



HAL
open science

Conception d'un nouveau déphaseur compensé millimétrique en technologie SIW creux

Frédéric Parment, Anthony Ghiotto, Tan-Phu Vuong, Jean-Marc Duchamp,
Ke Wu

► To cite this version:

Frédéric Parment, Anthony Ghiotto, Tan-Phu Vuong, Jean-Marc Duchamp, Ke Wu. Conception d'un nouveau déphaseur compensé millimétrique en technologie SIW creux. 20èmes Journées Nationales Microondes, May 2017, Saint Malo, France. hal-01525532

HAL Id: hal-01525532

<https://hal.science/hal-01525532v1>

Submitted on 21 May 2017

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.

Conception d'un nouveau déphaseur compensé millimétrique en technologie SIW creux

Frédéric Parment¹, Anthony Ghiotto², Tan-Phu Vuong¹, Jean-Marc Duchamp¹, Ke Wu³

¹ Univ. Grenoble-Alpes, IMEP-LAHC, UMR 5130 INPG-UJF-CNRS, Grenoble, France

² Univ. Bordeaux, Bordeaux INP, CNRS, IMS, UMR 5218, F-33400, Talence, France

³ Centre de recherche Poly-Grames, École Polytechnique de Montréal, QC, Canada, H3T 1J4

Résumé – Ce papier démontre le potentiel de la technologie Guide d'onde Intégré au Substrat creux (SIW creux) pour le déphasage large bande constant. Cette technologie utilise un procédé de circuit imprimé multicouche. Le guide d'onde intégré au substrat (SIW) a été déclarée la technologie la plus innovante de ces 10 dernières années dans le domaine des radiofréquences [1]. Grâce aux procédés multicouches, l'utilisation de l'air comme diélectrique est possible réduisant ainsi les pertes. Un déphaseur compensé large bande à déphasage constant en technologie SIW creux a été fabriqué et mesuré en bande Ka (de 26 à 40 GHz soit 42% de bande passante) sur du substrat RT/Duroid ROGERS 6002 ($\epsilon_r = 2,94$). Le déphaseur ainsi fabriqué présente des pertes en transmission de 0,35 dB avec un déphasage de $43^\circ \pm 6^\circ$.

1. Introduction

La technologie Guide d'onde Intégré au Substrat (SIW en anglais), proposée au début des années 2000, permet d'obtenir un guide d'onde dans un substrat. Elle présente l'avantage d'être à faibles pertes et de pouvoir supporter de fortes puissances dans le spectre des fréquences millimétriques tout en utilisant les moyens de production faible coût des circuits imprimés RF [2]. Une variante de cette technologie, utilisant de l'air, comme diélectrique et nommé SIW creux a été étudié dans [3]. Cette variante permet d'utiliser des substrats bas coût. Par ailleurs, les fréquences millimétriques présentent un intérêt grandissant [4]. En effet, les bandes plus basses sont très densément exploitées. Il devient donc nécessaire d'exploiter les bandes plus élevées. Dans ce contexte, nous avons développé un déphaseur compensé large bande à déphasage constant utilisant la technologie SIW creux en multicouche. D'autres types de déphaseurs ont été proposés mais sans une réelle compensation [5]. Ce résumé présente les résultats obtenus en théorie, en simulation et en mesure pour ce déphaseur SIW creux.

2. Structure SIW creux

Le SIW creux est basé sur la technologie des circuits imprimés multicouches [6]. Cette structure est illustrée à la Figure 1. Cette topologie récente de SIW nécessite 3 couches. Les substrats 1 et 3 servent à fermer la structure et à maintenir les conditions aux limites comme dans un

SIW standard. La partie contenant le SIW creux est insérée dans le substrat 2. La découpe de cette partie se fait par micro-usinage laser ainsi que le perçage des vias. Comme le champ électrique du mode fondamental TE_{10} est majoritairement contenu au centre du guide, ceci permet de créer une ligne de transmission avec de faibles pertes et une meilleure tenue en puissance. Pour permettre la métallisation des vias, des parois diélectriques de largeur w sont gardées de chaque côté du SIW creux ($w \geq 0,254 \mu\text{m}$ en utilisant le processus de fabrication disponible au Centre de Recherche Poly-Grames).

