



(11)

EP 2 256 752 A2

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
01.12.2010 Bulletin 2010/48

(51) Int Cl.:
H01F 19/04^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **10164168.6**

(22) Date de dépôt: **27.05.2010**

(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 SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME RS

(72) Inventeurs:
• **Belot, Didier**
38140 Rives (FR)
• **Leite, Bernardo**
33400 Talence (FR)
• **Kerherve, Eric**
33400 Talence (FR)
• **Begueret, Jean-Baptiste**
33700 Merignac (FR)

(30) Priorité: **27.05.2009 FR 0953496**

(71) Demandeurs:
• **STmicroelectronics SA**
92120 Montrouge (FR)
• **Centre National de la Recherche Scientifique**
75794 Paris Cedex 16 (FR)

(74) Mandataire: **de Beaumont, Michel**
Cabinet Beaumont
1, rue Champollion
38000 Grenoble (FR)

(54) **Transformateur d'ondes millimétriques à fort coefficient de transformation et à faibles pertes d'insertion**

(57) L'invention concerne un transformateur d'ondes millimétriques comportant au primaire un tour (23) constitué d'une piste conductrice réalisée dans au moins un premier niveau de métallisation (M1), et au secondaire un enroulement (25) en regard du tour primaire, compor-

tant au moins un tour constitué d'une piste conductrice réalisée dans au moins un second niveau de métallisation (M2) isolé dudit au moins un premier niveau, la largeur de piste du tour primaire étant au moins égale à la largeur totale de l'enroulement secondaire.

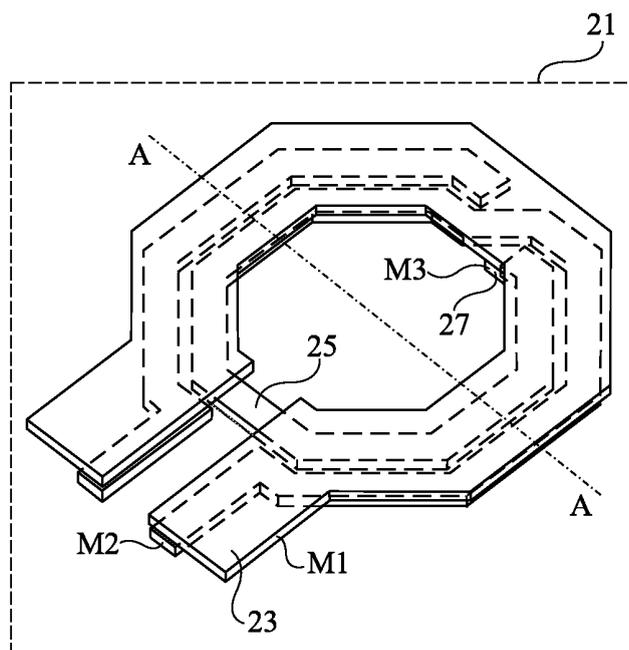


Fig 3A

EP 2 256 752 A2

Description

Domaine de l'invention

[0001] La présente invention concerne les transformateurs de signaux alternatifs à longueurs d'ondes millimétriques, c'est-à-dire dont la fréquence est comprise entre environ 30 GHz et environ 300 GHz.

Exposé de l'art antérieur

[0002] La figure 1 représente le schéma électrique d'un transformateur 1. Aux bornes d'un enroulement primaire 3 est appliqué un signal alternatif IN. Un enroulement secondaire 5, couplé à l'enroulement primaire 3, fournit à ses bornes un signal OUT de même fréquence que le signal IN mais de tension V_{OUT} pouvant être supérieure ou inférieure à la tension V_{IN} du primaire. Le transformateur 1 est utilisé pour élever ou abaisser la tension V_{IN} du signal alternatif IN d'entrée, pour isoler l'un par rapport à l'autre deux circuits, pour filtrer une éventuelle composante continue du signal IN ou pour adapter les impédances entre différents composants d'un circuit. Le coefficient de transformation n du transformateur 1 fixe la valeur V_{OUT} de la tension de sortie selon la règle $V_{OUT} = n \cdot V_{IN}$. Le coefficient n est lié à la

valeur $\sqrt{L_s / L_p}$, où L_s et L_p sont les inductances respectives des enroulements secondaire et primaire.

