



HAL
open science

Filtres miniatures microrubans en bande UHF sur matériaux céramiques à très forte permittivité

Yann Clavet, Alexandre Manchec, Jean-François Favennec, Cédric Quendo, Eric Rius, Barbara Bonnet, Jean-Claude Azzara, Cécile Debarge, Jean-Louis Cazaux

► **To cite this version:**

Yann Clavet, Alexandre Manchec, Jean-François Favennec, Cédric Quendo, Eric Rius, et al.. Filtres miniatures microrubans en bande UHF sur matériaux céramiques à très forte permittivité. 16èmes Journées Nationales Microondes, May 2009, Grenoble, France. pp.1E-4. hal-00491862

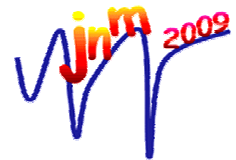
HAL Id: hal-00491862

<https://hal.science/hal-00491862v1>

Submitted on 14 Jun 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Filtres miniatures microrubans en bande UHF sur matériaux céramiques à très forte permittivité

Yann Clavet¹, Alexandre Manchec¹, Jean-François Favennec², Cédric Quendo², Eric Rius², Barbara Bonnet³,
Jean-Claude Azzara³, Cécile Debarge³, Jean-Louis Cazaux³

¹ELLIPTIKA, 6 avenue Le Gorgeu, CS 93837, 29238 Brest Cedex 3

²Université de Brest ; CNRS, UMR 3192 Lab-STICC, ISSTB, 6 avenue Le Gorgeu, CS 93837, 29238 Brest cedex 3

³Thales Alenia Space France, 26 avenue Champollion, BP 1187, 31037 Toulouse Cedex 1
yann.clavet@elliptika.com

Résumé

La miniaturisation des filtres embarqués reste un souci majeur du secteur spatial. L'utilisation de nouveaux matériaux céramiques à très forte permittivité diélectrique peut être une solution exploratoire de par leurs propriétés électriques améliorées. Afin de montrer le potentiel de ces matériaux particuliers, nous présentons dans cette communication des filtres microrubans UHF centrés à 720 MHz sur des substrats diélectriques de permittivités relatives $\epsilon_r = 90$ et 139.

1. Introduction

Malgré les fortes réductions d'encombrement et de poids des systèmes hyperfréquences depuis une dizaine d'années, les demandes de miniaturisation, de réduction de la consommation d'énergie et de réduction des coûts sont toujours croissantes. Pour offrir un maximum d'applications dans un même système d'émission/réception radiofréquence sans pour autant augmenter son encombrement et son coût, la solution est d'insérer un maximum de composants sur la même carte électronique.

Actuellement, les problèmes se situent principalement dans la partie basse du spectre électromagnétique, i.e. dans les bandes VHF et UHF. Ces bandes de fréquence sont particulièrement convoitées par un grand nombre d'utilisateurs dans les applications suivantes : télévision analogique, numérique, radio numérique, téléphonie mobile, réseaux locaux...

Pour les applications à quelques centaines de MHz, l'utilisation de substrats diélectriques classiques est généralement proscrite pour réaliser des filtres distribués. En effet, les longueurs d'ondes dans ces gammes de fréquences imposent des encombrements non négligeables. Les filtres en éléments localisés ne sont pas toutefois la panacée. Dans le cadre de l'application visée, des essais préalables ont discrédité une solution en éléments localisés pour des raisons de performances (notamment en terme de platitude et de réjection) mais aussi une trop grande complexité de réalisation.

Pour répondre aux problématiques d'encombrement [1], les filtres à onde acoustique de surface (SAW) et de substrat (BAW) peuvent être une solution, mais ils n'offrent pas tout le potentiel d'une solution microruban traditionnelle équivalente. Or, de grands fabricants proposent depuis peu sur le marché, des matériaux céramiques à très forte permittivité. Ces derniers offrent des caractéristiques électriques proches d'aluminés standards, notamment en terme de $\tan\delta$, et sont stables en température.

Les progrès récents accomplis au niveau des matériaux à fort ϵ_r et des techniques de métallisation laissent entrevoir des perspectives nouvelles à partir de technologies d'intégration plaquées de type microruban.

Ces facteurs nous ont conduit à examiner le potentiel offert par l'utilisation de substrats diélectriques céramiques, de permittivités relatives $\epsilon_r = 90$ et 139 pour la conception d'un filtre microruban UHF dédié au secteur spatial.

