

TRANSFORMATEUR D'IMPEDANCE DE PUISSANCE VHF/UHF PLANAIRE COMPACT

L'invention concerne les dispositifs radiofréquences fonctionnant dans les bandes de fréquences VHF et UHF et en particulier un transformateur d'impédance pour amplificateur RF large bande.

5

Les circuits amplificateurs radiofréquences (RF) utilisent des réseaux d'adaptation d'impédance (ou transformateurs d'impédance) afin d'optimiser le transfert de puissance entre une source RF, des transistors amplificateurs RF et une charge. Dans le cas de très larges bandes passantes, ces transformateurs d'impédance sont généralement réalisés à l'aide de lignes de transmission qui prennent souvent la forme de câbles coaxiaux interconnectés.

Par exemple, les amplificateurs RF large bande utilisent, notamment dans le cas de fortes puissances, des transistors montés en push pull, ayant chacun une entrée de signal et une sortie RF de puissance symétrique. Leurs entrées et sorties RF ont des impédances bien plus faible que celle des lignes de transmission habituelles de 50Ω . L'utilisation de transformateurs d'impédance en entrée et en sortie du transistor amplificateur s'avère donc nécessaire pour obtenir un transfert de puissance optimal.

La figure 1 montre un exemple schématique de réalisation d'un étage amplificateur RF push-pull typique utilisant de tels transformateurs.

L'étage amplificateur de la figure 1a comporte deux transistors amplificateurs A et B montés en push-pull, un transformateur d'entrée T_e et un transformateur de sortie T_s à entrées et sorties symétriques pour adapter les impédances respectives de l'entrée et de la sortie de l'étage amplificateur, par l'intermédiaire d'un balun d'entrée B_e et d'un balun de sortie B_s , aux faibles impédances d'entrée et de sortie des transistors A et B. Le balun d'entrée B_e et le balun de sortie B_s effectuent respectivement une liaison entre l'entrée E, la sortie S, asymétriques de l'amplificateur et les accès symétriques des transformateurs.

Un générateur d'impédance 50Ω applique un signal RF à amplifier à l'entrée E asymétrique du balun d'entrée B_e formant l'entrée de

l'amplificateur. La sortie asymétrique S du balun de sortie Bs formant la sortie de l'étage amplificateur est appliquée à une charge $50\ \Omega$.

Il faut noter que le terme balun est une contraction des termes anglais BALanced (équilibré, balance) et UNbalanced (déséquilibré, non
5 balancé).

La figure 2a montre un schéma d'un exemple de principe d'un transformateur d'impédance à lignes coaxiales de l'état de l'art.

Le transformateur de la figure 2a effectue une transformation
10 d'impédance d'un accès Eh haute impédance vers un accès Eb basse impédance, dans cet exemple l'impédance de l'accès Eh est de $50\ \Omega$ et l'impédance de l'accès Eb est de $12,5\ \Omega$. Le transformateur de la figure 2a comporte deux lignes coaxiales L1, L2 d'impédance caractéristique $Z_c = 25\ \Omega$ comportant chacune un conducteur interne Ci et un conducteur externe Ce
15 entourant le conducteur interne.

Les deux lignes L1, L2 sont connectées en série du côté de leur accès haute impédance Eh et en parallèle du côté de leur accès basse impédance Eb. A cet effet, du côté de l'accès haute impédance du transformateur, les conducteurs externes Ce des deux lignes L1, L2 sont
20 reliés ensemble et éventuellement à un potentiel de référence par exemple une masse M. Du côté de l'accès basse impédance du transformateur, le conducteur interne Ci d'une des lignes est relié au conducteur externe Ce de l'autre ligne et réciproquement. L'entrée et la sortie de signal RF s'effectuent de façon symétrique par les deux conducteurs internes Ci des lignes
25 coaxiales.

Le rapport de transformation d'impédance reste figé, théoriquement égal à 4 dans le cas du transformateur de la figure 2a.

L'utilisation de blocs de ferrites entourant les lignes coaxiales (non représentés sur la figure) permet d'élargir la bande passante du
30 transformateur vers les fréquences basses.

La figure 2b montre un schéma d'implantation simplifié d'un étage amplificateur RF.

