



(11)

EP 3 955 374 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
25.06.2025 Bulletin 2025/26

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H01P 1/39 (2006.01) H01P 5/18 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **21187878.0**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H01P 1/39; H01P 5/181

(22) Date de dépôt: **27.07.2021**

(54) **CIRCUIT RÉALISANT UNE FONCTION DE CIRCULATEUR EN TECHNOLOGIE SIW ; VOIE D'ÉMISSION / RÉCEPTION ET RADAR ASSOCIÉS**

SCHALTUNG MIT ZIRKULATORFUNKTION MIT SIW-TECHNOLOGIE, ENTSPRECHENDER SENDE-/EMPFANGSKANAL UND RADAR

CIRCUIT PERFORMING A CIRCULATOR FUNCTION IN SIW TECHNOLOGY; ASSOCIATED CHANNEL FOR TRANSMITTING/RECEIVING AND RADAR

(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: **28.07.2020 FR 2007950**

(43) Date de publication de la demande:
16.02.2022 Bulletin 2022/07

(73) Titulaires:
• **THALES**
92400 Courbevoie (FR)
• **Université de Bordeaux**
33000 Bordeaux (FR)
• **Institut Polytechnique de Bordeaux**
33400 Talence (FR)
• **Centre national de la recherche scientifique**
75016 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
• **MAZEAU, Thierry**
33700 MERIGNAC (FR)
• **TOMÉ, Olivier**
33700 MERIGNAC (FR)
• **GHIOTTO, Anthony**
33130 BEGLES (FR)

(74) Mandataire: **Lavoix**
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(56) Documents cités:
US-A1- 2018 159 192

- **D'ORAZIO W ET AL: "Substrate-Integrated-Waveguide Circulators Suitable for Millimeter-Wave Integration", IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, PLENUM, USA, vol. 54, no. 10, 1 October 2006 (2006-10-01), pages 3675 - 3680, XP001545245, ISSN: 0018-9480, DOI: 10.1109/TMTT.2006.882897**
- **CHEN J-X ET AL: "DEVELOPMENT OF A LOW COST MICROWAVE MIXER USING A BROAD-BAND SUBSTRATE INTEGRATED WAVEGUIDE (SIW) COUPLER", IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 16, no. 2, 1 February 2006 (2006-02-01), pages 84 - 86, XP001239528, ISSN: 1531-1309, DOI: 10.1109/LMWC.2005.863199**
- **YADAV PREETI ET AL: "Design of SIW variable phase shifter for beam steering antenna application", 2016 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANTENNAS AND PROPAGATION (APSURSI), IEEE, 26 June 2016 (2016-06-26), pages 1223 - 1224, XP032984494, DOI: 10.1109/APS.2016.7696319**

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).

EP 3 955 374 B1

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• BOULESBAA MOHAMMED ET AL: "Design of a Directional Coupler Based on SIW Technology for X Band Applications", 020 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS, CONTROL SYSTEMS AND SIGNAL PROCESSING (CCSSP), IEEE, 16 May 2020 (2020-05-16), pages 85 - 89, XP033800286, DOI: 10.1109/CCSSP49278.2020.9151478 | <ul style="list-style-type: none">• NING ZHANG ET AL: "Directional couplers based on substrate integrated waveguide", 2017 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHANICAL AND INTELLIGENT MANUFACTURING TECHNOLOGIES (ICMIMT), IEEE, 3 February 2017 (2017-02-03), pages 183 - 187, XP033091574, DOI: 10.1109/ICMIMT.2017.7917460 |
|---|--|

Description

[0001] La présente invention concerne le domaine des circuits radiofréquences et, plus particulièrement, celui des circuits permettant de réaliser une fonction de circulateur, en vue par exemple d'une application dans un radar monostatique.

[0002] Le document D'ORAZIO W et al. "Substrate-Integrated-Waveguide Circulators Suitable for Millimeter-Wave Integration", IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, PLENUM, USA, vol. 54, no. 10, 1 octobre 2006 (2006-10-01), pages 3675-3680, le document CHEN J-X et al, "DEVELOPMENT OF A LOW COST MICROWAVE MIXER USING A BROAD-BAND SUBSTRATE INTEGRATED WAVEGUIDE (SIW) COUPLER", IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 16, no. 2, 1 février 2006 (2006-02-01), pages 84-86, et le document US 2018/159192 A1 divulguent respectivement un circuit réalisant une fonction de circulateur destiné à être monté entre un émetteur et un récepteur, d'une part, et un élément antenne, d'autre part, ledit circuit étant réalisé en technologie « guide d'onde intégré au substrat » - SIW.

[0003] La figure 1 est un schéma fonctionnel d'une voie d'émission/réception d'un radar monostatique comportant un émetteur E et un récepteur R, qui sont couplés à un élément antenne A au travers d'un circulateur 5, de manière à ce que le radar puisse émettre et recevoir simultanément.

[0004] Le circulateur 5 oriente le signal délivré par l'émetteur E (ou signal d'émission) vers l'élément antenne A, tandis qu'il oriente le signal reçu par l'élément antenne A (ou signal d'antenne) vers le récepteur R.

[0005] Le circulateur 5 permet donc d'adresser l'élément antenne en émission sans que le récepteur ne soit perturbé par l'onde émise.

[0006] Les circulateurs connus sont essentiellement des circulateurs du type magnétique, utilisant des champs magnétiques, des aimants et des ferrites.

[0007] On connaît également des circulateurs réalisés à partir de circuits imprimés portant des composants électroniques.

[0008] Ainsi toutes les solutions connues font intervenir des composants électriques ou électroniques de sorte que les circulateurs connus présentent un encombrement important, qui n'est pas compatible avec l'intégration nécessaire par exemple dans les antennes radar multivoies, utilisées notamment pour le balayage électronique.

[0009] De plus, la présence du circulateur 5 est la source d'un couplage (de l'ordre d'une vingtaine de décibels au minimum) entre l'émetteur E et le récepteur R. Ce couplage engendre une fuite du signal d'émission vers le récepteur R.

[0010] Par conséquent, le signal appliqué en entrée du récepteur R (ou signal de réception) résulte de la superposition du signal d'antenne, qui seul constitue le signal

utile, et d'un signal de fuite, qui est un signal inutile perturbant le traitement du signal d'antenne.

[0011] Pour annuler le signal de fuite, il est connu de prélever une réplique du signal d'émission et, après en avoir modifié la phase et l'amplitude, de réinjecter le signal d'annulation ainsi obtenu sur l'entrée du récepteur pour annuler le signal de fuite.

[0012] Pour générer un tel signal d'annulation, on peut par exemple, comme cela est représenté sur la figure 1, prélever une fraction du signal d'émission au moyen d'un premier coupleur 6 interposé entre l'émetteur et le coupleur 5. La réplique ainsi prélevée est ensuite mise en forme au moyen d'un déphaseur 7, propre à adapter le retard du signal d'annulation, et d'un atténuateur 8, propre à adapter l'amplitude du signal d'annulation. La réplique ainsi mise en forme est appliquée sur l'une des entrées d'un second coupleur 9, interposé entre le coupleur 5 et le récepteur R, qui génère le signal d'annulation et le superpose au signal provenant du coupleur 5 avant de l'appliquer en entrée du récepteur R. En adaptant l'amplitude et la phase du signal d'annulation, il est possible d'annuler le signal de fuite pour que le signal de réception corresponde au seul signal d'antenne.

[0013] Ainsi, aux coupleurs connus doivent être ajoutés des composants électroniques permettant d'annuler le signal de fuite, ce qui a un effet négatif sur l'encombrement de la fonction de circulateur dans son ensemble.

[0014] Le but de la présente invention est de résoudre ce problème, notamment en proposant un circuit permettant de réaliser de manière particulièrement compacte la fonction de circulateur.

[0015] Pour cela l'invention a pour objet un circuit en technologie SIW réalisant une fonction de circulateur, une voie d'émission / réception, et un radar selon les revendications annexées.

[0016] L'invention et ses avantages seront mieux compris à la lecture de la description détaillée qui va suivre d'un mode de réalisation particulier, donné uniquement à titre d'exemple non limitatif, cette description étant faite en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

[Fig 1] la figure 1 est un schéma fonctionnel d'une voie d'émission/réception d'un radar monostatique, qui intègre un circuit selon l'invention ;

[Fig 2] la figure 2 est une représentation schématique en vue de dessus d'un premier composant hybride du circuit selon l'invention ;

[Fig 3] la figure 3 est un graphe représentant, en fonction de la fréquence, le gain sur chacun des ports du composant hybride de la figure 2 lors de l'injection d'un signal sur un port d'entrée ;

[Fig 4] la figure 4 est une représentation schématique en vue de dessus d'un composant de couplage du circuit selon l'invention ;

[Fig 5] la figure 5 est un graphe représentant, en fonction de la fréquence, le gain sur chacun des ports du composant de couplage de la figure 4 lors de

l'injection d'un signal sur un port d'entrée ;

[Fig 6] la figure 6 est une représentation schématique en vue de dessus du circuit selon l'invention associant le composant hybride de la figure 2 et le composant de couplage de la figure 4 ;

[Fig 7] la figure 7 est un graphe représentant, en fonction de la fréquence, le gain sur chacun des bornes du circuit de la figure 6 lors de l'injection d'un signal d'émission ;

[Fig 8] la figure 8 est une représentation de l'amplitude du champ électrique dans le circuit de la figure 6 lors de l'injection d'un signal d'émission ;

[Fig 9] la figure 9 est un graphe représentant, en fonction de la fréquence, le gain sur chacun des bornes du circuit de la figure 6 lors de l'injection d'un signal d'antenne ; et,

[Fig 10] la figure 10 est une représentation de l'amplitude du champ électrique dans le circuit de la figure 6 lors de l'injection d'un signal d'antenne.