Ce travail a été réalisé par les équipes de Elliptika, Lab-STICC et Thales Alenia Space dans le cadre du projet FLIP du CNES.

2. Spécifications du filtre et caractéristiques du substrat utilisé

2.1. Spécifications électriques

Nous présentons dans ce paragraphe les principales spécifications sur lesquelles nous avons travaillé. Il s'agit d'un filtre passe-bande centré à 720 MHz et de 125 MHz de bande passante (17,4% de largeur de bande relative) (Figure 1). Les points durs du filtre sont l'obtention d'une solution compacte présentant les meilleures réjections possibles au voisinage de la bande (> 40 dB) tout en respectant un faible niveau de platitude dans la bande passante (< 1 dB).

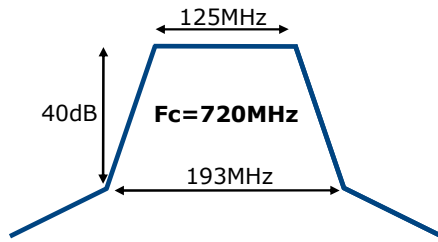


Figure 1. Gabarit du filtre.

Dans un composant passif hyperfréquence conçu sur un substrat de forte permittivité, la longueur d'onde d'une onde électromagnétique se propageant dans la structure, est réduite par la racine carrée de la permittivité effective du matériau [2], [3]. Par conséquent, un tel matériau permet une miniaturisation notable du composant. Afin de concevoir un filtre de taille compacte, ces considérations nous ont conduit à sélectionner des substrats céramiques de permittivité relative de 90 et 139 ($\epsilon_r = 90$ et 139) (Figure 2). Il résulte que chaque dimension d'un filtre à ligne de transmission réalisé avec de tels matériaux, est réduite respectivement d'environ 9, et 11, par rapport à un filtre utilisant l'air comme substrat. En outre, ces substrats diélectriques ont des caractéristiques physiques comparables à celle des substrats d'alumine couramment utilisées dans les applications hyperfréquences. Selon les fabricants des céramique sélectionnées, leur tangente de pertes diélectriques ($\tan\delta$) est de l'ordre de $1 \cdot 10^{-3}$ à 1 MHz. Dans cette étude, l'épaisseur du substrat est de 1 mm afin d'assurer une bonne rigidité du filtre, celle de la métallisation en or est de $4 \mu\text{m}$.

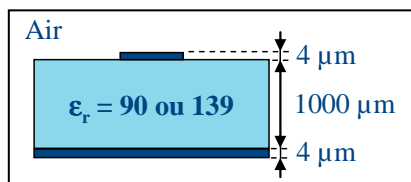


Figure 2. Configuration microruban.

3. Conception du filtre

Pour l'application visée, la fonction filtrage peut être réalisée soit en réalisant un seul bloc, soit en scindant la fonction en deux sous-fonctions identiques (deux blocs), séparées par des éléments actifs assurant l'isolation entre elles (Figure 3). Nous avons choisi ici de considérer la deuxième option.

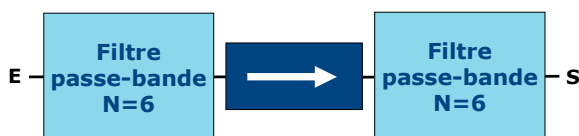


Figure 3. Fonction globale de filtrage.

Afin d'atteindre les spécifications, la topologie de filtre s'appuyant sur un résonateur de type Dual Behavior Resonator (DBR) nous a paru la plus judicieuse en raison de ses faibles pertes d'insertion et de sa forte sélectivité [4], [5]. Le résonateur DBR est composé de deux stubs

en parallèle, de longueurs différentes et en circuit-ouvert (Figure 4). Chaque stub apporte un zéro de transmission de part et d'autre d'une bande passante. Les résonateurs sont connectés entre eux par des inverseurs quart d'onde.

Tout d'abord, un filtre DBR symétrique d'ordre six a été conçu. Il s'agissait d'un bon compromis entre les performances électriques et la taille. Ensuite, des techniques de couplages croisés ont été utilisées dans la structure pour améliorer les niveaux de réjection [6]-[8]. En effet, la topologie DBR permet de multiples couplages possibles. La Figure 4 illustre uniquement les couplages considérés, à savoir entre les résonateurs non adjacents 1 et 6. Ces couplages croisés sont de type électrique et sont représentés par deux admittances caractéristiques de signe négatif, J_{16a} et J_{16b} . Ces couplages sont réalisés entre des stubs de même nature, c'est à dire entre stubs haute fréquence (HF) ou basse fréquence (BF).