L'étage amplificateur comporte, sur un circuit imprimé 10 un boîtier
35 20 avec deux transistors pour montage en push pull, un transformateur

d'entrée T1 et un transformateur de sortie T2 selon le schéma de la figure 2a.

Le transformateur d'entrée T1 comporte deux lignes Le1 et Le2 montées en série du côté de son accès Eh haute impédance et en parallèle
5 du côté de son accès Eb basse impédance, tel que représenté à la figure 2b. Les conducteurs internes Ci des deux lignes relient, par l'intermédiaire d'un bloc d'adaptation 24, les entrées e1, e2 des deux transistors du boîtier 20.

Le transformateur de sortie T2 réalisé comme le transformateur d'entrée T1 comporte deux lignes coaxiales Ls1 et Ls2 et est connecté par
10 son accès Eb basse impédance aux sorties s1, s2 des transistors du boîtier 20, son accès Eh haute impédance étant destiné à être connecté à une charge non représentée sur la figure.

Les lignes Le1, Le2, Ls1, Ls2 des transformateurs T1, T2 sont ici enroulées pour diminuer leur encombrement dans l'amplificateur.

15 Ce type de réalisation de la figure 2b avec transformateurs en lignes coaxiales enroulées reste artisanale, ce qui impacte le coût de réalisation et l'encombrement (surtout en longueur) de l'étage amplificateur.

Pour limiter l'encombrement des transformateurs d'impédance RF, certaines réalisations de l'état de l'art utilisent des circuits imprimés pour
20 remplacer les lignes coaxiales. Ces réalisations sont très nombreuses et certaines sont commercialement disponibles mais pour des bandes passantes et surtout des puissances modestes.

On ne citera que 2 exemples particuliers sur la base desquels seront
25 présentés les avantages de l'invention proposée.

Les figures 3a et 3b représentent des vues en coupe transversales et de face d'une réalisation d'un transformateur d'impédance de l'état de l'art décrite dans une publication de Georg Boeck, 0-7803-9342-2/05/\$20.00 ©
2005 IEEE.

30 Le transformateur d'impédance de la figure 3a est réalisé sur un circuit imprimé multicouche 30 à quatre couches métallisées intégrant des lignes rectangulaires de type micro-ruban.

La figure 3a montre une vue en coupe transversale du circuit imprimé à quatre couches dans une zone comportant des lignes
35 d'impédance Z_L de 25Ω et des lignes d'impédance Z_L de 50Ω .

Ces lignes coaxiales rectangulaires peuvent présenter des impédances Z_L de 25Ω ou de 50Ω ohms suivant la disposition choisie, permettant ainsi d'intégrer le transformateur qui utilise des lignes 25 ohms, au sein d'un circuit 50 ohms.

5 La figure 3b montre une vue de dessus du transformateur d'impédance de la figure 3a. Les lignes micro-rubans sont entrelacées en spirale afin de diminuer l'encombrement, ce qui oblige à de nombreux croisements des lignes préjudiciables aux performances et à la tenue en puissance. Des vias 32 assurent l'interconnexion entre les différentes
10 métallisations des couches du circuit imprimé.

La réalisation des figures 3a et 3b convient uniquement à des utilisations à très faible niveau de signal du fait de la topologie en spirale utilisée, préjudiciable aux performances, notamment aux pertes d'insertion.

15 La figure 4a montre une vue en perspective d'une autre réalisation d'un transformateur d'impédance de l'état de l'art. La figure 4b une vue en coupe transversale du transformateur de la figure 4a.

Dans la réalisation de la figure 4a les problèmes des nombreux croisements de lignes de la réalisation des figures 3a et 3b ne se posent pas
20 du fait d'une topologie de réalisation basée sur une simple paire de pistes formant des lignes repliées en forme de U. A cet effet, le transformateur des figures 4a et 4b comporte un substrat 40 double face ayant des métallisations sur ses deux faces formant des lignes L1, L2 de type micro ruban interconnectées par des transitions conductrices entre faces.