[0003] Certaines applications nécessitent des transformateurs aptes à traiter des signaux de longueurs d'ondes millimétriques. On pourra par exemple citer de façon non limitative les radars automobiles européens (80 GHz) et la diffusion de vidéo à haute définition sur réseaux sans fil (60 GHz). Aux longueurs d'ondes millimétriques, les valeurs L_s et L_p varient beaucoup avec la fréquence, notamment en raison de l'effet de peau et de la faible épaisseur de peau dans laquelle un signal haute fréquence se propage dans un conducteur (0,27 μm dans du cuivre à 60 GHz). Une autre difficulté réside dans le fait que la fréquence de résonance du transformateur, c'est-à-dire la fréquence à partir de laquelle le transformateur n'est plus opérationnel, diminue lorsque le nombre de tours des enroulements augmente. En pratique, les transformateurs d'ondes millimétriques ne peuvent pas avoir plus de deux tours par enroulement.

[0004] La figure 2A est une vue en perspective d'un transformateur d'ondes millimétriques 11. Le transformateur 11 comporte un enroulement primaire 13, constitué d'un tour formé dans un niveau de métallisation M1, et un enroulement secondaire 15, constitué de deux tours essentiellement formés dans un même niveau de métallisation M2 inférieur au niveau M1. L'intersection entre les deux tours constituant l'enroulement secondaire 15 passe par un tronçon conducteur 17, formé dans un niveau de métallisation M3 inférieur au niveau M2 et relié aux tours par des vias (non représentés). L'enroulement

primaire 13 est disposé au dessus de l'enroulement secondaire 15, de façon que le diamètre moyen (moyenne du diamètre extérieur et du diamètre intérieur) de l'enroulement primaire coïncide avec le diamètre moyen de l'enroulement secondaire. De façon classique, dans le domaine des circuits intégrés comprenant des éléments passifs, les enroulements primaires et secondaires sont constitués de pistes conductrices de largeurs identiques (par exemple 4 μm) formées dans des niveaux de métallisation successifs isolés les uns des autres.

[0005] La figure 2B est une vue en coupe du transformateur 11 de la figure 2A selon un plan schématisé par la ligne A de la figure 2A. L'enroulement primaire 13 et l'enroulement secondaire 15 sont séparés par une couche isolante 19.

[0006] Un inconvénient des transformateurs de ce type réside dans les pertes d'insertion élevées qu'ils introduisent, en raison notamment de la résistivité non négligeable des enroulements.

[0007] En outre, le coefficient de transformation n du transformateur 11 est déterminé par les inductances L_p et L_s des enroulements primaire et secondaire. Ces inductances dépendent fortement de la fréquence de travail. Il serait souhaitable, à une fréquence de travail donnée, de pouvoir augmenter le coefficient de transformation n, c'est-à-dire augmenter le rapport entre les inductances L_s et L_p .

Résumé

[0008] Ainsi, un objet d'un mode de réalisation de la présente invention est de proposer un transformateur d'ondes millimétriques palliant tous ou au moins certains des inconvénients cités ci-dessus des solutions de l'art antérieur.

[0009] Un objet d'un mode de réalisation de la présente invention est de proposer un tel transformateur présentant un fort coefficient de transformation.

[0010] Un objet d'un mode de réalisation de la présente invention est de proposer un tel transformateur à faibles pertes d'insertion.

[0011] De façon générale, l'invention prévoit un transformateur d'ondes millimétriques dans lequel la largeur de piste de l'enroulement primaire est supérieure à la largeur de piste de l'enroulement secondaire.

[0012] Ainsi, un mode de réalisation de la présente invention prévoit un transformateur d'ondes millimétriques comportant au primaire un tour constitué d'une piste conductrice réalisée dans au moins un premier niveau de métallisation, et au secondaire un enroulement en regard du tour primaire, comportant au moins un tour constitué d'une piste conductrice réalisée dans au moins un second niveau de métallisation isolé dudit au moins un premier niveau, la largeur de piste du tour primaire étant au moins égale à la largeur totale de l'enroulement secondaire.

[0013] Selon un mode de réalisation de la présente invention, l'enroulement secondaire est disposé en re-

gard de la partie extérieure du tour primaire, de façon que le périmètre extérieur de l'enroulement secondaire coïncide avec le périmètre extérieur du tour primaire.

