

(19)



(11)

EP 3 224 897 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
14.08.2019 Bulletin 2019/33

(51) Int Cl.:
H01P 1/203 ^(2006.01) **H01P 5/02** ^(2006.01)
H01P 5/12 ^(2006.01) **H01P 7/08** ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **15807957.4**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2015/053224

(22) Date de dépôt: **26.11.2015**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2016/083747 (02.06.2016 Gazette 2016/22)

**(54) DISPOSITIF DE FILTRAGE ET ENSEMBLE FILTRANT A STRUCTURE DE BANDES
ELECTRIQUEMENT CONDUCTRICES**

FILTRIERVORRICHTUNG UND FILTRIERANORDNUNG MIT EINER ELEKTRISCH LEITENDEN
STREIFENSTRUKTUR

FILTERING DEVICE AND FILTERING ARRAY HAVING AN ELECTRICALLY CONDUCTIVE STRIP
STRUCTURE

(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**

- **LEROSEY, Geoffroy**
75010 Paris (FR)
- **KAINA, Nadège**
94260 Fresnes (FR)

(30) Priorité: **27.11.2014 FR 1461555**

(74) Mandataire: **Bonnet, Michel**
Cabinet Bonnet
93, rue Réaumur
75002 Paris (FR)

(43) Date de publication de la demande:
04.10.2017 Bulletin 2017/40

(73) Titulaires:

- **Time Reversal Communications**
95861 Cergy-Pontoise Cedex (FR)
- **Centre National de la Recherche Scientifique**
75794 Paris Cedex 16 (FR)

(56) Documents cités:
GB-A- 2 332 785 US-A- 3 875 538

(72) Inventeurs:

- **LERAY, Christian**
95800 Courdimanche (FR)

- **HUNTER I C ET AL: "Varactor Tuned Microwave
Filters", MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST,
1982 IEEE MTT-S INTERNATIONAL, IEEE,
PISCATAWAY, NJ, USA, 15 juin 1982
(1982-06-15), pages 399-401, XP031667366,**

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 3 224 897 B1

Description

[0001] La présente invention concerne un dispositif de filtrage à structure de bandes électriquement conductrices. Elle concerne également un ensemble filtrant comportant plusieurs dispositifs de filtrage de ce type.

[0002] L'invention s'applique plus particulièrement à un dispositif de filtrage à structure de bandes électriquement conductrices, comportant :

- une ligne de transmission formée par une bande électriquement conductrice imprimée sur une face d'un substrat électriquement isolant, cette bande conductrice présentant deux extrémités formant respectivement les deux seuls ports de connexion d'entrée et sortie du dispositif de filtrage, et
- une pluralité de résonateurs, chaque résonateur comportant une bande électriquement conductrice imprimée sur ladite face du substrat.

[0003] De nombreuses configurations différentes de dispositifs électromagnétiques de filtrage sont réalisables en technologie micro-ruban (de l'anglais « microstrip »), notamment pour concevoir des filtres radiofréquence d'ordre élevé. Selon cette technologie, un dispositif de filtrage est réalisé à l'aide de bandes électriquement conductrices imprimées par simple gravure sur une face d'un substrat électriquement isolant. Un ou plusieurs plans de masses peuvent par ailleurs être réalisés sur la même face du substrat, sur une autre face du substrat, ou par empilement de substrats.

[0004] La plupart des dispositifs de filtrage imprimés en technologie micro-ruban font appel à une technique qualifiée de filtrage à « constantes réparties » selon laquelle des montages de composants discrets sont remplacés par des assemblages de motifs élémentaires de bandes électriquement conductrices imprimées, chaque motif élémentaire réalisant une fonction R, L et/ou C prédéterminée. Selon cette technique, les motifs élémentaires sont suffisamment éloignés les uns des autres pour ne pas interférer entre eux. Par ailleurs, pour obtenir des dispositifs de filtrage d'ordres élevés, il convient de multiplier le nombre de dispositifs de filtrage connectés en série. Il en résulte des filtres qui présentent un encombrement parfois pénalisant, celui-ci augmentant avec l'ordre du filtre, compte tenu des fréquences visées (celles du spectre radiofréquence allant jusqu'à 300 GHz) et des applications envisagées.

[0005] En outre, dans le domaine des dispositifs de filtrage à ligne de transmission en technologie micro-ruban tel qu'il peut être illustré par l'ouvrage de Jia-Sheng Hong, intitulé « Microstrip filters for RF microwave applications - Second édition », publié par Wiley en 2011, à une fréquence de travail donnée, l'homme du métier est généralement guidé par l'objectif d'obtenir une ligne à retard d'impédance et donc de déphasage significatifs et à valeurs discrètes, c'est-à-dire π ou $\pi/2$, ce qui implique des écarts entre résonateurs voisins égaux ou

supérieurs à $\lambda/2$ ou $\lambda/4$. A titre inhabituel, le document de brevet US 3,875,538 présente une démarche consistant à essayer d'obtenir une ligne à retard présentant un déphasage de $\pi/4$, ce qui implique des écarts entre résonateurs voisins d'environ $\lambda/8$. Mais en deçà de cette valeur inhabituelle de déphasage, la ligne à retard présenterait une impédance trop faible qui n'est jamais recherchée.

[0006] Il peut ainsi être souhaité de concevoir un dispositif de filtrage à structure de bandes électriquement conductrices qui permette de s'affranchir d'au moins une partie des problèmes et contraintes précités.

[0007] Il est donc proposé un dispositif de filtrage à structure de bandes électriquement conductrices du type précité dans lequel :

- la bande conductrice de chaque résonateur présente une première extrémité couplée à la ligne de transmission entre les deux ports de connexion et au moins une deuxième extrémité libre ou raccordée à une masse de manière à engendrer une longueur d'onde de résonance fondamentale effective propre à chaque résonateur sur ladite face du substrat, et
- pour chaque paire de résonateurs voisins de la pluralité de résonateurs, la distance entre les premières extrémités des deux résonateurs voisins de cette paire est inférieure au dixième de la plus petite longueur d'onde de résonance fondamentale effective de la pluralité de résonateurs sur ladite face du substrat.

[0008] Par « longueur d'onde de résonance fondamentale effective » d'un résonateur, on entend bien sûr la longueur d'onde effectivement engendrée sur ladite face du substrat par résonance fondamentale du résonateur considéré, cette longueur d'onde étant différente de celle qui lui correspondrait dans l'air à cause de l'indice de réfraction du substrat qui n'est pas égal à celui de l'air.

[0009] Par « première extrémité couplée à la ligne de transmission », on entend soit un raccordement de ladite première extrémité à la ligne de transmission, soit éventuellement un couplage capacitif par rapprochement entre ladite première extrémité et la ligne de transmission.

[0010] Il résulte de la topologie ainsi proposée une structure de métamatériau obtenue par technologie micro-ruban qui présente des propriétés particulièrement surprenantes et avantageuses. Tout d'abord, en rapprochant les résonateurs les uns des autres suffisamment pour que les distances entre les premières extrémités de résonateurs voisins soient inférieures au dixième de la plus petite longueur d'onde de résonance fondamentale effective de la pluralité de résonateurs, on obtient un dispositif de filtrage très compact et d'encombrement minimal pour une bande fréquentielle de fonctionnement donnée. Ensuite, le dispositif de filtrage compact obtenu présente une fonction de transfert coupe-bande d'ordre élevé, grâce notamment à la propriété de bande interdite d'hybridation des métamatériaux agissant dans le spec-

tre radiofréquence. Enfin, on observe également une diminution de la vitesse de groupe de tout signal électrique traversant le dispositif de filtrage, ce qui permet d'envisager un tel dispositif comme alternative aux lignes de transmission à vitesses lentes qui sont généralement très complexes en technologie micro-ruban. On notera enfin que contrairement à l'enseignement de l'état de la technique mentionné précédemment, l'objet de l'invention n'est pas envisagé comme comportant une ligne à retard dont on considère l'impédance ou le déphasage. On cherche principalement à obtenir un effet de métamatériau à partir de résonateurs couplés à une ligne de transmission qui soit la plus courte possible, quelle que soit son impédance qui devient alors négligeable et non prise en considération.

[0011] De façon optionnelle, les bandes conductrices formant la ligne de transmission et les résonateurs sont rectilignes, les résonateurs étant par ailleurs parallèles entre eux de manière à former un peigne de résonateurs.

[0012] De façon optionnelle également, les résonateurs sont perpendiculaires à la ligne de transmission.

[0013] De façon optionnelle également, les résonateurs sont tous d'une même longueur nominale, de manière à engendrer une même longueur d'onde de résonance fondamentale effective nominale, sauf au moins un résonateur court, chaque résonateur court étant entouré de deux résonateurs voisins de longueur nominale et étant de longueur inférieure à la longueur nominale de manière à engendrer au moins une cavité résonante dans ladite pluralité de résonateurs.

[0014] Par exemple, les résonateurs sont tous de longueur nominale sauf un unique résonateur court de manière à engendrer une unique cavité résonante dans ladite pluralité de résonateurs.

[0015] Par exemple également, les résonateurs sont tous de longueur nominale sauf N résonateurs courts, avec $N \geq 2$, disposés selon un motif périodique de manière à engendrer N cavités résonantes périodiquement réparties dans ladite pluralité de résonateurs.

[0016] De façon optionnelle également, au moins un résonateur est pourvu d'un composant électronique de réglage de sa fréquence électrique équivalente de résonance fondamentale.

[0017] De façon optionnelle également, le composant électronique de réglage comporte l'un des éléments de l'ensemble constitué d'une diode PIN, d'une diode varicap, d'une varistance et d'un transistor.

[0018] Il est également proposé un ensemble filtrant à au moins un port de connexion d'entrée et au moins un port de connexion de sortie, comportant une pluralité de dispositifs de filtrage selon l'invention, dans lequel :

- les bandes électriquement conductrices formant les lignes de transmission et les résonateurs des dispositifs de filtrage sont imprimées sur une même face d'un même substrat,
- les dispositifs de filtrage sont couplés entre eux en série et/ou en parallèle.

[0019] De façon optionnelle, un ensemble filtrant selon l'invention peut comporter un seul port de connexion d'entrée et un seul port de connexion de sortie, les dispositifs de filtrage étant couplés entre eux en série de sorte que le port de connexion d'entrée du premier dispositif de filtrage de la série forme le port de connexion d'entrée de l'ensemble filtrant et le port de connexion de sortie du dernier dispositif de filtrage de la série forme le port de connexion de sortie de l'ensemble filtrant.

[0020] L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

- 15 - la figure 1 représente schématiquement la structure générale d'un dispositif de filtrage selon un premier mode de réalisation préféré de l'invention,
- la figure 2 est un diagramme illustrant la fonction de transfert du dispositif de filtrage de la figure 1,
- 20 - la figure 3 représente schématiquement la structure générale d'un dispositif de filtrage selon un deuxième mode de réalisation préféré de l'invention,
- la figure 4 est un diagramme illustrant la fonction de transfert du dispositif de filtrage de la figure 3,
- 25 - la figure 5 représente schématiquement la structure générale d'un dispositif de filtrage selon un troisième mode de réalisation préféré de l'invention,
- la figure 6 représente schématiquement la structure générale d'un dispositif de filtrage selon un quatrième mode de réalisation préféré de l'invention,
- 30 - la figure 7 représente schématiquement la structure générale d'un dispositif de filtrage selon un cinquième mode de réalisation préféré de l'invention,
- la figure 8 est un diagramme illustrant la fonction de transfert du dispositif de filtrage de la figure 7,
- 35 - la figure 9 représente schématiquement la structure générale d'un ensemble filtrant selon un premier mode de réalisation préféré de l'invention,
- la figure 10 est un diagramme illustrant la fonction de transfert de l'ensemble filtrant de la figure 9,
- 40 - la figure 11 représente schématiquement la structure générale d'un ensemble filtrant selon un deuxième mode de réalisation préféré de l'invention,
- la figure 12 est un diagramme illustrant la fonction de transfert de l'ensemble filtrant de la figure 11,
- 45 - la figure 13 représente schématiquement la structure générale d'un ensemble filtrant selon un troisième mode de réalisation préféré de l'invention,
- la figure 14 est un diagramme illustrant la fonction de transfert de l'ensemble filtrant de la figure 13, et
- 50 - la figure 15 représente schématiquement la structure générale d'un ensemble filtrant selon un quatrième mode de réalisation préféré de l'invention.

[0021] Le dispositif de filtrage 100 représenté schématiquement sur la figure 1 comporte une ligne de transmission 102, par exemple une ligne 50 Ω formée par une bande électriquement conductrice imprimée sur une face

d'un substrat électriquement isolant 104. Cette bande conductrice 102 présente deux extrémités 102_{IN} et 102_{OUT} formant respectivement les deux seuls ports de connexion d'entrée et sortie du dispositif de filtrage 100. Dans le mode de réalisation illustré sur la figure 1, la bande conductrice 102 est rectiligne.

