

Filtre SIW reconfigurable en bande Ku avec des diodes PIN

Abbas El Mostrah^{1,2}, Benjamin Potelon^{1,2}, Eric Rius^{1,2}, Jean-François Favennec^{1,2}, Cédric Quendo^{1,2}, Hervé Leblond³

¹Université Européenne de Bretagne, France

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

³Thales Alenia Space, France, 26 Avenue Jean François Champollion, BP33787, 31100 Toulouse

Abbas.elmostrah@univ-brest.fr

Résumé

Ce papier présente un filtre SIW reconfigurable par des diodes PIN. Cette solution est basée sur des fentes circulaires gravées sur la face supérieure du filtre. L'accordabilité est assurée par la connexion ou la déconnexion de ces fentes circulaires à la face supérieure du filtre. Afin de valider nos analyses, l'accordabilité est appliquée à un filtre d'ordre 4. Ce dernier est accordable en fréquence centrale. Dans un premier temps, nous étudions un filtre commutable sur deux états puis nous généralisons à 4 états allant de 10,825 à 11,575 GHz (variation de 6,7%). Le filtre présente des pertes d'insertion inférieures à 5,6 dB et une adaptation supérieure à 15 dB.

1. Introduction

Récemment, les structures SIW (Substrate Integrated Waveguide) ont fait l'objet d'un grand intérêt [1]. Cette structure est un candidat très prometteur pour de nombreux circuits y compris en millimétrique. C'est une solution simple qui consiste à combiner les technologies planaires et volumiques en une structure unique afin de bénéficier de leurs avantages respectifs. En effet, les filtres SIW présentent un facteur de qualité meilleur que celui atteint avec les dispositifs purement planaires. En outre, grâce à une transition spécifique, cette technologie est compatible avec certaines technologies planaires [2]. Les filtres SIW exploitent des modes volumiques et sont réalisés par des techniques de fabrication planaires.

Les progrès récents sur les architectures accordables et/ou multistandards ont fait de l'accordabilité une véritable exigence [3]. Malheureusement, l'accordabilité des circuits SIW reste un point dur à réaliser. Un certain nombre de solutions existe déjà, mais beaucoup d'obstacles restent encore à franchir avant de disposer de composants complètement reconfigurables, non seulement en fréquence centrale, mais aussi en bande passante. Dans ce papier, un filtre SIW accordable en fréquence centrale d'ordre 4 est proposé. L'idée principale est basée sur une fente circulaire gravée sur la couche métallique supérieure du filtre et située au centre de chaque cavité. Plusieurs états sont réalisés par connexion ou déconnexion de la face supérieure du filtre et du disque métallique. La commutation est effectuée en utilisant des diodes PIN sur une couche supplémentaire

d'Intervia Photodielectric 8010, afin de séparer le réseau de polarisation et le filtre SIW. Ce dernier est réalisé sur un substrat d'alumine standard d'épaisseur 380 μm et de permittivité 9,9. Les simulations ont été effectuées en utilisant un logiciel de simulation 3D HFSSTM.

2. Topologie du filtre accordable en fréquence centrale

2.a. Principe du filtre accordable d'ordre 4

Un filtre SIW d'ordre 4 a été conçu afin d'examiner l'effet de la présence d'une fente gravée sur la face supérieure de chaque cavité. La conception du filtre est basée sur la synthèse de filtres passe-bande en guide d'onde rectangulaire utilisant des trous pour réaliser les couplages [4]. Les trous métallisés sont modélisés par un circuit en T composé d'une inductance parallèle et de deux capacités (figure 1).