[0014] Selon un mode de réalisation de la présente invention, l'enroulement secondaire comporte deux tours réalisés dans ledit au moins un second niveau de métallisation, l'intersection entre ces deux tours étant réalisée dans un troisième niveau de métallisation isolé du premier niveau.

[0015] Selon un mode de réalisation de la présente invention, les pistes conductrices sont des pistes de cuivre.

[0016] Un mode de réalisation de la présente invention prévoit un procédé d'ajustement du coefficient de transformation d'un transformateur d'ondes millimétriques comportant au primaire un tour constitué d'une piste conductrice réalisée dans au moins un premier niveau de métallisation, et au secondaire un enroulement en regard du tour primaire, comportant au moins un tour constitué d'une piste conductrice réalisée dans au moins un second niveau de métallisation isolé dudit au moins un premier niveau, la largeur de piste du tour primaire étant supérieure à la largeur totale de l'enroulement secondaire, ce procédé comportant une étape d'ajustement de la position de l'enroulement secondaire, vers la partie extérieure du tour primaire pour augmenter ledit coefficient et vers la partie intérieure du tour primaire pour diminuer ledit coefficient.

Breve description des dessins

[0017] Ces objets, caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non-limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

la figure 1, précédemment décrite, représente le schéma électrique d'un transformateur ;

la figure 2A, précédemment décrite, est une vue en perspective d'un transformateur d'ondes millimétriques ;

la figure 2B, précédemment décrite, est une vue en coupe du transformateur de la figure 2A ;

la figure 3A est une vue en perspective représentant un exemple de transformateur d'ondes millimétriques selon un mode de réalisation de l'invention ;

la figure 3B est une vue en coupe du transformateur de la figure 3A ;

les figures 4A et 4B représentent les évolutions du coefficient de transformation et des pertes d'insertion en fonction de la fréquence du signal d'entrée pour les transformateurs des figures 2A et 3A ;

la figure 5A est une vue en perspective représentant un exemple de transformateur d'ondes millimétriques selon un autre mode de réalisation de l'invention ;

la figure 5B est une vue en coupe du transformateur

de la figure 5A ;

la figure 6A est une vue en perspective d'un exemple de transformateur d'ondes millimétriques selon un autre mode de réalisation de l'invention ;

la figure 6B est une vue en coupe du transformateur de la figure 6A ; et

La figure 7 représente l'évolution du coefficient de transformation en fonction de la fréquence du signal d'entrée pour les transformateurs des figures 5A et 6A.

Description détaillée

[0018] Par souci de clarté, de mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références aux différentes figures et, de plus, comme cela est habituel dans la représentation des circuits intégrés, les diverses figures ne sont pas tracées à l'échelle.

[0019] La figure 3A est une vue en perspective d'un transformateur d'ondes millimétriques 21. Le transformateur 21 comporte un enroulement primaire 23, constitué d'un tour formé dans un niveau de métallisation M1, et un enroulement secondaire 25, constitué de deux tours formés essentiellement dans un même niveau de métallisation M2 inférieur au niveau M1. L'intersection entre les deux tours constituant l'enroulement secondaire 25 passe par un tronçon conducteur 27, formé dans un niveau de métallisation M3 inférieur au niveau M2 et relié aux tours par des vias (non représentés). L'enroulement primaire 23 est disposé au dessus de l'enroulement secondaire 25, de façon que le diamètre moyen (moyenne du diamètre externe et du diamètre interne) de l'enroulement primaire coïncide avec le diamètre moyen de l'enroulement secondaire.

[0020] La figure 3B est une vue en coupe du transformateur 21 de la figure 3A selon un plan schématisé par la ligne A de la figure 3A. Les pistes conductrices sont séparées les unes des autres par un isolant 29.

[0021] Comme cela est illustré, la largeur de piste de l'enroulement primaire 23 est supérieure à la largeur de piste de l'enroulement secondaire 25. Selon un mode de réalisation illustré en figures 3A et 3B, la largeur de piste de l'enroulement primaire 23 est supérieure à la largeur totale de l'enroulement secondaire 25, c'est-à-dire, dans ce cas, deux fois la largeur de piste de l'enroulement secondaire plus la largeur de l'isolant 29 compris entre le premier et le second tour de l'enroulement secondaire. On pourra par exemple choisir une largeur de piste de 12 μm pour l'enroulement primaire 23, une largeur de piste de 4 μm pour l'enroulement secondaire 25, et une largeur d'isolant 29 entre le premier et le second tour de l'enroulement secondaire de 1,5 μm .