[0022] Le dispositif de filtrage 100 comporte en outre une pluralité de résonateurs $106_1, \dots, 106_M$, chaque résonateur 106_i ($1 \leq i \leq M$) comportant une bande électriquement conductrice imprimée sur la même face du substrat 104 que la bande conductrice de la ligne de transmission 102. La bande conductrice de chaque résonateur 106_i présente une première extrémité 108_i raccordée à la ligne de transmission 102 entre les deux ports de connexion 102_{IN} , 102_{OUT} et une deuxième extrémité 110_i libre ou raccordée à une masse de manière à engendrer une longueur d'onde de résonance fondamentale effective propre à chaque résonateur 106_i sur ladite face du substrat 104. Dans le mode de réalisation illustré sur la figure 1, les bandes conductrices des résonateurs $106_1, \dots, 106_M$ sont rectilignes, toutes de même longueur L et parallèles entre elles de manière à former un peigne de résonateurs. Les résonateurs $106_1, \dots, 106_M$ sont en outre perpendiculaires à la ligne de transmission 102 et leurs deuxièmes extrémités $110_1, \dots, 110_M$ sont illustrées libres.

[0023] Compte tenu du fait que les deuxièmes extrémités $110_1, \dots, 110_M$ sont libres, les résonateurs $106_1, \dots, 106_M$ présentent tous une même longueur d'onde de résonance fondamentale effective λ égale à quatre fois leur longueur L. En variante, si les deuxièmes extrémités $110_1, \dots, 110_M$ étaient raccordées à la masse, les résonateurs $106_1, \dots, 106_M$ présenteraient tous une même longueur d'onde de résonance fondamentale effective λ égale à deux fois leur longueur L.

[0024] Conformément à l'invention, pour chaque paire ($106_i, 106_{i+1}$), avec $1 \leq i \leq M-1$, de résonateurs voisins de la pluralité de résonateurs $106_1, \dots, 106_M$, la distance notée e_i entre les premières extrémités 108_i et 108_{i+1} des deux résonateurs voisins 106_i et 106_{i+1} de cette paire est inférieure au dixième de la plus petite longueur d'onde de résonance fondamentale effective de la pluralité de résonateurs qui est, dans cet exemple où tous les résonateurs sont tous de même longueur L, la longueur d'onde effective λ mentionnée précédemment. Ces distances e_1, \dots, e_{M-1} peuvent même être avantageusement inférieures au dixième, voire au centième, de la plus petite longueur d'onde de résonance fondamentale effective de la pluralité de résonateurs $106_1, \dots, 106_M$. Dans le mode de réalisation particulier de la figure 1, toutes ces distances e_1, \dots, e_{M-1} sont égales et du même ordre de grandeur que la largeur de chaque résonateur.

[0025] On obtient ainsi une structure de métamatériau en technologie micro-ruban qui présente des propriétés avantageuses comme indiqué précédemment. En particulier, la propriété de bande interdite d'hybridation est due aux phénomènes d'interférences entre les résonateurs $106_1, \dots, 106_M$ qui sont très rapprochés et répon-

dent en opposition de phase à tout champ électromagnétique incident au-delà de leur fréquence de résonance. Ainsi, par interférences destructives au-delà de cette fréquence, tout champ électromagnétique incident est réfléchi, et la structure de métamatériau constitue un filtre coupe-bande aux propriétés intéressantes.

[0026] A titre d'exemple, pour une ligne de transmission 102 à 50Ω , avec une longueur L commune des résonateurs égale à 40 mm, une largeur totale W de $M = 9$ résonateurs égale à 20 mm, une distance $e = e_1 = \dots = e_{M+1}$ entre résonateurs voisins d'un peu plus de 1 mm et un indice de réfraction du substrat 104 proche de 1,45, on obtient la fonction de transfert illustrée sur la figure 2. Cette fonction de transfert montre que l'on a ainsi conçu un dispositif de filtrage 100 coupe-bande ou, autrement dit, à bande interdite de transmission à -30 dB, présentant de bonnes performances, la bande interdite de transmission commençant juste après, dans le domaine fréquentiel, la fréquence de résonance (environ 1,3 GHz) correspondant à la longueur d'onde effective λ mentionnée précédemment et se prolongeant jusque vers 1,6 GHz. Ces bonnes performances sont en outre obtenues pour un dispositif de filtrage 100 qui reste très compact et d'encombrement minimal.

[0027] On notera que la structure de filtre illustrée sur la figure 1 n'est qu'un exemple particulier de dispositif de filtrage selon l'invention. D'une façon plus générale, les bandes conductrices formant la ligne de transmission 102 et les résonateurs $106_1, \dots, 106_M$ ne sont pas nécessairement rectilignes, les résonateurs ne sont pas nécessairement parallèles entre eux ou perpendiculaires à la ligne de transmission et ne sont pas nécessairement de même longueur L. Les distances e_1, \dots, e_{M-1} ne sont pas non plus nécessairement égales. En revanche, il est nécessaire que pour chaque paire de résonateurs voisins de la pluralité de résonateurs, la distance entre les premières extrémités des deux résonateurs voisins de cette paire soit inférieure au quart, voire même avantageusement au dixième, de la plus petite longueur d'onde de résonance fondamentale effective de la pluralité de résonateurs, cette plus petite longueur d'onde de résonance fondamentale effective étant celle du résonateur dont la longueur est la plus petite. Cette condition est nécessaire pour obtenir une structure de métamatériau aux propriétés avantageuses. En jouant sur tous les autres paramètres structurels précités, il est alors possible d'adapter la fonction de transfert du dispositif de filtrage aux différentes applications visées.

[0028] Le dispositif de filtrage 200, représenté schématiquement sur la figure 3 selon un deuxième mode de réalisation préféré de l'invention, comporte une ligne de transmission 202 à deux extrémités 202_{IN} et 202_{OUT} imprimée sur un substrat 204 et des résonateurs $206_1, \dots, 206_M$ comportant des premières $208_1, \dots, 208_M$ et deuxièmes $210_1, \dots, 210_M$ extrémités. Il est identique au dispositif de filtrage 100 à l'exception du fait que l'un 206_i de ses résonateurs $206_1, \dots, 206_M$ est plus court que les autres. Plus précisément, les résonateurs $206_1, \dots, 206_M$

sont tous de la même longueur nominale L , de manière à engendrer la même longueur d'onde de résonance fondamentale effective nominale λ , sauf le résonateur court 206_i , disposé quelque part dans la structure de métamatériau entre le premier résonateur 206_1 et le dernier résonateur 206_M de manière à engendrer une cavité singulière résonante de très petite taille dans la pluralité de résonateurs $206_1, \dots, 206_M$.

[0029] Il convient de noter que les distances e_1, \dots, e_{M-1} doivent rester inférieures au quart, voire même avantageusement au dixième, de la plus petite longueur d'onde de résonance fondamentale effective de la pluralité de résonateurs qui est, dans cet exemple, la longueur d'onde de résonance fondamentale effective du résonateur court 206_i .

[0030] Loin de nuire à la structure de métamatériau, la présence de la cavité résonante engendrée par le résonateur court 206_i , permet de piéger certaines ondes de manière à créer un pic de résonance, ce pic de résonance pouvant être réglé en position dans la bande interdite de transmission du dispositif de filtrage 200 en jouant sur la position et la taille du résonateur court 206_i dans la pluralité de résonateurs $206_1, \dots, 206_M$. L'expérience montre que le pic de résonance ainsi obtenu est très étroit, de sorte qu'il présente un grand facteur de qualité.

[0031] A titre d'exemple, pour une ligne de transmission 202 à 50Ω , avec une longueur nominale L égale à 40 mm, une largeur totale W de $M = 9$ résonateurs égale à 20 mm, une distance $e = e_1 = \dots = e_{M+1}$ entre résonateurs voisins d'un peu plus de 1 mm, un résonateur court de 30 mm disposé au centre de la pluralité de résonateurs et un indice de réfraction du substrat 204 proche de 1,45, on obtient la fonction de transfert illustrée sur la figure 4. Cette fonction de transfert montre que l'on a ainsi conçu un dispositif de filtrage 200 coupe-bande ou, autrement dit, à bande interdite de transmission à -30 dB, présentant non seulement de bonnes performances mais également une résonance à grand facteur de qualité dans sa bande interdite. La bande interdite à -30 dB, qui s'étend d'environ 1,3 GHz à 1,7 GHz présente un pic résonant à un peu moins de 1,6 GHz, la réjection étant très abrupte autour de cette résonance, de 30 dB en quelques dizaines de MHz. Ces bonnes performances sont en outre obtenues pour un dispositif de filtrage 200 qui reste très compact et d'encombrement minimal.

[0032] Il est par ailleurs possible d'élargir le pic de résonance à l'intérieur de la bande interdite de transmission en augmentant le nombre de cavités résonantes de manière à coupler ces cavités entre elles. Cet effet est obtenu par exemple à l'aide du dispositif de filtrage 300 de la figure 5.

[0033] Le dispositif de filtrage 300 comporte une ligne de transmission 302 à deux extrémités 302_{IN} et 302_{OUT} imprimée sur un substrat 304 et des résonateurs $306_1, \dots, 306_M$ comportant des premières $308_1, \dots, 308_M$ et deuxièmes $310_1, \dots, 310_M$ extrémités. Il est similaire aux dispositifs de filtrage 100 et 200 à l'exception du fait que plusieurs $306_{i,1}, \dots, 306_{i,N}$ de ses résonateurs $306_1, \dots,$

306_M sont plus courts que les autres. Plus précisément, les résonateurs $306_1, \dots, 306_M$ sont tous de la même longueur nominale L , de manière à engendrer la même longueur d'onde de résonance fondamentale effective nominale λ , sauf les N résonateurs courts $306_{i,1}, \dots, 306_{i,N}$, disposés dans la structure de métamatériau entre le premier résonateur 306_1 et le dernier résonateur 306_M de manière à engendrer N cavités singulières résonantes couplées de très petite taille dans la pluralité de résonateurs $306_1, \dots, 306_M$. Chaque résonateur court est entouré de deux résonateurs voisins de longueur nominale.

[0034] De préférence, les N résonateurs courts $306_{i,1}, \dots, 306_{i,N}$ sont disposés selon un motif périodique de manière à engendrer N cavités résonantes périodiquement réparties dans ladite pluralité de résonateurs. Dans l'exemple de la figure 5, un résonateur court est disposé tous les trois résonateurs. Chaque cavité résonante résultante est alors séparée de ses voisines par deux résonateurs de longueur nominale et n'est donc couplée directement qu'avec ses plus proches voisines. Il en résulte un dispositif de filtrage qui ne laisse passer aucune fréquence dans la bande interdite telle que mentionnée pour le dispositif de la figure 1, hormis sur une bande de fréquences centrée sur la fréquence de résonance des cavités. La largeur de cette bande de fréquences peut être modifiée en jouant sur les paramètres structuraux du dispositif de filtrage 300. Cela permet de réaliser un type de filtre aux transitions fréquentielles encore plus abruptes (i.e. augmentation de l'ordre du filtre) et plus facile à régler.

[0035] Un autre effet résultant de l'augmentation du nombre de cavités dans la structure de métamatériau de la figure 5 est de ralentir considérablement la vitesse de groupe des signaux électriques traversant le dispositif de filtrage, parce que l'on crée ainsi une bande de modes de propagation à vitesses lentes.

[0036] Il convient enfin de noter que les distances e_1, \dots, e_{M-1} doivent rester inférieures au quart, voire même avantageusement au dixième, de la plus petite longueur d'onde de résonance fondamentale effective de la pluralité de résonateurs qui est, dans cet exemple, la longueur d'onde de résonance fondamentale effective des N résonateurs courts $306_{i,1}, \dots, 306_{i,N}$.

[0037] Une variante du mode de réalisation de la figure 3 est illustrée sur la figure 6. Le dispositif de filtrage 400 conforme à cette variante comporte une ligne de transmission 402 à deux extrémités 402_{IN} et 402_{OUT} imprimée sur un substrat 404 et des résonateurs $406_1, \dots, 406_M$ comportant des premières $408_1, \dots, 408_M$ et deuxièmes $410_1, \dots, 410_M$ extrémités. Il est similaire au dispositif de filtrage 200 à l'exception du fait que le résonateur court 206_i est remplacé par un résonateur 406_i de même longueur que les autres mais pourvu d'un composant électronique 412 de réglage de sa fréquence électrique équivalente de résonance fondamentale. Grâce à ce composant, il est possible de moduler cette fréquence, notamment pour l'augmenter, sans pour autant modifier la longueur du résonateur. Il est alors possible d'obtenir les

mêmes effets qu'avec le dispositif de filtrage 200, notamment la même fonction de transfert illustrée sur la figure 4, avec une structure de résonateurs tous de même longueur comme dans le dispositif de filtrage 100. Le composant électronique 412 est par exemple une diode PIN, une diode varicap, une varistance ou un transistor.

[0038] Il convient enfin de noter que les distances e_1, \dots, e_{M-1} doivent rester inférieures au quart, voire même avantageusement au dixième, de la plus petite longueur d'onde de résonance fondamentale effective de la pluralité de résonateurs qui est, dans cet exemple, la longueur d'onde de résonance fondamentale effective correspondant à la fréquence électrique équivalente de résonance fondamentale du résonateur 406_i.

