques, des paramètres caractéristiques du balun 100. Ces graphiques sont par exemple obtenus en connectant l'âme d'un câble coaxial au port 101 de mode commun (deuxième via conducteur 411), ici utilisé comme port d'entrée, en connectant les âmes respectives de deux autres câbles coaxiaux aux ports 103 (deuxième couche conductrices 705) et 105 (troisième couche conductrice 707) de mode différentiel, utilisés ici comme ports de sortie, et en mesurant des signaux transmis entre le port 101 et les ports 103 et 105.

[0072] La figure 8 est un graphique de variation, en fonction de la fréquence f en mégahertz (MHz), du module du paramètre S_{33} ($|S_{33}|$) en décibels (dB) du balun 100 de la figure 4. Ce paramètre caractérise un niveau de signal réfléchi sur le port d'entrée 101.

[0073] Le graphique de la figure 8 montre que le module du paramètre S_{33} est inférieur à - 6 dB sur une bande de fréquences comprise entre 775 MHz et 1,06 GHz. Le module du paramètre S_{33} est en outre inférieur à - 10 dB pour une fréquence f de l'ordre de 868 MHz. Cela correspond par exemple à un fonctionnement du balun 100 à la fréquence centrale usuelle, en Europe, des applications de radio-identification RFID (de l'anglais « radio frequency identification »).

[0074] La figure 9 est un graphique de variation, en fonction de la fréquence f en mégahertz (MHz), du module des paramètres S_{31} ($|S_3|$) et S_{32} ($|S_{32}|$) en décibels (dB) du balun 100 de la figure 4. Les variations du module des paramètres S_{31} et S_{32} sont respectivement illustrées par des courbes 901 et 903. La courbe 901 représente par exemple un niveau de puissance transmis entre le port d'entrée 101 et le port de sortie 103, tandis que la courbe 903 représente un niveau de puissance transmis entre le port d'entrée 101 et le port de sortie 105.

[0075] Les courbes 901 et 903 sont quasiment superposées sur une plage de fréquences comprises entre 500 MHz et 1,5 GHz. En particulier, pour une fréquence f de l'ordre de 868 MHz, le module du paramètre S_{31} est égal à environ - 3 dB tandis que le module du paramètre S_{32} est égal à environ - 3,38 dB. La puissance injectée en entrée par le port 101 est donc sensiblement divisée par deux à chaque port de sortie 103, 105 du balun 100. En d'autres termes, la puissance d'entrée est répartie de manière équitable entre les ports 103 et 105. D'après les courbes 901 et 903 du graphique de la figure 9, le balun 100 présente des pertes d'insertion maximales égales à environ 0,38 dB.

[0076] La figure 10 est un graphique de variation, en fonction de la fréquence f en mégahertz (MHz), de la phase des paramètres S_{31} (φ_{31}) et S_{32} (φ_{32}) en degrés (°) du balun 100 de la figure 4. Les variations de la phase des paramètres S_{31} et S_{32} sont respectivement illustrées par des courbes 1001 et 1003. Pour faciliter la lecture du graphique de la figure 10, on a représenté une autre courbe 1005 correspondant à la différence entre la courbe 1001 et la courbe 1003. La courbe 1005 illustre ainsi un déphasage entre les signaux présents sur les ports de sortie 103 et 105 du balun 100.

[0077] Sur une plage de fréquences comprise entre

500 MHz et 1,5 GHz, la courbe 1005 est sensiblement superposée à une ligne horizontale en pointillé 1007 correspondant à un déphasage égal à 180°. Le déphasage entre les signaux présents sur chaque port de sortie 103, 105 du balun 100 est donc sensiblement égal à 180°.

[0078] D'après les graphiques des figures 9 et 10, on constate que le balun 100 permet de fournir, sur chaque port de sortie 103, 105, des signaux de puissances sensiblement égales et déphasés d'environ 180°. Cela signifie que le mode de réalisation du balun 100 tel qu'exposé précédemment possède la fonction de symétriseur attendue.

[0079] Les figures 11 à 13 ci-dessous illustrent, par un diagramme et des graphiques, des paramètres caractéristiques d'une antenne associée au balun 100. Ce diagramme et ces graphiques sont par exemple obtenus en connectant l'âme d'un câble coaxial au port 101 de mode commun, en connectant respectivement les ports 103 et 105 de mode différentiel à des bornes d'une antenne et en mesurant notamment des propriétés de rayonnement et d'impédance de cette antenne.

[0080] À titre d'exemple, le balun 100 est dans ce cas connecté à l'antenne 601 du système de communication radiofréquence 600 précédemment exposé en relation avec la figure 6.

[0081] La figure 11 est un diagramme de rayonnement, en décibels isotropes (dBi), de l'antenne 601 du système de communication radiofréquence 600 de la figure 6 pour une fréquence f sensiblement égale à 868 MHz.

[0082] La figure 11 illustre plus précisément, par des courbes 1101 et 1103 en trait plein correspondant respectivement à des coupes transverse et frontale, le rayonnement de l'antenne 601 mesuré en excitant cette antenne par l'intermédiaire du balun 100. En outre, la figure 11 illustre, par des courbes 1105 et 1107 en pointillé correspondant respectivement à des coupes transverse et frontale, le rayonnement de l'antenne 601 théoriquement obtenu en excitant directement cette antenne par des ports différentiels idéaux.