[0022] La figure 4A représente l'évolution du coefficient de transformation n des transformateurs illustrés par les figures 2A-2B et 3A-3B, en fonction de la fréquence du signal d'entrée. La courbe 31 correspond au cas du transformateur 11 des figures 2A et 2B, pour des largeurs de piste des enroulements primaire et secondaire

égales à 4 μm . La courbe 33 correspond au cas du transformateur 21 des figures 3A et 3B, pour des largeurs de piste des enroulements primaire et secondaire respectivement égales à 12 μm et 4 μm .

[0023] La courbe 33 se situe nettement au dessus de la courbe 31 quelle que soit la fréquence de travail considérée et notamment pour les signaux à longueur d'onde millimétrique. Par exemple, à 60 GHz, le coefficient de transformation du transformateur 11 est égal à 3,11 et celui du transformateur 21 est égal à 4,24.

[0024] La figure 4B représente l'évolution des pertes d'insertion des transformateurs 11 et 21, en fonction de la fréquence du signal d'entrée. La courbe 41 correspond au cas du transformateur 11, pour des largeurs de piste des enroulements primaire et secondaire égales à 4 μm . La courbe 43 correspond au cas du transformateur 21, pour des largeurs de piste des enroulements primaire et secondaire respectivement égales à 12 μm et 4 μm .

[0025] La courbe 43 se situe nettement au dessous de la courbe 41 quelle que soit la fréquence de travail considérée et notamment pour les signaux à longueur d'onde millimétrique. Par exemple, à 60 GHz, les pertes d'insertion du transformateur 11 sont de 1,33 dB et celles du transformateur 21 sont de 1,01 dB.

[0026] On notera que l'augmentation de la largeur de piste de l'enroulement primaire n'est bénéfique qu'en deçà d'un certain seuil. En effet, à partir d'une certaine largeur, on observe une dégradation des performances du transformateur, et notamment une augmentation des pertes d'insertion. Par exemple, si l'enroulement secondaire est composé de deux tours de 4 μm de largeur de piste, séparées par 1,5 μm d'isolant, soit une largeur totale de 9,5 μm , on veillera à ne pas augmenter la largeur de piste de l'enroulement primaire au-delà de 24 μm .

[0027] Si la largeur de piste de l'enroulement primaire est supérieure à la largeur totale de l'enroulement secondaire, différents positionnements de l'enroulement secondaire en regard de l'enroulement primaire sont possibles.

[0028] Selon un aspect de l'invention, l'enroulement secondaire est positionné sous la partie extérieure de l'enroulement primaire, de façon que son périmètre extérieur coïncide avec le périmètre extérieur de l'enroulement primaire.

[0029] La figure 5A est une vue en perspective représentant un transformateur d'ondes millimétriques 51. Le transformateur 51 comporte un enroulement primaire 53, constitué d'un tour formé dans un niveau de métallisation M1, et un enroulement secondaire 55, constitué d'un tour formé dans un niveau de métallisation M2 inférieur au niveau M1. L'enroulement primaire 53 est disposé en regard de l'enroulement secondaire 55, de façon que les périmètres intérieurs des enroulements primaire et secondaire coïncident.

[0030] La figure 5B est une vue en coupe du transformateur 51 de la figure 5A selon un plan schématisé par la ligne A de la figure 5A.

[0031] La figure 6A est une vue en perspective représentant un transformateur d'ondes millimétriques 61. Le transformateur 61 comporte un enroulement primaire 63, constitué d'un tour formé dans un niveau de métallisation M1, et un enroulement secondaire 65, constitué d'un tour formé dans un niveau de métallisation M2 inférieur au niveau M1. L'enroulement primaire 63 est disposé en regard de l'enroulement secondaire 65, de façon que les périmètres extérieurs des enroulements primaire et secondaire coïncident.

[0032] La figure 6B est une vue en coupe du transformateur 61 de la figure 6A selon un plan schématisé par la ligne A de la figure 6A.

[0033] La figure 7 représente l'évolution du coefficient de transformation n des transformateurs illustrés par les figures 5A-5B et 6A-6B, en fonction de la fréquence du signal d'entrée. Les courbes 71 et 73 correspondent respectivement aux transformateurs 51 (figures 5A et 5B) et 61 (figures 6A et 6B), pour des largeurs de piste des enroulements primaire et secondaire respectivement égales à 12 μm et 4 μm .