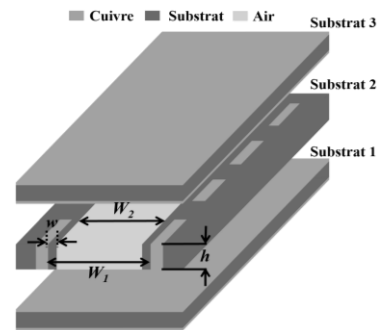


Figure 1. Structure du SIW creux.

3. Structure du déphaseur compensé

3.a. Équations caractéristiques

Les équations caractéristiques qui permettent de trouver la constante de propagation β du mode fondamental TE_{10} d'un guide d'onde chargé de deux morceaux de ferrite ont été présentées dans [7]. Comme la structure du SIW hérite des propriétés d'un guide d'onde rectangulaire, il est assez facile de les adapter au cas d'un SIW creux chargé cette fois-ci par des parois diélectriques comme illustré à la Figure 1. Considérant un cas sans pertes, β est donnée par (1) :

$$\tan[k_s(W_1 - 2w)] = p/q \quad (1)$$

où,

$$p = 2 \left(\frac{K_m}{k_s} \right) \cosh(K_m w) \sinh(K_m w) \quad (2)$$

$$q = \sinh^2(K_m w) - \left(\frac{K_m}{k_s} \right)^2 \cosh^2(K_m w) \quad (3)$$

$$K_m^2 = -(2\pi f)^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r \mu_0 + \beta^2 \quad (4)$$

$$k_s^2 = (2\pi f)^2 \varepsilon_0 \mu_0 - \beta^2 \quad (5)$$

où ε_r est la permittivité relative du substrat 2.

Ainsi, la constante de propagation d'un SIW creux chargé de deux parois diélectriques peut théoriquement être obtenue en utilisant la méthode de Newton-Raphson par itération pour résoudre l'équation (1).

3.b. Structure du déphaseur compensé

En appliquant les équations précédentes à la structure d'un déphaseur compensé, comme illustré à la Figure 2, il est possible d'obtenir une valeur théorique du déphasage en multipliant la constante de phase par la longueur du déphaseur. Ce genre de déphaseur a pour but de permettre un déphasage constant sur une large bande, ici sur toute la bande Ka. Ce déphaseur est composé de deux parties comme on peut le voir sur la Figure 2. La première partie consiste en un déphaseur large bande appelé déphaseur symétrique de Type 1 dont les parois diélectriques ont été élargies. La seconde partie est constituée d'un déphaseur large bande dit déphaseur symétrique élargi de Type 2 dont la largeur totale du guide a été augmentée.

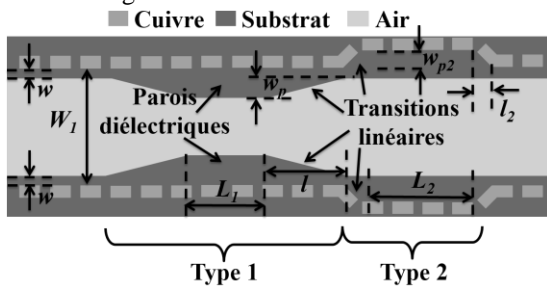


Figure 2. Illustration du déphaseur compensé.

3.c. Étude du déphaseur de type 1

En appliquant les équations précédentes à la structure d'un déphaseur de type 1 comme illustré à la Figure 3, il est possible d'obtenir une valeur théorique du déphasage en multipliant la constante de phase par la longueur du déphaseur.

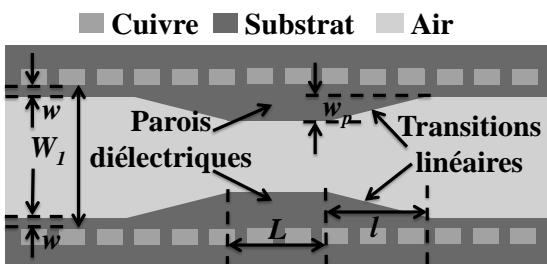


Figure 3. Schéma du déphaseur de type 1 en technologie SIW creux avec $l = 3$ mm, $w_p = 1.5$ mm, $L = 4$ mm, $W_1 = 7.04$ mm, $w = 0.508$ mm.

On peut remarquer aussi qu'il y a des transitions linéaires avant et après le déphaseur. Il est possible d'en tenir compte en discrétisant chaque transition en différentes portions de même longueur et de résoudre les équations précédentes. Ainsi, on peut obtenir le déphasage introduit par chaque morceau et en déduire le

déphasage total induit par chaque transition. Les résultats simulés et théoriques sont donnés à la Figure 4.