25 La réalisation de la figure 4a comporte :

- un conducteur 308 (ou métallisation) sur une face 44 du substrat 40 et une autre conducteur 316 face au premier sur l'autre face 46 du substrat 40 pour former la première ligne L1 micro ruban en forme de U,
- une deuxième ligne micro ruban L2 comportant un conducteur 304
30 (ou métallisation) sur la face 44 du substrat et une autre conducteur 316 face au premier sur l'autre face du substrat 40 pour former la deuxième ligne L2 micro-ruban en forme de U symétrique par rapport à la première L1.

Du côté d'une extrémité 50 du substrat, les extrémités libres des conducteurs 308, 304 de la même face 44 du substrat 40, des deux lignes
35 L1, L2 forment les ports 5, 3 d'entrée série (accès haute impédance), les

extrémités des conducteurs 316, 312 de l'autre face 46 du substrat 40 sont reliées ensemble pour former un port 4, ou point commun.

5 Du côté de l'autre extrémité du substrat 52 opposée à la première 50, l'extrémité du conducteurs 304 de la ligne L2, de la face 44 du substrat 40 et l'extrémité du conducteurs 316 de la ligne L1, de l'autre face 46 du substrat 40 sont reliées ensemble à un port 2 de sortie et l'extrémité du conducteur 312 de la ligne L2, de l'autre face du substrat 46 et l'extrémité du conducteur 308 de la ligne L1, de la face du substrat 44 sont reliées ensemble à un port 1, les ports 1 et 2 formant l'accès basse impédance
10 parallèle du transformateur de la figure 3a.

Cette autre réalisation des figures 4a et 4b, bien qu'elle permette une bonne tenue en puissance, comporte l'inconvénient être encombrante, en outre, le rapport de transformation d'impédance reste figé (théoriquement égal à 4).

15

Pour diminuer le volume nécessaire à l'implantation d'un transformateur d'impédance RF, l'invention propose un transformateur d'impédances fonctionnant dans les bandes de fréquences VHF et UHF ayant un accès Eb basse impédance parallèle et un accès Eh haute
20 impédance série, destiné à être connecté sur un circuit imprimé (130),

caractérisé en ce qu'il est constitué d'un circuit multicouche comportant un grand côté pour sa connexion sur le circuit imprimé, au moins trois couches, une première couche externe séparée d'une deuxième couche externe de même épaisseur par au moins une couche interne d'épaisseur au moins quatre fois supérieure à l'épaisseur des couches externes, chaque
25 couche externe comportant deux faces métallisées pour former des conducteurs électriques, une face interne comportant un conducteur électrique interne et une face externe comportant un conducteur électrique externe en vis-à-vis du conducteur électrique interne pour former une ligne micro-ruban sur chacune des deux couches externes, les deux lignes micro-ruban étant symétriques par rapport à un plan central du circuit multicouche parallèle aux faces externes, le circuit multicouche comportant :

30

- à deux extrémités en vis-à-vis des lignes micro-ruban, une connexion électrique respective entre l'extrémité du conducteur interne d'une

des lignes micro-ruban et l'extrémité du conducteur externe de l'autre ligne micro-ruban pour réaliser l'accès Eb base impédance parallèle,

- aux deux autres extrémités en vis-à-vis des dites lignes micro-ruban, une autre connexion électrique entre les extrémités des conducteurs électriques internes des deux lignes micro-ruban, pour réaliser l'accès Eh haute impédance série,

l'une et l'autre des extrémités des lignes micro-ruban, comportant respectivement l'accès Eb basse impédance parallèle et l'accès Eh haute impédance série, étant sur le grand côté du circuit multicouche et à proximité l'une de l'autre pour limiter la surface de connexion avec le circuit imprimé.

Avantageusement les lignes micro-ruban symétriques comportent des impédances variant progressivement entre leurs deux extrémités d'une impédance faible à une impédance forte afin de modifier le rapport de transformation d'impédances.

Dans une réalisation du transformateur d'impédances, pour des raisons technologiques, la couche interne est constituée de deux couches superposées, pour former un circuit multicouche à quatre couches parfaitement symétrique.

Dans une autre réalisation, les conducteurs électriques des lignes micro-ruban sont au moins partiellement sous forme de serpent le long d'un même axe XX' parallèle au grand côté du circuit multicouche comportant les accès haute Eh et basse Eb impédance, pour diminuer la taille du circuit multicouche.