[0039] Une autre variante du mode de réalisation de la figure 3 est illustrée sur la figure 7. Le dispositif de filtrage 450 conforme à cette autre variante comporte une ligne de transmission 452 à deux extrémités 452_{IN} et 452_{OUT} imprimée sur un substrat 454 et des résonateurs 456₁, ..., 456_M comportant des premières 458₁, ..., 458_M et deuxièmes 460₁, ..., 460_M extrémités. Il est similaire au dispositif de filtrage 200 à l'exception du fait que :

- la première extrémité 458₁, ou ..., ou 458_M de chaque résonateur 456₁, ou ..., ou 456_M n'est pas directement raccordée à la ligne de transmission 452, mais couplée capacitivement avec elle par rapprochement sans contact, et
- chaque résonateur 456₁, ou ..., ou 456_M comporte deux deuxièmes extrémités libres 460₁, ou ..., ou 460_M en étant constitué d'une bande conductrice dédoublée en partie médiane selon une forme générale de diapason.

[0040] Le résonateur court 456_i reste plus court que les autres. Cette forme dédoublée des résonateurs, dite fractale, peut être généralisée en une forme arborescente à multiples deuxièmes extrémités pour chaque résonateur. Elle permet de raccourcir la longueur de chaque résonateur pour une même longueur d'onde effective de résonance, au prix d'un encombrement latéral plus important.

[0041] Il convient enfin de noter que les distances e_1, \dots, e_{M-1} doivent rester inférieures au quart, voire même avantageusement au dixième, de la plus petite longueur d'onde de résonance fondamentale effective de la pluralité de résonateurs qui est, dans cet exemple, la longueur d'onde de résonance fondamentale effective correspondant à la fréquence électrique équivalente de résonance fondamentale du résonateur court 456_i.

[0042] A titre d'exemple, pour une ligne de transmission 452 à 50 Ω, avec une longueur nominale L égale à 40 mm, une largeur totale W de M = 5 résonateurs égale à 20 mm, une distance $e = e_1 = \dots = e_{M+1}$ entre résonateurs voisins d'environ 3 mm, un résonateur court de 20 à 30 mm disposé au centre de la pluralité de résonateurs et un indice de réfraction du substrat 454 proche de 1,45,

on obtient la fonction de transfert illustrée sur la figure 8. Cette fonction de transfert montre que l'on a ainsi conçu un dispositif de filtrage 450 coupe-bande ou, autrement dit, à bande interdite de transmission à -30 dB, présentant non seulement de bonnes performances mais également une résonance à large bande dans sa bande interdite. La bande interdite à -30 dB, qui s'étend d'environ 1,45 GHz à 2,55 GHz présente un pic résonant à 1,9 GHz dans une bande passante à -30 dB qui s'étend d'environ 1,8 GHz à 2,4 GHz. Ces bonnes performances sont en outre obtenues pour un dispositif de filtrage 450 qui reste très compact et d'encombrement minimal.

[0043] A partir de l'un ou l'autre des dispositifs de filtrage 100, 200, 300, 400, 450 précédemment décrits, ou à partir d'autres variantes de réalisation possibles, un ensemble filtrant à au moins un port de connexion d'entrée et au moins un port de connexion de sortie, comportant une pluralité de dispositifs de filtrage selon l'invention, peut être conçu. Toutes les bandes électriquement conductrices formant les lignes de transmission et les résonateurs des dispositifs de filtrage d'un tel ensemble filtrant sont imprimées sur une même face d'un même substrat. Par ailleurs, les dispositifs de filtrage sont couplés entre eux en série et/ou en parallèle selon des topologies qui peuvent être très diverses. Il est ainsi possible de concevoir un ensemble filtrant permettant d'atteindre des objectifs ambitieux en termes de bande passante, de perte en bande passante et de niveau de réjection autour de cette bande passante.

[0044] Conformément à une première famille de topologies possibles, les dispositifs de filtrage sont couplés entre eux en série, de sorte que l'ensemble filtrant ne comporte qu'un port de connexion d'entrée et qu'un port de connexion de sortie, le port de connexion d'entrée du premier dispositif de filtrage de la série formant le port de connexion d'entrée de l'ensemble filtrant et le port de connexion de sortie du dernier dispositif de filtrage de la série formant le port de connexion de sortie de l'ensemble filtrant.

[0045] Un premier mode de réalisation d'un ensemble filtrant selon l'invention et selon cette première famille de topologies est illustré sur la figure 9.

[0046] L'ensemble filtrant 500 à deux ports de connexion 502_{IN} et 502_{OUT} illustré sur cette figure comporte deux dispositifs de filtrage 504, 506 du même type que le dispositif de filtrage 200, c'est-à-dire à résonateurs tous de même longueur nominale sauf un. Le port de connexion d'entrée 502_{IN} correspond au port de connexion d'entrée du premier dispositif de filtrage 504 et le port de connexion de sortie 502_{OUT} correspond au port de connexion de sortie du deuxième et dernier dispositif de filtrage 506.

[0047] Les deux lignes de transmission des deux dispositifs de filtrage 504 et 506 sont dans le prolongement l'une de l'autre et le port de connexion de sortie de la ligne de transmission du premier dispositif de filtrage 504 est couplé au port de connexion d'entrée de la ligne de transmission du deuxième dispositif de filtrage 506 à

l'aide d'un élément capacitif imprimé 508. Ce dernier est formé de deux bandes électriquement conductrices perpendiculaires aux lignes de transmission des deux dispositifs de filtrage 504 et 506 couplés. Il permet de maintenir les deux dispositifs de filtrage 504 et 506 à une certaine distance d'un de l'autre tout en les couplant.

[0048] A titre d'exemple, avec des paramètres structuraux d'expérimentation similaires à ceux du dispositif de filtrage 200, on obtient la fonction de transfert illustrée sur la figure 10. Cette fonction de transfert montre que l'on a ainsi conçu un ensemble de filtrage 500 dont les propriétés de coupe-bande et de bande résonante dans la bande interdite sont améliorées. En particulier une bande passante à -30 dB d'environ 100 MHz entre 1,5 et 1,6 GHz dans la bande interdite et une rejection de 40 dB en quelques dizaines de MHz autour de cette bande passante sont atteintes, les pertes au niveau du pic de résonance étant inférieures à 3 dB.

[0049] Un deuxième mode de réalisation d'un ensemble filtrant selon l'invention et selon la première famille de topologies est illustré sur la figure 11.

[0050] L'ensemble filtrant 600 à deux ports de connexion 602_{IN} et 602_{OUT} illustré sur cette figure comporte deux dispositifs de filtrage 604, 606 du même type que le dispositif de filtrage 200, c'est-à-dire à résonateurs tous de même longueur nominale sauf un (la cavité résonante n'étant cependant pas disposée au centre de la pluralité de résonateurs). Ces deux dispositifs de filtrage 604 et 606 sont disposés en symétrie axiale l'un par rapport à l'autre selon un axe perpendiculaire aux lignes de transmission. Le port de connexion d'entrée 602_{IN} correspond au port de connexion d'entrée du premier dispositif de filtrage 604 et le port de connexion de sortie 602_{OUT} correspond au port de connexion de sortie du deuxième et dernier dispositif de filtrage 606.

[0051] Les deux lignes de transmission des deux dispositifs de filtrage 604 et 606 sont dans le prolongement l'une de l'autre et le port de connexion de sortie de la ligne de transmission du premier dispositif de filtrage 604 est électromagnétiquement couplé au port de connexion d'entrée de la ligne de transmission du deuxième dispositif de filtrage 606. Pour cela les deux ports couplés sont rapprochés l'un de l'autre et le couplage se fait directement sans élément particulier. Ce couplage varie en fonction de la distance de séparation des deux dispositifs de filtrage 604 et 606.

[0052] A titre d'exemple, avec des paramètres structuraux d'expérimentation similaires à ceux du dispositif de filtrage 200, on obtient la fonction de transfert illustrée sur la figure 12. Cette fonction de transfert montre que l'on a ainsi conçu un ensemble de filtrage 600 dont les propriétés de coupe-bande et de bande résonante dans la bande interdite sont améliorées. En particulier une bande passante à -30 dB d'environ 50 MHz dans la bande interdite et une rejection de 40 dB en quelques dizaines de MHz autour de cette bande passante sont atteintes, les pertes au niveau du pic de résonance étant inférieures à 3 dB.

[0053] Un troisième mode de réalisation d'un ensemble filtrant selon l'invention et selon la première famille de topologies est illustré sur la figure 13.

[0054] L'ensemble filtrant 700 à deux ports de connexion 702_{IN} et 702_{OUT} illustré sur cette figure comporte deux dispositifs de filtrage 704, 706 du même type que le dispositif de filtrage 200, c'est-à-dire à résonateurs tous de même longueur nominale sauf un (la cavité résonante n'étant cependant pas disposée au centre de la pluralité de résonateurs). Ces deux dispositifs de filtrage 704 et 706 sont disposés en symétrie centrale l'un par rapport à l'autre selon un point du substrat sur lequel ils sont imprimés. Le port de connexion d'entrée 702_{IN} correspond au port de connexion d'entrée du premier dispositif de filtrage 704 et le port de connexion de sortie 702_{OUT} correspond au port de connexion de sortie du deuxième et dernier dispositif de filtrage 706.

[0055] Compte tenu de la disposition en symétrie centrale, les deux lignes de transmission des deux dispositifs de filtrage 704 et 706 sont parallèles sans être dans le prolongement l'une de l'autre. Le couplage électromagnétique des deux dispositifs de filtrage 704 et 706 se fait le long de deux de leurs résonateurs rapprochés en vis-à-vis, l'un raccordé au niveau du port de connexion de sortie du premier dispositif de filtrage 704, l'autre raccordé au niveau du port de connexion d'entrée du deuxième dispositif de filtrage 706. Le couplage se fait directement sans élément particulier. Ce couplage varie en fonction de la distance de séparation des deux résonateurs en vis-à-vis.

[0056] A titre d'exemple, avec des paramètres structuraux d'expérimentation similaires à ceux du dispositif de filtrage 200, on obtient la fonction de transfert illustrée sur la figure 14. Cette fonction de transfert, très similaire à celle de la figure 10, montre que l'on a ainsi conçu un ensemble de filtrage 700 dont les propriétés de coupe-bande et de bande résonante dans la bande interdite sont améliorées.

[0057] Conformément à une deuxième famille de topologies possibles, les dispositifs de filtrage 100, 200, 300, 400, 450 précédemment décrits peuvent être couplés entre eux en parallèle de sorte que l'ensemble filtrant comporte plusieurs ports de connexion d'entrée ou plusieurs ports de connexion de sortie.

[0058] Un quatrième mode de réalisation d'un ensemble filtrant selon l'invention et selon cette deuxième famille de topologies est illustré sur la figure 15.

[0059] L'ensemble filtrant 800 à n ports de connexion d'entrée $802_{IN1}, \dots, 802_{INn}$ et un port de connexion de sortie 802_{OUT} illustré sur cette figure comporte n filtres $804_1, \dots, 804_n$ qui peuvent chacun être du même type que l'un quelconque des dispositifs de filtrage 100, 200, 300, 400, 450 ou autres. Le port de connexion d'entrée 802_{IN1} correspond au port de connexion d'entrée du premier filtre $804_1, \dots$, le port de connexion d'entrée 802_{INn} correspond au port de connexion d'entrée du dernier filtre 804_n et le port de connexion de sortie 802_{OUT} correspond à l'interconnexion en parallèle des n ports de connexion

de sortie des n filtres $804_1, \dots, 804_n$.

[0060] En particulier, lorsque les n filtres $804_1, \dots, 804_n$ sont à pics ou bandes passantes de résonance dans leurs bandes interdites, il est ainsi possible de concevoir un multiplexeur (un duplexeur si $n=2$). Par exemple lorsqu'un signal, dont le spectre est inclus dans la bande interdite de chaque filtre $804_1, \dots, 804_n$, est fourni aux entrées $802_{IN1}, \dots, 802_{INn}$ de l'ensemble filtrant 800, seule la partie du spectre correspondant au pic résonant ou à la bande passante du premier filtre 804_1 est transmise par ce premier filtre 804_1 en sortie 802_{OUT} , ..., seule la partie du spectre correspondant au pic résonant ou à la bande passante du dernier filtre 804_n est transmise par ce dernier filtre 804_n en sortie 802_{OUT} , de sorte que l'on obtient en sortie un signal multiplexé selon les différents pics résonants ou bandes passantes des n filtres $804_1, \dots, 804_n$.

[0061] On notera que l'ensemble filtrant 800 est passif donc réversible. On peut alors le voir et l'utiliser comme un ensemble filtrant à un port de connexion d'entrée 802_{OUT} et n ports de connexion de sortie $802_{IN1}, \dots, 802_{INn}$. En y injectant un signal de spectre inclus dans la bande interdite de chaque filtre $804_1, \dots, 804_n$, on retrouve en sorties $802_{IN1}, \dots, 802_{INn}$ les n parties du signal correspondant respectivement aux n pics résonants ou bandes passantes des n filtres $804_1, \dots, 804_n$.