[0017] La figure 1 est un schéma fonctionnel d'une voie d'émission/réception 100 d'un radar monostatique.

[0018] Elle comporte un émetteur E propre à générer un signal d'émission.

[0019] Elle comporte un élément antenne A propre à émettre dans l'environnement un signal électromagnétique en fonction du signal d'émission et à générer un signal d'antenne à partir du signal électromagnétique capté dans l'environnement.

[0020] Elle comporte un récepteur R propre à traiter un signal de réception correspondant idéalement au signal d'antenne.

[0021] La voie d'émission/réception 100 comporte un circuit 110 qui réalise au moins une fonction de circulateur et, éventuellement, une fonction d'annulation du signal de fuite.

[0022] Le circuit 110 est réalisé en technologie « guide d'onde intégré au substrat » - SIW (pour « Substrate Integrated Waveguide » en anglais). De manière connue en soit, un circuit en technologie SIW comporte un substrat, en un matériau diélectrique et de faible épaisseur, et des première et seconde couches conductrices, en un matériau conducteur du courant électrique, les première et seconde couches recouvrant les deux grandes faces du substrat. Le circuit comporte également une pluralité de trous métallisés, chaque trou métallisé formant un via entre les première et seconde couches conductrices. Le circuit se comporte comme un guide d'onde délimité, selon l'épaisseur, entre les première et seconde couches conductrices et, selon la largeur, entre la pluralité de trous métallisés. Les trous métallisés viennent modifier localement les conditions aux limites qui contraignent la propagation du champ électromagnétique dans le substrat, c'est-à-dire les propriétés du guide d'onde que constitue le circuit. Le motif que forme la pluralité de trous métallisés définit par conséquent la fonction que réalise le circuit.

[0023] L'émetteur E est connecté à une première

borne 1 du circuit 110 ; l'élément antenne A est connecté à une seconde borne 2 du circuit 110 ; le récepteur R est connecté à une quatrième borne 4 du circuit 110 et, une troisième borne 3 du circuit 110 est connectée à une charge 103 adaptée par exemple de 50 Ohms ou de 75 Ohms. Celle-ci peut d'ailleurs servir de point d'accès pour des tests ou auto-tests.

[0024] La fonction de circulateur réalisée par le circuit 110 comporte fonctionnellement un circulateur 5 permettant, en émission, de connecter l'émetteur E à l'élément antenne A et, en réception, l'élément antenne A au récepteur R.

[0025] Avantageusement, la fonction de circulateur réalisée par le circuit 110 est augmentée d'une fonction d'annulation du signal de fuite entre l'émetteur E et le récepteur R. La fonction d'annulation comporte fonctionnellement un premier coupleur 6, un déphaseur 7, un atténuateur 8 et un second coupleur 9.

[0026] Le premier coupleur 6 est disposé entre la borne 1 et le circulateur 5 de manière à prélever une fraction du signal d'émission. La fraction du signal ainsi prélevée est transmise aux moyens 7 et 8 de manière à en ajuster la phase et l'amplitude. La réplique du signal d'émission ainsi mise en forme est appliquée au second coupleur 9. Ce dernier, disposé entre le circulateur 5 et la borne 4 du circuit 110 injecte un signal d'annulation dont les caractéristiques permettent d'annuler le signal de fuite. Ainsi seul le signal d'antenne est transmis au récepteur R.

[0027] Dans le mode de réalisation préféré qui est décrit ici, le circuit 110 intègre, sur un même substrat, un composant hybride 10, jouant le rôle de circulateur 5 et de premier coupleur 6. Il comporte un composant de déphasage 30 jouant le rôle de déphaseur 7. Enfin, le circuit 110 comporte un composant de couplage 50 jouant le rôle d'atténuateur 8 et de second coupleur 9.

[0028] Le composant hybride 10 va maintenant être décrit plus en détail en relation avec les figures 2 et 3.

[0029] Le composant hybride 10 est réalisé en technologie SIW. Il est représenté schématiquement en vue de dessus sur la figure 2. Il présente une longueur L10 et une largeur W10.

[0030] Les vias du composant hybride 10 forment un motif qui est symétrique selon un axe longitudinal X10 du composant et selon un axe transversal Y10.

[0031] Le circuit hybride 10 comporte quatre ports 11 à 14 : un premier port 11 destiné à être couplé à la première borne 1 du circuit 110 et par conséquent à l'émetteur E ; un second port 12 destiné à être couplé à la seconde borne 2 et par conséquent à l'élément antenne A ; un troisième port 13 destiné à être couplé à un port du composant de déphasage 30 ; et un quatrième port 14 destiné à être couplé à un port du composant de couplage 50.

[0032] Le composant hybride 10 comporte un premier guide d'onde 15 entre les ports 11 et 12. Ce premier guide d'onde est délimité par une rangée inférieure de vias 17 et une rangée centrale de vias 19. La largeur du guide d'onde 15 au niveau de chacun de ses ports est notée a1.

[0033] Le composant hybride 10 comporte un second guide d'onde 16 entre les ports 14 et 13. Ce second guide d'onde 16 est délimité par une rangée supérieure de vias 18 et la rangée centrale de vias 19. La largeur du guide d'onde 16 au niveau de chacun de ses ports est de préférence choisie égale à a1.

[0034] La rangée centrale 19 est par exemple constituée d'une double rangée de vias. En variante, cette rangée pourrait être constituée d'une rangée simple de vias.

[0035] La rangée centrale de vias 19 comporte une portion centrale 20, qui est dépourvue de vias, et deux portions d'extrémité 21 et 22, de part et d'autre de la portion centrale 20. La portion centrale 20 définit une ouverture de longueur L20 permettant d'établir un couplage entre les premier et second guides d'onde 15 et 16.

[0036] La rangée de vias 17 est constituée de l'association d'une pluralité de segments de vias. Chaque segment est rectiligne, disposé parallèlement à la rangée centrale 19, mais à une distance de celle-ci qui diffère d'un segment à l'autre de manière à former un étrangement au niveau de la portion centrale 20.

[0037] Ainsi, par exemple, la rangée inférieure 17 est constituée de cinq segments, dont les premier et cinquième segments sont disposés à une distance W1/2 de l'axe longitudinal X, les second et quatrième segments sont disposés à une distance W2/2 de l'axe longitudinal X et le troisième segment est disposé à une distance W3/2 de l'axe longitudinal X.

[0038] Le choix des grandeurs W1, W2 et W3 participe à l'ajustement de la valeur du couplage en forçant le champ électrique à converger vers le zone de couplage au niveau de l'ouverture délimitée par la portion centrale 20.

[0039] Une description similaire pourrait être faite de la rangée supérieure de vias 18.

[0040] Sachant que la distance entre une paire de vias délimitant latéralement un guide d'onde permet d'ajuster le gain en fréquence de ce guide d'onde, la distance W3 entre le troisième segment de la rangée inférieure 17 et le troisième segment de la rangée supérieure 18 permet d'ajuster la fréquence du maximum du couplage.

[0041] Le comportement en amplitude et en phase du composant hybride 10, lorsque l'on applique un signal d'entrée sur le port 11 et que le port 13 est connecté à une charge adaptée (50 ou 75 Ohms par exemple), est le suivant.

[0042] Le déphasage $D_{i,j}$ du signal entre deux ports i et j est donné par les relations suivantes :

$$D_{11-12} = D_{12-13} = D_{13-14} = \frac{\pi}{2} \quad \text{et} \quad D_{11-14} = \frac{3\pi}{2}$$

[0043] La figure 3 est un graphe représentant, en fonction de la fréquence, le gain sur les différents ports du composant hybride 10 lorsqu'un signal est appliqué sur le port 11. Un gain $G_{i,j}$ est défini comme le rapport de l'amplitude du signal sortant sur le port j sur l'amplitude du signal appliqué sur le port i.