[0083] Dans le diagramme de la figure 11, la courbe 1101 est sensiblement superposée à la courbe 1105 tandis que la courbe 1103 est sensiblement superposée à la courbe 1107. Cela indique que lorsque l'on utilise le balun 100 pour exciter l'antenne 601, on obtient des propriétés de rayonnement comparables à celles que l'on obtiendrait par une excitation différentielle idéale, c'est-à-dire une excitation parfaitement symétrique, de l'antenne 601. Le diagramme de la figure 11 permet donc de confirmer le comportement symétriseur du balun 100.

[0084] La figure 12 est un graphique de variation d'impédance Z, en ohms (Ω), de l'antenne 601 du système 600 de communication radiofréquence de la figure 6 pour une bande de fréquences comprise entre 650 et 950 MHz.

[0085] La figure 12 illustre plus précisément, par des courbes respectivement 1201 et 1203 en trait plein, la variation de la partie réelle et de la partie imaginaire de l'impédance de l'antenne 601 alimentée en utilisant le balun 100. En outre, la figure 12 illustre, par des courbes respectivement 1205 et 1207 en pointillé, la variation de la partie réelle et de la partie imaginaire de l'impédance de l'antenne 601 dans un cas où le balun 100 est omis, par exemple dans le cas d'une excitation différentielle idéale à la base de l'antenne 601.

[0086] La figure 13 est un graphique de variation, en fonction de la fréquence f en mégahertz (MHz), du module du paramètre S_{11} ($|S_{11}|$) en décibels (dB) de l'antenne 601 du système de communication radiofréquence 600 de la figure 6. Ce paramètre caractérise un niveau de signal réfléchi au port d'entrée de l'antenne 601.

[0087] La figure 13 illustre plus précisément, par une courbe 1301 en trait plein, la variation du paramètre S_{11} lorsque l'antenne 601 est alimentée par le balun 100 et, par une courbe 1303 en pointillé, la variation du paramètre S_{11} dans un cas où le balun 100 est omis. On constate, d'après les courbes 1301 et 1303 du graphique de la figure 13, que le balun 100 permet d'obtenir une bande passante à - 10 dB environ six fois plus large que celle que l'on obtient sans utiliser le balun 100. Le balun 100 permet donc de réaliser une adaptation d'impédance, en complément d'une symétrisation du signal. L'adaptation d'impédance réalisée par le balun 100 peut notamment être ajustée en modifiant la longueur du ruban 415 de la deuxième ligne microruban 413.

[0088] Divers modes de réalisation et variantes ont été décrits. La personne du métier comprendra que certaines caractéristiques de ces divers modes de réalisation et variantes pourraient être combinées, et d'autres variantes apparaîtront à la personne du métier. En particulier, bien que l'on ait décrit un mode de réalisation du balun 100 dans lequel la fente quart d'onde et les lignes microruban sont formées dans une carte de circuit imprimé à quatre niveaux de métallisation, la personne du métier est capable d'adapter ce mode de réalisation à des cartes de circuit imprimé comportant plus de quatre niveaux. Plus généralement, la personne du métier est capable d'adapter ce qui a été décrit à tout type de substrat multiniveau.

[0089] En outre, la personne du métier est capable d'adapter le matériau et l'épaisseur de chacune des couches conductrices 703, 705, 707, 709 et isolantes 711 de la carte de circuit imprimé 701 en fonction de l'application. En particulier, au moins l'une des couches 703, 705, 707 et 709 peut être en un matériau différent de celui des autres couches. De façon analogue, au moins l'une des couches 711 peut être en un matériau différent de celui des autres couches 711. La personne du métier est par ailleurs capable d'utiliser un ou plusieurs matériaux à forte permittivité diélectrique relative ε_r et/ou perméabilité magnétique relative μ_r pour la réalisation de tout ou partie des couches isolantes 711, par exemple afin de réduire encore davantage l'encombrement du balun 100.

[0090] Par ailleurs, la personne du métier est capable d'adapter les modes de réalisation décrits à des rapports d'impédances non unitaires. À titre d'exemple, cette

adaptation peut être effectuée en modifiant la position d'excitation par couplage de la fente quart d'onde, par exemple en déplaçant le troisième via conducteur 417 le long de la fente définie par les première et deuxième pistes conductrices 401 et 403.

[0091] Enfin, la mise en œuvre pratique des modes de réalisation et variantes décrits est à la portée de la personne du métier à partir des indications fonctionnelles données ci-dessus. En particulier, le dimensionnement et la mise en œuvre pratique d'un transformateur à changement de mode tel que le balun 100 précédemment décrit est à la portée de la personne du métier à partir des indications ci-dessus.

Revendications

1. Transformateur à changement de mode (100) comportant des première et deuxième pistes conductrices (401, 403) superposées, situées à distance (D1) et en regard l'une de l'autre, et présentant un même tracé.

2. Transformateur selon la revendication 1, dans lequel une extrémité (401A) de la première piste conductrice (401) et une extrémité (403A) de la deuxième piste conductrice (403) sont connectées par au moins un via conducteur (405).

3. Transformateur selon la revendication 2, dans lequel les autres extrémités (401B, 403B) des première et deuxième pistes conductrices (401, 403) sont destinées à être connectées respectivement à des première et deuxième bornes d'une antenne (601).

4. Transformateur selon la revendication 2 ou 3, dans lequel les première et deuxième pistes conductrices (401, 403) et le via conducteur (405) définissent une fente quart d'onde.

5. Transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel les première et deuxième pistes conductrices (401, 403) présentent une même largeur (D2).

6. Transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel les première et deuxième pistes conductrices (401, 403) présentent des méandres.

7. Transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel les première et deuxième pistes conductrices (401, 403) sont formées respectivement dans des première et deuxième couches métalliques (705, 707) d'une carte de circuit imprimé (701), les première et deuxième couches métalliques étant isolées l'une de l'autre par au moins une couche isolante (711).

8. Transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, comportant en outre des première et deuxième lignes microruban (407, 413), comprenant chacune un ruban (409, 415) situé respectivement à l'aplomb et à distance des première et deuxième pistes conductrices (401, 403), les première et deuxième pistes conductrices étant intercalées entre les rubans.

9. Transformateur selon les revendications 7 et 8, dans lequel les rubans (409, 415) des première et deuxième lignes microruban (407, 413) sont formés respectivement dans des troisième et quatrième couches métalliques (703, 709) de la carte de circuit imprimé (701), les troisième et quatrième couches métalliques étant isolées respectivement des première et deuxième couches métalliques (705, 707) par des couches isolantes (711).

10. Transformateur selon la revendication 8 ou 9, dans lequel un deuxième via conducteur (417) connecte une extrémité (409B) du ruban (409) de la première ligne microruban (407) à une extrémité (415B) du ruban (415) de la deuxième ligne microruban (413).

11. Transformateur selon la revendication 10, dans lequel l'autre extrémité (409A) du ruban (409) de la première ligne microruban (407) est destinée à être connectée à un conducteur d'une ligne asymétrique.

12. Transformateur selon l'une quelconque des revendications 8 à 11, dans lequel la première ligne microruban (407) présente une impédance caractéristique égale à environ 50 Ω.

13. Système de communication radiofréquence (600) comportant :

    - un transformateur à changement de mode (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 12 ; et
    - une antenne dipolaire symétrique (601), connectée à des ports symétriques (103, 105) du transformateur à changement de mode.