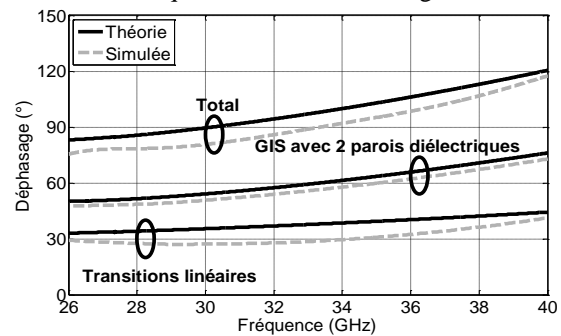


Figure 4. Déphasage théorique et simulé pour les différents éléments constituant le déphaseur en SIW creux.

Le prototype a été fabriqué en utilisant du substrat RT/Duroid ROGERS 6002 ($\varepsilon_r = 2.94$). Les résultats de mesures pour les paramètres-S sont donnés à la Figure 6. Le déphasage mesuré et la différence d'amplitude entre le résultat simulé et mesuré sont affichés à la Figure 7. Une photo du prototype fabriqué est donnée à la Figure 5. Toutes les transitions ont été dé-embeddées par l'utilisation d'une calibration TRL et l'usage d'une monture de test. Les résultats de mesure et de simulation sont en bon accord. Le coefficient de réflexion est inférieur à -10 dB et celui en transmission est de $0,32 \pm 0,2$ dB sur toute la bande Ka.

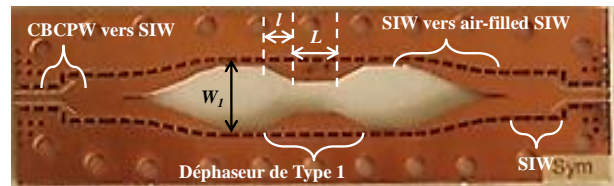


Figure 5. Photo du déphaseur de type 1 fabriqué.

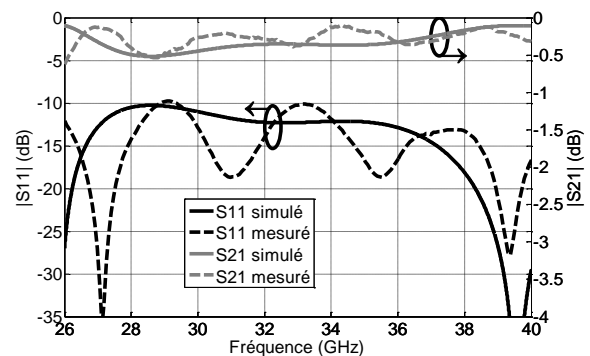


Figure 6. Paramètres-S mesurés et simulés du déphaseur en SIW creux.

La Figure 7 montre le déphasage entre le résultat simulé et mesuré pour le déphaseur de type 1 relatif à une ligne SIW creuse de même longueur. Le déphasage est ainsi de 90° à 34,4 GHz avec une variation de $\pm 5^\circ$ sur une bande de fréquence allant de 31,5 à 35,6 GHz. La différence en amplitude est relativement stable entre les deux circuits avec une légère différence moyenne de 0,19 dB dans le pire cas. Comme on peut le remarquer sur la Figure 7, le déphasage a tendance à croître avec la fréquence pour ce type de déphaseur.

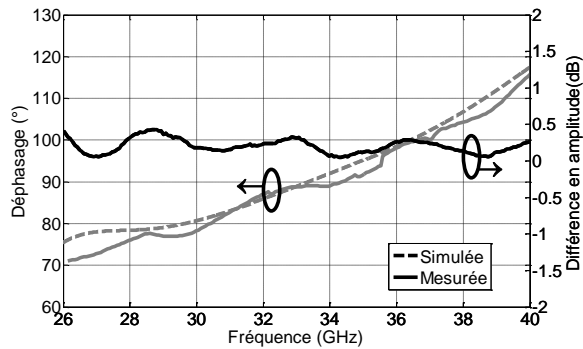


Figure 7. Déphasage mesuré et simulé avec l'amplitude du champ électrique simulé à 28 GHz.