Dans une autre réalisation, les largeurs des conducteurs externes et internes varient progressivement, d'une de leurs extrémités à l'autre le long des lignes micro-ruban, d'une certaine largeur initiale vers une largeur plus faible finale pour obtenir la variation progressive de l'impédance faible vers l'impédance forte des lignes micro-ruban.

Dans une autre réalisation, les conducteurs électriques des lignes micro-ruban comportent :

- des premières parties droites perpendiculaires au grand côté du circuit multicouche comportant les extrémités des conducteurs électriques formant les accès haute Eh et basse Eb impédance,

5 - des deuxièmes parties, de part et d'autre des accès haute Eh et basse impédance Eb, en forme de serpentín selon un axe XX' parallèle au grand côté du circuit multicouche,

- des troisièmes parties droites parallèles à l'axe XX' par-dessus les parties des conducteurs électriques en forme de serpentín.

10 Dans une autre réalisation, le grand côté du circuit multicouche comporte un décrochement respectif, de part et d'autre des accès haute Eh et basse Eb impédance, de profondeur P ayant des bords parallèles au grand côté, les dits décrochements étant réalisés pour laisser de la place, sous le transformateur, à des composants éventuels situés sur le circuit
15 imprimé (ou carte mère) sur lequel le transformateur est destiné à être connecté.

Dans une autre réalisation, l'épaisseur de chacune des couches externes est de 100µm, l'épaisseur de la couche interne étant de 1600µm.

20

Dans une autre réalisation, la couche interne est formée par deux couches internes superposées de 800µm d'épaisseur chacune.

Dans une autre réalisation, le rapport Rz de transformation entre
25 l'impédance de l'accès Eh haute impédance et celle de l'accès Eb basse impédance peut être compris entre 2 et 9.

L'invention sera mieux comprise à l'aide d'un exemple de réalisation
30 d'un transformateur d'impédance selon l'invention en référence aux figures indexées dans lesquelles,

- la figure 1, déjà décrite, montre un exemple schématique de réalisation d'un étage amplificateur RF push-pull de l'état de l'art,

- la figure 2a, déjà décrite, montre un schéma de principe d'un
35 transformateur d'impédance à lignes coaxiales de l'état de l'art.

- la figure 2b, déjà décrite, montre un schéma d'implantation simplifié d'un étage amplificateur RF,

- Les figures 3a et 3b, déjà décrites, représentent des vues en coupe transversale et de face d'une réalisation d'un transformateur d'impédance de l'état de l'art,

- la figure 4a, déjà décrite, montre une vue en perspective d'une autre réalisation d'un transformateur d'impédance de l'état de l'art,

- la figure 4b, déjà décrite, une vue en coupe transversale du transformateur de la figure 4a,

- les figures 5a et 5b montrent respectivement une vue de dessous et une vue de face d'un transformateur RF, selon l'invention, comportant un circuit multicouche,

- la figure 5c montre une vue partielle en coupe transversale du circuit multicouche du transformateur de la figure 5a,

- les figures 5d et 5e montrent l'interconnexion entre conducteurs du transformateur des figures 5a, 5b et 5c et,

- la figure 6 montre une vue simplifiée en perspective d'un étage amplificateur RF comportant le transformateur selon l'invention de la figure 5b.

Les figures 5a et 5b montrent respectivement une vue de dessous et une vue de face d'un transformateur RF, selon l'invention, comportant un circuit multicouche.

La figure 5c montre une vue partielle en coupe transversale du circuit multicouche du transformateur de la figure 5a.

Le transformateur des figures 5a à 5b comporte un substrat multicouche 60 de forme rectangulaire, de longueur L de hauteur H et d'épaisseur E, ayant deux grands côtés 62, 64 parallèles et deux petits côtés 66, 68 perpendiculaires aux grands côtés.

Le transformateur comporte, dans cet exemple de réalisation, trois couches superposées (voir figure 5c), une première couche externe Ce1 séparée par une deuxième couche externe Ce2, de même épaisseur ex, par une couche interne Ci d'épaisseur ec très supérieure à celle des couches externes.