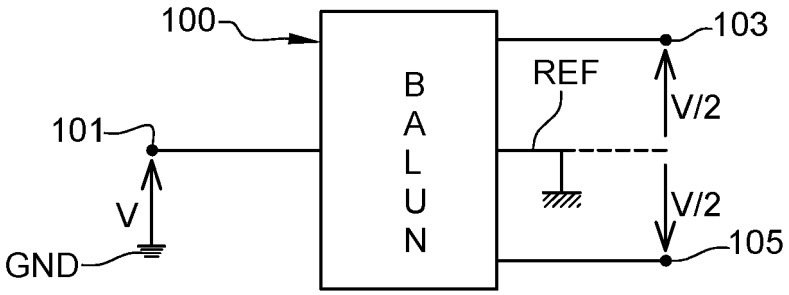


Fig. 1

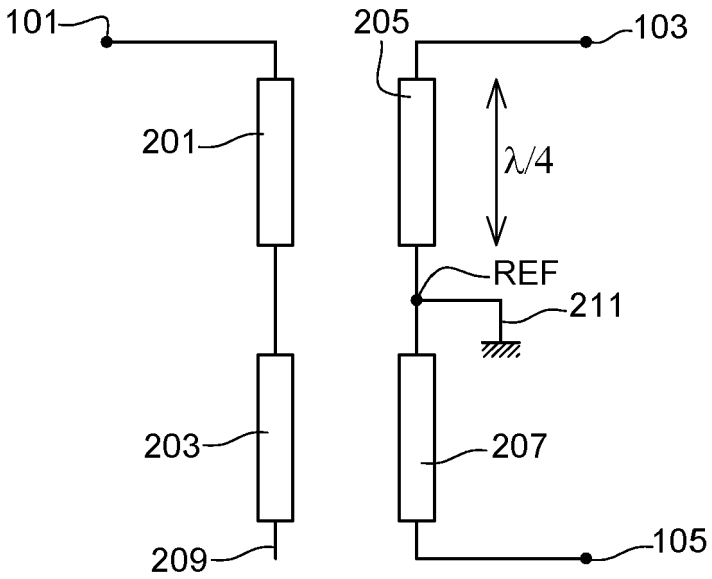


Fig. 2

Fig. 3

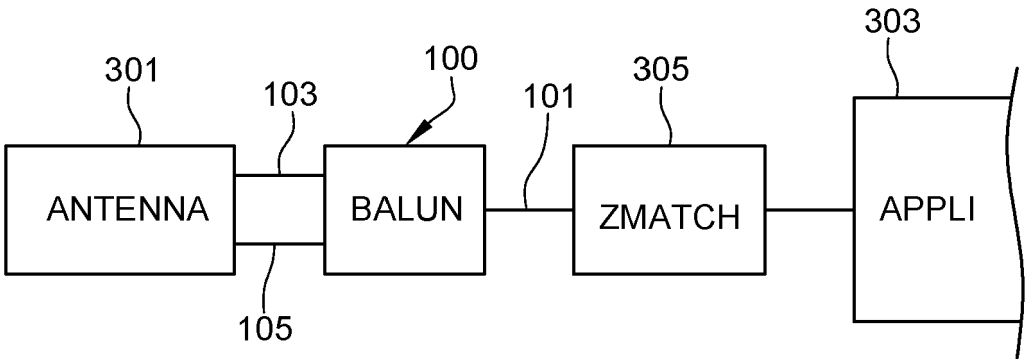


Fig. 4

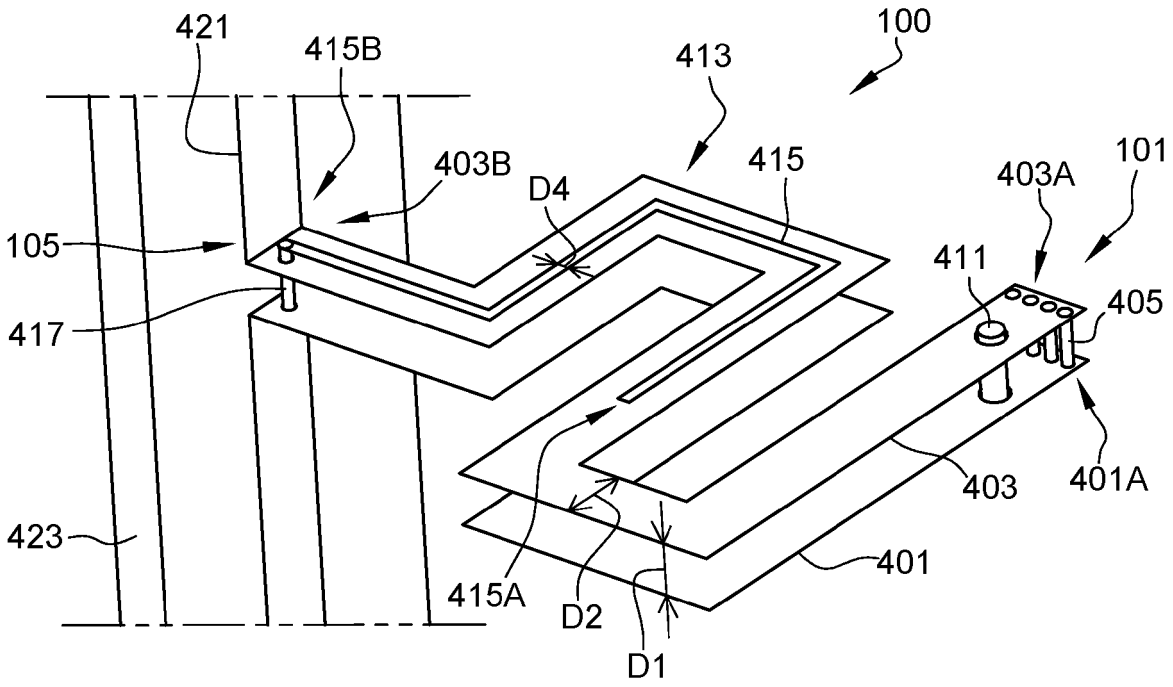

421
415B
413
100
403B
D4
415
403A
101
105
411
417
405
403
401A
423
401
415A
D2
D1

Fig. 5