[0044] Ainsi, par exemple pour la valeur de fréquence

13,3 GHz (qui appartient au domaine radiofréquence - RF), le gain G_{11-11} entre le port 11 et le port 11 est d'environ -29 dB, le gain G_{11-12} entre le port 12 et le port 11 est de l'ordre de -3 dB, le gain G_{11-13} entre le port 13 et le port 11 est de l'ordre de -4 dB et le gain G_{11-14} entre le port 14 et le port 11 est de l'ordre de -31 dB.

[0045] On constate que le comportement du composant hybride 10 rappelle celui d'un circulateur en anneau de l'état de la technique.

[0046] Le circuit selon l'invention pourrait se limiter au seul composant hybride 10, le port 11 étant alors connecté à la borne 1 et à l'émetteur, le port 12 étant connecté à la borne 2 et à l'antenne, le port 13 étant connecté à la borne 3 et à une charge adaptée (par exemple d'impédance 50 ou 75 Ohms) et le port 14 connecté directement à la borne 4 et au récepteur R. Ainsi serait réalisée la seule fonction de circulateur.

[0047] La borne 3 peut servir de point d'accès pour des tests ou auto-tests.

[0048] En revanche, il serait souhaitable, en émission, de réduire la fuite sur la borne 14 et éventuellement, en réception, de maximiser la puissance transmise vers la borne 14. C'est-à-dire d'associer une fonction d'annulation de fuite à celle de circulateur.

[0049] Pour cela, le composant hybride 10 est avantageusement associé au composant de déphasage 30 et au composant de couplage 50.

[0050] Le composant de couplage 50 va maintenant être décrit plus en détail en relation avec les figures 4 et 5.

[0051] Le composant de couplage 50 est réalisé en technologie SIW. Il est représenté schématiquement en vue de dessus sur la figure 4. Il présente une longueur L50 et une largeur W50.

[0052] Les vias du composant de couplage 50 forment un motif qui est symétrique selon un axe longitudinal X50 du composant et selon un axe transversal Y50.

[0053] Le circuit de couplage 50 comporte quatre ports 51 à 54 : un premier port 51 destiné à être connecté au port 13 du composant hybride ; un second port 52 destiné à être connecté à la borne 3 du circuit 110 et par conséquent à une charge adaptée (par exemple de 50 ou 75 Ohms) ; un troisième port 53 destiné à être connecté à la borne 4 du circuit 110 et par conséquent au récepteur R ; et un quatrième port 54 destiné à être couplé au port 14 du composant hybride 10.

[0054] Le composant de couplage 50 comporte un premier guide d'onde 55 entre les ports 51 et 52. Ce premier guide d'onde est délimité par une rangée inférieure de vias 57 et une rangée centrale de vias 59. La largeur du guide d'onde 55 au niveau de chacun de ses ports est notée a5.

[0055] Le composant de couplage 50 comporte un second guide d'onde 56 entre les ports 54 et 53. Ce second guide d'onde 56 est délimité par une rangée supérieure de vias 58 et la rangée centrale de vias 59. La largeur du guide d'onde 56 au niveau de chacun de ses ports est de préférence choisie égale à a5.

[0056] Les rangées inférieure 57 et supérieure 58 sont

rectilignes et parallèles à la rangée centrale 59. Elles présentent un pas uniforme entre leurs vias respectifs.

[0057] La rangée centrale 59, par exemple constituée d'une simple épaisseur de vias, comporte une portion centrale 60, dont la densité de vias est réduite, et deux portions d'extrémité, 61 et 62, de part et d'autres de la portion centrale 60, dont la densité de vias est plus importante et par exemple identique à celle des rangées supérieure et inférieure 67 et 68.

[0058] La portion centrale 60 crée une fuite entre les premier et second guides d'onde 55 et 56, établissant un couplage entre les champs électromagnétiques établis dans ces guides d'ondes.

[0059] Le pas séparant deux vias successifs et la longueur L60 de la portion centrale 60 permet d'adapter la valeur du couplage entre les guides d'ondes 55 et 56.

[0060] Plus généralement le comportement du composant de couplage 50 dépend des paramètres géométriques du motif que forment les vias.

[0061] Le comportement en amplitude et en phase du composant de couplage 50, lorsque l'on applique un signal d'entrée sur le port 51 et que le port 53 est connecté à une charge adaptée est le suivant.

[0062] Le déphasage $D_{i,j}$ du signal entre deux ports i et j est d'environ 90° .

[0063] La figure 5 est un graphe représentant, en fonction de la fréquence, le gain sur chacun des ports du composant 50 lorsqu'un signal d'entrée est appliqué sur le port 51.

[0064] Par exemple, pour la valeur de 13,3 GHz, le gain G_{51-51} entre le port 51 et le port 51 est de l'ordre de -34 dB, le gain G_{51-52} entre le port 52 et le port 51 est de l'ordre de -0,4 dB, le gain G_{51-53} entre le port 53 et le port 51 est de l'ordre de -24 dB et le gain G_{51-54} entre le port 54 et le port 51 est de l'ordre de -48 dB.

[0065] On constate donc qu'en appliquant un signal d'entrée sur le port 51, l'essentiel de la puissance est transmis au port 52 et, dans une moindre mesure, au port 53. En revanche le signal sur le port 54 est fortement atténué.

[0066] La figure 6 est une représentation, en vue du dessus du circuit 110 selon l'invention, qui est de préférence intégralement réalisé en technologie SIW, les différents composants étant réalisés sur un même substrat. Par exemple le circuit 110 présente une longueur de 80mm et une largeur de 27mm.

[0067] Sur la figure 6 on retrouve le composant hybride 10 dont le port 11 est connecté par un guide d'ondes à la borne 1 du circuit 110 destiné à être connectée à l'émetteur E ; le port 12 est connecté par un guide d'onde à la borne 2 du circuit 110 destinée à être connectée à l'antenne A ; le port 14 coïncide avec le port 54 du composant de couplage 50 ; et le port 13 est connecté au port 51 du composant de couplage 50 au travers du composant de déphasage 30.

[0068] On retrouve également le composant de couplage 50, dont le port 53 est connecté par un guide d'onde 106 à la borne 4 du circuit 110 destinée à être connectée

au récepteur R ; le port 52 est connecté par un guide d'onde 107 à la borne 3 du circuit 110 destinée à être connectée à une charge adaptée.

[0069] On retrouve enfin le composant de déphasage 30.

[0070] Celui-ci est constitué d'un guide d'onde en « U » qui s'étend entre un port d'entrée 31, qui coïncide avec le port 13 du composant hybride 10, et un port de sortie 32, qui coïncide avec le port 51 du composant de couplage 50.

[0071] Le composant de déphasage comporte une première portion de guide d'onde rectiligne 102, qui débouche dans une seconde portion de guide d'onde rectiligne 104, disposée à 90° par rapport à la première portion de guide d'onde 102. La seconde portion de guide d'onde 104 débouche dans une troisième portion de guide d'onde rectiligne 103, disposée à 90° par rapport à la seconde portion de guide d'onde 104. Les première et troisième portions de guide d'ondes sont parallèles mais orientées en sens opposés.

[0072] Avantageusement, le composant 30 présente un motif permettant de guider le champ électromagnétique selon un circuit en épingle. Par exemple, les coins inférieur et supérieur de la seconde portion de guide d'onde 104, opposés aux première et troisième portions présentent des vias pour aider à la propagation du champ.

[0073] Les longueurs des première et troisième portion de guide d'ondes permettent d'ajuster le déphasage entre le signal appliqué sur le port d'entrée 31 et le signal délivré sur le port de sortie 32.

[0074] L'ajustement du déphasage est fait de sorte que le signal injecté sur port 51 du composant de couplage 50 soit déphasé de 180° par rapport au signal injecté sur le port 54 du composant de couplage 50 afin de pouvoir l'annuler.

[0075] La figure 7 est un graphe représentant, en fonction de la fréquence, le gain sur chacune des bornes du circuit 110 lorsqu'un signal d'émission est appliqué sur la borne 1. Toujours pour la fréquence considérée de 13,3 GHz, le gain G_{1-1} entre l'entrée 1 et l'entrée 1 est d'environ -18 dB, le gain G_{1-2} entre l'entrée 2 et l'entrée 1 est de l'ordre de -3,6 dB, le gain G_{1-3} entre la borne 3 et la borne 3 est de l'ordre de -5,8 dB et enfin le gain G_{1-4} entre la borne 4 et la borne 1 est de l'ordre de -46,8 dB.

[0076] Ainsi, en émission, le circuit 110 permet de transmettre un maximum de puissance de la borne 1 vers la borne 2, tout en atténuant fortement le signal de fuite sur la borne 4. On notera que le gain entre la borne 1 et la borne 4 est de -46,8 dB, alors que le gain G_{11-14} entre le port 14 et le port 11 était de -31,2 dB sur la figure 3. Il y a donc une forte atténuation du signal de fuite avec l'interposition du composant de couplage 50 entre le port 14 du composant hybride et la borne 4 du circuit.