On considère qu'une couche interne Ci d'épaisseur très supérieure ou sensiblement supérieure à l'épaisseur des couches externes Ce est réalisée lorsque l'épaisseur de cette couche interne Ci est au moins quatre fois supérieure à l'épaisseur de la couche externe.

5 A titre d'exemple, dans la réalisation du circuit multicouche représenté en coupe à la figure 5c, l'épaisseur de chacune des couches externes est $e_x = 100\mu\text{m}$, l'épaisseur de la couche interne est $e_c = 1600\mu\text{m}$. La couche interne Ci peut être aussi formée par deux couches internes superposées de $800\mu\text{m}$ chacune.

10 La première couche externe Ce1 comporte deux faces métallisées, une face interne 70 ayant une métallisation formant un conducteur interne 72 et une face externe 74 ayant une métallisation formant un conducteur externe 76 en vis-à-vis du conducteur interne. Les deux conducteurs interne et externe 72, 76 de la première couche externe Ce1 forment une première
15 ligne L1 de type micro-ruban.

La deuxième couche externe Ce2 comporte deux faces métallisées, une face interne 80 ayant une métallisation formant un conducteur interne 82 et une face externe 84 ayant une métallisation formant un conducteur externe 86 en vis-à-vis du conducteur interne. Les deux conducteurs 82, 86
20 de la deuxième couche externe Ce2 forment une deuxième ligne L2 de type micro ruban symétrique de la première par rapport à un plan de symétrie PC du circuit multicouche 60, parallèle et à égale distance des faces externes 74, 84.

Dans cette réalisation les conducteurs électriques 72, 76, 82, 86 des
25 couches externes sont superposés par l'intermédiaire des différentes couches Ce1, Ci, Ce2 du circuit multicouche 60.

Dans le transformateur de la figure 5b :

- d'une part, les métallisations des couches externes du circuit multicouches formant les conducteurs électriques 72, 76, 82, 86 ont des
30 largeurs variant progressivement d'une extrémité à l'autre des lignes L1 et L2, d'une certaine largeur L_e initiale vers une largeur plus faible L_f finale, pour obtenir une variation progressive de l'impédance des lignes L1, L2, entre leurs deux extrémités soit, d'une impédance faible Z_b , à l'extrémité de largeur L_e initiale, vers une impédance forte Z_f vers l'autre extrémité de
35 largeur finale L_f plus faible,

- d'autre part, les extrémités des dits conducteurs électriques 72, 76, 82, 86 sont sur un même bord d'un grand côté 64 du circuit multicouche 60 dans une zone centrale dudit substrat multicouche (voir figure 5b).

5 Les métallisations des couches externes Ce1, Ce2 sont réalisées pour obtenir une longueur L réduite du substrat multicouche 60 mais en respectant une hauteur maximale H à ne pas dépasser pour l'intégration ou la connexion, à un circuit imprimé (ou carte mère), sur lequel le transformateur sera connecté, comme décrit par la suite.

10 A cet effet, dans cette réalisation, les conducteurs électriques des lignes L1, L2 comportent :

- des premières parties droites 100, 102 perpendiculaires au grand côté 64 du circuit multicouche 60 comportant les extrémités des conducteurs électriques formant les accès haute Eh et basse Eb impédance,

15 - des deuxièmes parties 104, 106, de part et d'autre des accès haute Eh et basse impédance Eb, en forme de serpentín selon un axe XX' parallèle au grand côté 64 du circuit multicouche 60,

- des troisièmes parties droites 108 parallèles à l'axe XX' par-dessus les parties des conducteurs électriques en forme de serpentín,

20 tel que représenté à la figure 5b.

Le circuit multicouche 60 comporte, du côté des accès haute Eh et basse Eb impédance du transformateur, un décrochement respectif 110, 112 de part et d'autre des dits accès, de profondeur P, chacun des
25 décrochements ayant des bords parallèles aux grands côtés 62, 64.

Les décrochements 110, 112 sont réalisés pour laisser la place, sous le transformateur, à des composants éventuels câblés sur le circuit imprimé (ou carte mère) sur lequel le transformateur est destiné à être connecté.

