



**HAL**  
open science

## **Filtre UHF à résonateurs coaxiaux Matriochka à deux et trois sections en fabrication additive**

Marc Hakim Aouidad, Jean-François Favennec, Eric Rius, Alexandre Manchec, Yves Quéré, Annaïg Guennou

### ► **To cite this version:**

Marc Hakim Aouidad, Jean-François Favennec, Eric Rius, Alexandre Manchec, Yves Quéré, et al.. Filtre UHF à résonateurs coaxiaux Matriochka à deux et trois sections en fabrication additive. 20èmes Journées Nationales Microondes, May 2017, Saint-Malo, France. hal-01700087

**HAL Id: hal-01700087**

**<https://hal.science/hal-01700087v1>**

Submitted on 3 Feb 2018

**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.

## Filtre UHF à résonateurs coaxiaux Matriochka à deux et trois sections en fabrication additive

Marc Hakim Aouidad<sup>3</sup>, Jean-François Favennec<sup>2</sup>, Eric Rius<sup>1,2</sup>, Alexandre Manchec<sup>3</sup>, Yves Quéré<sup>1,2</sup>, Annaig Guennou<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Université Européenne de Bretagne, France

<sup>2</sup>Université de Brest, Lab-STICC UMR CNRS 6285, 6 avenue Le Gorgeu, CS 93837, 29238 Brest Cedex 3

<sup>3</sup>Elliptika, 2 rue Charles Jourde, 29804 Brest

hakim.aouidad@elliptika.com

**Résumé** – Ce papier concerne des filtres hyperfréquences fabriqués en impression 3D métal et matériau « ceramic » métallisés. Ces filtres sont basés sur un concept de résonateurs SIR (Stepped Impedance Resonator) développés sur l'imbrication de structures coaxiales à air. L'originalité ici, est de réaliser un résonateur par une succession en cascade de tronçons coaxiaux concentriques, où le conducteur de masse de l'un, devient l'âme centrale du suivant, et vice-versa. Cette imbrication permet d'obtenir une forte réduction des dimensions du résonateur. De plus, en mettant à profit une propriété des SIR, on obtient une nouvelle réduction de la taille tout en conservant un facteur de qualité acceptable. C'est un concept tout à fait général pouvant être décliné à l'ordre  $n$  ( $n$  sections coaxiales), dans ce papier on développera un ordre 2 et 3 sections. Nous mettons ici en avant leurs propriétés particulières, en présentant deux filtres d'ordre 2 en bande UHF, conçus et réalisés en impression 3D.

### 1. Introduction

Le besoin en filtres hyperfréquences de tailles réduites, présentant de bonnes performances électriques pour des coûts limités, ne cesse d'augmenter. Nous proposons dans ce papier, une nouvelle solution de résonateur coaxial miniature SIR fabriqué en impression 3D. Le premier filtre « A » est réalisé en impression 3D métal (DMLS) avec un alliage d'aluminium « AlSi10Mg » et le second filtre « B » en impression 3D avec un matériau "ceramic". L'intérêt d'utiliser ces techniques de réalisation est d'obtenir des structures de filtrage complexes qui seraient impossible à réaliser en usinage classique, mais aussi d'optimiser la miniaturisation du filtre. En effet à valeurs égal, plus on augmente le nombre de sections plus on diminue la fréquence de résonance des résonateurs.

L'utilisation de sauts d'impédance dans les résonateurs coaxiaux a été largement abordée dans la littérature [1]-[2]. Cependant les géométries proposées sont limitées en termes de degré de liberté et n'offrent pas la même flexibilité que nos structures associées à l'impression 3D.

### 2. Résonateur Matriochka à 2 et 3 sections

Le résonateur matriochka à 2 sections est présenté dans [3]-[4]. La structure physique du résonateur coaxial Matriochka d'ordre 3 est présentée sur la figure 1. Les trois tronçons coaxiaux à air, de longueurs physiques  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_3$  ici identiques, sont imbriqués les un dans les autres, suivant une disposition tête-bêche, c'est à dire présentant de façon alternée un circuit ouvert à une extrémité, et un court-circuit à l'autre. On obtient donc au final un résonateur quart d'onde, constitué de trois tronçons en cascade, d'impédances caractéristiques  $Z_1$ ,  $Z_2$  et  $Z_3$ .

