



" INTERACTION DU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE AVEC L'ENVIRONNEMENT "

(OBJETS ET STRUCTURES MANUFACTURES OU ENVIRONNEMENT NATUREL)

Métamatériaux gauchers – Application aux circuits microondes

Shah Nawaz Burokur*, Mohamed Latrach*, Serge Toutain**

* École Supérieure d'Électronique de l'Ouest (ESEO) – BP 30926, 49009 Angers – France

nawaz.burokur@eseo.fr

mohamed.latrach@eseo.fr

** IREENA, Ecole Polytechnique de l'université de Nantes – BP 50609, 44306 cedex Nantes – France

serge.toutain@polytech.univ-nantes.fr

Résumé

Une investigation sur les métamatériaux sera présentée en passant par la compréhension du phénomène de la transmission d'ondes dans un milieu où la permittivité et la perméabilité sont simultanément négatives et aussi la mise en pratique de ce nouveau matériau. Nous ferons ainsi une évaluation sur les problèmes que l'on puisse rencontrer lors de la réalisation d'un tel matériau. Dans un premier temps, l'homogénéisation de la structure périodique constituant le matériau gaucher sera décrite et les paramètres effectifs seront calculés. La démonstration du matériau gaucher basé sur l'utilisation de guides d'ondes et de Résonateurs en Anneau Fendu (Split Ring Resonators « SRRs ») sera faite. Des applications possibles de filtrage basées sur l'utilisation des métamatériaux gauchers seront présentés. En dernier lieu, nous présenterons l'influence de ce matériau quand il est placé dans l'environnement proche d'une antenne.

Mots clés : métamatériau gaucher, guides d'ondes, SRRs, filtrage, antenne.

Introduction

La première étude qui a déclenché toutes les recherches commencées il y a quelques années est celle menée en 1964 par le scientifique russe V.G.Veselago [1]. Ce n'est qu'en l'an 2000 qu'une équipe de l'université de Californie [2], dirigée par D.R.Smith, a expérimenté la fabrication de ce type de matériau suite à l'article [3] de J.B.Pendry *et al* paru en 1999, montrant la possibilité d'obtenir une perméabilité négative à partir de matériaux non magnétiques. En l'an 2001, l'indice de réfraction négatif a été vérifié par cette même équipe et nous avons entendu parler d'une expérience défiant les lois de la physique. La réalisation pratique de ce métamatériau emploie l'aspect périodique comme pour les matériaux BIP, sauf que les dimensions des motifs et de la périodicité sont beaucoup plus petites que la longueur d'onde, de l'ordre de $\lambda/10$.

1. Phénomène de transmission d'ondes dans un milieu gaucher

La particularité des métamatériaux que nous allons étudier repose sur les valeurs simultanément négatives de la permittivité et de la perméabilité. Cela implique également que la vitesse de phase soit opposée à la vitesse de groupe dans ce type de milieu. Nous pouvons aussi observer une transmission de signaux même lorsque l'indice de réfraction est négatif et ceci conduit à des effets de focalisations grâce à l'amplification d'ondes évanescentes.

2. Homogénéisation du milieu gaucher

L'homogénéisation consiste à définir la combinaison de deux structures périodiques formant le milieu gaucher comme un seul matériau caractérisé par une permittivité et une perméabilité effective. Cette technique nous permet entre autres de diminuer le temps de simulation en simulant une cellule unité de la structure périodique afin de récupérer la matrice S. Ensuite les différents paramètres effectifs

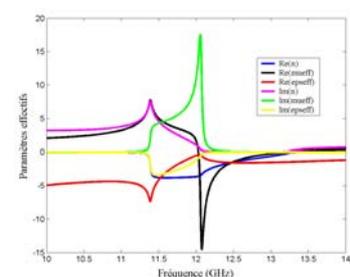


Figure 1

peuvent être calculés en sachant que pour un milieu passif, la partie réelle de l'impédance effective et la partie imaginaire de l'indice effectif doivent être positives. Cette étude s'est avérée très intéressante car nous avons que même dans la bande de fréquence où ϵ_{eff} et μ_{eff} sont simultanément négatives, il existe des sous-bandes où le matériau gaucher présente des fortes pertes (Figure 1).