30 Le circuit multicouche 60 comporte des vias d'interconnexion des extrémités des conducteurs électriques pour réaliser des accès flottants, l'accès Eh haute impédance série, à une extrémité des lignes L1 et L2 et l'accès Eb basse impédance parallèle à l'autre extrémité des lignes L1 et L2.

Les figures 5d et 5e montrent l'interconnexion entre conducteurs du
35 transformateur des figures 5a, 5b et 5c.

L'extrémité moins large d'un conducteur interne 72 d'une des lignes L1 est reliée, par des vias 114 à travers la couche centrale Ci du substrat, à l'extrémité en vis-à-vis du conducteur interne 82 de l'autre ligne L2, pour réaliser l'accès Eh haute impédance série.

5 L'extrémité plus large du conducteur internes 72 de la ligne L1 est reliée par des vias 116 à l'extrémité du conducteur externe 86 en vis-à-vis de la ligne L2 pour former un des deux pôles de l'accès Eb basse impédance parallèle, l'autre pôle étant réalisé par la connexion, par des vias 118, de l'extrémité la plus large du conducteur interne 82 de la ligne L2 au
10 conducteur externe 76, en vis-à-vis, de la ligne L1.

Les lignes L1, L2 du transformateur ont une largeur variable afin d'obtenir des rapports Rz d'impédance (ou de transformation) différents (en général, supérieurs) au rapport de 4 obtenu par des lignes coaxiales ou
15 micro-ruban ayant une largeur constante.

Les lignes de largeur variable du transformateur selon l'invention permettent d'obtenir un rapport Rz de transformation entre l'impédance de l'accès Eh haute impédance et celle de l'accès Eb basse impédance pouvant être compris entre 2 et 9.

20 La manière de superposer les deux paires de conducteurs réalisant les lignes L1, L2 à l'aide d'un substrat épais permet de limiter au maximum le couplage entre elles afin d'éviter des interactions parasites. Pour cela, la couche de substrat centrale Ci est sensiblement plus épaisse que les couches de substrat externes Ce1, Ce2 du circuit multicouche (rapport
25 d'épaisseur de l'ordre de 16 dans la réalisation présentée).

D'autre part, dans cette réalisation, la largeur des conducteurs électriques internes 72, 82 est plus grande que la largeur des conducteurs électriques externes 76, 86 de façon à obtenir un meilleur découplage entre les deux lignes L1 et L2.

30 La couche interne Ci peut être aussi réalisée par deux couches collées de même épaisseur, ce qui revient à réaliser un substrat multicouche à quatre couches parfaitement symétrique de fabrication simple et donnant un produit stable dans le temps.

Dans cet exemple de réalisation, l'impédance de l'accès Eh haute
35 impédance série du transformateur est choisie légèrement inférieure à 50Ω ,

par exemple 46Ω , afin de disposer des lignes L1, L2 plus larges pour une meilleure tenue en puissance du transformateur. Dans ce cas, l'impédance Z_f d'entrée, du côté impédance forte, de chaque ligne L1 ou L2 est de 23Ω .

L'impédance Z_b de l'accès impédance faible de chaque ligne L1, L2
5 est choisie de 17Ω pour obtenir une impédance d'accès E_b basse impédance du transformateur de $8,5\Omega$.

La variation de largeur des pistes (ou métallisations) entre l'accès E_h haute impédance et l'accès E_b basse impédance du transformateur permet, dans cette réalisation, de passer de 46Ω à 8.5 ohms, soit un rapport
10 d'impédance de l'ordre de 5.5.

Une variante de réalisation du transformateur selon l'invention consiste dans l'utilisation de matériau ferrite placé dans une partie centrale des conducteurs électriques des lignes L1, L2 afin d'étendre la bande
15 passante vers les fréquences basses, mais cela au détriment du coût.

La figure 6 montre une vue simplifiée en perspective d'un étage amplificateur RF comportant le transformateur selon l'invention tel que représenté à la figure 5b. Le transformateur de la figure 6 est sous la forme
20 d'une carte fille 128.

L'étage amplificateur comporte un circuit imprimé (ou carte mère) 130 sur lequel est monté un boîtier 132 comportant deux transistors pour montage en push-pull.

