



Comité National Français de Radioélectricité Scientifique

Section française de l'

Union Radio Scientifique Internationale

Siège social : Académie des Sciences, Quai de Conti – Paris

JOURNÉES SCIENTIFIQUES DU CNFRS

" INTERACTION DU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE AVEC L'ENVIRONNEMENT"

(OBJETS ET STRUCTURES MANUFACTURÉS OU ENVIRONNEMENT NATUREL)

PARIS, LES 24 ET 25 FÉVRIER 2005

Métamatériaux : Lignes de propagation main-gauche en technologie finline

T. Decoopman, A. Marteau, D. Lippens

* Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie, Université des Sciences et Technologies de Lille1, Avenue Poincaré, BP 69, 59652 Villeneuve d'Ascq Cedex
thibaut.decoopman@iemn.univ-lille1.fr

Résumé

La structuration sous longueur d'onde des métamatériaux permet notamment de créer des milieux de propagation doublement négatifs. Pour les applications microondes, ils peuvent être réalisés à partir de lignes de transmission chargées périodiquement par des éléments réactifs et permettent de réaliser des supports de propagation fortement dispersifs caractérisés par une vitesse de phase dont le signe est inversé. Nous présentons dans cette communication la conception, la réalisation et la caractérisation d'un tel milieu en technologie *finline*. Nous démontrons expérimentalement, en bon accord avec les simulations numériques, que la transmission à travers cette structure est caractéristique d'un milieu doublement négatif.

Mots clés : métamatériaux, main-gauche, lignes de transmission chargées périodiques

Introduction

Les métamatériaux permettent grâce à une structuration très fine métallique et/ou diélectrique du milieu d'obtenir des propriétés électromagnétiques originales, au delà de celles des matériaux constitutifs. Dans le domaine microonde en particulier, l'association de réseaux de fils minces et de résonateurs en anneau métalliques a permis l'obtention de milieux *doublement négatifs*, pour lesquels à la fois la permittivité et la perméabilité sont négatives [1]. La propagation des ondes à travers ces milieux a été étudiée de manière théorique à la fin des années soixante [2], mais leur première réalisation n'a été possible que très récemment grâce au *Split Ring Resonator* de Pendry, qui permet par sa réponse magnétique très fortement non-linéaire d'obtenir une valeur de perméabilité négative [3]. Veselago a démontré que dans un milieu doublement négatif, la direction du vecteur d'onde est inversé et que le trièdre de vecteur $(\mathbf{E}, \mathbf{H}, \mathbf{k})$ peut alors être décrit par la main-gauche puisqu'il est indirect. Pour les applications microondes, l'approche par l'intermédiaire des lignes de transmission est plus appropriée pour la conception de circuits et l'intégration dans des systèmes existants. L'objectif est alors de concevoir des dispositifs de couplage, de rayonnement ou de filtrage tirant parti d'un milieu main-gauche structuré sous longueur d'onde. Dans ce cadre, nous présentons la conception, la réalisation et la caractérisation d'une ligne de transmission en technologie *finline* dont le caractère main-gauche est démontré expérimentalement.

1. Modélisation

Fondamentalement, le support de propagation composite exploite la configuration duale du schéma équivalent d'une ligne de propagation classique. En effet, en permutant les éléments réactifs de manière à avoir une capacité en parallèle et une inductance en série, il est possible d'avoir une ligne fortement dispersive main-gauche. Dans la pratique cependant, cette topologie est difficilement réalisable, mais il est

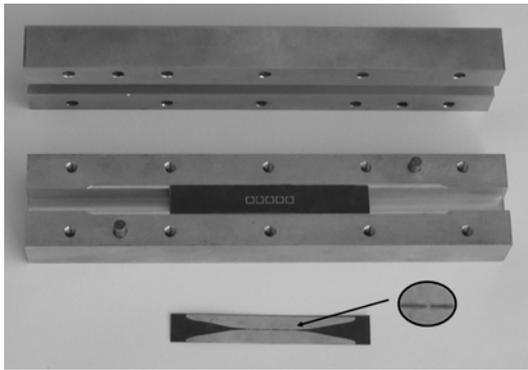


Figure 1 : Photo du prototype, comportant 5 cellules unitaires. En insert, le fil mince placé en court-circuit.