3. Matériau gaucher basé sur l'utilisation de guides d'ondes et de SRRs

La permittivité effective présentée dans [2] est obtenue en dessous de la fréquence de coupure d'un réseau de tiges métalliques. Or, si nous utilisons un guide d'onde en dessous de sa fréquence de coupure du mode fondamental, le même résultat est retrouvé et ceci avec un encombrement largement réduit. Se basant sur ce principe (Figure 2), nous démontrons le phénomène de transmission d'onde en utilisant un guide sous sa fréquence de coupure alors que l'onde aurait dû être évanescente (Figure 3). Ce principe nous permet de diminuer l'encombrement du matériau gaucher (réseau 3D) et aussi ouvre la voie à des applications de filtrage.

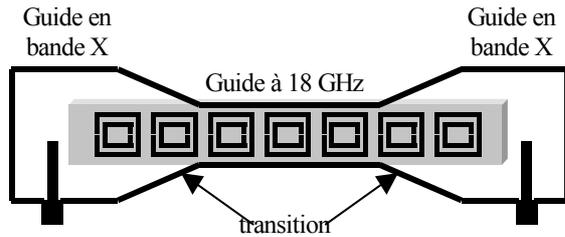


Figure 2

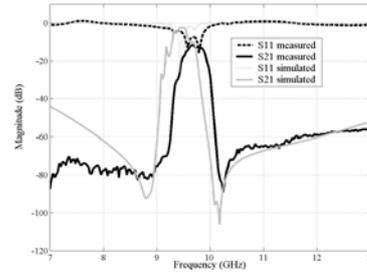


Figure 3

4. Influence du matériau gaucher dans l'environnement proche d'une antenne

Une étude sur les performances d'une antenne patch circulaire est faite en plaçant un matériau gaucher dans son environnement proche. L'approche consiste à placer le matériau gaucher en forme de demi sphère au-dessus de l'antenne (Figure 4). Le matériau gaucher est considéré comme un milieu homogène caractérisé par une permittivité et une perméabilité effective de $-2,5$ et le substrat de l'antenne a une permittivité et une perméabilité relative de $2,5$.

Le gain de l'antenne lorsque le matériau gaucher est placé dans son environnement proche est de 11dB (Figure 5), alors que le gain de l'antenne seule est d'environ 6dB. Nous constatons aussi que l'antenne devient beaucoup plus directive avec une ouverture à -3 dB de 30° au lieu de 100° . Donc, les performances d'une antenne patch peuvent être considérablement améliorées sans aucune mise en réseau, permettant ainsi d'éviter les problèmes d'alimentations et de couplage inter-éléments.

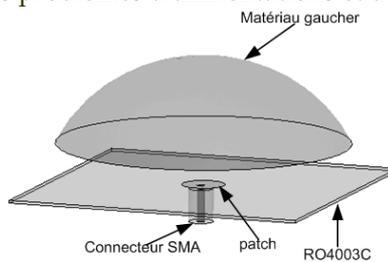


Figure 4

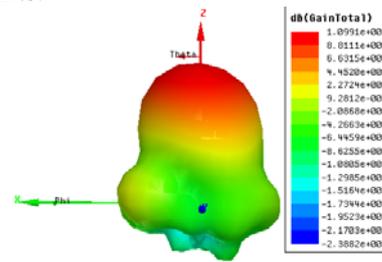


Figure 5

Conclusion

Plusieurs travaux ont été menés et d'autres sont en cours sur les matériaux gauchers. Une étude sur l'homogénéisation a été faite et de là, la bande de fréquence intéressante pour l'utilisation du matériau gaucher peut être déduite. Le phénomène de transmission de signaux dans un matériau gaucher a été démontré en plaçant des SRRs au centre d'un guide évanescent, ouvrant ainsi la voie aux applications de filtrage. Une étude sur une antenne patch a montré que ses performances peuvent être améliorées considérablement en plaçant en matériau gaucher dans son environnement proche.

Références bibliographiques

- [1] V.G.Veselago, "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ", Soviet Physics USPEKHI, vol.10, n° 14, pp. 509-514, Jan-Feb 1968.
- [2] R.A.Shelby, D.R.Smith, S.Schultz, "Experimental verification of a negative index of refraction", Science, vol.292, Apr 2001.
- [3] J.B.Pendry, A.J.Holden, D.J.Robbins, W.J.Stewart, "Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol.47, n° 11, pp. 2075-2084, Nov 1999.