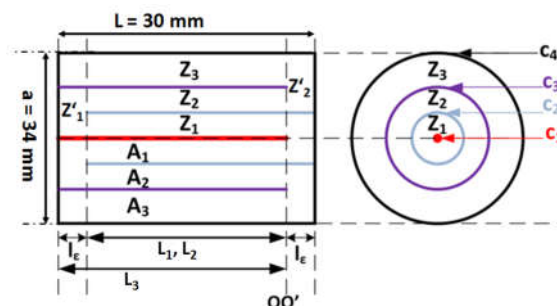


Figure 1. Structure physique du résonateur Matriochka à trois sections

En négligeant les sections de couplage matérialisées par les tronçons d'impédances caractéristiques  $Z_1'$  et  $Z_2'$  de longueur physique  $l_e$  petite au regard de celles des tronçons coaxiaux, nous pouvons calculer la fréquence de résonance du résonateur Matriochka à 3 sections, qui dans le cas particulier où  $L_1 = L_2 = L_3 = L_0$ , s'exprime par :

$$F_0 = \frac{c}{2\pi L_0} \tan^{-1} \sqrt{\frac{1}{M_A + M_A M_B + M_B}}; \quad (1)$$

$$M_A = \frac{Z_3}{Z_2}; \quad M_B = \frac{Z_2}{Z_1}$$

### 3. Filtre d'ordre 2

#### 3.a. Fabrication des filtres

Deux filtres d'ordre 2 à résonateurs coaxiaux Matriochka à 2 et 3 sections ont été conçus avec le logiciel HFSS de ANSYS et fabriqués en utilisant les nouvelles technologies additives d'impression 3D. Ces méthodes sont des alternatives prometteuses comparées aux techniques d'usinages conventionnelles pour la fabrication de systèmes micro-ondes [5]. Deux procédés largement employés sont la stéréolithographie combinée à une métallisation par bain électroless et le frittage direct par laser ou DMLS. Ces deux techniques ont été utilisées pour la fabrication de nos filtres.

Les figures 2(a) et 2(b) présentent deux photos du boîtier du filtre d'ordre 2 à 2 et 3 sections sans le capot métallique supérieur, visible sur la figure 2(c). Les résonateurs ont ici un conducteur externe  $C_4$  de section carrée. Les excitations d'entrée/sortie sont réalisées avec une tige métallique en contact direct avec le cylindre  $C_3$ . La position du contact est ajustable, le long du cylindre  $C_3$ , et permet d'obtenir le couplage externe requis. Le couplage entre les deux résonateurs est réalisé par un iris de largeur 30 mm, ici équivalente à la largeur de la cavité. Le filtre « A » est fabriqué en impression 3D métal excepté pour les cylindres  $C_1$  qui sont en laiton. Ils sont donc indépendants du boîtier, cela nous permet pour une même structure de passer d'un résonateur Matriochka à 2 sections (sans les cylindres  $C_1$  figure 2(a)) à un résonateur Matriochka à 3 sections (avec les cylindres  $C_1$  figure 2(b)). Le filtre « B » est aussi fabriqué en impression 3D avec un matériau « ceramic » métallisé excepté pour les cylindres  $C_1$  qui sont en laiton. Le filtre « B » est métallisé avec un dépôt de cuivre d'une épaisseur d'environ 5  $\mu\text{m}$  et une finition étain électrolytique d'une épaisseur de 5  $\mu\text{m}$ .

Contrairement aux filtres avec des résonateurs à 2 sections qui n'ont ici aucun moyen de réglage en fréquence, les filtres avec des résonateurs à 3 sections sont ajustables en fréquence avec l'introduction des tiges  $C_1$ .

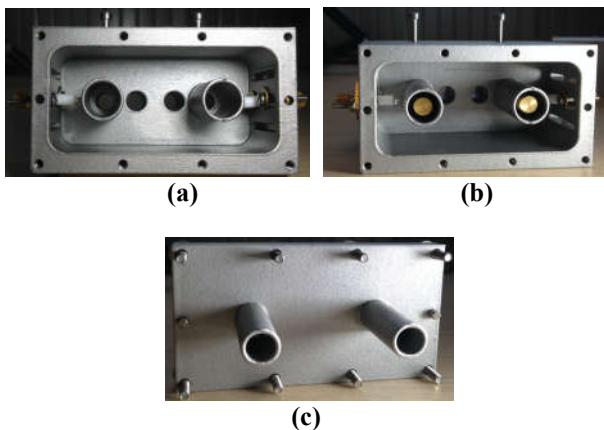


Figure 2. Photographies du boîtier (a) sans les cylindres  $C_1$  (2 sections), (b) avec les cylindres  $C_1$  (3 sections) et (c) le capot avec les cylindres  $C_2$ .

La figure 3(a) et (b) présente deux photos des deux filtres « A » et « B » et la figure 3(c) une vue 3D HFSS d'un des filtres. Les dimensions des deux filtres sont réduites, elles sont égales ici à  $85 \times 64 \times 45 \text{ mm}^3$ .