[0062] Il est possible également de généraliser la topologie de l'ensemble filtrant 800 en considérant que des ensembles filtrants à dispositifs de filtrage couplés en série, par exemple les ensembles filtrants 500, 600, 700, peuvent eux aussi constituer tout ou partie des filtres $804_1, \dots, 804_n$ couplés en parallèle.

[0063] Inversement, un ensemble filtrant peut être conçu en couplant en série des ensembles filtrants de dispositifs de filtrages couplés en parallèle.

[0064] Il apparaît clairement qu'un dispositif de filtrage ou ensemble filtrant tel que l'un de ceux décrits précédemment permet de fournir un filtre performant pour un encombrement minimal, grâce à une structure de métamatériau obtenue en rapprochant une pluralité de résonateurs de telle sorte que les distances entre résonateurs voisins soient toujours inférieures au quart, voire même avantageusement au dixième, de la plus petite longueur d'onde de résonance fondamentale effective de la pluralité de résonateurs.

[0065] On notera par ailleurs que l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits précédemment.

[0066] En particulier, en ce qui concerne les ensembles filtrants présentés en références aux figures 9, 11 et 13, il convient de noter qu'il est possible d'augmenter le nombre de dispositifs de filtrage couplés en série en fonction des besoins.

[0067] Plus généralement toutes les topologies de dispositifs de filtrage couplés sont envisageables, notamment les topologies en cascades, étoiles ou autres.

[0068] Il apparaîtra à l'homme de l'art que diverses modifications peuvent être apportées aux modes de réalisation décrits ci-dessus, à la lumière de l'enseignement

qui vient de lui être divulgué. Dans les revendications qui suivent, les termes utilisés ne doivent pas être interprétés comme limitant les revendications aux modes de réalisation exposés dans la présente description, mais doivent être interprétés pour y inclure tous les équivalents que les revendications visent à couvrir du fait de leur formulation et dont la prévision est à la portée de l'homme de l'art en appliquant ses connaissances générales à la mise en oeuvre de l'enseignement qui vient de lui être divulgué.

Revendications

1. Dispositif de filtrage (100 ; 200 ; 300 ; 400 ; 450) à structure de bandes électriquement conductrices, comportant :
 - une ligne de transmission (102 ; 202 ; 302 ; 402 ; 452) formée par une bande électriquement conductrice imprimée sur une face d'un substrat (104 ; 204 ; 304 ; 404 ; 454) électriquement isolant, cette bande conductrice présentant deux extrémités ($102_{IN}, 102_{OUT}$; $202_{IN}, 202_{OUT}$; $302_{IN}, 302_{OUT}$; $402_{IN}, 402_{OUT}$; $452_{IN}, 452_{OUT}$) formant respectivement les deux seuls ports de connexion d'entrée et sortie du dispositif de filtrage (100 ; 200 ; 300 ; 400 ; 450),
 - une pluralité de résonateurs ($106_1, \dots, 106_M$; $206_1, \dots, 206_M$; $306_1, \dots, 306_M$; $406_1, \dots, 406_M$; $456_1, \dots, 456_M$), chaque résonateur comportant une bande électriquement conductrice imprimée sur ladite face du substrat (104 ; 204 ; 304 ; 404 ; 454),
 - la bande conductrice de chaque résonateur ($106_1, \dots, 106_M$; $206_1, \dots, 206_M$; $306_1, \dots, 306_M$; $406_1, \dots, 406_M$; $456_1, \dots, 456_M$) présente une première extrémité ($108_1, \dots, 108_M$; $208_1, \dots, 208_M$; $308_1, \dots, 308_M$; $408_1, \dots, 408_M$; $458_1, \dots, 458_M$) couplée à la ligne de transmission entre les deux ports de connexion et au moins une deuxième extrémité ($110_1, \dots, 110_M$; $210_1, \dots, 210_M$; $310_1, \dots, 310_M$; $410_1, \dots, 410_M$; $460_1, \dots, 460_M$) libre ou raccordée à une masse de manière à engendrer une longueur d'onde de résonance fondamentale effective propre à chaque résonateur sur ladite face du substrat, le dispositif de filtrage étant **caractérisé en ce que**
 - pour chaque paire de résonateurs voisins de la pluralité de résonateurs, la distance (e_1, \dots, e_{M-1}) entre les premières extrémités des deux résonateurs voisins de cette paire est inférieure au dixième de la plus petite longueur d'onde de résonance fondamentale effective de la pluralité de résonateurs ($106_1, \dots, 106_M$; $206_1, \dots, 206_M$; $306_1, \dots, 306_M$; $406_1, \dots, 406_M$; $456_1, \dots, 456_M$) sur ladite face du substrat.

2. Dispositif de filtrage (100 ; 200 ; 300 ; 400) à structure de bandes électriquement conductrices selon la revendication 1, dans lequel les bandes conductrices formant la ligne de transmission (102 ; 202 ; 302 ; 402) et les résonateurs ($106_1, \dots, 106_M$; $206_1, \dots, 206_M$; $306_1, \dots, 306_M$; $406_1, \dots, 406_M$) sont rectilignes, les résonateurs étant par ailleurs parallèles entre eux de manière à former un peigne de résonateurs.
3. Dispositif de filtrage (100 ; 200 ; 300 ; 400) à structure de bandes électriquement conductrices selon la revendication 2, dans lequel les résonateurs ($106_1, \dots, 106_M$; $206_1, \dots, 206_M$; $306_1, \dots, 306_M$; $406_1, \dots, 406_M$) sont perpendiculaires à la ligne de transmission (102 ; 202 ; 302 ; 402).
4. Dispositif de filtrage (200 ; 300 ; 450) à structure de bandes électriquement conductrices selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel les résonateurs ($206_1, \dots, 206_M$; $306_1, \dots, 306_M$; $456_1, \dots, 456_M$) sont tous d'une même longueur nominale (L), de manière à engendrer une même longueur d'onde de résonance fondamentale effective nominale, sauf au moins un résonateur court (206_i ; $306_{i,1}, \dots, 306_{i,N}$; 456_i), chaque résonateur court étant entouré de deux résonateurs voisins de longueur nominale et étant de longueur inférieure à la longueur nominale de manière à engendrer au moins une cavité résonante dans ladite pluralité de résonateurs ($206_1, \dots, 206_M$; $306_1, \dots, 306_M$; $456_1, \dots, 456_M$).
5. Dispositif de filtrage (200 ; 450) à structure de bandes électriquement conductrices selon la revendication 4, dans lequel les résonateurs ($206_1, \dots, 206_M$; $456_1, \dots, 456_M$) sont tous de longueur nominale (L) sauf un unique résonateur court (206_i ; 456_i) de manière à engendrer une unique cavité résonante dans ladite pluralité de résonateurs ($206_1, \dots, 206_M$; $456_1, \dots, 456_M$).
6. Dispositif de filtrage (300) à structure de bandes électriquement conductrices selon la revendication 4, dans lequel les résonateurs ($306_1, \dots, 306_M$) sont tous de longueur nominale (L) sauf N résonateurs courts ($306_{i,1}, \dots, 306_{i,N}$), avec $N \geq 2$, disposés selon un motif périodique de manière à engendrer N cavités résonantes périodiquement réparties dans ladite pluralité de résonateurs ($306_1, \dots, 306_M$).
7. Dispositif de filtrage (400) à structure de bandes électriquement conductrices selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel au moins un résonateur (406_i) est pourvu d'un composant électronique (412) de réglage de sa fréquence électrique équivalente de résonance fondamentale.
8. Dispositif de filtrage (400) à structure de bandes électriquement conductrices selon la revendication 7, dans lequel le composant électronique de réglage (412) comporte l'un des éléments de l'ensemble constitué d'une diode PIN, d'une diode varicap, d'une varistance et d'un transistor.
9. Ensemble filtrant (500 ; 600 ; 700 ; 800) à au moins un port de connexion d'entrée (502_{IN} ; 602_{IN} ; 702_{IN} ; $802_{IN1}, \dots, 802_{INn}$) et au moins un port de connexion de sortie (502_{OUT} ; 602_{OUT} ; 702_{OUT} ; 802_{OUT}), comportant une pluralité de dispositifs de filtrage ($504, 506 ; 604, 606 ; 704, 706 ; 804_1, \dots, 804_n$) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel :
 - les bandes électriquement conductrices formant les lignes de transmission et les résonateurs des dispositifs de filtrage ($504, 506 ; 604, 606 ; 704, 706 ; 804_1, \dots, 804_n$) sont imprimées sur une même face d'un même substrat,
 - les dispositifs de filtrage ($504, 506 ; 604, 606 ; 704, 706 ; 804_1, \dots, 804_n$) sont couplés entre eux en série et/ou en parallèle.
10. Ensemble filtrant (500 ; 600 ; 700) selon la revendication 9, comportant un seul port de connexion d'entrée (502_{IN} ; 602_{IN} ; 702_{IN}) et un seul port de connexion de sortie (502_{OUT} ; 602_{OUT} ; 702_{OUT}), dans lequel les dispositifs de filtrage ($504, 506 ; 604, 606 ; 704, 706$) sont couplés entre eux en série de sorte que le port de connexion d'entrée du premier dispositif de filtrage ($504 ; 604 ; 704$) de la série forme le port de connexion d'entrée (502_{IN} ; 602_{IN} ; 702_{IN}) de l'ensemble filtrant (500 ; 600 ; 700) et le port de connexion de sortie du dernier dispositif de filtrage ($506 ; 606 ; 706$) de la série forme le port de connexion de sortie (502_{OUT} ; 602_{OUT} ; 702_{OUT}) de l'ensemble filtrant (500 ; 600 ; 700).

Patentansprüche

1. Filtriervorrichtung (100; 200; 300; 400; 450) mit elektrisch leitender Streifenstruktur, umfassend:
 - eine Übertragungsleitung (102; 202; 302; 402; 452), gebildet von einem elektrisch leitenden Streifen, der auf eine Seite eines elektrisch isolierenden Substrats (104; 204; 304; 404; 454) gedruckt ist, wobei dieser leitende Streifen zwei Enden ($102_{IN}, 102_{OUT}; 202_{IN}, 202_{OUT}; 302_{IN}, 302_{OUT}; 402_{IN}, 402_{OUT}; 452_{IN}, 452_{OUT}$) aufweist, die jeweils die zwei einzigen Eingangs- und Ausgangsverbindungsports der Filtriervorrichtung (100; 200; 300; 400; 450) bilden,
 - eine Vielzahl von Resonatoren ($106_1, \dots, 106_M; 206_1, \dots, 206_M; 306_1, \dots, 306_M; 406_1, \dots, 406_M; 456_1, \dots, 456_M$), wobei jeder Resonator einen