[0034] La courbe 73 se situe nettement au dessus de la courbe 71 quelle que soit la fréquence de travail considérée et notamment pour les signaux à longueur d'onde millimétrique. Par exemple, à 60 GHz, le coefficient de transformation du transformateur 51 est égal à 1,16 et celui du transformateur 61 est égal à 1,28.

[0035] Les inventeurs ont déterminé que, pour un diamètre d'enroulement primaire donné, le coefficient de transformation augmente linéairement avec le diamètre de l'enroulement secondaire, lorsque ce dernier est compris dans la plage de valeurs pour lesquelles les enroulements primaire et secondaire sont en regard l'un de l'autre.

[0036] Ainsi, pour renforcer le coefficient de transformation, on prévoit de disposer l'enroulement secondaire sous la partie extérieure de l'enroulement primaire, de façon que les périmètres extérieurs des enroulements coïncident, comme cela est illustré en figure 6A.

[0037] Selon un avantage de l'invention, il est possible d'ajuster finement le coefficient de transformation aux besoins spécifiés en positionnant de façon adaptée l'enroulement secondaire, vers l'intérieur ou vers l'extérieur de l'enroulement primaire.

[0038] Des modes de réalisation particuliers de la présente invention ont été décrits. Diverses variantes et modifications apparaîtront à l'homme de l'art. En particulier, l'invention ne se restreint pas aux exemples de transformateurs millimétriques exposés ci-dessus dans lesquels les enroulements secondaires comportent un ou deux tours. L'homme de l'art saura mettre en oeuvre l'invention quel que soit le nombre de tours de l'enroulement secondaire (en pratique pas plus de deux tours pour des fréquences supérieures à 50 GHz). Par ailleurs, des valeurs numériques de largeur de piste ont été données à titre d'exemple. L'invention ne se restreint pas à ces seuls cas particuliers. En outre, l'utilisation de pistes conductrices en cuivre a été évoquée. L'invention ne se restreint

pas à ce seul cas particulier. L'homme de l'art saura mettre en oeuvre l'invention quels que soient les matériaux employés pour la réalisation du transformateur. De plus, on a mentionné dans la description de modes de réalisation de l'invention des niveaux de métallisation inférieurs ou supérieurs à d'autres niveaux de métallisation, notamment, on a décrit les enroulements primaires comme étant disposés au dessus des enroulements secondaires. L'invention ne se restreint pas à ces cas particuliers. L'ordre des niveaux de métallisation peut être inversé, et notamment, l'enroulement secondaire peut être disposé au dessus de l'enroulement primaire.

de l'enroulement secondaire, ce procédé comportant une étape d'ajustement de la position de l'enroulement secondaire, vers la partie extérieure du tour primaire pour augmenter ledit coefficient et vers la partie intérieure du tour primaire pour diminuer ledit coefficient.

Revendications

1. Transformateur d'ondes millimétriques comportant au primaire un tour (23 ; 53 ; 63) constitué d'une piste conductrice réalisée dans au moins un premier niveau de métallisation (M1), et au secondaire un enroulement (25 ; 55 ; 65) en regard du tour primaire, cet enroulement secondaire comportant au moins un tour constitué d'une piste conductrice réalisée dans au moins un second niveau de métallisation (M2) isolé dudit au moins un premier niveau, la largeur de piste du tour primaire étant supérieure à la largeur de la piste d'enroulement secondaire et au moins égale à la largeur totale de l'enroulement secondaire.
2. Transformateur selon la revendication 1, dans lequel l'enroulement secondaire (65) est disposé en regard de la partie extérieure du tour primaire (63), de façon que le périmètre extérieur de l'enroulement secondaire coïncide avec le périmètre extérieur du tour primaire.
3. Transformateur selon la revendication 1 à 2, dans lequel l'enroulement secondaire (25) comporte deux tours réalisés dans ledit au moins un second niveau de métallisation (M2), l'intersection (27) entre ces deux tours étant réalisée dans un troisième niveau de métallisation (M3) isolé du premier niveau (M1).
4. Transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel les pistes conductrices sont des pistes de cuivre.
5. Procédé d'ajustement du coefficient de transformation d'un transformateur d'ondes millimétriques comportant au primaire un tour constitué d'une piste conductrice réalisée dans au moins un premier niveau de métallisation, et au secondaire un enroulement en regard du tour primaire, comportant au moins un tour constitué d'une piste conductrice réalisée dans au moins un second niveau de métallisation isolé dudit au moins un premier niveau, la largeur de piste du tour primaire étant supérieure à la largeur totale