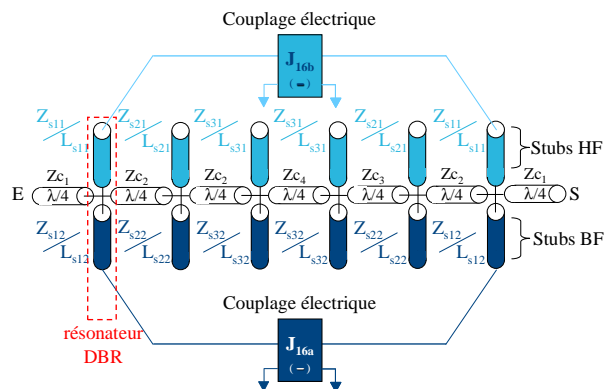


Figure 4. Schéma en ligne de transmission idéale d'un filtre DBR d'ordre 6 à couplages croisés négatifs (couplages de type électrique)

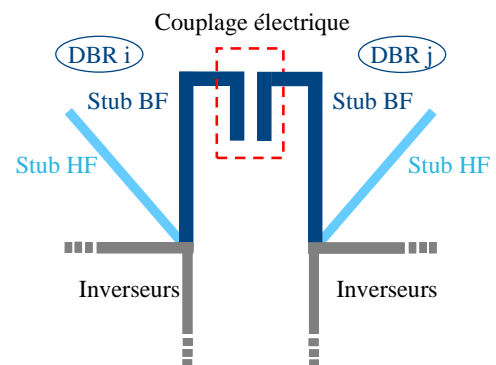


Figure 5. Exemple de couplage électrique entre deux stubs BF.

La Figure 5 indique comment réaliser un couplage croisé de type électrique entre deux stubs DBR : il est créé en rapprochant les extrémités des stubs quasi-quarts d'onde puisque c'est la zone où le champ électrique est le plus concentré.

La Figure 6 présente les masques de la structure finale. Nous pouvons noter que les rubans sont relativement larges. Ceci est nécessaire pour optimiser le facteur de qualité des résonateurs. Une des particularités des matériaux à forte permittivité est de travailler

nécessairement sur des niveaux d'impédance faible. Ainsi, les lignes $50\ \Omega$ doivent être proscrites car elles sont trop fines (de l'ordre de $20\ \mu\text{m}$ pour un matériau d'épaisseur de $1\ \text{mm}$ et de permittivité relative de 90). Malgré cette contrainte, le filtre est adapté sur $50\ \Omega$.

De plus, les filtres ont été repliés pour minimiser leur encombrement. Les tailles finales des filtres sur les substrats de permittivité relative de 90 et 139 , sont respectivement de l'ordre de $39,5\ \text{mm} \times 36,8\ \text{mm}$ et $29,5\ \text{mm} \times 30,6\ \text{mm}$, correspondant à un ratio de l'ordre de $1,3$ d'une version à l'autre. Comparé à une solution sur une alumine standard ($\epsilon_r = 9,9$), la miniaturisation est très significative : la surface globale a pu être réduite de plus d'un facteur 3 .

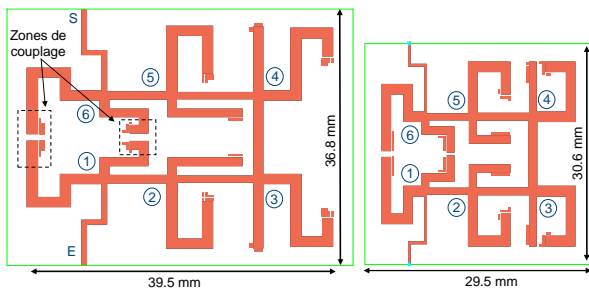


Figure 6. Masques des filtres. (a) $\epsilon_r=90$. (b) $\epsilon_r=139$.