- elektrisch leitenden Streifen umfasst, der auf der Seite des Substrats (104; 204; 304; 404; 454) gedruckt ist,
- wobei der leitende Streifen jedes Resonators (106₁, ..., 106_M; 206₁, ..., 206_M; 306₁, ..., 306_M; 406₁, ..., 406_M; 456₁, ..., 456_M) ein erstes Ende (108₁, ..., 108_M; 208₁, ..., 208_M; 308₁, ..., 308_M; 408₁, ..., 408_M; 458₁, ..., 458_M) aufweist, das an die Übertragungsleitung zwischen den zwei Verbindungsports gekoppelt ist, und mindestens ein zweites Ende (110₁, ..., 110_M; 210₁, ..., 210_M; 310₁, ..., 310_M; 410₁, ..., 410_M; 460₁, ..., 460_M), das frei ist oder derart an eine Masse angeschlossen ist, das eine effektive Grundresonanzwellenlänge erzeugt wird, die für jeden Resonator auf der Seite des Substrats spezifisch ist, wobei die Filtriervorrichtung **dadurch gekennzeichnet ist, dass**
 - für jedes Paar benachbarter Resonatoren der Vielzahl von Resonatoren der Abstand (e_1 , ..., e_{M-1}) zwischen den ersten Enden der zwei benachbarten Resonatoren dieses Paares kleiner als ein Zehntel der kleinsten effektiven Grundresonanzwellenlänge der Vielzahl von Resonatoren (106₁, ..., 106_M; 206₁, ..., 206_M; 306₁, ..., 306_M; 406₁, ..., 406_M; 456₁, ..., 456_M) auf der Seite des Substrats ist.
2. Filtriervorrichtung (100; 200; 300; 400) mit elektrisch leitender Streifenstruktur nach Anspruch 1, wobei die leitenden Streifen, welche die Übertragungsleitung (102; 202; 302; 402) und die Resonatoren (106₁, ..., 106_M; 206₁, ..., 206_M; 306₁, ..., 306_M; 406₁, ..., 406_M) bilden, geradlinig sind, wobei die Resonatoren im Übrigen derart parallel zueinander sind, dass sie einen Resonatorkamm bilden.
 3. Filtriervorrichtung (100; 200; 300; 400) mit elektrisch leitender Streifenstruktur nach Anspruch 2, wobei die Resonatoren (106₁, ..., 106_M; 206₁, ..., 206_M; 306₁, ..., 306_M; 406₁, ..., 406_M) senkrecht zu der Übertragungsleitung (102; 202; 302; 402) sind.
 4. Filtriervorrichtung (200; 300; 450) mit elektrisch leitender Streifenstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Resonatoren (206₁, ..., 206_M; 306₁, ..., 306_M; 456₁, ..., 456_M) alle dieselbe nominale Länge (L) haben, so dass eine selbe nominale effektive Grundresonanzwellenlänge erzeugt wird, bis auf mindestens einen kurzen Resonator (206_i; 306_{i,1}, ..., 306_{i,N}; 456_i), wobei jeder kurze Resonator von zwei benachbarten Resonatoren nominaler Länge umgeben ist und eine geringere Länge als die nominale Länge hat, so dass mindestens ein Resonanzhohlraum in der Vielzahl von Resonatoren (206₁, ..., 206_M; 306₁, ..., 306_M; 456₁, ..., 456_M) erzeugt wird.
 5. Filtriervorrichtung (200; 450) mit elektrisch leitender Streifenstruktur nach Anspruch 4, wobei die Resonatoren (206₁, ..., 206_M; 456₁, ..., 456_M) alle dieselbe nominale Länge (L) haben, bis auf einen einzigen kurzen Resonator (206_i; 456_i), so dass ein einziger Resonanzhohlraum in der Vielzahl von Resonatoren (206₁, ..., 206_M; 456₁, ..., 456_M) erzeugt wird.
 6. Filtriervorrichtung (300) mit elektrisch leitender Streifenstruktur nach Anspruch 4, wobei die Resonatoren (306₁, ..., 306_M) alle eine nominale Länge (L) haben, bis auf N kurze Resonatoren (306_{i,1}, ..., 306_{i,N}) mit $N \geq 2$, die gemäß einem periodischen Motiv derart angeordnet sind, dass N Resonanzhöhlräume erzeugt werden, die in der Vielzahl von Resonatoren (306₁, ..., 306_M) periodisch verteilt sind.
 7. Filtriervorrichtung (400) mit elektrisch leitender Streifenstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei mindestens ein Resonator (406_i) mit einer elektronischen Regelkomponente (412) seiner elektrischen Frequenz entsprechend der Grundresonanz ausgestattet ist.
 8. Filtriervorrichtung (400) mit elektrisch leitender Streifenstruktur nach Anspruch 7, wobei die elektrische Regelkomponente (412) eines der Elemente der Einheit umfasst, die von einer PIN-Diode, einer Varicap-Diode, einem Varistor und einem Transistor gebildet ist.
 9. Filtriereinheit (500; 600; 700; 800) mit mindestens einem Eingangsverbindungsport (502_{IN}; 602_{IN}; 702_{IN}; 802_{IN1}, ..., 802_{INN}) und mindestens einen Ausgangsverbindungsport (502_{OUT}; 602_{OUT}; 702_{OUT}; 802_{OUT}), umfassend eine Vielzahl von Filtriervorrichtungen (504, 506; 604, 606; 704, 706; 804₁, ..., 804_N) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei:
 - die elektrisch leitenden Streifen, welche die Übertragungsleitungen und die Resonatoren der Filtriervorrichtungen (504, 506; 604, 606; 704, 706; 804₁, ..., 804_N) bilden, auf einer selben Seite eines selben Substrats gedruckt sind,
 - die Filtriervorrichtungen (504, 506; 604, 606; 704, 706; 804₁, ..., 804_N) untereinander in Reihe und/oder parallel gekoppelt sind.
 10. Filtriereinheit (500; 600; 700) nach Anspruch 9, umfassend einen einzigen Eingangsverbindungsport (502_{IN}; 602_{IN}; 702_{IN}) und einen einzigen Ausgangsverbindungsport (502_{OUT}; 602_{OUT}; 702_{OUT}), wobei die Filtriervorrichtungen (504, 506; 604, 606; 704, 706) untereinander derart in Reihe gekoppelt sind, dass der Eingangsverbindungsport der ersten Filtriervorrichtung (504; 604; 704) der Reihe den Eingangsverbindungsport (502_{IN}; 602_{IN}; 702_{IN}) der Filtriereinheit (500; 600; 700) bildet und der Ausgangs-

verbindungsport der letzten Filtriervorrichtung (506; 606; 706) der Reihe den Ausgangsverbindungsport (502_{OUT}; 602_{OUT}; 702_{OUT}) der Filtriereinheit (500; 600; 700) bildet.

Claims

1. Filter device (100; 200; 300; 400; 450) with an electrically conducting strip structure, comprising:

- a transmission line (102; 202; 302; 402; 452) formed by an electrically conducting strip printed on a surface of an electrically insulating substrate (104; 204; 304; 404; 454), said conducting strip having two ends (102_{IN}, 102_{OUT}; 202_{IN}, 202_{OUT}; 302_{IN}, 302_{OUT}; 402_{IN}, 402_{OUT}; 452_{IN}, 452_{OUT}) respectively forming the two sole input and output connection ports of the filter device (100; 200; 300; 400; 450),

- a plurality of resonators (106₁, ..., 106_M; 206₁, ..., 206_M; 306₁, ..., 306_M; 406₁, ..., 406_M; 456₁, ..., 456_M), each resonator comprising an electrically conducting strip printed on said surface of the substrate (104; 204; 304; 404; 454),
- the conducting strip of each resonator (106₁, ..., 106_M; 206₁, ..., 206_M; 306₁, ..., 306_M; 406₁, ..., 406_M; 456₁, ..., 456_M) has a first end (108₁, ..., 108_M; 208₁, ..., 208_M; 308₁, ..., 308_M; 408₁, ..., 408_M; 458₁, ..., 458_M) coupled to the transmission line between the two connection ports and at least one second end (110₁, ..., 110_M; 210₁, ..., 210_M; 310₁, ..., 310_M; 410₁, ..., 410_M; 460₁, ..., 460_M) that is free or connected to a ground so as to create an effective fundamental resonant wavelength specific to each resonator on said surface of the substrate, the filtering device being **characterized in that:**

- for each pair of neighbouring resonators of the plurality of resonators, the distance (e_1 , ..., e_{M-1}) between the first ends of two neighbouring resonators of this pair is less than one tenth of the smallest effective fundamental resonant wavelength of the plurality of resonators (106₁, ..., 106_M; 206₁, ..., 206_M; 306₁, ..., 306_M; 406₁, ..., 406_M; 456₁, ..., 456_M) on said surface of the substrate.

2. Filter device (100; 200; 300; 400) with an electrically conducting strip structure according to claim 1, wherein the conducting strips forming the transmission line (102; 202; 302; 402) and the resonators (106₁, ..., 106_M; 206₁, ..., 206_M; 306₁, ..., 306_M; 406₁, ..., 406_M) are rectilinear, the resonators also being parallel to each other so as to form a resonator comb.

3. Filter device (100; 200; 300; 400) with an electrically

conducting strip structure according to claim 2, wherein the resonators (106₁, ..., 106_M; 206₁, ..., 206_M; 306₁, ..., 306_M; 406₁, ..., 406_M) are perpendicular to the transmission line (102; 202; 302; 402).

4. Filter device (200; 300; 450) with an electrically conducting strip structure according to any one of claims 1 to 3, wherein the resonators (206₁, ..., 206_M; 306₁, ..., 306_M; 456₁, ..., 456_M) all have the same nominal length (L), so as to produce the same nominal effective fundamental resonant wavelength, with the exception of at least one short resonator (206_i; 306_{i,1}, ..., 306_{i,N}; 456_i), each short resonator being surrounded by two neighbouring resonators of nominal length and having a length that is less than the nominal length so as to produce at least one resonant cavity in said plurality of resonators (206₁, ..., 206_M; 306₁, ..., 306_M; 456₁, ..., 456_M).

5. Filter device (200; 450) with an electrically conducting strip structure according to claim 4, wherein the resonators (206₁, ..., 206_M; 456₁, ..., 456_M) all have a nominal length (L) except for a single short resonator (206_i; 456_i) so as to produce a single resonant cavity in said plurality of resonators (206₁, ..., 206_M; 456₁, ..., 456_M).

6. Filter device (300) with an electrically conducting strip structure according to claim 4, wherein the resonators (306₁, ..., 306_M) all have a nominal length (L) except for N short resonators (306_{i,1}, ..., 306_{i,N}), where $N \geq 2$, positioned according to a periodic pattern so as to produce N resonant cavities periodically distributed in said plurality of resonators (306₁, ..., 306_M).

7. Filter device (400) with an electrically conducting strip structure according to any one of claims 1 to 6, wherein at least one resonator (406_i) is equipped with an electronic component (412) for adjusting its fundamental resonance equivalent electrical frequency.

8. Filter device (400) with an electrically conducting strip structure according to claim 7, wherein the electronic adjustment component (412) comprises one of the elements of the set consisting of a PIN diode, a varicap diode, a varistor and a transistor.

9. Filtering assembly (500; 600; 700; 800) with at least one input connection port (502_{IN}; 602_{IN}; 702_{IN}; 802_{IN1}, ..., 802_{INn}) and at least one output connection port (502_{OUT}; 602_{OUT}; 702_{OUT}; 802_{OUT}), comprising a plurality of filter devices (504, 506; 604, 606; 704, 706; 804₁, ..., 804_n) according to any one of claims 1 to 8, wherein:

- the electrically conducting strips forming the

transmission lines and the resonators of the filter devices (504, 506; 604, 606; 704, 706; 804₁, ..., 804_n) are printed on the same surface of the same substrate,

- the filter devices (504, 506; 604, 606; 704, 706; 804₁, ..., 804_n) are coupled to each other in series and/or in parallel. 5

10. Filtering assembly (500; 600; 700) according to claim 9, comprising a single input connection port (502_{IN}; 602_{IN}; 702_{IN}) and a single output connection port (502_{OUT}; 602_{OUT}; 702_{OUT}), wherein the filter devices (504, 506; 604, 606; 704, 706) are coupled to each other via a series connection such that the input connection port of the first filter device (504; 604; 704) of the series forms the input connection port (502_{IN}; 602_{IN}; 702_{IN}) of the filtering assembly (500; 600; 700) and the output connection port of the last filter device (506; 606; 706) of the series forms the output connection port (502_{OUT}; 602_{OUT}; 702_{OUT}) of the filtering assembly (500; 600; 700). 10 15 20