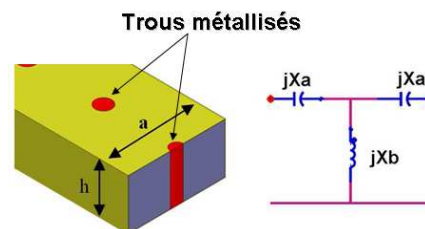


Figure 1. « Coupe » d'un guide d'onde avec des trous métallisés placés au centre avec son circuit équivalent

Le filtre possède une fréquence centrale de 10,825 GHz et une bande passante relative de 3%. La hauteur du guide rectangulaire est réduite à l'épaisseur du substrat qui vaut 380 μm . le substrat utilisé présente une permittivité de 9,9 et $\text{tg}\delta = 0,0003$. Les parois métalliques latérales sont remplacées par des rangées de trous métallisés. La Figure 2 illustre la vue de dessus du filtre symétrique SIW proposé. Les dimensions du filtre sont données dans le Tableau 1. Afin de mettre au point la solution proposée pour l'accordabilité, une fente circulaire est gravée sur la face supérieure de chaque cavité du filtre. La Figure 3 illustre les deux états engendrés par la mise en place d'un court circuit (état 1) ou d'un circuit ouvert (état 2) entre le disque métallique et le plan supérieur du filtre. Les deux états (1 et 2) sont

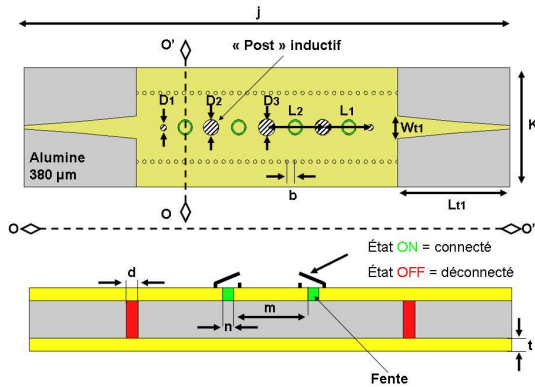


Figure 2. Vue de dessus du filtre SIW d'ordre 4 avec la fente de perturbation.

D_1	0.63 mm	b	900 μm	W_{t1}	2.5 mm
D_2	1.72 mm	d	400 μm	K	13 mm
D_3	1.89 mm	n	160 μm	j	55.76 mm
L_1	5.49 mm	m	1.35 mm		
L_2	6.39 mm	L_{t1}	12.9 mm		

Tableau 1. Dimensions du filtre SIW symétrique d'ordre 4

présentés sur la Figure 2 comme étant les états **ON** (court-circuit) et **OFF** (circuit-ouvert), respectivement. Dans l'état 2, la réponse électrique du filtre subit un décalage en fréquence centrale de 5% vers les hautes fréquences, en notant une légère augmentation en bande passante.

2.b. Conception d'un filtre accordable en fréquence centrale grâce à des diodes PIN

De nombreuses simulations nous ont prouvé que la variation en fréquence centrale dépend de la largeur du diamètre de la fente, mais aussi de sa localisation. Afin d'augmenter le nombre d'états possibles nous avons ajoutés de nouvelles fentes. En effet, chaque cavité du filtre possède une fente située au centre, et deux fentes mises de part et d'autre de l'axe central xx' comme le montre la Figure 4. Selon leur activation ou non, nous pourrions avoir différents états de fréquence centrale. Afin de ne pas dissymétriser la structure, les fentes latérales seront toujours toutes commutées simultanément. Les éléments d'accord utilisés sont des diodes PIN HPND-4038. Cette structure est ensuite simulée grâce à un simulateur électromagnétique 3D HFSS™, une diode passante est modélisée par une résistance et une diode bloquée par un circuit RC parallèle (Figure 5). La structure est simulée avec une transition du type SIW-microruban qui passe progressivement de la largeur, W_b , à une largeur, $W_{50\Omega}$, correspondant à une ligne 50 Ω. Les simulations proposées sont dans un premier temps faites sans prendre en compte les circuits de polarisation. La Figure 6 illustre les réponses électriques et les variations en fréquence centrale résultant des différents états. Les réponses montrent un niveau des pertes compris entre 4,5 et 2,6 dB et une adaptation supérieure à 15 dB pour tous les états.