[0077] La figure 8 représente l'amplitude du champ électrique dans le circuit 110 fonctionnant en émission. On constate notamment qu'est délivré sur le port 13 du composant hybride une réplique du signal d'émission qui

est ensuite injectée, après déphasage, dans le composant de couplage pour annuler le signal de fuite sur la borne 4, alors que celui-ci était encore visible au niveau du port 14 du composant hybride.

[0078] La figure 9 est un graphe représentant, en fonction de la fréquence, le gain sur chacune des bornes du circuit 110 lorsqu'un signal d'antenne est appliqué sur la borne 2 du circuit 110. Il s'agit donc du comportement en réception du circuit 100.

[0079] Ainsi sur la figure 9, pour la fréquence de 13,3 GHz, le gain G_{2-2} entre la borne 2 et la borne 2 est de l'ordre de -34 dB, le gain G_{2-1} entre la borne 2 et la borne 1 est de l'ordre de -3,6 dB ; le gain G_{2-4} entre la borne 4 et la borne 2 est de l'ordre de -4,8 dB et le gain entre G_{2-3} la borne 3 et la borne 2 est de l'ordre de -17 dB.

[0080] La figure 10 représente l'amplitude du champ électrique dans le circuit 110 fonctionnant en réception. On constate donc que le signal d'antenne appliqué sur la borne 2 est essentiellement réparti entre la borne 1 connectée à l'émetteur et la borne 4 connectée au récepteur. La présence du composant de couplage 50 réduit légèrement les gains sur la borne 2 et la borne 4, mais de façon marginale.

[0081] Dans ce qui précède, l'ensemble des fonctionnalités associées au circulateur sont rassemblées dans un seul composant 110. Celui-ci présente par conséquent une très forte intégrabilité, ses dimensions étant réduites.

[0082] En variante seules certaines des fonctionnalités pourraient être réalisées en technologie SIW ou par l'association de différents composants en technologie SIW.

[0083] Par exemple, un composant hybride en technologie SIW pourrait constituer un premier circuit associé à des composants électroniques pour réaliser des fonctions d'atténuation, de déphasage et de couplage secondaire. Eventuellement, ces deux dernières fonctions pourraient être réalisées par un composant de couplage en technologie SIW.

[0084] L'homme du métier comprendra que l'ajustement de la topologie des motifs des composants réalisés en technologie SIW permet d'ajuster précisément la valeur des caractéristiques de ou des fonctions réalisées.

[0085] La présente invention trouve son application dans des systèmes radars nécessitant une forte intégration de l'électronique d'acquisition de manière à permettre une intégration à proximité immédiate de l'élément rayonnant, de préférence à l'arrière de ce dernier. Ceci est particulièrement bien adapté pour les antennes du type réseau.

Revendications

1. Circuit (110) réalisant une fonction de circulateur destiné à être monté entre un émetteur (E) et un récepteur (R), d'une part, et un élément antenne

(A), d'autre part, ledit circuit étant réalisé en technologie guide d'onde intégré au substrat, SIW, ledit circuit réalisant, en outre, une fonction d'annulation d'un signal de fuite, le circuit (110) comporte :

- un composant hybride (10), constitué par un premier guide d'onde (15) entre un premier port (11) et un second port (12), et un second guide d'onde (16) entre un troisième port (13) et un quatrième port (14), les premier et second guides d'onde du composant hybride étant couplés mutuellement; le circuit étant **caractérisé en ce qu'il** comporte:

- un composant de déphasage (30), constitué par un guide d'onde en « U » (102, 103, 104) entre un port d'entrée (31) et un port de sortie (32) ; et,

- un composant de couplage (50), constitué par un premier guide d'onde (55) entre un premier port (51) et un second port (52), et un second guide d'onde (56) entre un troisième port (53) et un quatrième port (54), les premier et second guides d'onde du composant de couplage étant couplés mutuellement,

le premier port (11) du composant hybride étant couplé à l'émetteur (E), le second port (12) du composant hybride étant couplé à l'élément antenne (A), le troisième port (13) du composant hybride étant couplé au premier port (51) du composant de couplage à travers le composant de déphasage (30), le second port (52) du composant de couplage étant couplé à une charge adaptée, et le troisième port (53) du composant de couplage étant connecté au récepteur (R) et le quatrième port (54) du composant de couplage coïncidant avec le quatrième port (14) du composant hybride (10).

2. Circuit (110) selon la revendication 1, comportant un substrat, en un matériau diélectrique, et des première et seconde couches conductrices, en un matériau conducteur, les première et seconde couches recouvrant deux faces opposées du substrat, le circuit comportant une pluralité de trous métallisés, chaque trou métallisé formant un via entre les première et seconde couches conductrice à travers le substrat, la pluralité de trous métallisés formant un motif propre à guider les ondes électromagnétiques dans le substrat de manière à conférer la fonction de circulateur au circuit.

3. Circuit (110) selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel le composant hybride (10) se comporte comme un circulateur classique du type résonateur en anneau.

4. Circuit (110) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel les composants hybride (10),

de déphasage (30) et de couplage (50) sont réalisés sur un même substrat.

5. Voie (100) d'émission / réception comportant un émetteur (E), un récepteur (R) et un élément antenne (A), **caractérisée en ce qu'elle** comporte un circuit (110) selon l'une quelconque des revendications précédentes monté entre l'émetteur (E) et un récepteur (R), d'une part, et un élément antenne (A) d'autre part. 5 10
6. Radar comportant une antenne composée d'une pluralité d'éléments antennaires, chaque élément antenne étant associé à une voie d'émission / réception, **caractérisé en ce que** chaque voie d'émission / réception est conforme à la voie d'émission / réception de la revendication 5. 15

Patentansprüche 20

1. Schaltung (110) mit Zirkulatorfunktion, die bestimmt ist, zwischen einem Sender (E) und einem Empfänger (R) einerseits und einem Antennenelement (A) andererseits angebracht zu sein, wobei die Schaltung in Substrate Integrated Waveguide-Technologie (SIW) ausgeführt ist, 25

wobei die Schaltung ferner eine Unterdrückungsfunktion eines Streusignals erfüllt, wobei die Schaltung (110) Folgendes aufweist: 30

- eine Hybridkomponente (10), bestehend aus einem ersten Wellenleiter (15) zwischen einem ersten Port (11) und einem zweiten Port (12) und einem zweiten Wellenleiter (16) zwischen einem dritten Port (13) und einem vierten Port (14), wobei der erste und der zweite Wellenleiter der Hybridkomponente miteinander gekoppelt sind; wobei die Schaltung **dadurch gekennzeichnet ist, dass** sie Folgendes aufweist: 35
 - eine Phasenverschiebungskomponente (30), bestehend aus einem U-förmigen Wellenleiter (102, 103, 104) zwischen einem Eingangsport (31) und einem Ausgangsport (32); und 40
 - eine Kopplungskomponente (50), bestehend aus einem ersten Wellenleiter (55) zwischen einem ersten Port (51) und einem zweiten Port (22) und einem zweiten Wellenleiter (56) zwischen einem dritten Port (53) und einem vierten Port (54), wobei der erste und der zweite Wellenleiter der Kopplungskomponente miteinander gekoppelt sind, 45 50 55

wobei der erste Port (11) der Hybridkomponente

mit dem Sender (E) gekoppelt ist, der zweite Port (12) der Hybridkomponente mit dem Antennenelement (A) gekoppelt ist, der dritte Port (13) der Hybridkomponente über die Phasenverschiebungskomponente (30) mit dem ersten Port (51) der Kopplungskomponente gekoppelt ist, der zweite Port (52) der Kopplungskomponente mit einer geeigneten Last gekoppelt ist und der dritte Port (53) der Kopplungskomponente mit dem Empfänger (R) verbunden ist und der vierte Port (54) der Kopplungskomponente mit dem vierten Port (14) der Hybridkomponente (10) zusammenfällt.

2. Schaltung (110) nach Anspruch 1, die ein Substrat aus einem dielektrischen Material und eine erste und zweite leitende Schicht aus einem leitenden Material aufweist, wobei die erste und zweite Schicht zwei gegenüberliegende Seiten des Substrats bedecken, wobei die Schaltung eine Vielzahl metallisierter Löcher aufweist, wobei jedes metallisierte Loch eine Durchkontaktierung zwischen der ersten und zweiten leitenden Schicht durch das Substrat bildet, wobei die Vielzahl metallisierter Löcher ein Muster bildet, das imstande ist, die elektromagnetischen Wellen im Substrat derart zu leiten, dass die Schaltung die Zirkulatorfunktion erfüllt.
3. Schaltung (110) nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei sich die Hybridkomponente (10) wie ein herkömmlicher Zirkulator vom Typ Ringresonator verhält.
4. Schaltung (110) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Hybridkomponente (10), die Phasenverschiebungskomponente (30) und die Kopplungskomponente (50) auf demselben Substrat ausgebildet sind.
5. Sende-/Empfangskanal (100) mit einem Sender (E), einem Empfänger (R) und einem Antennenelement (A), **dadurch gekennzeichnet, dass** er eine Schaltung (110) nach einem der vorstehenden Ansprüche zwischen dem Sender (E) und einem Empfänger (R) einerseits und einem Antennenelement (A) andererseits aufweist.
6. Radar mit einer Antenne, die aus einer Vielzahl von Antennenelementen zusammengesetzt ist, wobei jedes Antennenelement einem Sende-/Empfangskanal zugeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Sende-/Empfangskanal dem Sende-/Empfangskanal von Anspruch 5 entspricht.