25

30

35

40

45

50

55

Figure 1

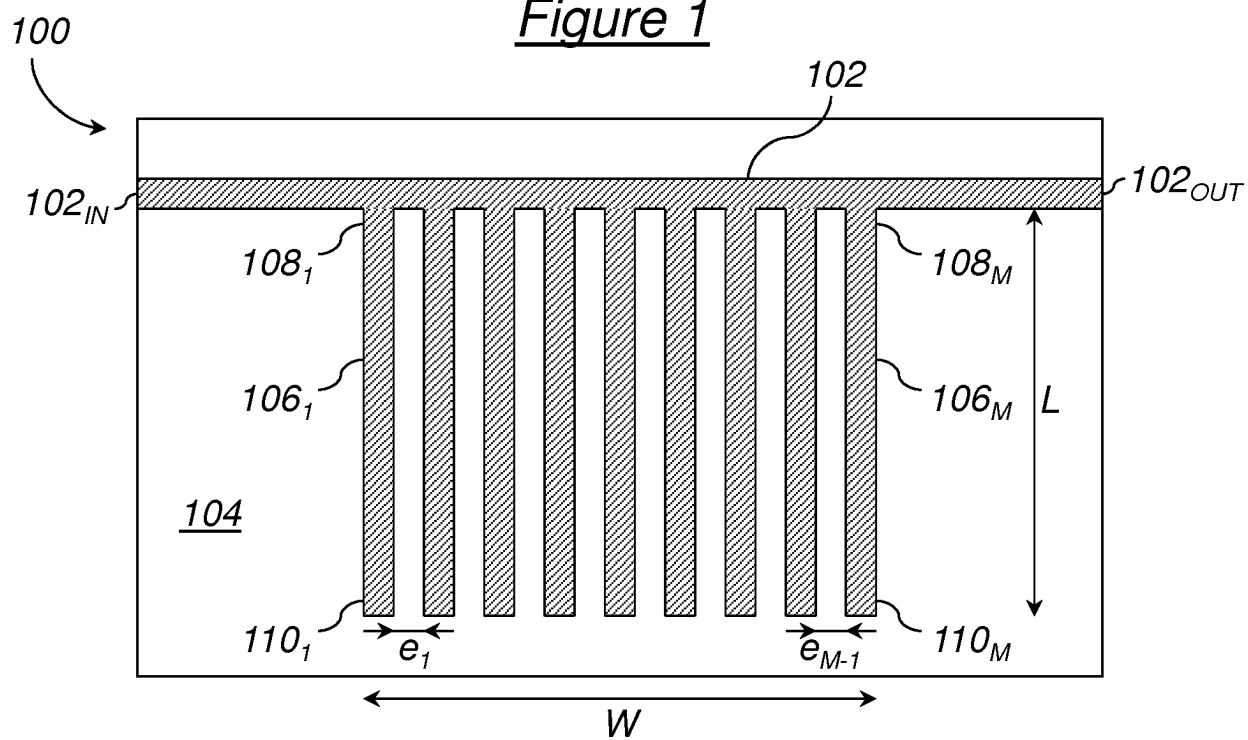


Figure 2

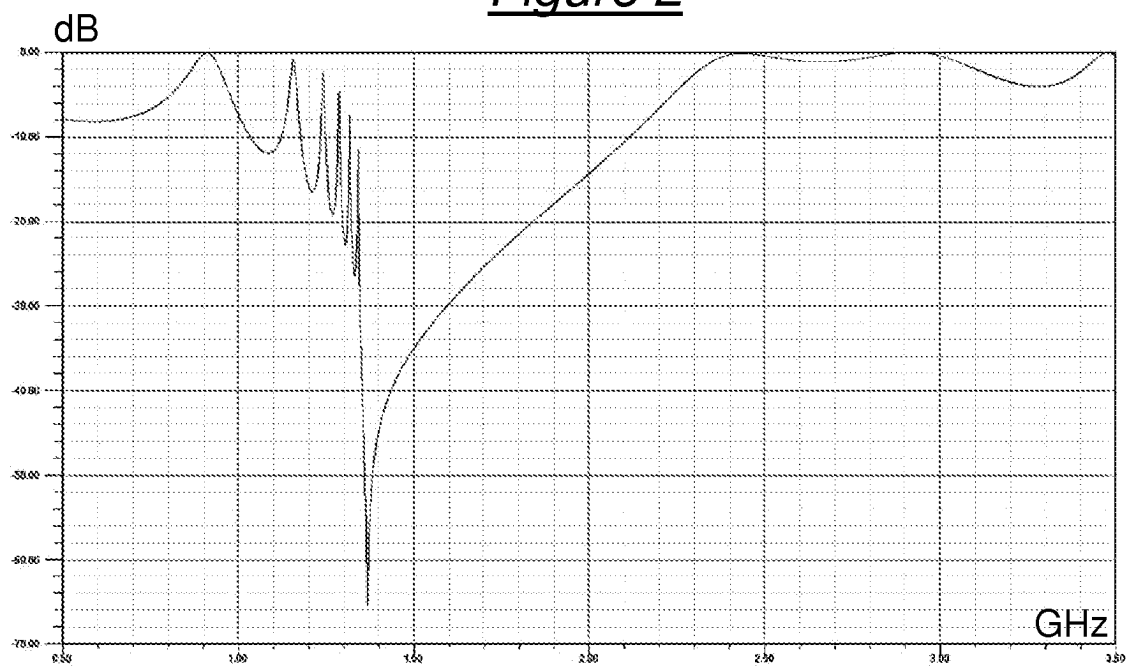


Figure 3

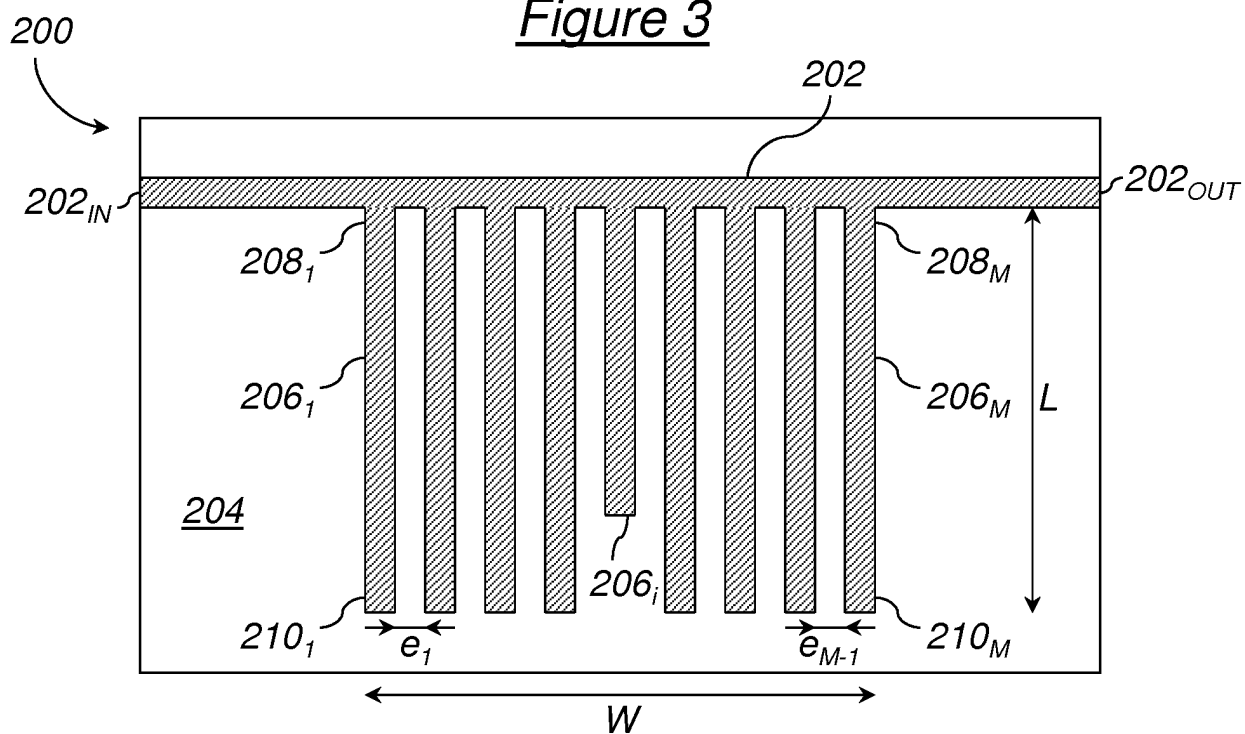


Figure 4

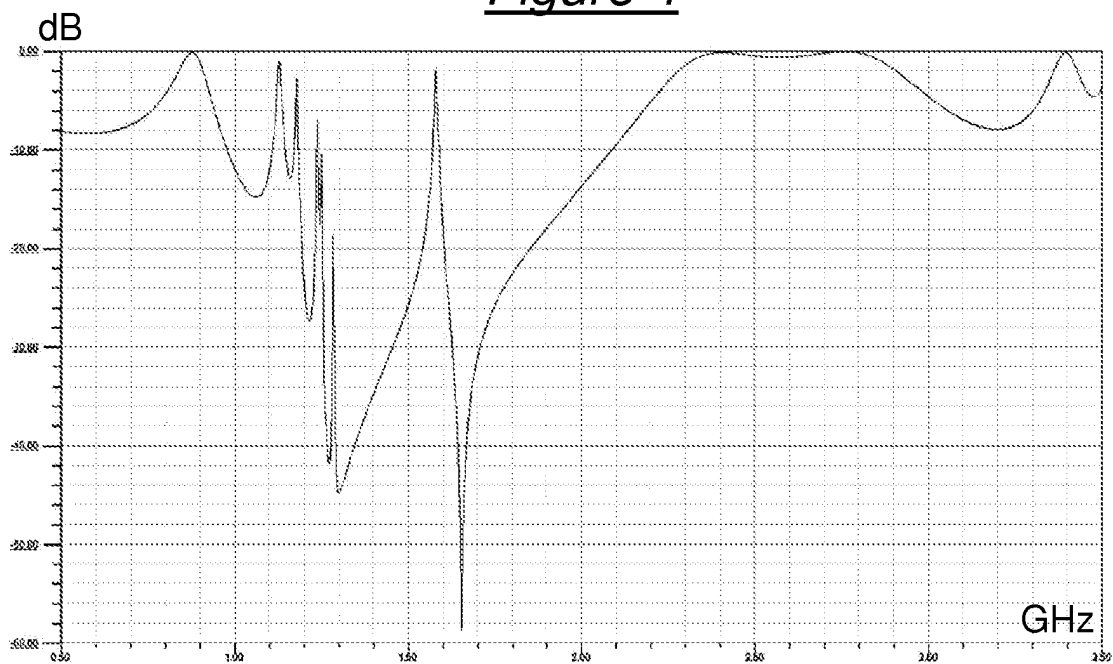


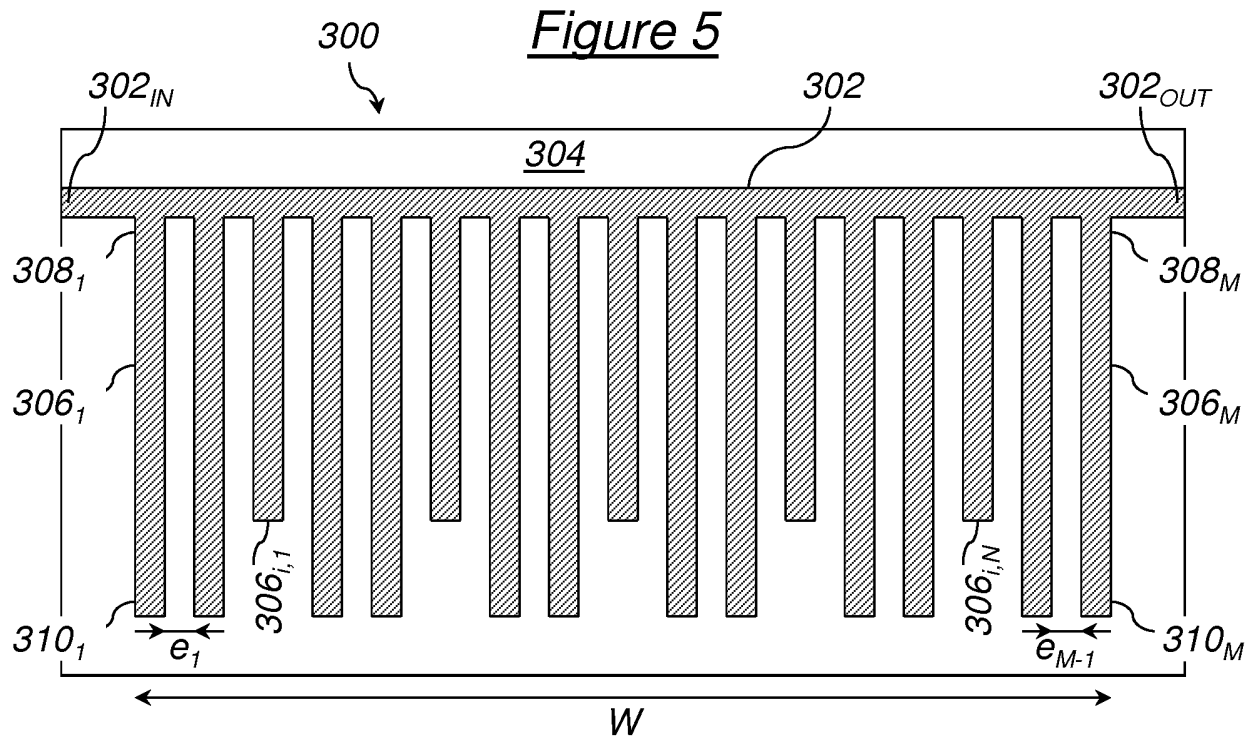
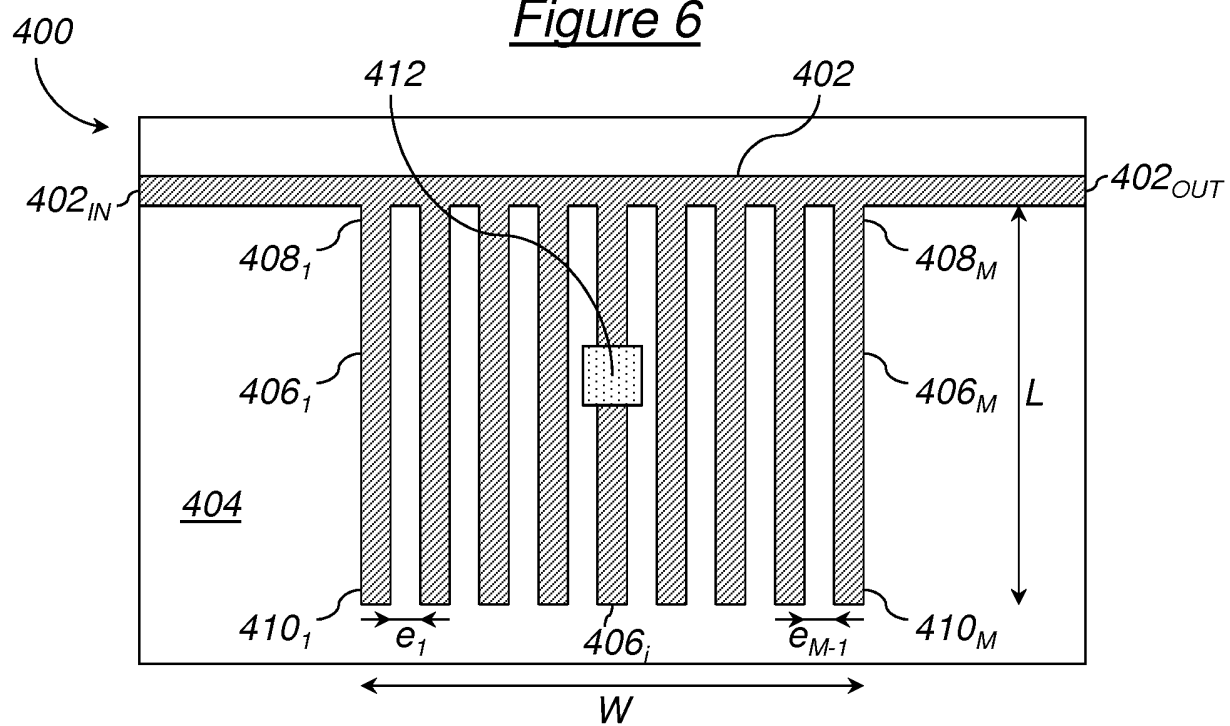