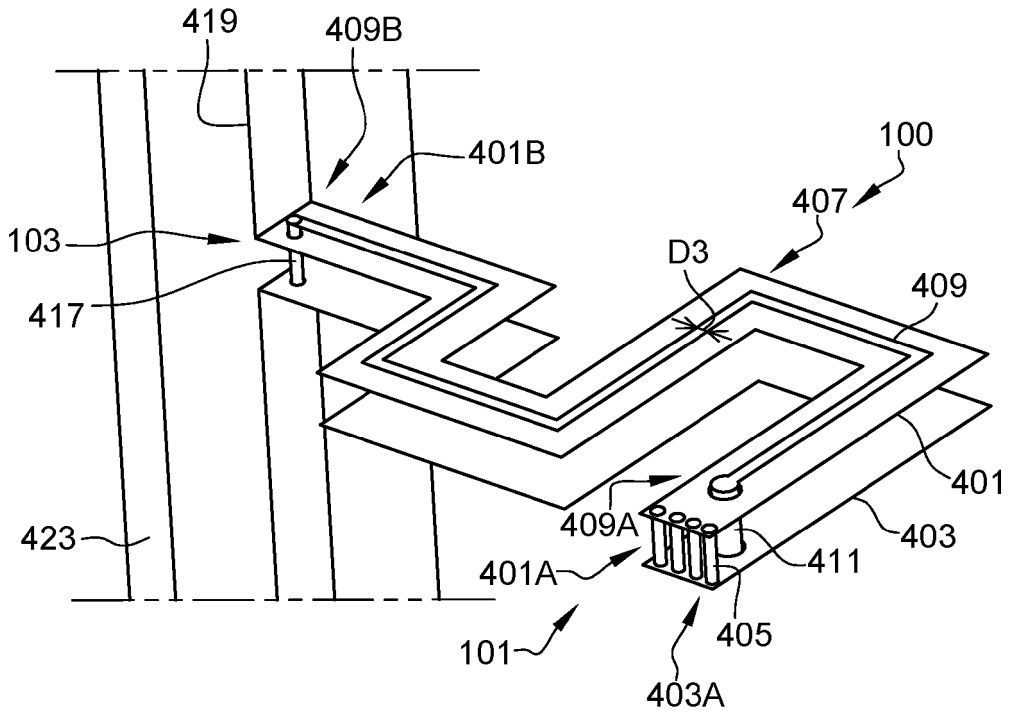

419
409B
401B
100
407
103
D3
417
409
401
409A
403
423
411
401A
405
101
403A

Fig. 6

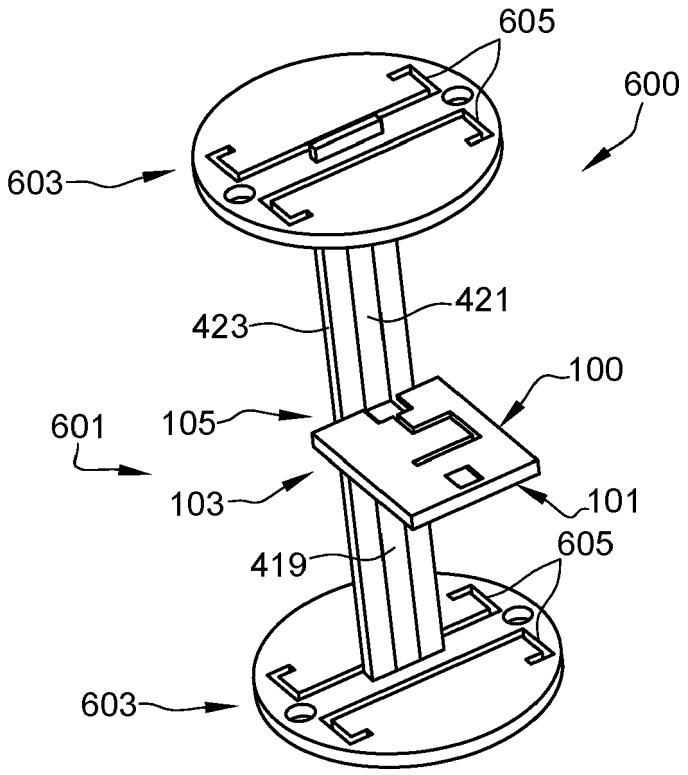


Fig. 7A

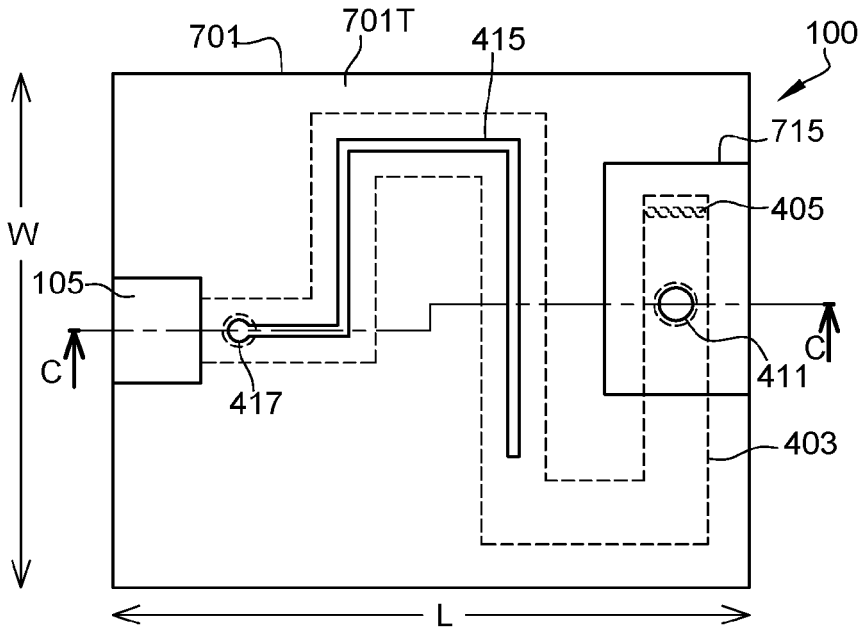


Fig. 7B

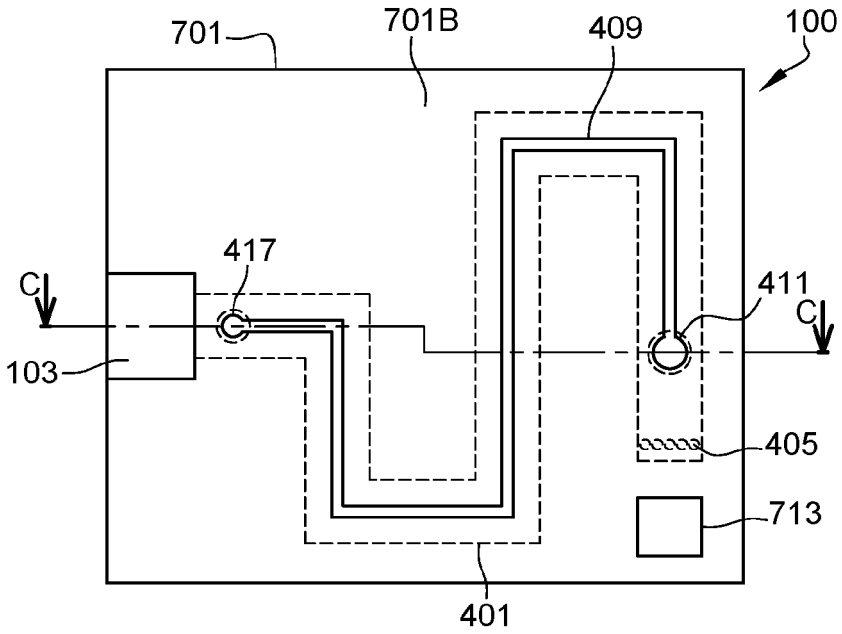
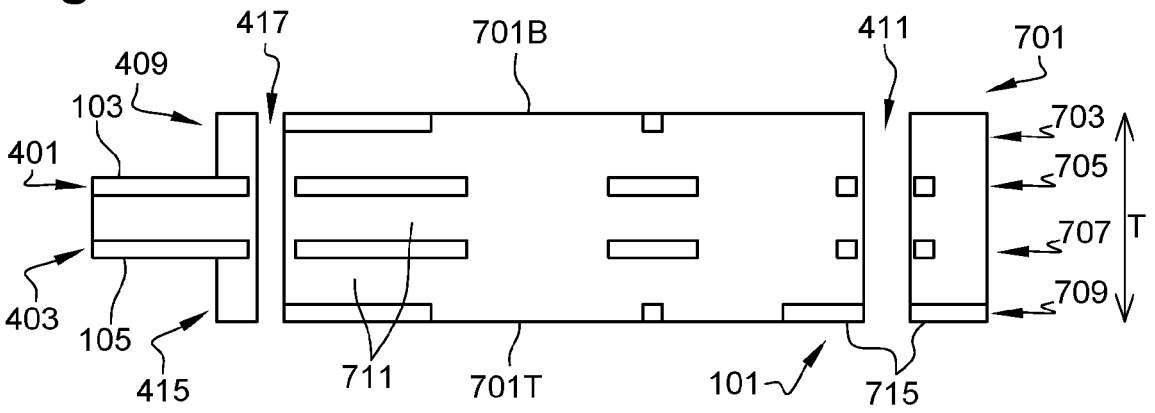