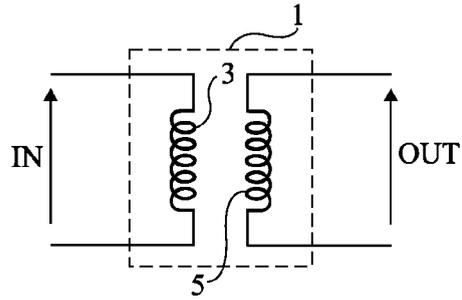


Fig 1

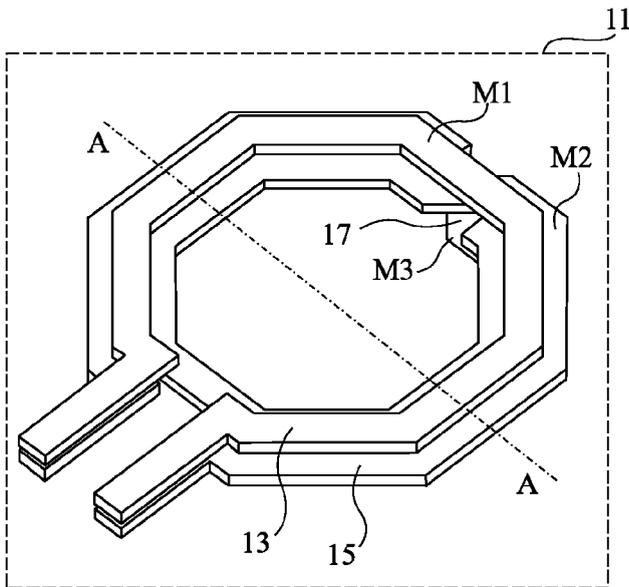


Fig 2A

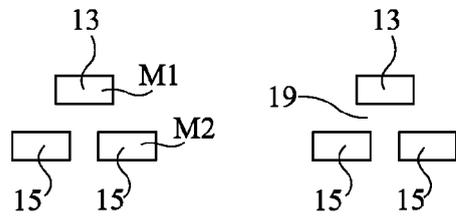


Fig 2B

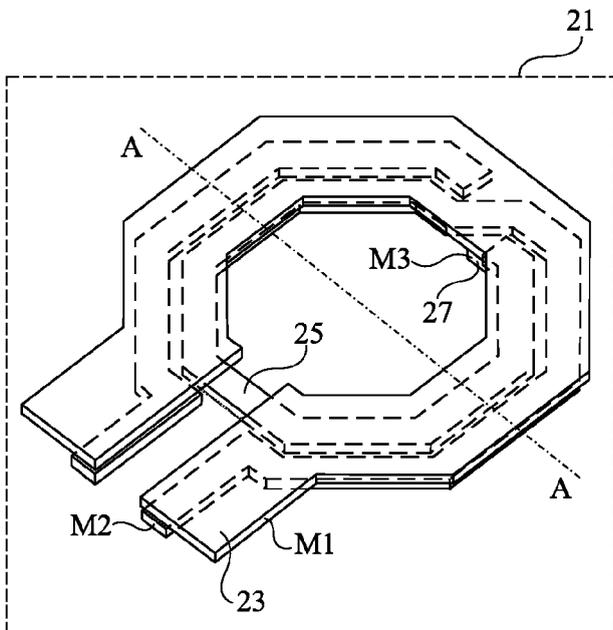


Fig 3A