La carte fille 128 est enfichée dans la carte mère 130 et seuls 4
25 points de brasage 150, 152 (deux points seulement sont montrés sur la figure) sur les extrémités des conducteurs électriques externes 72, 76, des faces externes 74, 80 du circuit multicouche 60 sont nécessaires pour raccorder les lignes L1, L2 du transformateur à la carte mère. Ces points de brassage permettent à la fois la connexion et l'immobilisation de la carte fille
30 128 sur la carte mère 130, une forme asymétrique de la carte fille 128 assurant un détrompage aisé.

Le mode de réalisation du transformateur proposé en exemple aux figures 5a et 5b est basé sur un dessin de circuit permettant l'emploi d'une carte fille (circuit multicouche 60) destinée à être reportée verticalement sur

la carte mère 130 amplificatrice de la figure 6. L'épaisseur de cette carte fille est de l'ordre de 2mm.

5 Le dessin des paires de pistes pour connecter le transformateur selon l'invention permet de réduire l'encombrement de cette carte fille au minimum. Notamment, les accès haute impédance Eh et basse impédance Eb du transformateur 128 sont fortement rapprochés afin de diminuer la longueur d'implantation sur la carte mère 130.

10 Dans la réalisation des figures 5a et 5b la longueur de la partie centrale du substrat comportant les accès haute Eh et basse impédance Eb est de 8.5 mm alors que la longueur nécessaire à la connexion du transformateur à lignes enroulées Ls2 de la figure 2b est bien plus importante (de l'ordre de 15 mm).

15 Enfin, la forme asymétrique de la carte fille 128 (soit le transformateur d'impédance) est adaptée à la disposition des éléments implantés sur la carte mère 130. Ainsi, grâce aux décrochements 110, 112 du circuit multicouche 60 la carte fille 128 passe au-dessus d'éléments 160, 162 d'adaptation d'impédance des transistors du boîtier 132 brasés sur la
20 carte mère 130 tout en permettant leur accès.

Le transformateur en circuit multicouche selon l'invention présente les avantages suivants :

25 - un encombrement réduit en particulier au niveau des connexions sur la carte mère par rapport aux transformateurs de l'état de l'art, notamment du fait de la topologie proposée. Celle-ci autorise une découpe de carte permettant de surplomber des éléments du circuit de la carte mère (ou du circuit d'interconnexion) tout en respectant des contraintes drastiques de hauteur imposées dans certains équipements

30 - excellente reproductibilité par rapport aux solutions actuelles câblées manuellement,

- baisse des coûts des amplificateurs ou dispositifs RF utilisant le transformateur selon l'invention car des opérations de câblage manuel sont remplacées par un report simplifié d'une carte fille (le transformateur) elle

même assez simple et petite. Le coût de la carte fille (et gain associé) dépend des quantités produites

Le transformateur d'impédances selon l'invention est adapté pour passer des puissances importantes, de l'ordre de quelques watts, avec peu
5 de pertes radiofréquences.

REVENDICATIONS

- 5 1. Transformateur d'impédances fonctionnant dans les bandes de fréquences VHF et UHF ayant un accès Eb basse impédance parallèle et un accès Eh haute impédance série, destiné à être connecté sur un circuit imprimé (130),
- caractérisé en ce qu'il est constitué d'un circuit multicouche (60)
- 10 comportant un grand côté (64) pour sa connexion sur le circuit imprimé, au moins trois couches, une première couche externe (Ce1) séparée d'une deuxième couche externe (Ce2) de même épaisseur (ex) par au moins une couche interne (Ci) d'épaisseur (ec) au moins quatre fois supérieure à l'épaisseur (ex) des couches externes, chaque couche externe comportant
- 15 deux faces métallisées pour former des conducteurs électriques, une face interne (70, 80) comportant un conducteur électrique interne (72, 82) et une face externe (74, 84) comportant un conducteur électrique externe (76, 86) en vis-à-vis du conducteur électrique interne pour former une ligne (L1, L2) micro-ruban sur chacune des deux couches externes (Ce1, Ce2), les deux
- 20 lignes micro-ruban (L1, L2) étant symétriques par rapport à un plan central (PC) du circuit multicouche (60) parallèle aux faces externes (74, 84), le circuit multicouche comportant :
- à deux extrémités en vis-à-vis des lignes micro-ruban (L1, L2), une connexion électrique (116, 118) respective entre l'extrémité du conducteur interne (72, 82) d'une (L1) des lignes micro-ruban et l'extrémité du
 - 25 conducteur externe (76, 86) de l'autre (L2) ligne micro-ruban pour réaliser l'accès Eb basse impédance parallèle,
 - aux deux autres extrémités en vis-à-vis des dites lignes micro-ruban (L1, L2), une autre connexion électrique (114) entre les extrémités des
 - 30 conducteurs électriques internes (72, 82) des deux lignes micro-ruban (L1, L2), pour réaliser l'accès Eh haute impédance série,
- l'une et l'autre des extrémités des lignes micro-ruban (L1, L2), comportant respectivement l'accès Eb basse impédance parallèle et l'accès Eh haute impédance série, étant sur le grand côté (64) du circuit multicouche