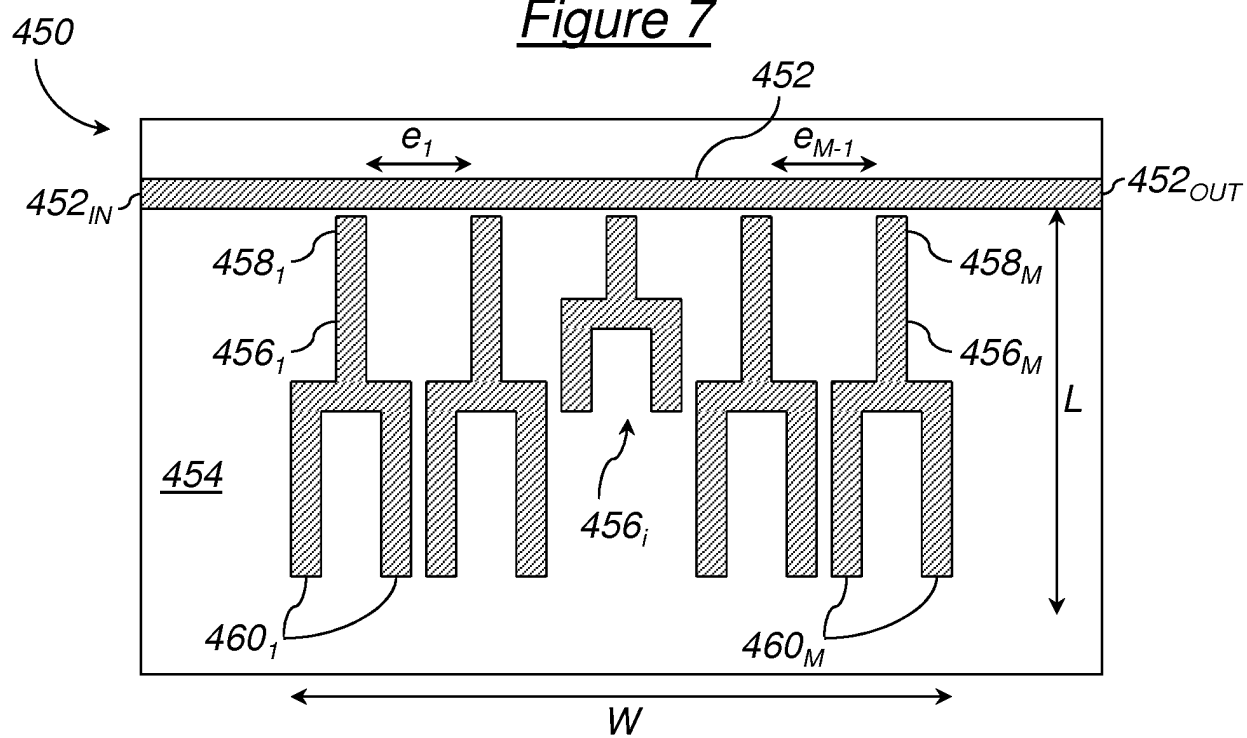
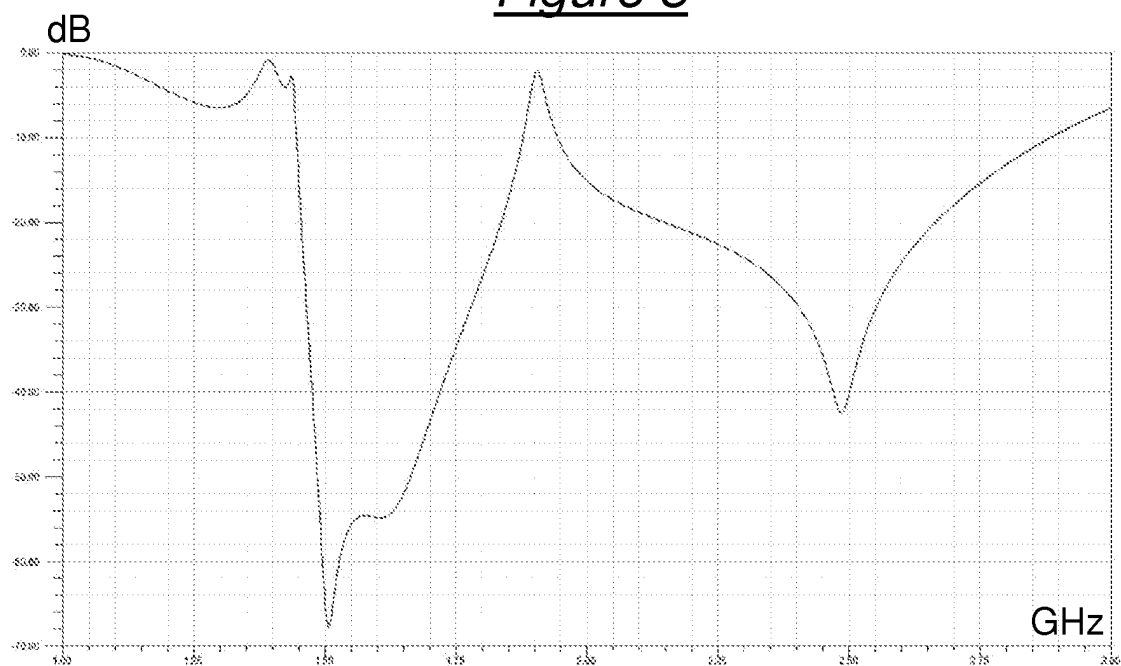
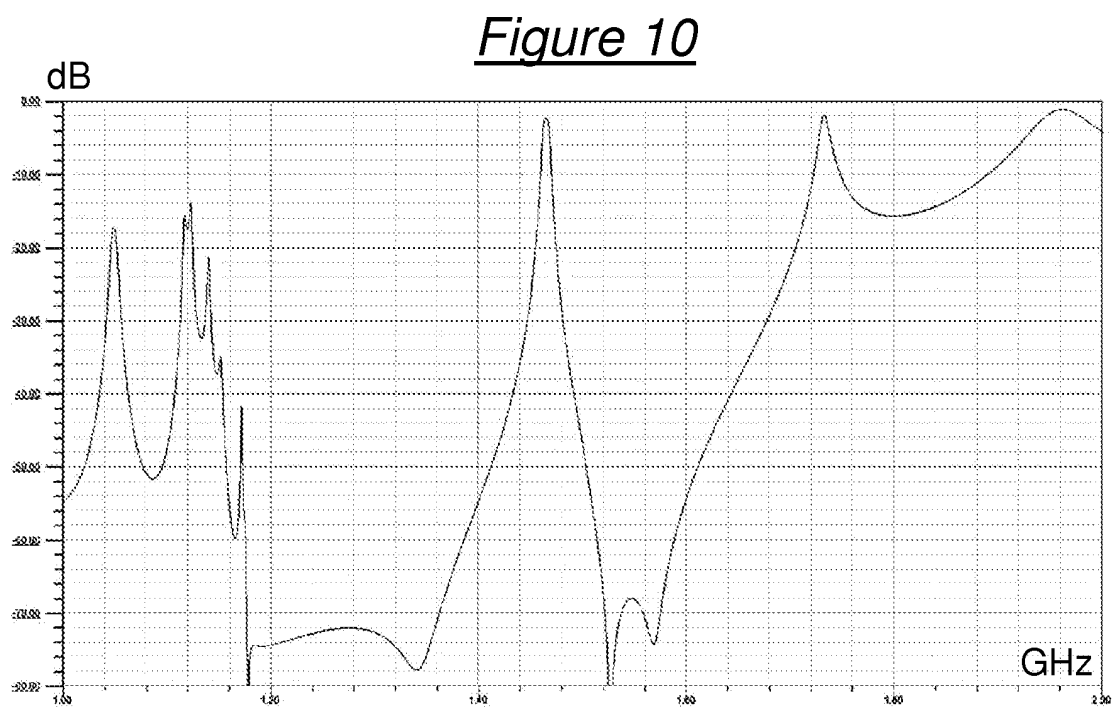
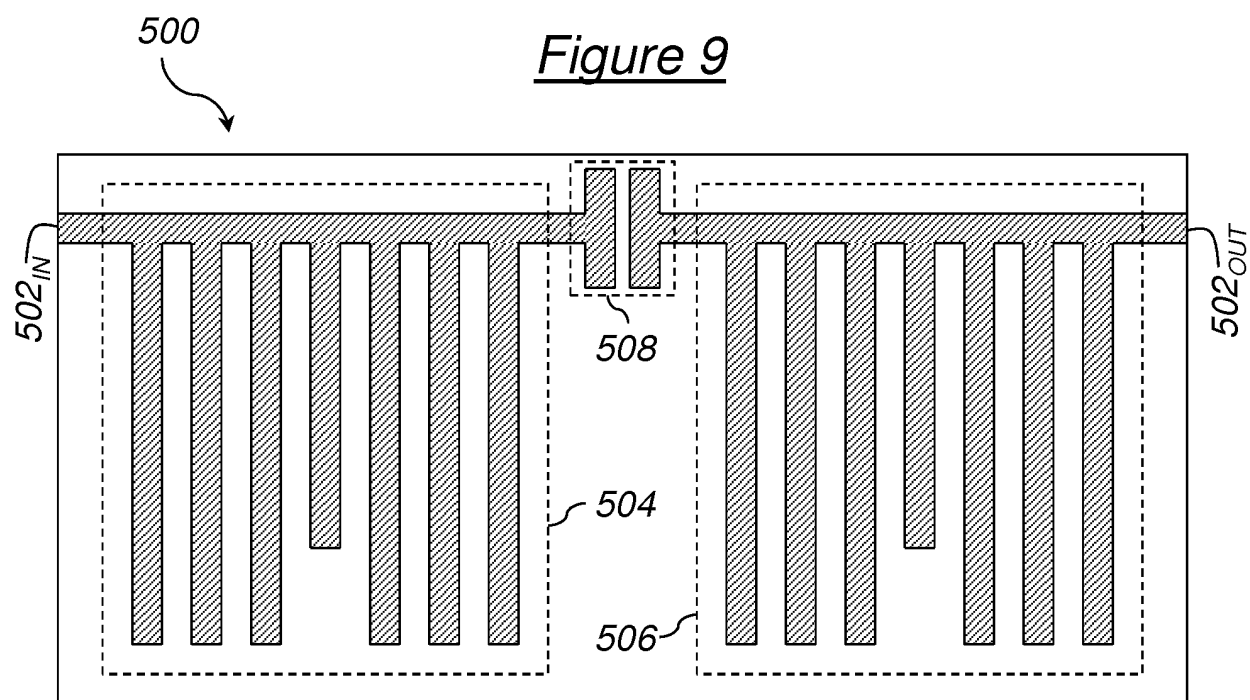
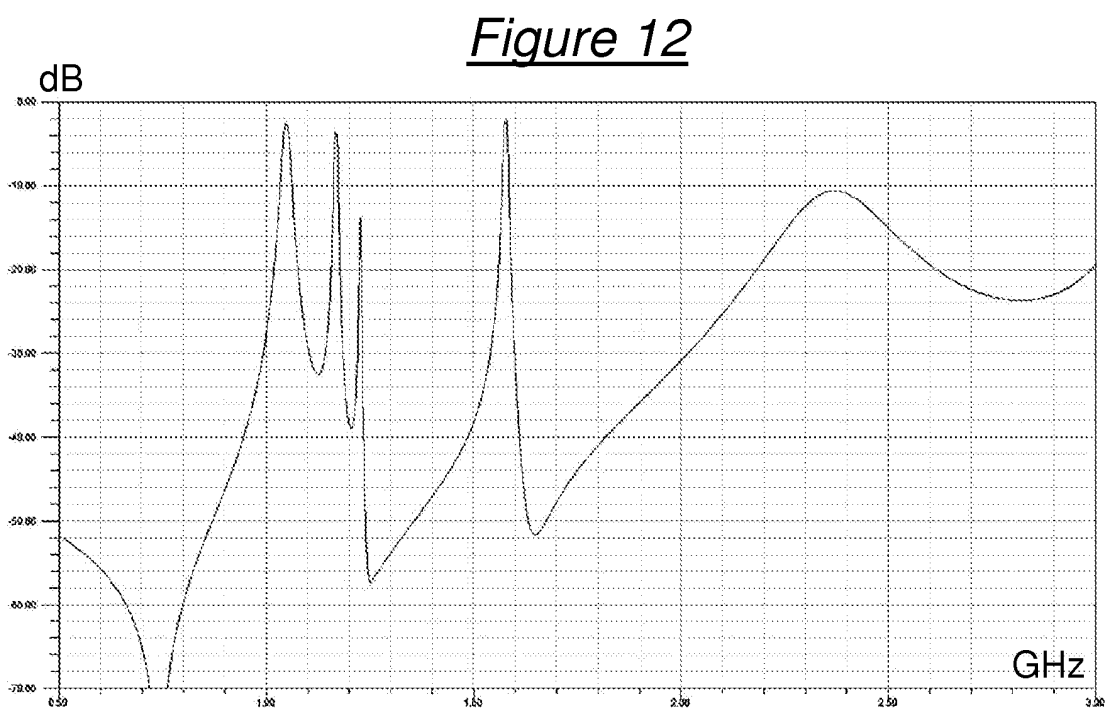
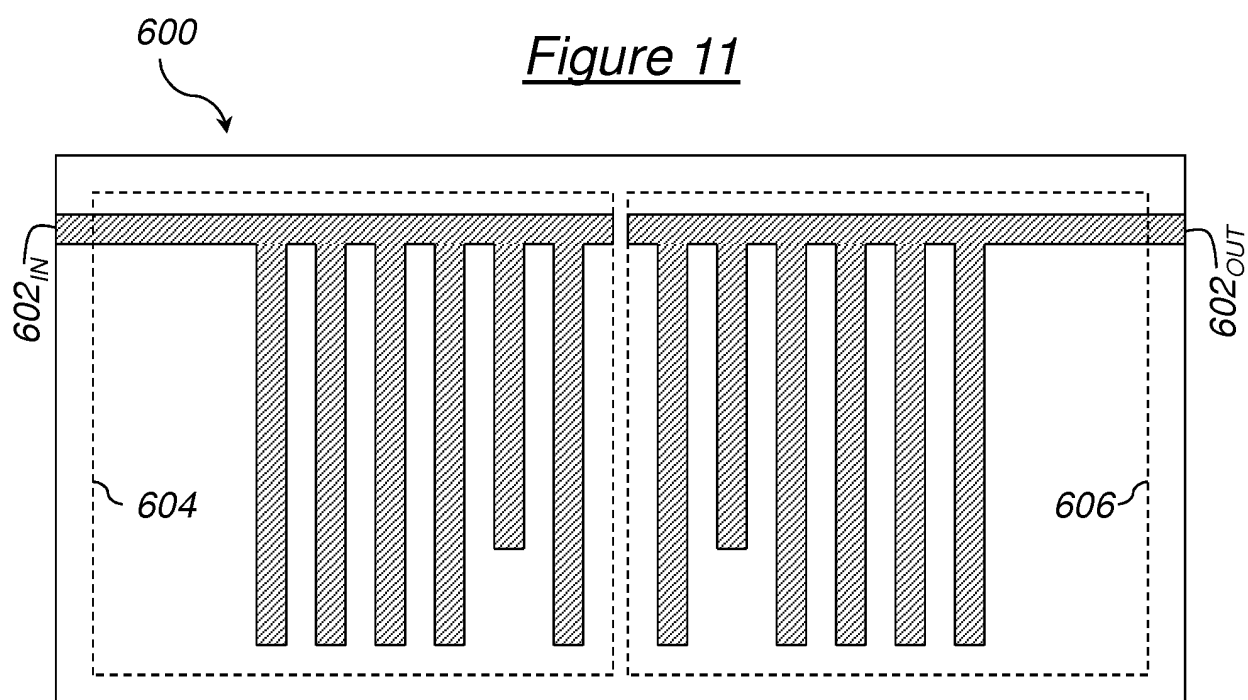
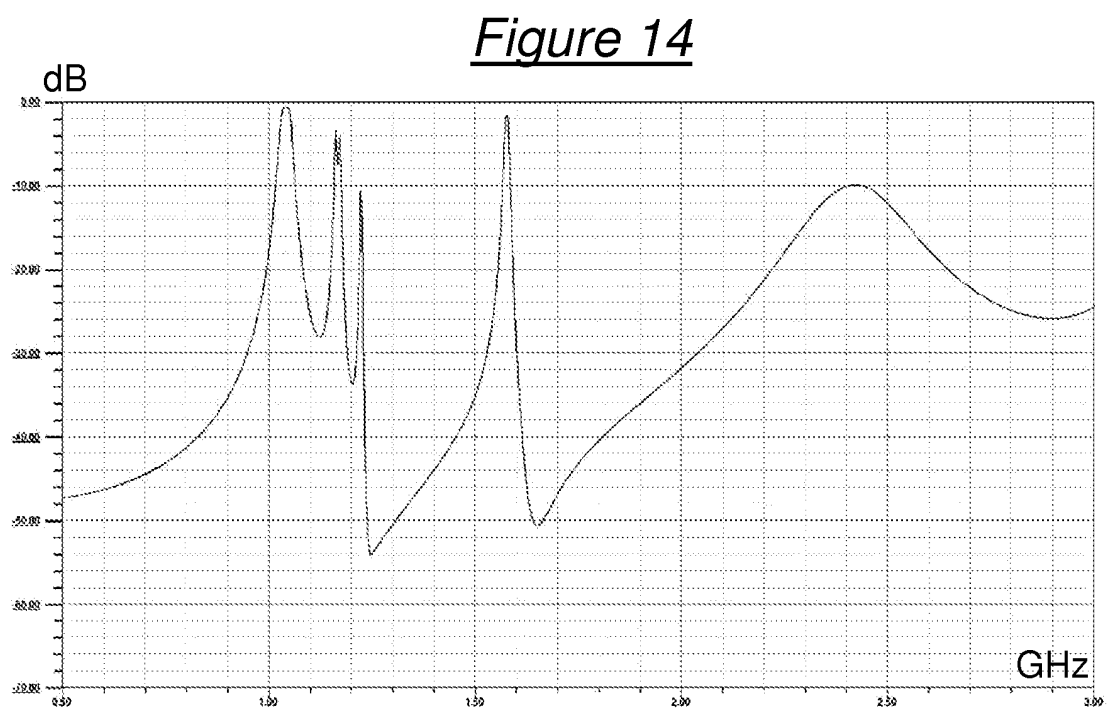
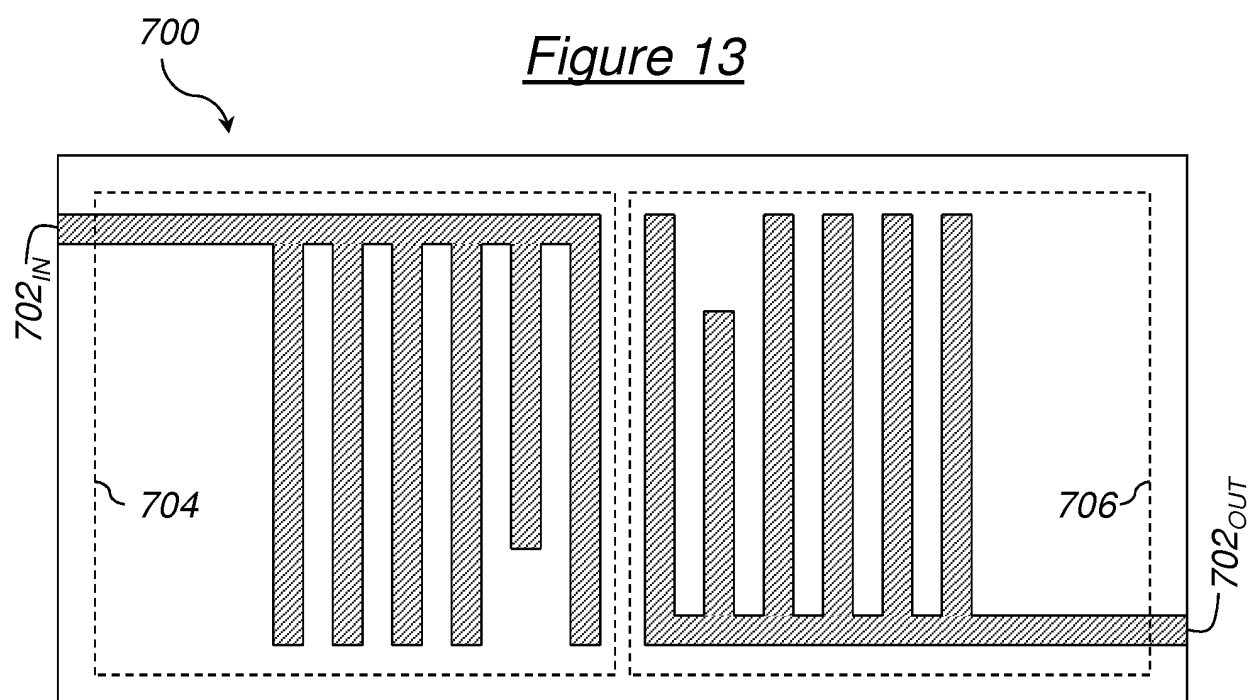