Fig. 7C



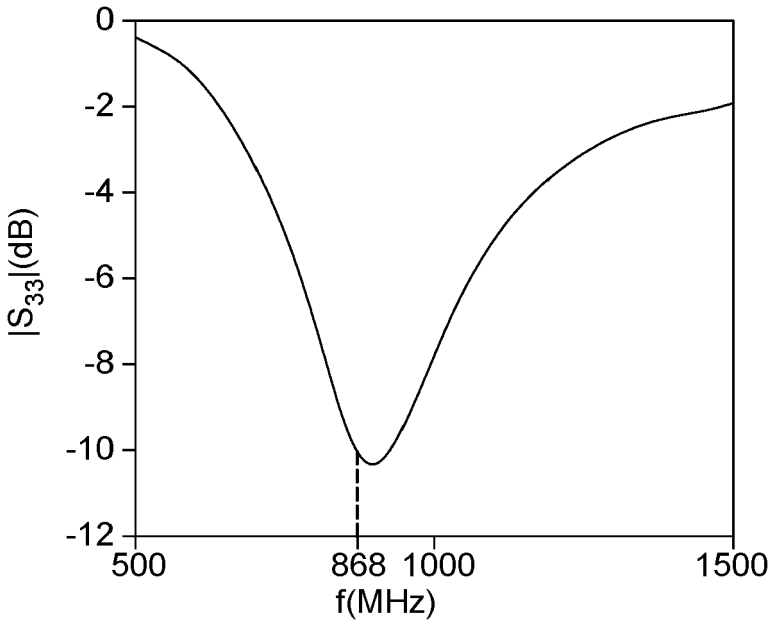

0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
|S33|(dB)
500
868
1000
1500
f(MHz)

Fig. 8

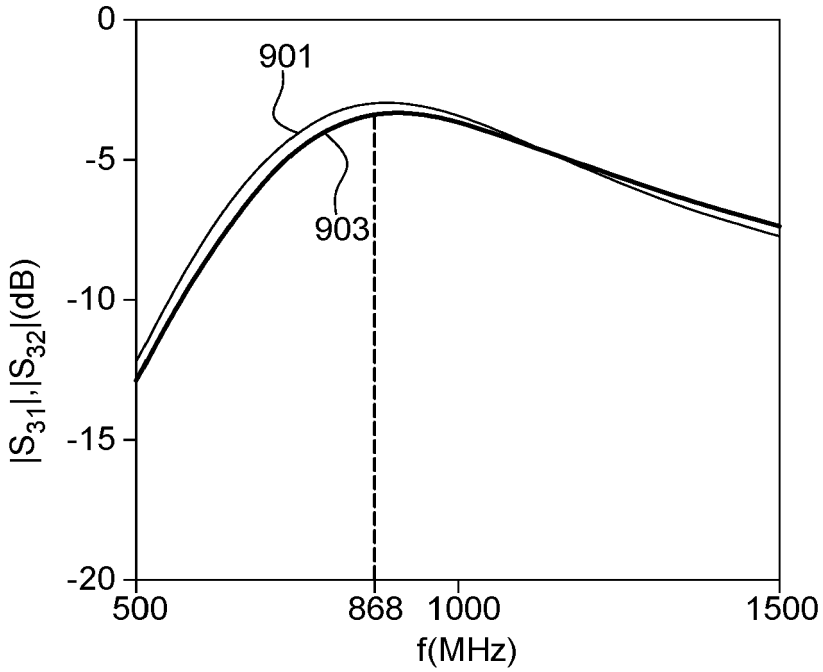

0
-5
-10
-15
-20
|S31|,|S32|(dB)
901
903
500
868
1000
1500
f(MHz)