Claims

1. A circuit (110) performing a circulator function in-

tended to be mounted between a transmitter (E) and a receiver (R), on the one hand, and an antenna element (A), on the other hand, said circuit being made from substrate integrated waveguide, SIW, technology, said circuit further performing a function of canceling a leakage signal, the circuit (110) includes:

- a hybrid component (10), made up of a first waveguide (15) between a first port (11) and a second port (12), and a second waveguide (16) between a third port (13) and a fourth port (14), the first and second waveguides of the hybrid component being mutually coupled; the circuit being **characterized in that** it includes:

- a phase shift component (30), made up of a U-shaped waveguide (102, 103, 104) between an input port (31) and an output port (32); and

- a coupling component (50), made up of a first waveguide (55) between a first port (51) and a second port (52), and a second waveguide (56) between a third port (53) and a fourth port (54), the first and second waveguides of the coupling component being mutually coupled,

the first port (11) of the hybrid component being coupled to the transmitter (E), the second port (12) of the hybrid component being coupled to the antenna element (A), the third port (13) of the hybrid component being coupled to the first port (51) of the coupling component through the phase shift component (30), the second port (52) of the coupling component being coupled to a suitable charge, and the third port (53) of the coupling component being connected to the receiver (R) and the fourth port (54) of the coupling component coinciding with the fourth port (14) of the hybrid component (10).

2. The circuit (110) according to claim 1, including a substrate, made from a dielectric material, and first and second conductive layers, made from a conductive material, the first and second layers covering two opposite faces of the substrate, the circuit including a plurality of metallized holes, each metallized hole forming a via between the first and second conductive layers through the substrate, the plurality of metallized holes forming a pattern able to guide the electromagnetic waves in the substrate so as to confer the circulator function on the circuit.

3. The circuit (110) according to claim 1 or claim 2, wherein the hybrid component (10) behaves as a conventional circulator of the ring resonator type.

4. The circuit (110) according to any one of claims 1 to 3, wherein the hybrid (10), phase shift (30) and coupling (50) components are made on a same substrate.

5. A transmission/reception channel (100) including a transmitter (E), a receiver (R) and an antenna element (A), **characterized in that** it includes a circuit (110) according to any one of the preceding claims mounted between the transmitter (E) and a receiver (R), on the one hand, and an antenna element (A) on the other hand.

6. A radar including an antenna made up of a plurality of antenna elements, each antenna element being associated with a transmission/reception channel, **characterized in that** each transmission/reception channel is according to the transmission/reception channel of claim 5.