(60) et à proximité l'une de l'autre pour limiter la surface de connexion avec le circuit imprimé (130).

2. Transformateur d'impédances VHF/UHF selon la revendication 1, caractérisé en ce que les lignes micro-ruban (L1, L2) symétriques comportent des impédances variant progressivement entre leurs deux extrémités d'une impédance faible (Z_b) à une impédance forte (Z_f) afin de modifier le rapport de transformation d'impédances.

3. Transformateur d'impédances VHF/UHF selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que, pour des raisons technologiques, la couche interne (C_i) est constituée de deux couches superposées, pour former un circuit multicouche à quatre couches parfaitement symétrique.

4. Transformateur d'impédances VHF/UHF selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les conducteurs électriques (72, 76, 82, 86) des lignes micro-ruban (L1, L2) sont au moins partiellement sous forme de serpentins le long d'un même axe XX' parallèle au grand côté (64) du circuit multicouche comportant les accès haute E_h et basse E_b impédance, pour diminuer la taille du circuit multicouche.

5. Transformateur d'impédances VHF/UHF selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les largeurs des conducteurs externes et internes varient progressivement, d'une de leurs extrémités à l'autre le long des lignes micro-ruban (L1, L2), d'une certaine largeur initiale (L_e) vers une largeur plus faible (L_f) finale pour obtenir la variation progressive de l'impédance faible (Z_b) vers l'impédance forte (Z_f) des lignes micro-ruban (L1, L2).

6. Transformateur d'impédances VHF/UHF selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les conducteurs électriques des lignes micro-ruban (L1, L2) comportent :

- des premières parties droites (100, 102) perpendiculaires au grand côté (62) du circuit multicouche (60) comportant les extrémités des conducteurs électriques formant les accès haute Eh et basse Eb impédance,
- des deuxièmes parties (104, 106), de part et d'autre des accès haute Eh et basse impédance Eb, en forme de serpentín selon un axe XX' parallèle au grand côté (62) du circuit multicouche (60),
- des troisièmes parties droites (108) parallèles à l'axe XX' par-dessus les parties des conducteurs électriques en forme de serpentín.

10 7. Transformateur d'impédances VHF/UHF selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le grand côté (64) du circuit multicouche (60) comporte un décrochement respectif (110, 112), de part et d'autre des accès haute Eh et basse Eb impédance, de profondeur P ayant des bords parallèles au grand côté (62), les dits décrochements (110, 112)
15 étant réalisés pour laisser de la place, sous le transformateur, à des composants éventuels situés sur le circuit imprimé (130) (ou carte mère) sur lequel le transformateur est destiné à être connecté.

20 8. Transformateur d'impédances VHF/UHF selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'épaisseur (ex) de chacune des couches externes est de 100µm, l'épaisseur (ec) de la couche interne (Ci) étant de 1600µm

25 9. Transformateur d'impédances VHF/UHF selon la revendication 8, caractérisé en ce que la couche interne (Ci) est formée par deux couches internes superposées de 800µm d'épaisseur chacune.

30 10. Transformateur d'impédances VHF/UHF selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le rapport Rz de transformation entre l'impédance de l'accès Eh haute impédance et celle de l'accès Eb basse impédance peut être compris entre 2 et 9.