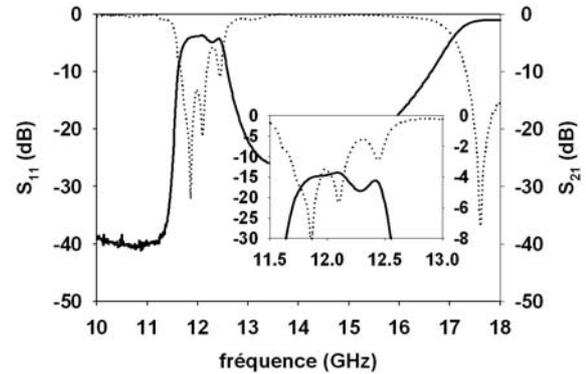


Figure 2 : Paramètres S mesurés d'une structure à 5 cellules unitaires

possible de s'en approcher en chargeant périodiquement une ligne de transmission par des éléments discrets. Dans ce cas, il est possible de modifier la relation de dispersion et de créer une bande limitée en fréquence dans laquelle la propagation est main-gauche. Dans le cadre de ce travail, le support initial de propagation est une *finline* unidimensionnelle, constituée d'une ligne à fente placée dans le plan E d'un guide d'onde métallique. Celle-ci est chargée périodiquement par des fils minces en configuration parallèle et des résonateurs en anneau placés sur la face arrière du circuit. Le pas du réseau comme les dimensions caractéristiques sont bien inférieures à la longueur d'onde guidée. La figure 1 présente une photographie du prototype que nous avons réalisé, fonctionnant en bande Ka ([10 GHz -18 GHz]). A partir des paramètres de réflexion d'une cellule unitaire obtenus par la simulation en éléments finis, nous avons calculé le diagramme de bande du réseau infini. Celui-ci se caractérise notamment par l'existence d'une bande passante entre 11,5 et 12,5 GHz pour laquelle la courbure de bande est dirigée vers le bas. Dans ces conditions, le vecteur d'onde et le vecteur de Poynting sont opposés. On peut par ailleurs vérifier en simulation que l'onde est rétropropagée, par l'analyse de l'évolution du front d'onde au sein de la structure pour laquelle la phase à l'injection est modifiée, de manière à reproduire l'évolution temporelle des cartes de champ électromagnétique [4].

2. Démonstration expérimentale du comportement main-gauche

Les différents prototypes ont été réalisés par la société *Omicron* et caractérisés à l'analyseur vectoriel de réseaux. Les résultats en module révèlent un bon accord entre la simulation et la mesure et démontrent des pertes par insertion relativement faibles dans la bande main-gauche (figure 2). Ce point est essentiel puisqu'il témoigne d'une bonne adaptation entre le milieu main-gauche et le milieu environnant, alors que la plupart des études publiées à ce jour font état de pertes de couplage importantes (> 10 dB). L'utilisation d'un guide métallique permet d'éviter tout rayonnement de la structure par l'intermédiaire d'un blindage électromagnétique et les pertes en ligne, qui peuvent être élevées à partir de 10 cellules, sont donc essentiellement à relier à l'utilisation de résonateurs métalliques. En contrepartie, le coefficient de qualité élevé des motifs en anneau permet d'obtenir d'excellents niveaux de réjection, même pour un nombre limité de cellules.

Les mesures de phase ont permis de démontrer sans ambiguïté le caractère main-gauche de la propagation. Celui-ci est mis en évidence à partir de l'étude de la différence de phase entre deux tronçons de ligne de longueurs différentes, qui est positive en bande main-gauche et négative pour la propagation classique.

D'autres phénomènes comme la réfraction négative ou l'amplification des ondes évanescentes peuvent être observés dans les milieux doublement négatifs bidimensionnels et la réalisation d'un tel dispositif en gamme millimétrique est actuellement à l'étude au sein de notre groupe.

Références bibliographiques

- [1] R. A. Shelby, D. R. Smith, S. C. Nemat-Nasser and S. Schultz, Microwave transmission through a two-dimensional, isotropic, left-handed metamaterial, *Applied Physics Letters*, 82(15), 2535-2537, 2001.
- [2] V. G. Veselago, The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ , *Soviet Physics Uspekhi*, 10(4), 509-514, 1968.
- [3] J. B. Pendry, A. J. Holden, D. J. Robbins and W. J. Stewart, Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 47(11), 2075-2084, 1999.
- [4] T. Decoopman, O. Vanbésien, and D. Lippens, Demonstration of a backward wave in a single split ring resonator and wire loaded finline, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 14(11), 507-509, 2004.