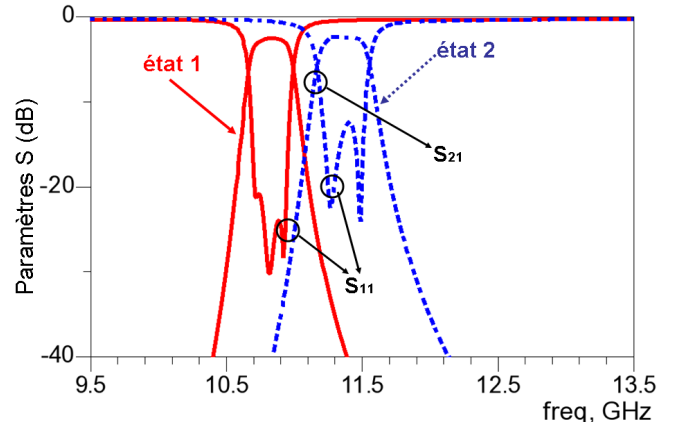


Figure 3. Réponses électriques du filtre SIW accordable avec deux états (ON = état 1, OFF = état 2) réalisées sous HFSS™

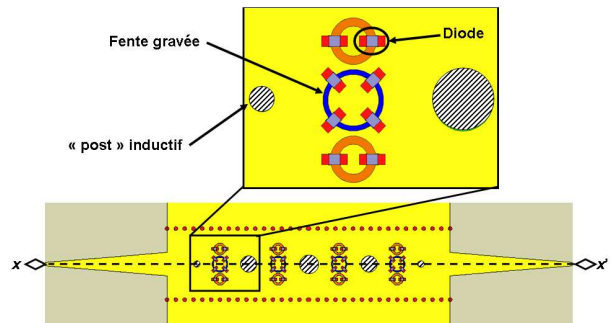


Figure 4. Masque du filtre accordable avec modèle diodes PIN.

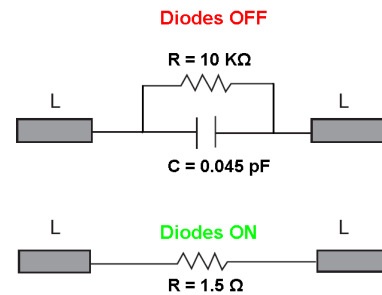


Figure 5. Circuits équivalents de diode selon deux états de fonctionnement

2.c. Filtre accordable en fréquence centrale avec circuit de polarisation

Jusqu'à ici, le filtre est traité sans introduire le circuit de polarisation permettant le contrôle électrique des diodes. Pour réaliser ce réseau, nous avons opté pour les lignes quart d'ondes microruban. L'idée proposée consiste à séparer l'alimentation DC et le circuit RF. Chaque fente nécessite un circuit de polarisation, donc à chaque cavité nous associons trois circuits de polarisation comme présenté dans la Figure 7.

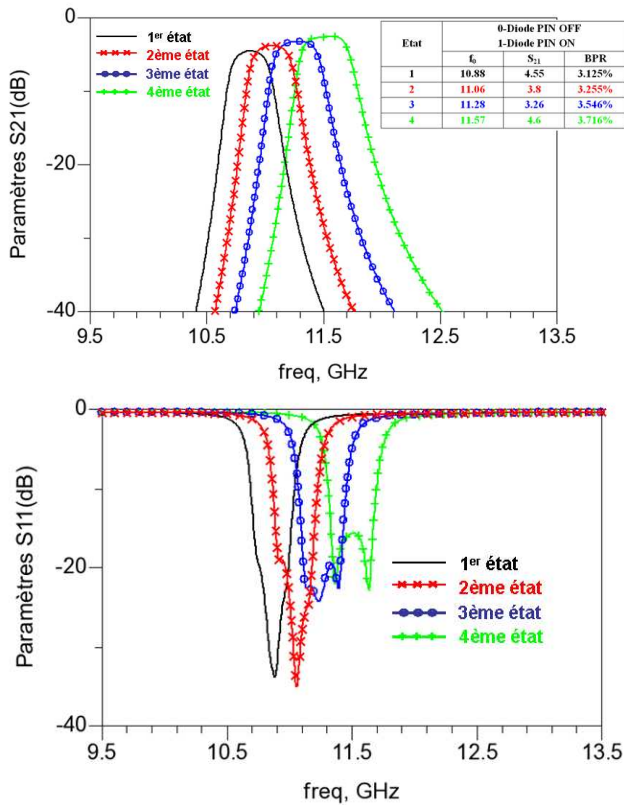


Figure 6. Réponses électriques du filtre SIW accordable d'ordre 4 à quatre états discrets