3.d. Étude du déphaseur de type 2

Le déphaseur décrit précédemment était basé sur un élargissement interne des parois en diélectrique du SIW creux. Cependant, une réponse large bande ne peut être obtenue à cause de la variation croissante de la constante de propagation avec la fréquence. Pour assurer un déphasage large bande, une compensation est envisagée. Pour cela, une variation négative du déphasage avec la fréquence doit être obtenue. Pour cela, en élargissant cette fois-ci le SIW creux et les parois diélectriques, il est possible d'obtenir cet effet. Sur la Figure 8, la constante de propagation d'une ligne SIW creuse de référence ($W_1 = 7,04$ mm et $w = 0,508$ mm) et celle d'un SIW creux élargi ($W_1 = 7,64$ mm et $w = 0,508$ mm). On peut voir sur cette Figure que la différence entre ces deux constantes de propagation offre une variation décroissante avec la fréquence.

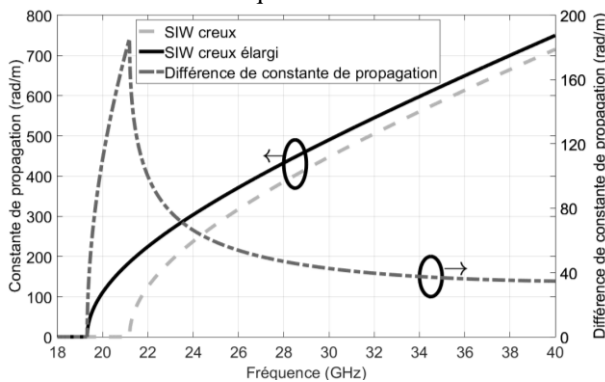


Figure 8. Constante de propagation théorique d'un SIW creux de référence et d'un SIW creux élargie.

3.e. Étude du déphaseur compensé

A partir des deux déphaseurs de type 1 et 2, il devient ainsi possible de créer un déphaseur compensé. La Figure 9 donne la différence de constante de propagation théorique, obtenue par la résolution de l'équation (1), des deux déphaseurs de type 1 et 2 par rapport à une ligne de longueur équivalente en SIW creux. Comme observé précédemment, le premier déphaseur a une variation positive de sa constante de propagation avec la fréquence tandis que le second a une variation négative avec la fréquence de sa constante de propagation.

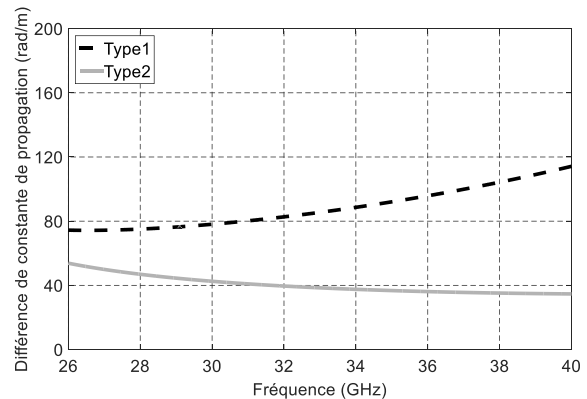


Figure 9. Différence de constante de propagation théorique entre un SIW creux de référence et un déphaseur de Type 1, puis entre un SIW creux de référence et un déphaseur de Type 2.

Suivant la procédure de conception précédente, un démonstrateur, illustré à la Figure 10, a été conçu et fabriqué. Ces dimensions sont $W_1 = 7,04$ mm, $w = 0,508$ mm, $L_1 = 4$ mm, $l = 3$ mm, $L_2 = 4$ mm, $l_2 = 3$ mm, $w_p = 0,8$ mm and $w_{p2} = 0,3$ mm. Les longueurs totales du déphaseur et de la référence en SIW creux sont de 20 mm.

Les paramètres-S simulés et mesurés du déphaseur compensé sont donnés à la Figure 11. Le paramètre de réflexion $|S_{11}|$ mesuré est inférieur à -12,5 dB et celui de transmission $|S_{21}|$ mesuré est de $0,35 \pm 0,17$ dB sur toute la bande Ka. La Figure 12 montre un déphasage simulé et mesuré sur toute la bande Ka de $43^\circ \pm 6^\circ$ avec une variation d'amplitude de $0,23 \pm 0,2$ dB.