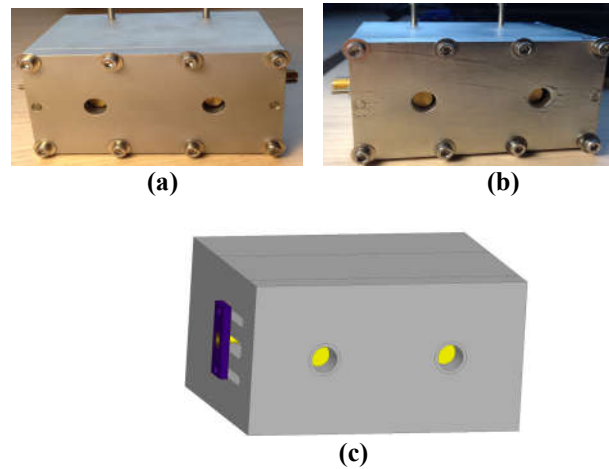


Figure 3. Photographie du filtre (a) en aluminium, (b) en céramique métallisée et (c) vue 3D HFSS.

#### 3.a. Simulations EM et mesures des filtres à résonateurs Matriochka à 2 sections

La figure 4 présente les résultats expérimentaux, ainsi que les simulations électromagnétiques des deux filtres d'ordre 2 avec des résonateurs Matriochka à 2 sections. Les deux filtres « A » et « B » sont adaptés à 20 dB avec une bande passante relative d'environ 5%. Cependant, nous constatons un décalage fréquentiel entre la simulation EM et la mesure pour les deux filtres. Le filtre « A » est décalé de 34 MHz vers les basses fréquences, le filtre « B » quant à lui est décalé de 44 MHz vers les hautes fréquences par rapport à la simulation EM. Le décalage fréquentiel des deux filtres est produit par les dispersions de fabrication de l'impression 3D.

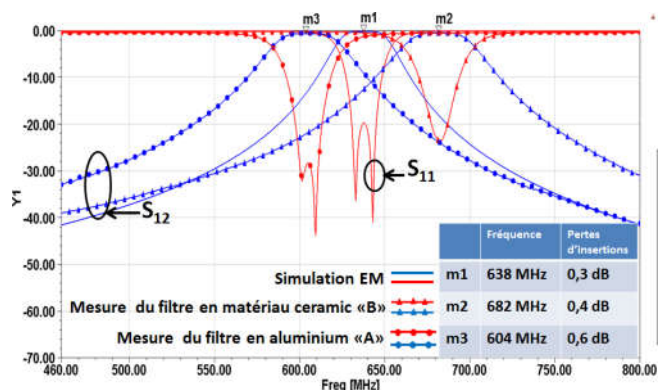


Figure 4. Simulations EM HFSS et mesures des filtres Matriochka à 2 sections « A » et « B »

#### 3.b. Rétrosimulations EM des filtres à résonateurs Matriochka à 2 sections

Pour connaître les dispersions de fabrication en impression 3D, nous avons réalisé des rétrosimulation du filtre d'ordre 2. Les résultats sont présentés sur la figure 5. Pour recaler en fréquence la simulation EM sur les

mesures, nous avons mesuré les dimensions physiques des deux filtres « A » et « B ». La dispersion de la fabrication obtenue est de l'ordre de +/- 0.1 mm au niveau des cylindres  $C_2$  et  $C_3$  qui sont les zones les plus sensibles du filtre. La conductivité électrique permettant d'obtenir en simulation EM le même niveau de pertes d'insertion que la mesure du filtre en aluminium « A » est de l'ordre de  $0,2 \times 10^7 \text{ s/m}^{-1}$ , pour le filtre « B » en matériau « ceramic » elle est de  $0,6 \times 10^7 \text{ s/m}^{-1}$ . Les faibles niveaux de ces deux valeurs nous permettent d'envisager un effet non négligeable de la rugosité de surface sur les niveaux de pertes d'insertion. Le facteur de qualité à vide d'un résonateur en aluminium « A » est de l'ordre de 400, pour le résonateur en matériau « ceramic » métallisé il est de 600. A noter que la conductivité électrique utilisée pour la simulation centrée à 638 MHz était de  $1,6 \times 10^7 \text{ s/m}^{-1}$  pour un facteur de qualité à vide de l'ordre de 1000.