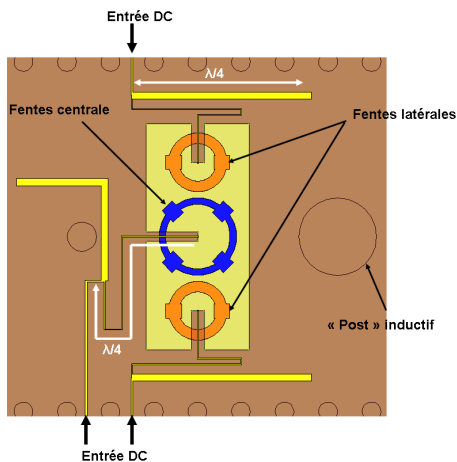


Figure 7. Masque du circuit de polarisation

Par la méthode des impédances ramenées, ce circuit ramène à la fréquence centrale du filtre, ayant toutes les fentes connectées, un circuit ouvert à la surface du disque isolé, et en conséquence une séparation entre le circuit RF et le circuit DC. Il est important à noter que les lignes quart d'ondes sont connectées au milieu de chaque cavité. Par ailleurs, Le circuit de polarisation ajoute des effets capacitifs et des pertes supplémentaires qui affectent négativement les réponses. C'est pour cette raison que les dimensions des fentes ont été modifiées afin de compenser ces effets. Donc les dimensions des fentes, que nous avons utilisées pour cette structure

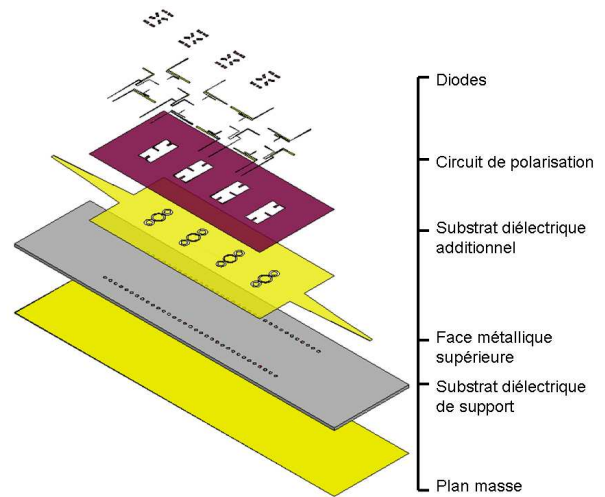


Figure 8. Vue éclatée du filtre SIW d'ordre 4 flexible avec le réseau de commutation et les lignes de commande