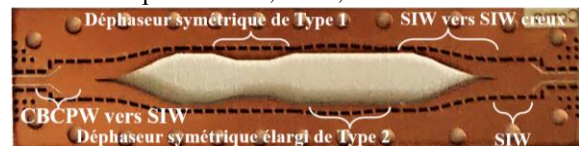


Figure 10. Photo de la couche interne (Substrat 2) du déphaseur compensé fabriqué en SIW creux.

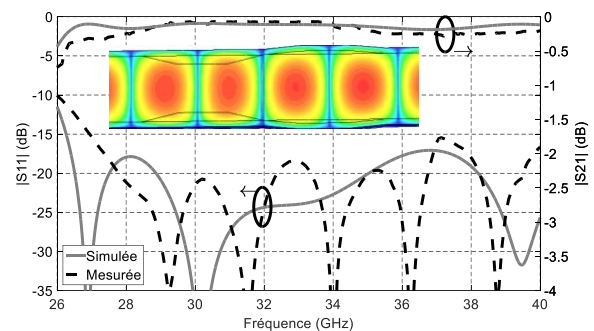


Figure 11. Paramètres-S simulés et mesurés du déphaseur compensé proposé avec la distribution de l'amplitude du champ E à 33 GHz.

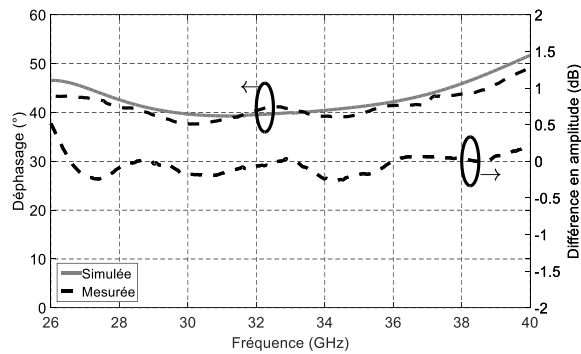


Figure 12. Déphasage simulé et mesuré du déphaseur compensé proposé.

4. Conclusion

Dans cet article, un déphaseur compensé large bande millimétrique a été présenté. A l'aide des équations et du sur le contrôle de la constante de propagation, il est possible de calculer et de régler le déphasage d'un tel dispositif théoriquement avant de le fabriquer. Un tel dispositif passif est rendu possible par la technologie SIW creux. Les performances obtenues, mettent en évidence des pertes d'insertion faibles ($0,35 \pm 0,17$ dB) et un déphasage constant sur une large bande de fréquence. Ces performances rendent ces déphaseurs compatibles avec des systèmes de type radar ou bien dans des applications de télécommunication.

Références

- [1] D. Vye, "Divine Innovation: 10 Technologies Changing the Future of Passive and Control Components", *Micro. Journ.*, Nov. 2010.
- [2] K. Wu, D. Deslandes and Y. Cassivi, "The substrate integrated circuits – a new concept for high-frequency electronics and optoelectronics", *TELSIKS Intern. Conf.*, 1-3 Oct. 2003.
- [3] F. Parment, A. Ghiotto, T. P. Vuong, J. M. Duchamp and K. Wu, "Broadband transition from dielectric-filled to air-filled Substrate Integrated Waveguide for low loss and high power handling millimeter-wave Substrate Integrated Circuits," *2014 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS2014)*, Tampa, FL, 2014, pp. 1-3.
- [4] R. Emrick, S. Franson, J. Holmes, B. Bosco, S. Rockwell, "Opportunities and Challenges in Utilizing Millimeter-Wave Spectrum for High Speed Wireless Communications", *Electromagnetics in Advanced Applications, 2007, ICEAA 2007, International Conference*, pp. 133-136, 17-21 Sept.2007.
- [5] I. Boudreau, K. Wu, and D. Deslandes, "Broadband phase shifter using air holes in substrate integrated waveguide," *Proc. IEEE MTT-S Int. Microw. Symp.*, pp.1-4, Jun. 2011.
- [6] F. Parment, A. Ghiotto, T.P. Vuong, J.M. Duchamp, and K. Wu, "Air-filled substrate integrated waveguide for low loss and high power handling millimeter-wave substrate integrated circuits", *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 63, no. 4, pp. 1-11, Apr. 2015.
- [7] K. J. Button and B. Lax, "Theory of ferrites in rectangular waveguides," *IRE Trans. on Antennas and Propag.*, vol. 4, pp. 531-537, Jul. 1956.