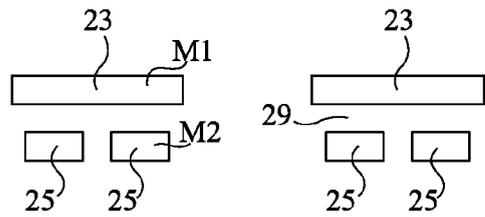


Fig 3B

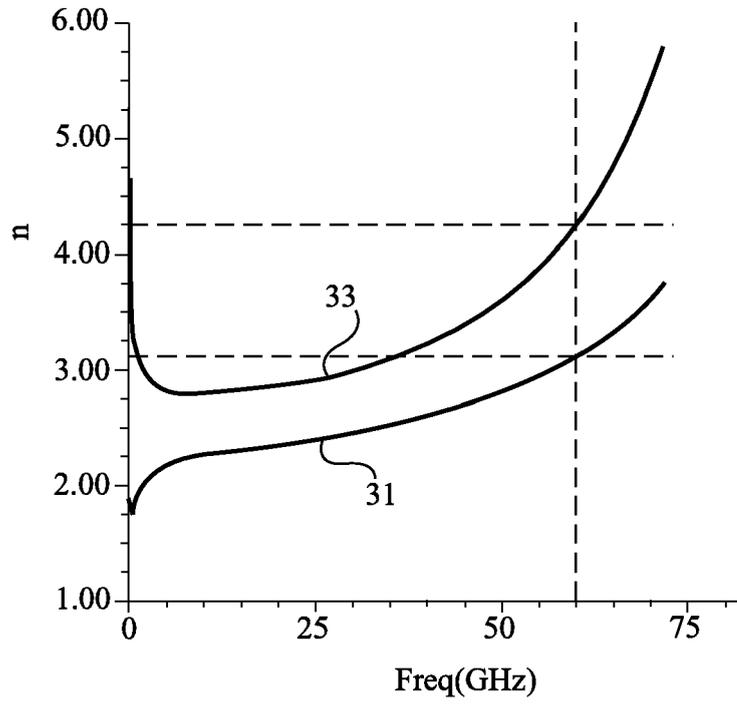


Fig 4A

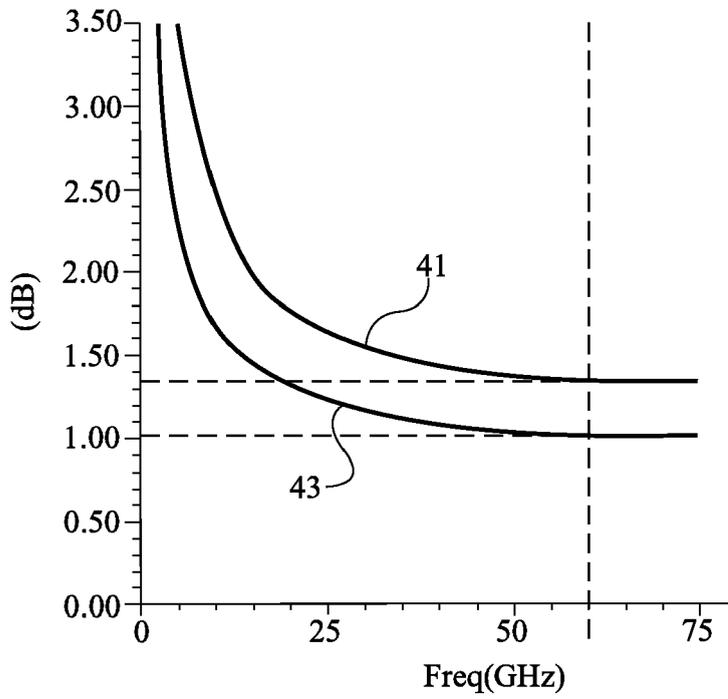


Fig 4B

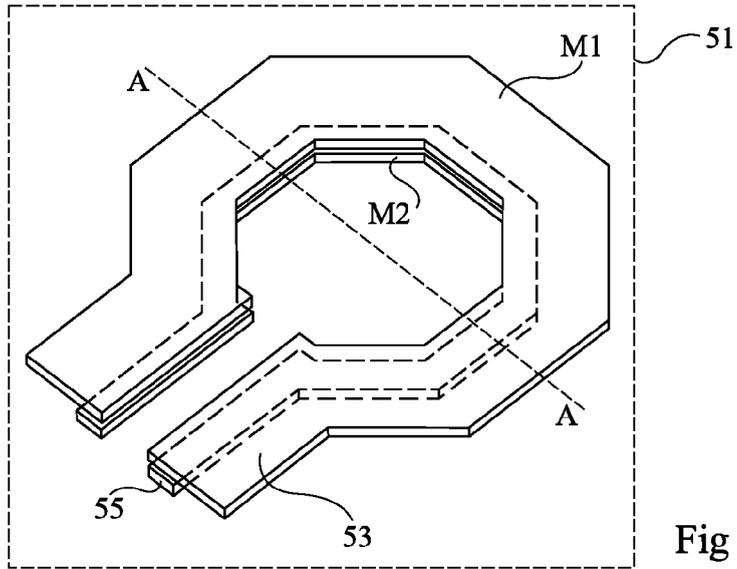


Fig 5A