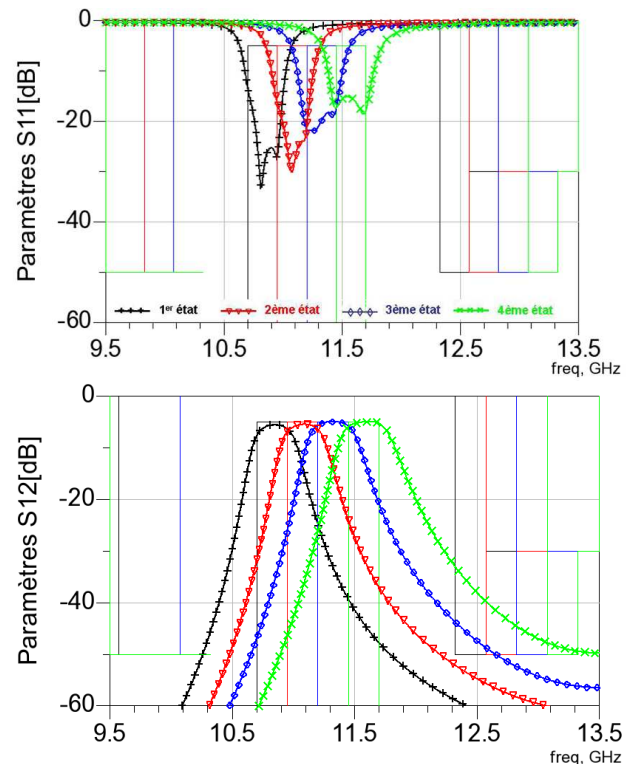


Figure 9. Réponses électromagnétiques sous HFSS du filtre accordable avec le réseau de commutation et les lignes de commande

finale, sont légèrement différentes de celles utilisées dans la structure détaillée auparavant. La Figure 8 montre une vue éclatée du filtre SIW d'ordre 4 avec les éléments d'accords et les lignes de commande. Le réseau de commutation est réalisé sur une couche supplémentaire d'Intervia Photodielectric 8010 d'épaisseur 10 μm , de permittivité 2,9 et de tangente de pertes de 0,026. Ce dépôt diélectrique permet de séparer le circuit de polarisation des diodes PIN du filtre SIW. Il est important de noter que les diodes sont déposées sur la face métallique supérieure du filtre. Ainsi le substrat

supplémentaire ne recouvre pas les fentes (Figure 8-substrat diélectrique additionnel). La Figure 9 montre les réponses électromagnétiques du filtre d'ordre 4 avec le réseau de commutation et les lignes de commande.

Le tableau 2 résume les performances simulées de la structure proposée. Les pertes d'insertion sont comprises entre -5,57 dB et -4,94 dB accompagnées d'une légère augmentation en bande passante relative (3%→3,5%). Les pertes engendrées sont le résultat des pertes d'insertion du filtre classique, des pertes ramenées par les diodes et des pertes du circuit de polarisation. En se déplaçant en fréquence centrale, la structure garde une adaptation supérieure à 15 dB.

état	Diodes		f ₀ GHz	S ₁₂	S ₁₁	BW %
	Centrale (×4)	Latérales (×2)				
1 ^{er}	ON	ON	10,825	-5,57	25	3
2 ^{ème}	ON	OFF	11,075	-5,48	24	3.1
3 ^{ème}	OFF	ON	11,32	-4,96	18	3.3
4 ^{ème}	OFF	OFF	11,57	-4,94	15	3.5

Tableau 2. Résumé des performances simulées pour la structure

3. Conclusion

Dans ce papier, un filtre SIW d'ordre 4 accordable en fréquence centrale a été conçu et simulé. Ce filtre nous permet par l'activation ou non de fentes d'adresser 4 états allant de 10,825 à 11,575 GHz (variation de 6,7%). Les éléments d'accord pour le réseau de commutation sont des diodes PIN mais d'autres éléments auraient pu être envisagés (MEMS). Le circuit de polarisation est réalisé par des lignes quart d'ondes microrubans afin de séparer le circuit DC du circuit RF. Le réseau de commutation et les lignes de commande sont réalisés sur une couche supplémentaire de diélectrique déposé sur le filtre. Les simulations du filtre sont encourageantes et une réalisation du circuit est prévue.

4. Bibliographie

- [1] D. Deslandes, et al « Accurate modeling, wave mechanisms, and design of a substrate integrated waveguide », IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol. 54, no. 6, pp. 2516-2525, Jun. 2006.
- [2] D. Deslandes, et al « Integrated microstrip and waveguide in planar form », IEEE Trans. Microwave and Wireless Comp. Lett., vol. 11, pp. 68-70, Feb. 2001.
- [3] J. Bohorquez, et al « Reconfigurable planar SIW cavity resonator and filter », Microwave Symposium Digest, pp. 947-950, 2006.
- [4] N. Marcuvitz, waveguide Handbook, 1986, p. 221
- [5] D. M. Pozar, Microwave Engineering, third edition, Wiley, 2005, pp. 278-281.