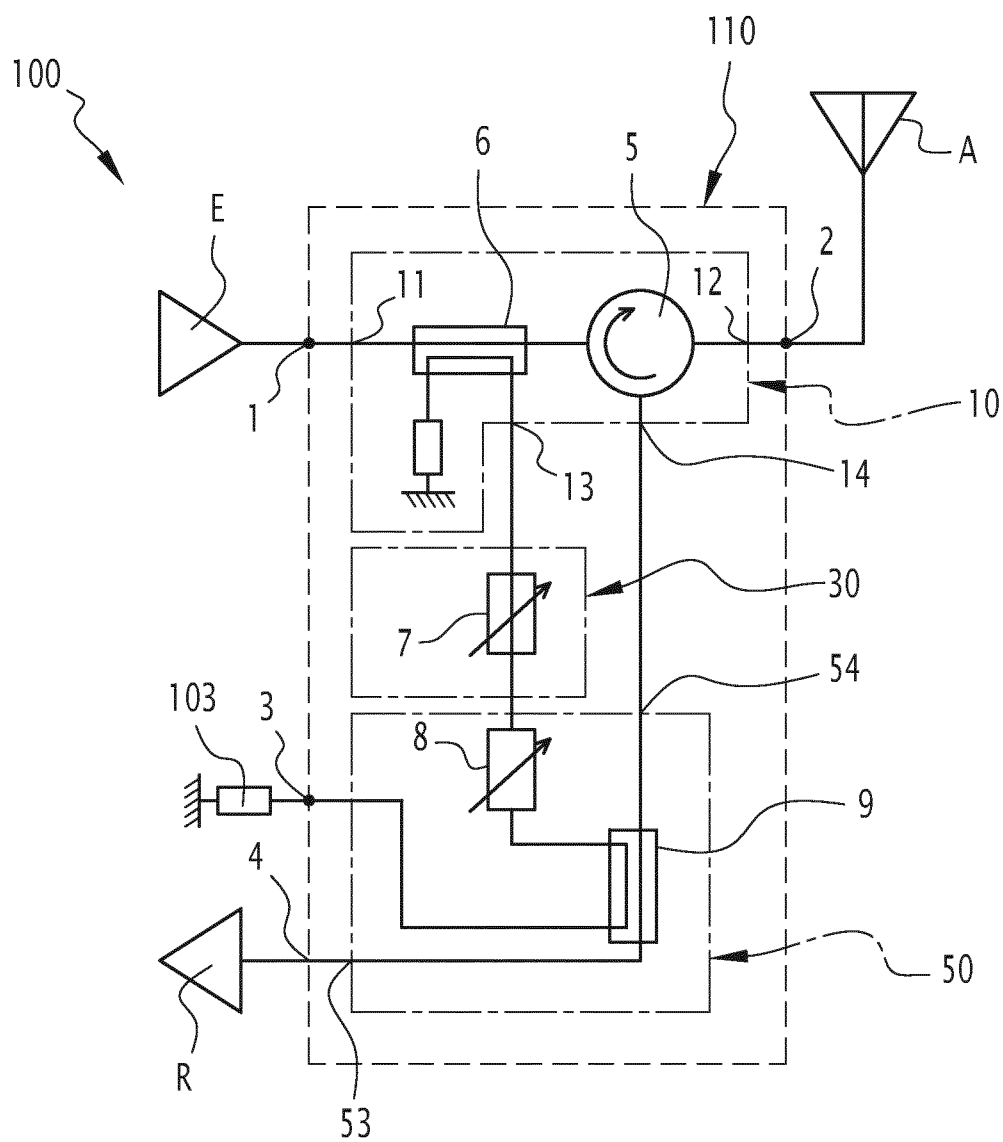


FIG.1

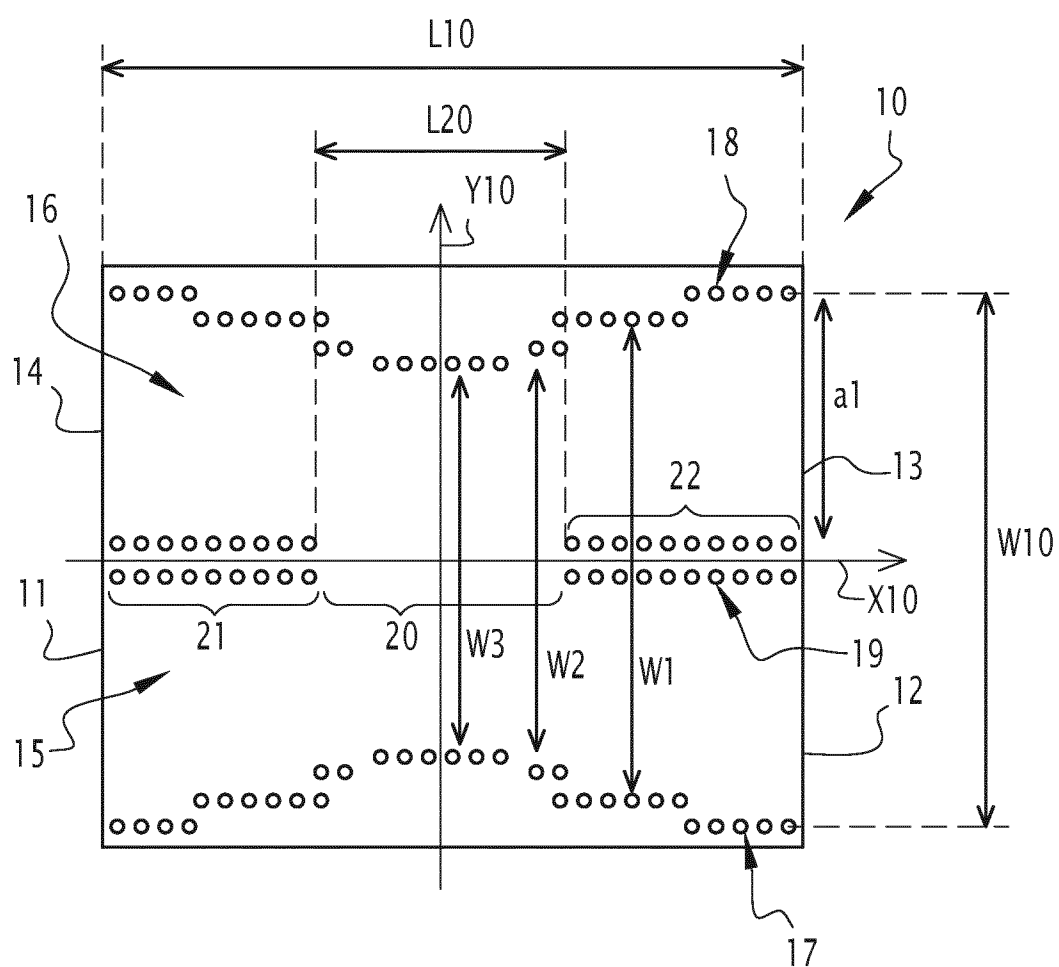


FIG.2

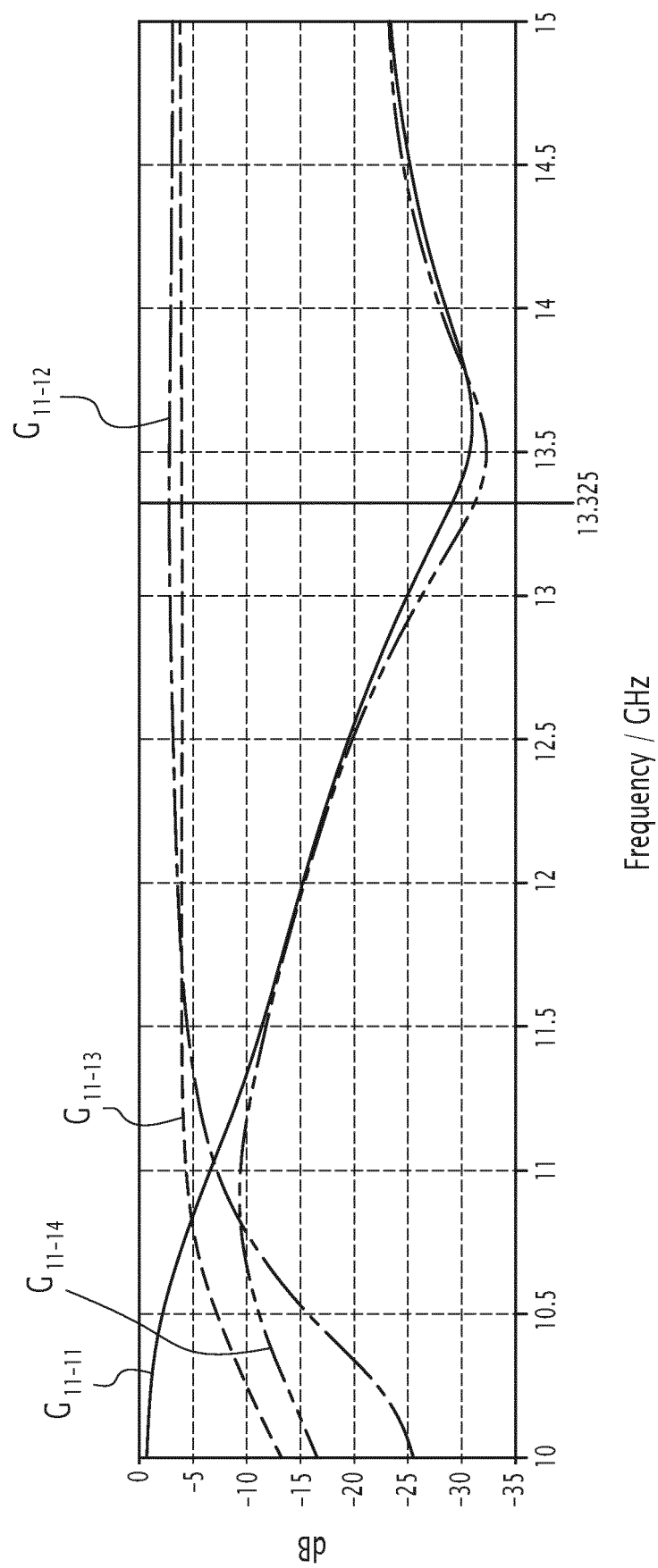


FIG.3

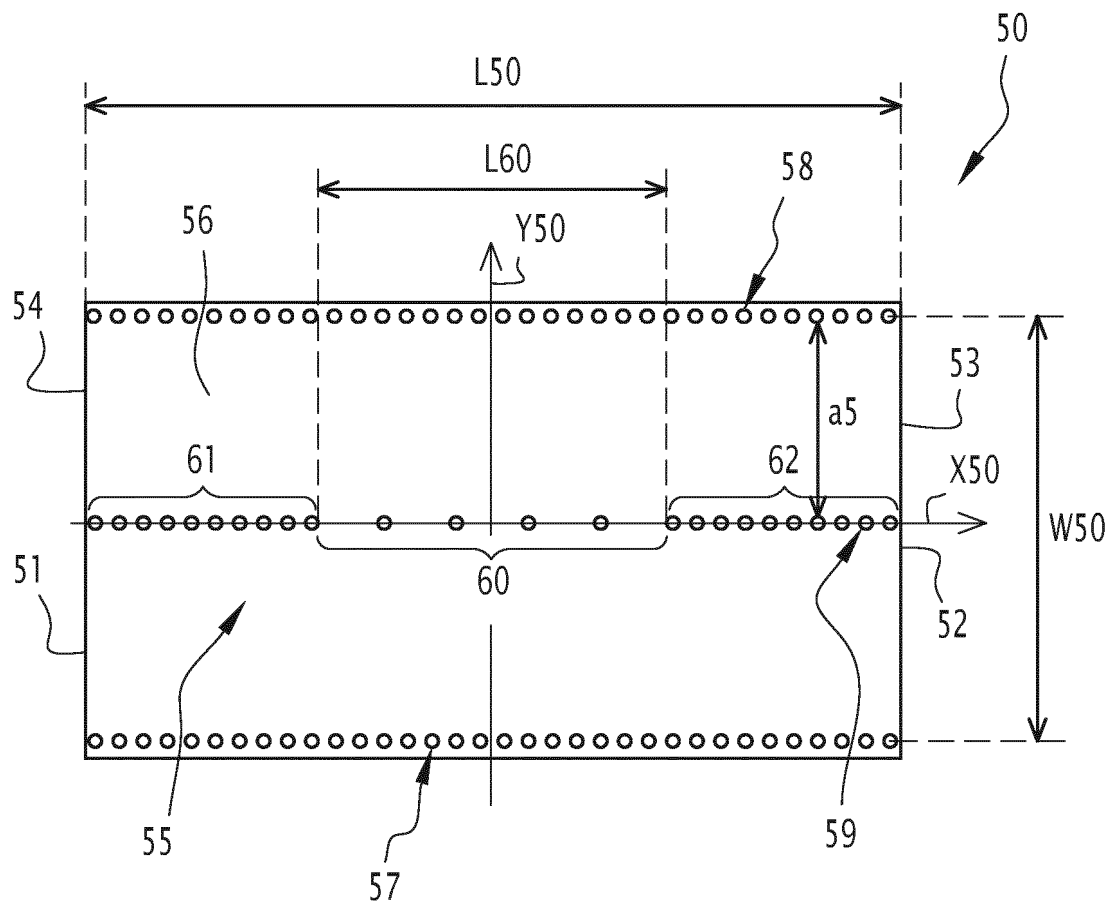


FIG. 4

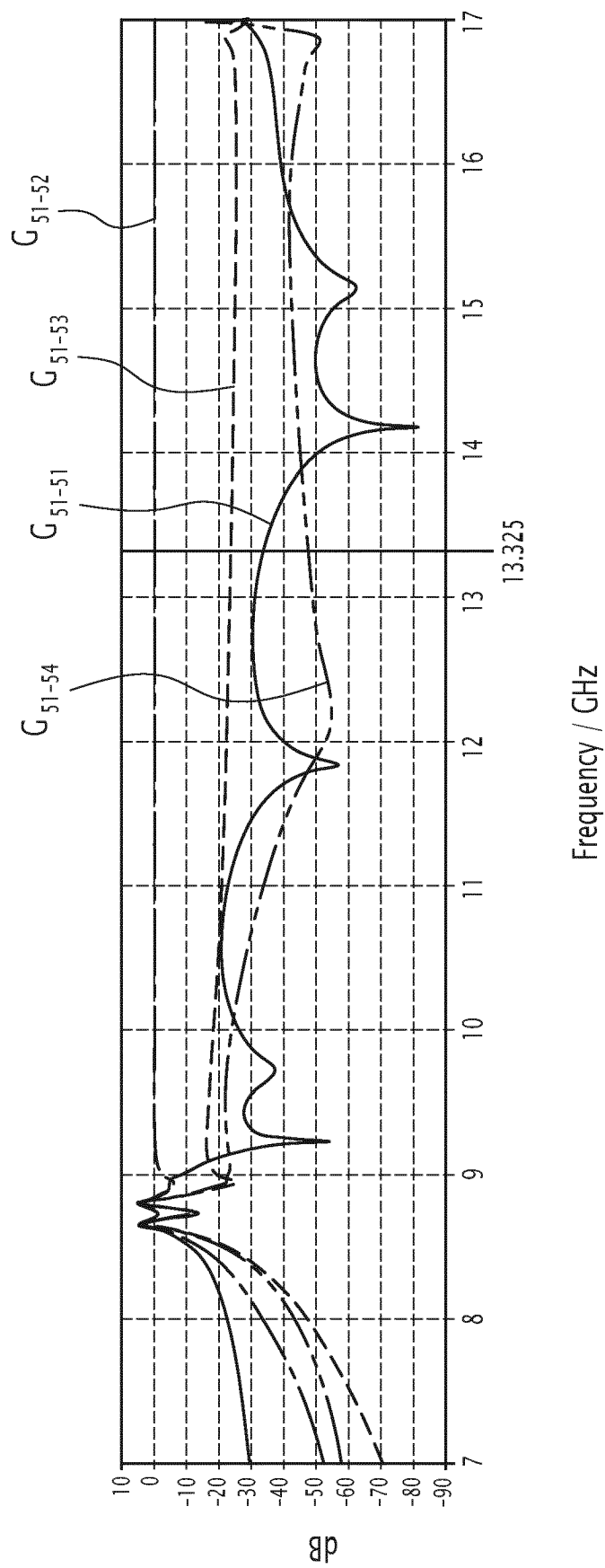


FIG.5

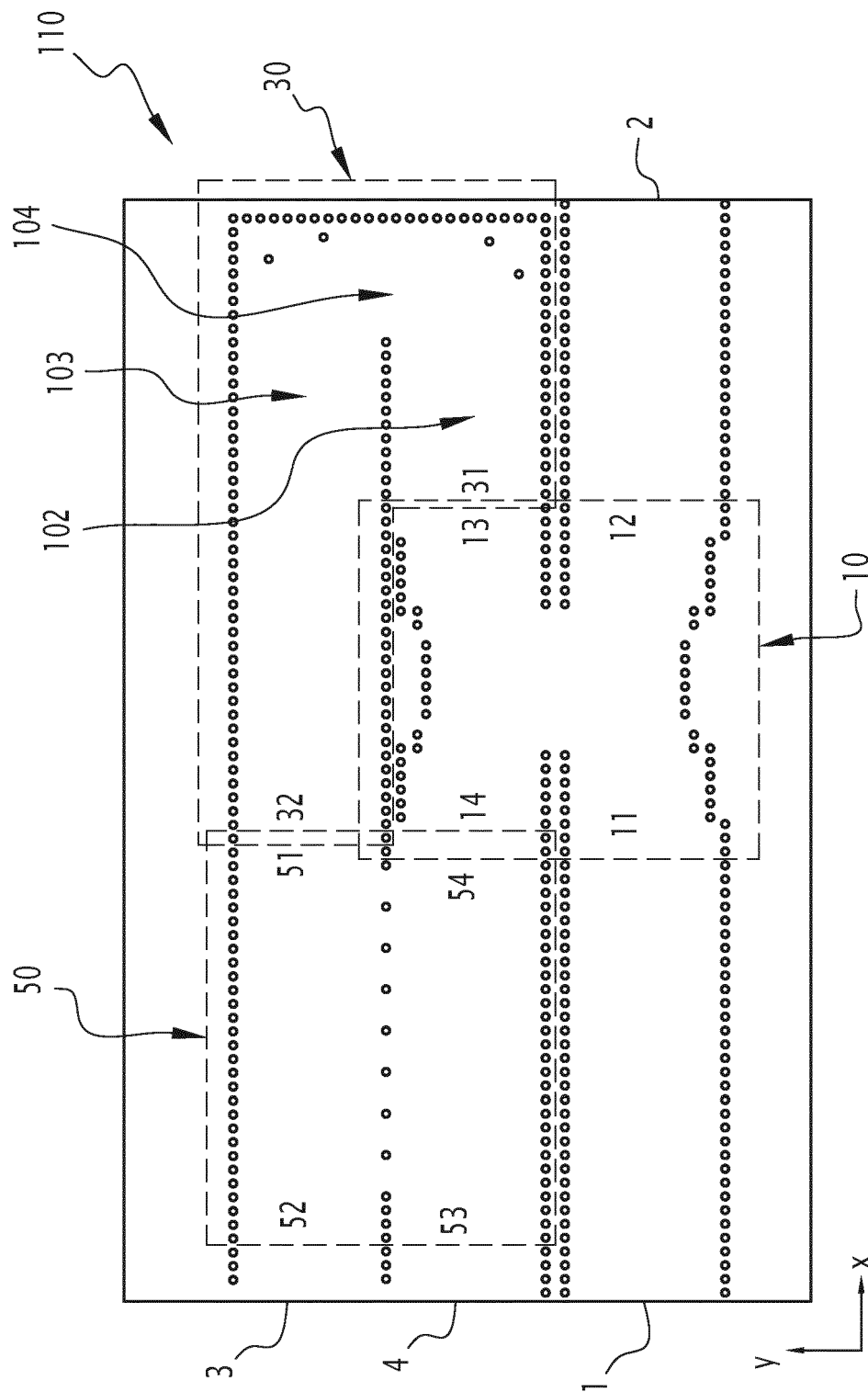


FIG. 6

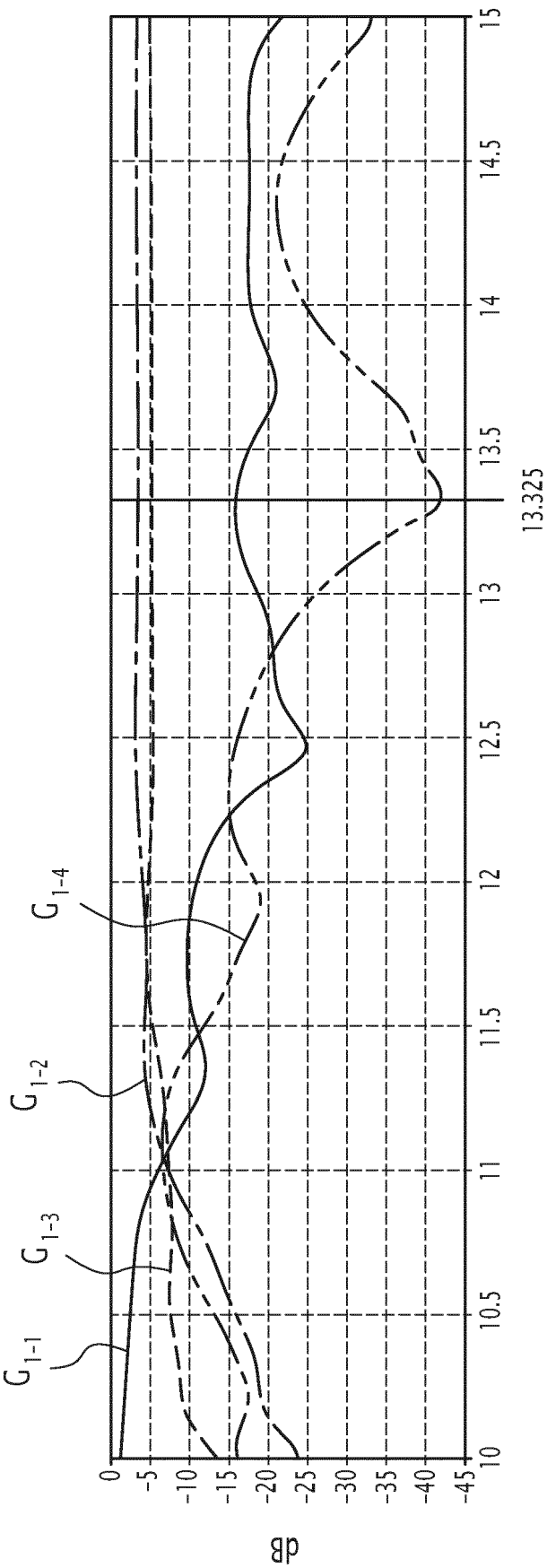


FIG.7