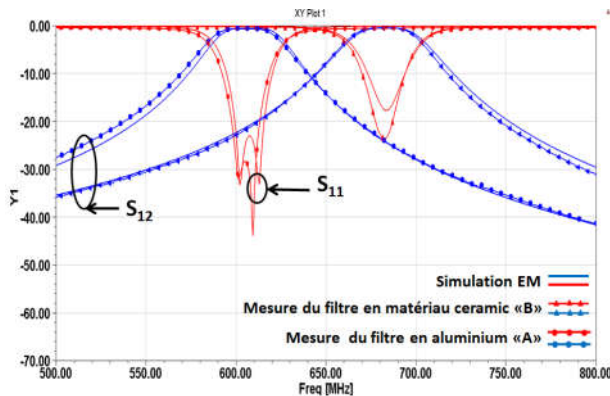


Figure 5. Rétro-simulations EM HFSS et mesure des filtres Matriochka à 2 sections « A » et « B »

### 3.c. Simulations EM et mesure des filtres à résonateurs Matriochka à 3 sections

L'augmentation du nombre de sections de 2 à 3 pour les résonateurs se fait par l'introduction des tiges  $C_1$  dans les cylindres  $C_2$ . La fréquence centrale du filtre passe ainsi de 638 MHz à 396 MHz sans modification de ses dimensions. Cette technique nous permet d'obtenir un filtre à une fréquence centrale plus basse sans avoir à agrandir la taille de la structure.

Nous observons sur la figure 6 un très bon accord entre la simulation EM et la mesure des deux filtres « A » et « B », les filtres sont correctement adaptés autour de 20 dB et le niveau de pertes d'insertion mesuré est de 0,9 dB, contre 0,4 dB obtenu en simulation.

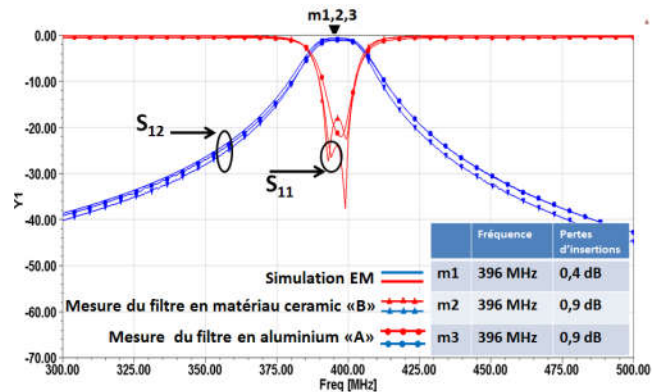


Figure 6. Simulation EM HFSS et mesure des filtres Matriochka à 3 sections « A » et « B »

## 4. Conclusion

Les résultats de mesure obtenus pour les filtres fabriqués en 3D métal et matériau « ceramic » métallisés sont très intéressants et encourageants. La topologie de résonateurs coaxiaux SIR proposée dans ce papier présente pour avantages, de diminuer considérablement l'encombrement des filtres hyperfréquences tout en gardant un faible niveau de pertes d'insertion. Les prototypes de filtres réalisés nous ont permis de mettre en évidence, d'une part l'intérêt en termes d'encombrement du résonateur Matriochka à 3 sections comparé à un résonateur à 2 sections, et d'autre part que l'impression 3D est une solution intéressante pour le prototypage de structures de filtrage complexes ; bien qu'il faudra encore un peu de temps avant que la qualité des états de surface permettent une industrialisation.

## Références

- [1] M. Makimoto and S. Yamashita, "Compact Bandpass Filters Using Stepped Impedance Resonators" Proceedings of the IEEE, vol. 67, no.1, pp 16-20, January 1979
- [2] B. A. Belyaev, A. M. Serzhantov, V. V. Tyurnev, and A. A. Leksikov. "Miniature Bandpass Filter with a Wide Stopband up to  $40F_0$ ". *Microwave and Optical Technology Letters*. Vol. 54, No. 5. P. 1117-1118, may 2012.
- [3] H. Aouidad, E. Rius, J.F. Favennec et A. Manchec « Filtre UHF à résonateurs coaxiaux Matriochka à deux sections », Journées Nationales Microondes, JNM, Bordeaux, France, Juin 2015.
- [4] H. Aouidad, E. Rius, J-F. Favennec, A. Manchec and Y. Clavet, "UHF Second Order Bandpass Filters Based on Miniature two-section SIR Coaxial Resonators" *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, Published online 02 September 2015, Vol. 8, Issue 8, pp. 1187-1196, December 2016
- [5] Sorrentino, R., Peverini, O.A.: 'Additive Manufacturing: A Key Enabling Technology for Next-Generation Microwave and Millimeter-Wave Systems'. *IEEE Journals and Magazines*, 2016, 104, (7), pp. 1362-1366