Fig. 9

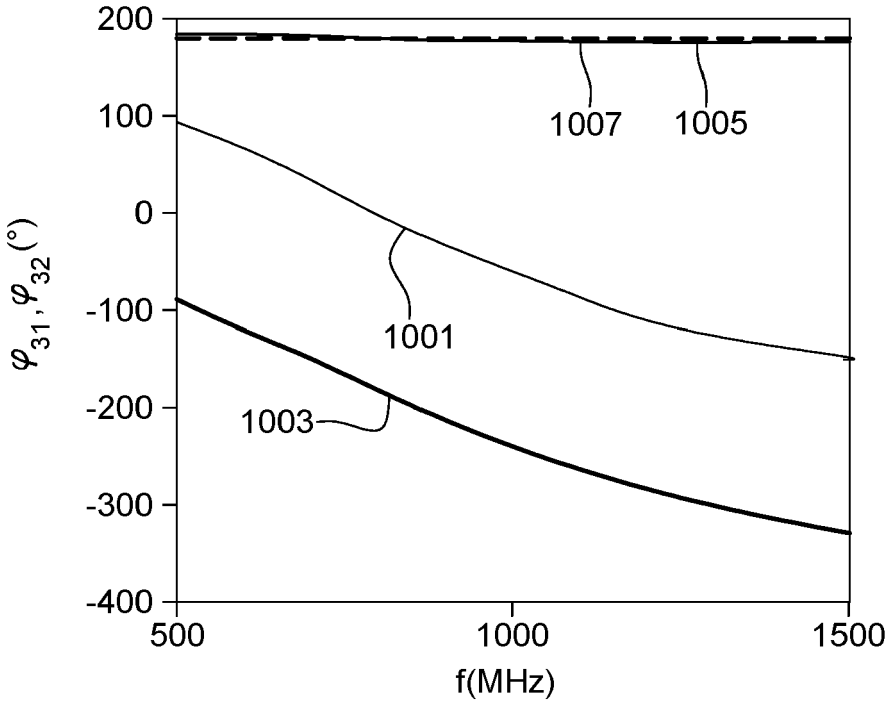

200
100
0
-100
-200
-300
-400
500
1000
1500
f(MHz)
$\varphi_{31}, \varphi_{32}$(°)
1007
1005
1001
1003

Fig. 10

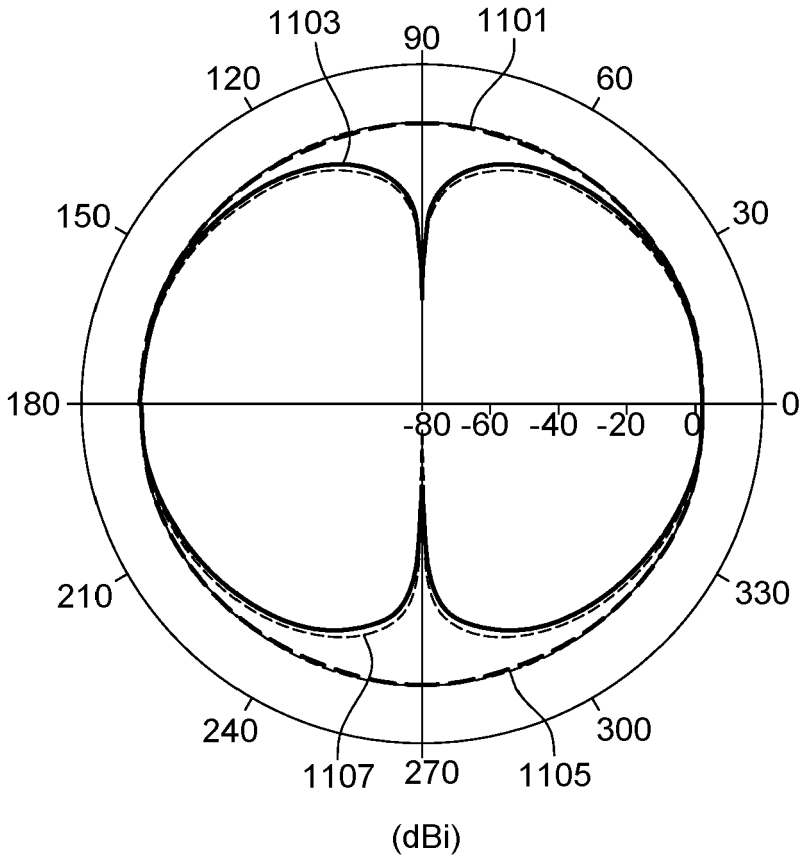

90
120
60
150
30
180
0
210
330
240
300
270
-80 -60 -40 -20 0
1103
1101
1107
1105
(dBi)