4. Résultats expérimentaux ($\epsilon_r = 90$)

La Figure 7 présente la photographie d'un des prototypes ($\epsilon_r = 90$). Les Figures 8-a) et 8-b) illustrent le bon accord entre les résultats de mesure et de simulation électromagnétique obtenus avec Momentum™ (Agilent Technologies). Cependant, nous pouvons constater un léger décalage en fréquence lié probablement à la dispersion du substrat, aux tolérances de fabrication et aux effets des connecteurs. Les pertes d'insertion sont d'environ $1,64\ \text{dB}$, la platitude dans la bande est de $0,55\ \text{dB}$ et les réjections à $F_c \pm 193\ \text{MHz}$ sont meilleures que $19,8\ \text{dB}$. Le Tableau 1 résume les caractéristiques du prototype mesuré et simulé. Ces résultats prouvent la maîtrise de la procédure de conception, de la simulation à la fabrication.

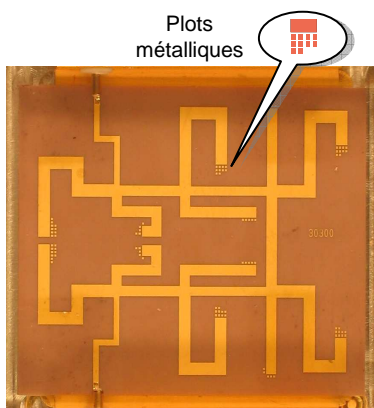
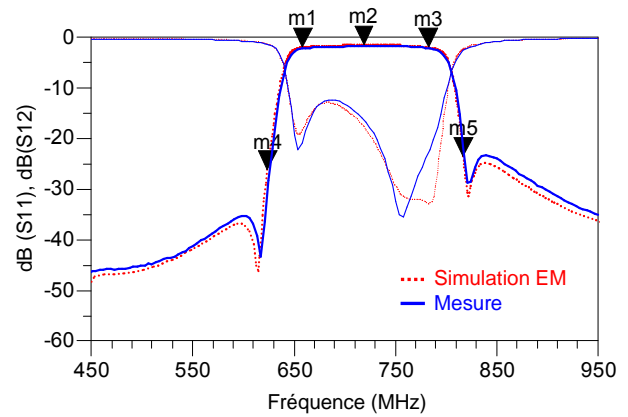
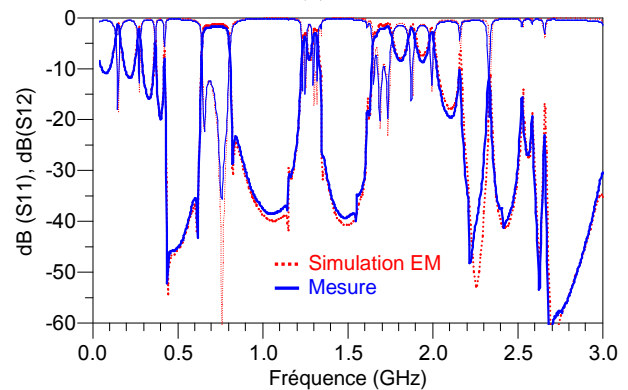


Figure 7. Photo du filtre DBR d'ordre 6 à couplages croisés ($\epsilon_r = 90$).



(a)



(b)

Figure 8. Résultats de simulation EM et de mesures du filtre DBR d'ordre 6 à couplages croisés ($\epsilon_r = 90$). (a) aux abords de la bande. (b) du DC à $3\ \text{GHz}$.

Filtre DBR d'ordre 6	Performances électriques		
	Pertes d'insertion (dB)	Platitude dans la bande (dB)	Réjection @ $F_c \pm 193\ \text{MHz}$ (dBc)
Simulation	1,47	0,49	> 22,1
Mesure	1,64	0,55	> 19,8

Tableau 1. Comparaison des résultats de simulation du filtre d'ordre 6 avec la mesure.

Finalement, la fonction globale de filtrage est obtenue en associant deux filtres DBR d'ordre six à couplages croisés, séparés par un isolateur (Figure 3). La Figure 9 montre que les performances électriques de la fonction globale de filtrage sont très proches des spécifications (Tableau 2). Les pertes d'insertion sont de l'ordre de $3,45\ \text{dB}$; la platitude dans la bande passante est de $1,1\ \text{dB}$, et les niveaux de réjections (à $F_c \pm 193\ \text{MHz}$) sont supérieurs à $39,8\ \text{dB}$. Les performances sont susceptibles d'être améliorées grâce à l'utilisation de plots métalliques permettant le réglage de chacune des sous-fonctions.