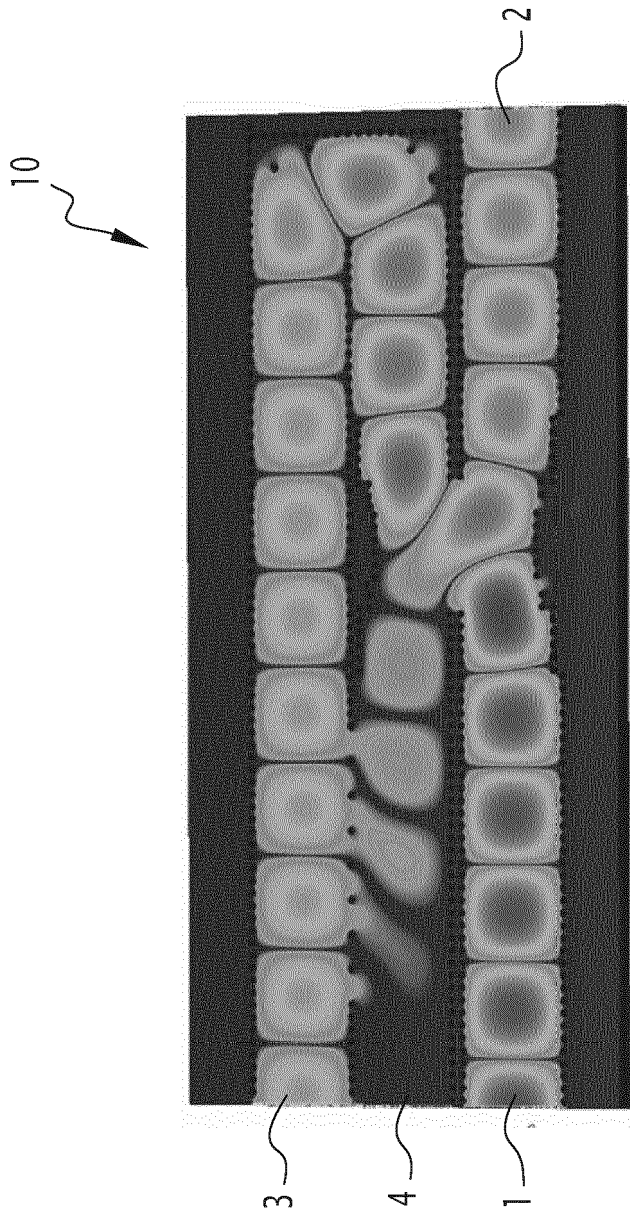


FIG. 8

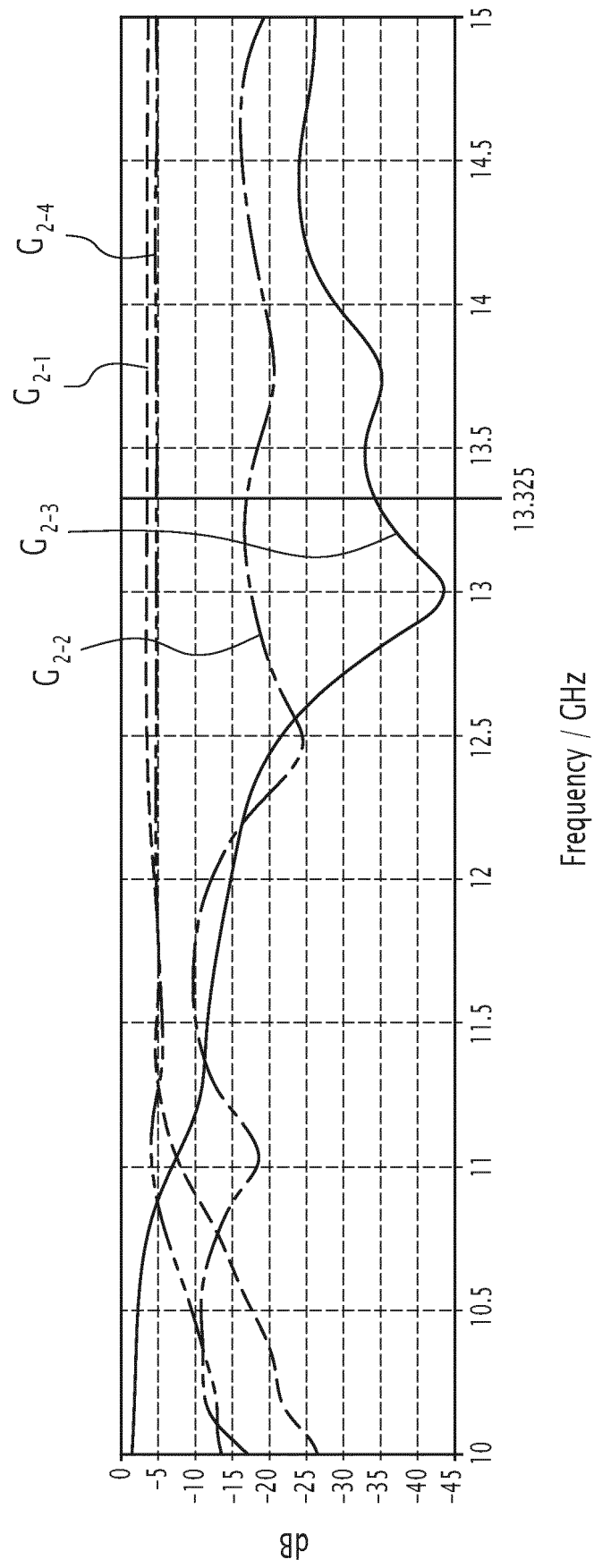


FIG.9

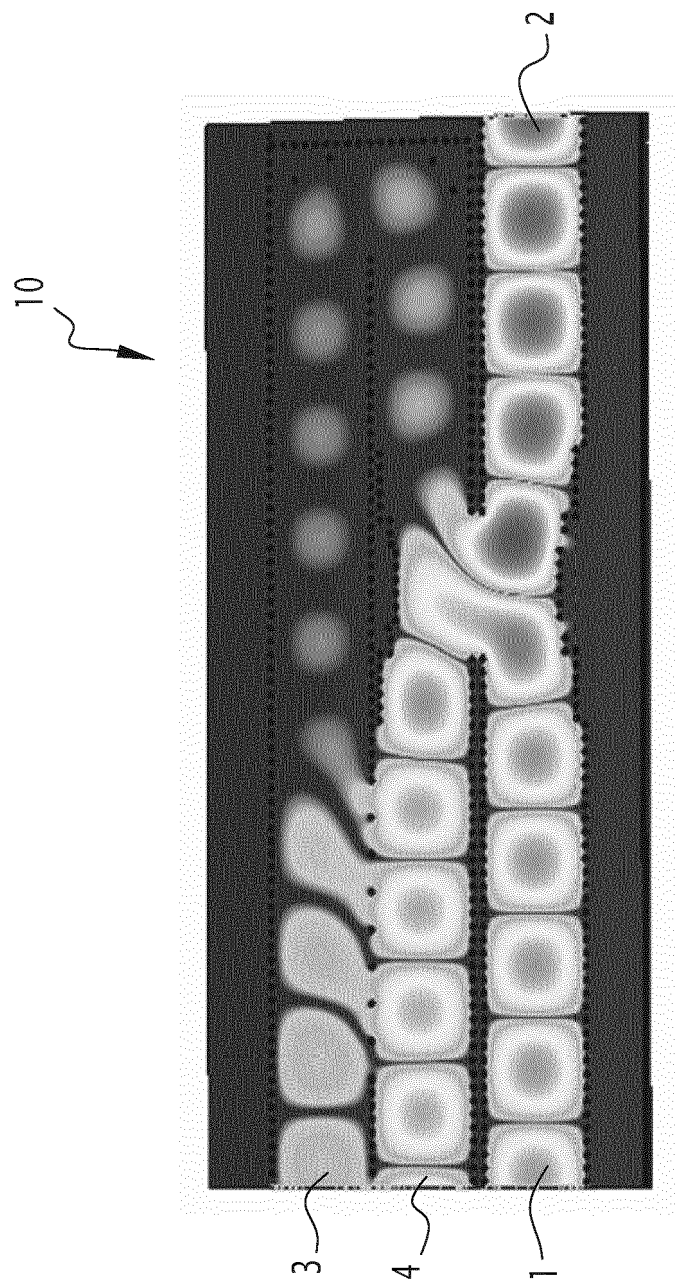


FIG. 10

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 2018159192 A1 [0002]

Littérature non-brevet citée dans la description

- Substrate-Integrated-Waveguide Circulators Suitable for Millimeter-Wave Integration. **D'ORAZIO W et al.** IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES. PLENUM, 01 October 2006, vol. 54, 3675-3680 [0002]
- DEVELOPMENT OF A LOW COST MICROWAVE MIXER USING A BROAD-BAND SUBSTRATE INTEGRATED WAVEGUIDE (SIW) COUPLER. **CHEN J-X et al.** IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS. IEEE SERVICE CENTER, 01 February 2006, vol. 16, 84-86 [0002]