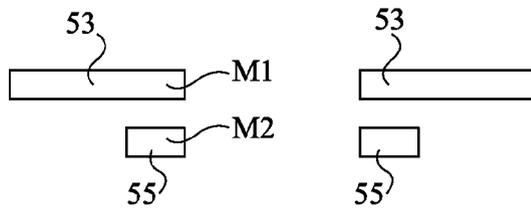


Fig 5B

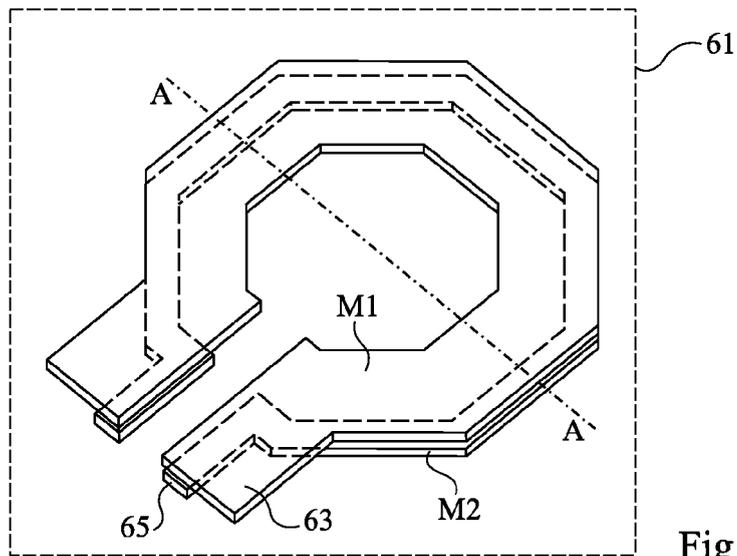


Fig 6A

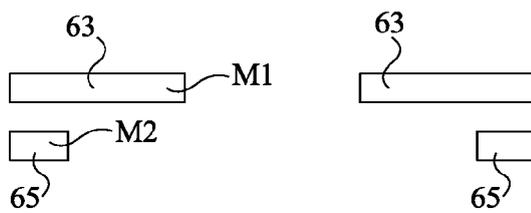


Fig 6B

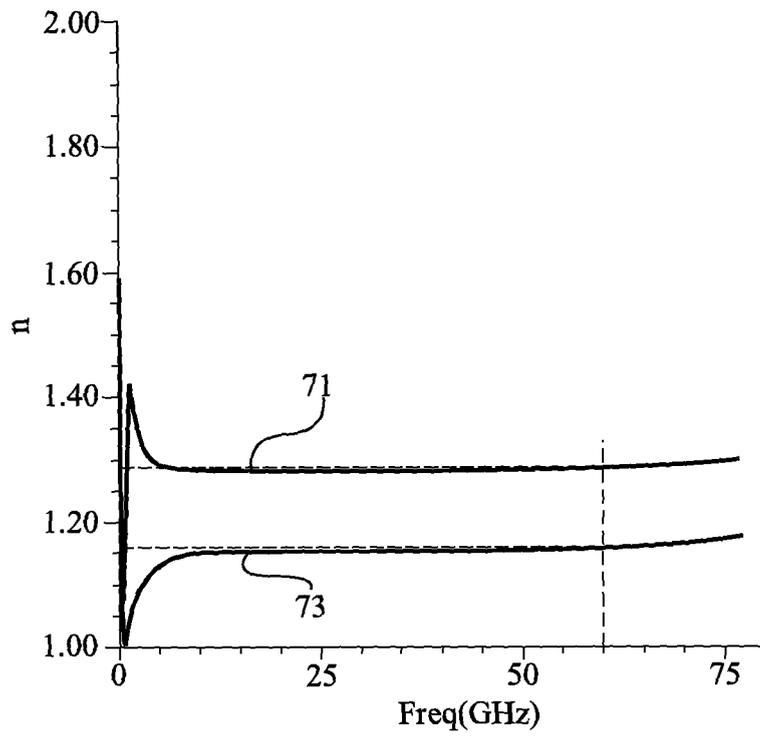


Fig 7