En effet, la fréquence centrale du filtre DBR et sa largeur de bande peuvent être facilement post-réglées en ajustant les longueurs des stubs. C'est pourquoi, des plots métalliques ($250 \times 250\ \mu\text{m}^2$, Figure 7) ont été ajoutés et connectés aux extrémités des stubs par câblage de fil (*wire bonding*) afin de pouvoir corriger le décalage en fréquence dû à la dispersion du substrat à température

ambiante. D'après les simulations, les plots permettent un décalage en fréquence du filtre d'environ 5%

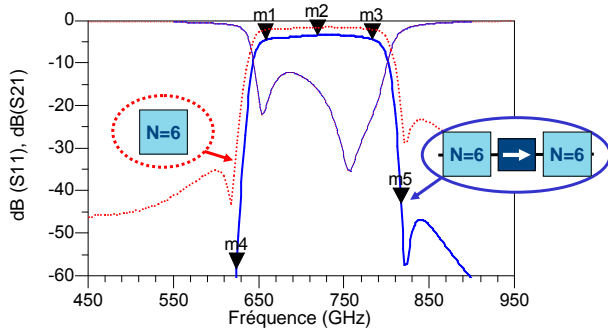


Figure 9. Réponses électriques de la sous-fonction (mesure) et de la fonction globale de filtrage (simulation : association des deux filtres mesurés sur $\epsilon_r=90$ et d'un modèle d'isolateur).

Fonction globale de filtrage	Performances électriques		
	Pertes d'insertion (dB)	Platitude dans la bande (dB)	Réjection @Fct±193MHz (dBc)
Spécifications	-	<1	>40
Simulation	3,45	1,1	>39,8

Tableau 2. Comparaison des performances de la fonction globale de filtrage avec les spécifications.

5. Conclusion

Des filtres passe-bande miniatures opérant en bande UHF ont été conçus et développés à l'aide de matériaux particuliers possédant des permittivités relatives de 90 à 139. Les premiers résultats obtenus sont très prometteurs. Le simulateur électromagnétique a prouvé sa fiabilité au vu des performances affichées par le filtre mesuré. En effet, il a correctement pris en compte le comportement des champs électromagnétiques dans des milieux diélectriques où le contraste de permittivité entre l'air et la céramique est très fort. Les incertitudes concernant l'aptitude des matériaux à maintenir une tangente de pertes acceptable sur une large gamme de fréquences et la maîtrise des process technologiques pour la matérialisation des conducteurs métalliques ont pu être levés.

Dans l'avenir, ce type de matériaux aux propriétés électriques améliorées sera une solution très attractive pour de nombreuses applications.

6. Bibliographie

[1] R. Weigel, D.P. Morgan, J.M. Owens, A. Ballato, K.M. Lakin, K. Hashimoto and CCW Ruppel, "Microwave Acoustic Materials, Devices and Applications," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol 50, NO.3, 2002, pp.738-749.

[2] W. Wersing, "Microwave ceramics for resonators and filters," *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, Vol 1, Issue 5, October 1996, pp. 715-731

[3] I. Hunter, S.R. Chandler, D. Young, A. Kennerley, "Miniature Microwave Filters for Communication Systems," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol 43, NO. 7, 1995, pp.1751-1757.

[4] C. Quendo, E. Rius, C. Person, "Narrow BandPass Filters Using Dual Behavior Resonators (DBRs)," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol 51, n°3, 2003, pp.734-743.

[5] C. Quendo, E. Rius, C. Person, "Narrow BandPass Filters Using Dual Behavior Resonators (DBRs) based on Stepped Impedance Stubs and Different-length Stubs," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol 52, NO. 3, 2004, pp.1034-1044.

[6] A. Manchec, Y. Clavet, C. Quendo, E. Rius, J.F. Favennec, C. Person, "Cross-Coupled Microstrip Dual Behavior Resonator (DBR) Filter," 36th European Microwave Conference, Manchester (UK), 2006, pp.556-559.

[7] J-S. Hong, M. J. Lancaster, "Coupling of microstrip square open-loop resonators for cross-coupled planar microwave filters," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 44, n°12, pp. 2099-2109, Dec. 1996.

[8] J-S. Hong, M. J. Lancaster, "Transmission line filters with advanced filtering characteristics," *IEEE MTT-S Digest*, pp. 319-322, Jun. 2000.