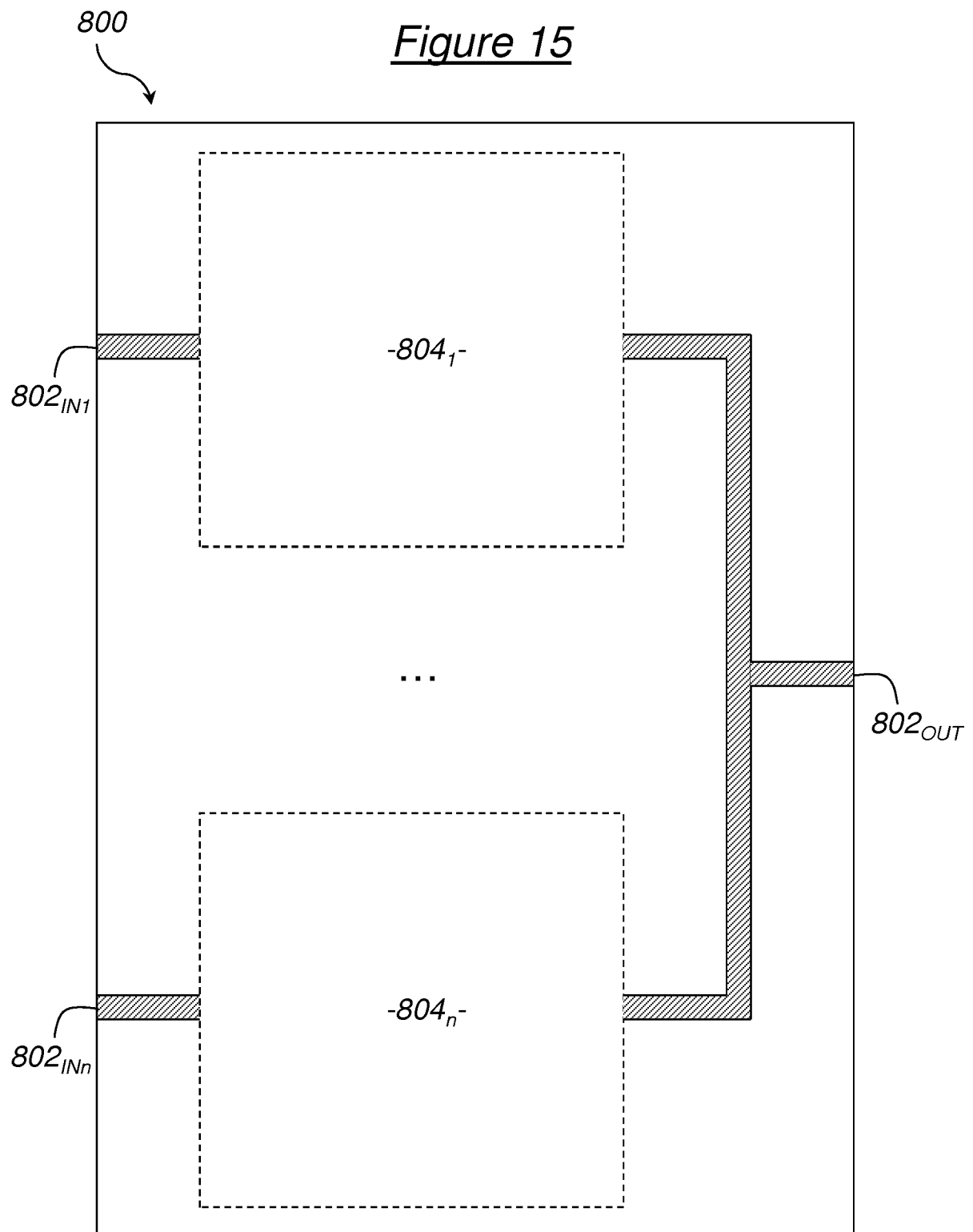
Figure 5Figure 6

Figure 7Figure 8









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 3875538 A [0005]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **JIA-SHENG HONG.** Microstrip filters for RF micro-wave applications. Wiley, 2011 [0005]