Fig. 11

Fig. 12

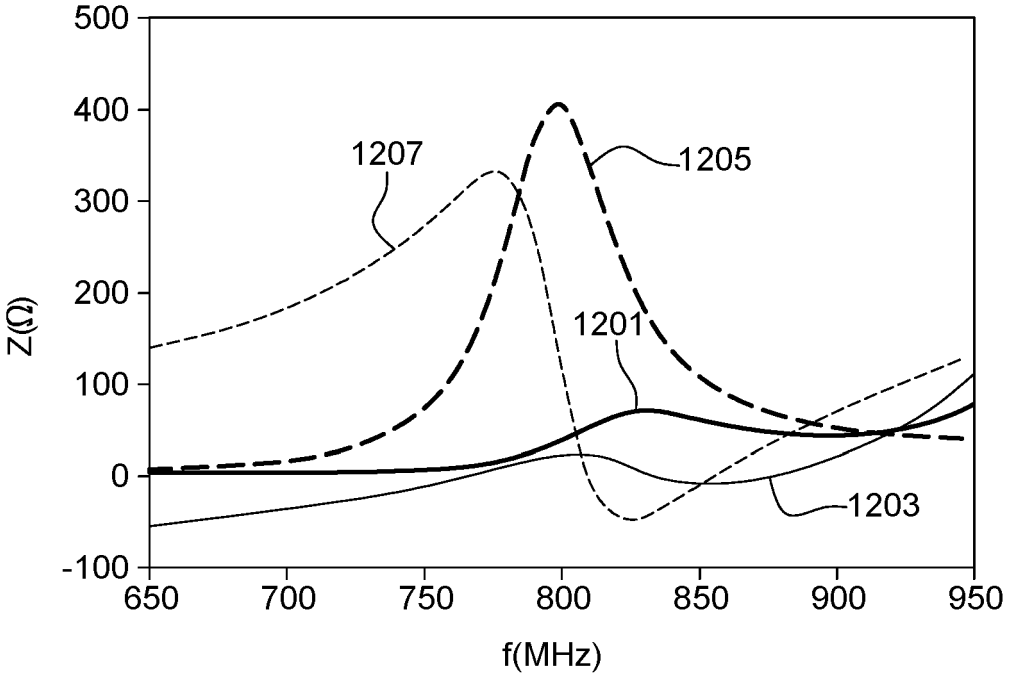
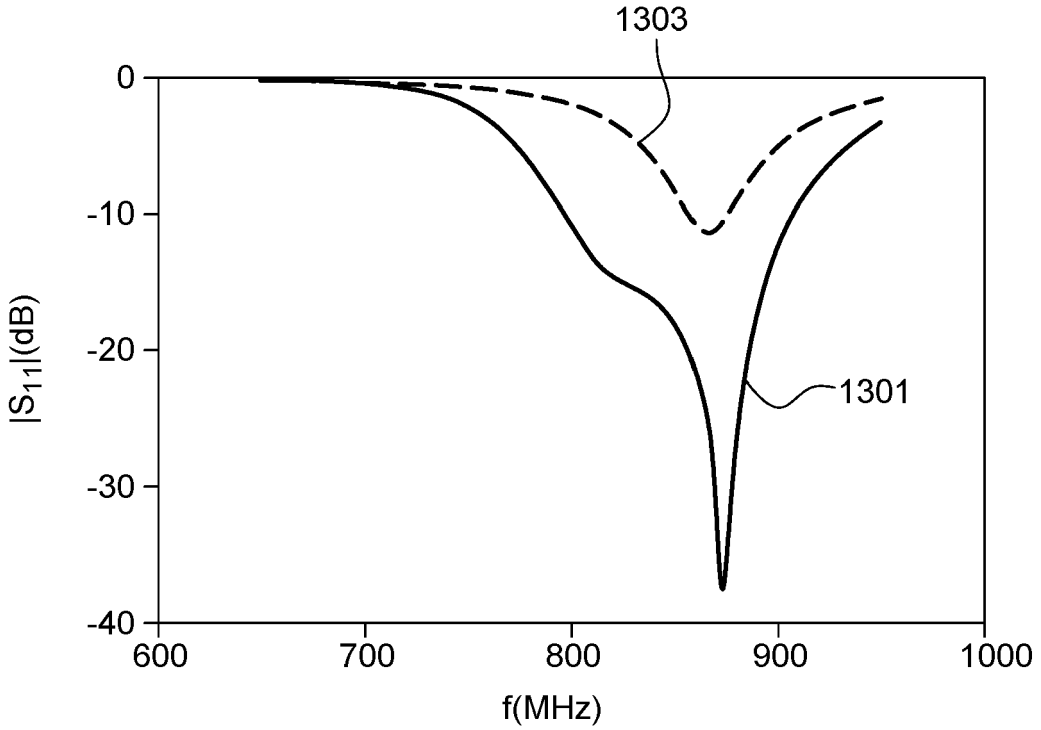

500
400
300
200
100
0
-100
Z(Ω)
650
700
750
800
850
900
950
f(MHz)
1207
1205
1201
1203

Fig. 13


1303
0
-10
-20
-30
-40
|S11|(dB)
600
700
800
900
1000
f(MHz)
1301

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 21 19 8879

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X Y	FR 2 877 163 A1 (ST MICROELECTRONICS SA [FR]) 28 avril 2006 (2006-04-28) * page 6, ligne 18 - page 8, ligne 2; figures 4-6 *	1-7,13 8-12	INV. H01P5/10
X Y	US 2004/119573 A1 (LEE BYOUNG HWA [KR] ET AL) 24 juin 2004 (2004-06-24) * alinéa [0034] - alinéa [0044]; figures 1,2 *	1-3,5,6,13 8-12	
A	US 7 176 776 B1 (TANTWAI KRANTI K [IN] ET AL) 13 février 2007 (2007-02-13) * colonne 6, ligne 58 - colonne 7, ligne 6; figures 4-7 * * colonne 8, ligne 63 - colonne 10, ligne 5; figures 4-6 *	1-13	
X A	EP 2 432 072 B1 (THALES SA [FR]) 4 avril 2018 (2018-04-04) * alinéa [0025] - alinéa [0031]; figures 3b, 4 *	1,13 2-12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
X A	US 2008/252393 A1 (KEARNS BRIAN [IE] ET AL) 16 octobre 2008 (2008-10-16) * alinéa [0039] - alinéa [0041]; figure 9 *	1,13 2-12	H01P

1 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications

Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
La Haye	15 février 2022	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 19 8879

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 members 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.

15-02-2022

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2877163 A1	28-04-2006	FR 2877163 A1	28-04-2006
		US 2006087384 A1	27-04-2006
US 2004119573 A1	24-06-2004	CN 1510780 A	07-07-2004
		JP 4021377 B2	12-12-2007
		JP 2004208265 A	22-07-2004
		KR 20040056280 A	30-06-2004
		US 2004119573 A1	24-06-2004
US 7176776 B1	13-02-2007	AUCUN	
EP 2432072 B1	04-04-2018	EP 2432072 A1	21-03-2012
		FR 2965112 A1	23-03-2012
US 2008252393 A1	16-10-2008	AUCUN	

EPO FORM P0460

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