

2015-031

Miniaturisation des circulateurs intégrés à base de nanocomposites par une approche globale de modélisation

Créé le 05/09/2014 à 17:30

Proposant

Nom & Prénom LAUR Vincent
Organisme Université de Bretagne Occidentale / Lab-STICC
Adresse 6 avenue le Gorgeu
Code postal 29238
Ville Brest
Adresse mail vincent.laur@univ-brest.fr

Email du Directeur du Laboratoire

Gilles.Coppin@telecom-bretagne.eu

Descriptif du sujet

Le sujet de thèse vise à modéliser de façon globale le comportement des circulateurs hyperfréquences à base de nanocomposites dans le but de réduire leur encombrement. Classiquement, les aimants de polarisation ne constituent qu'une variable d'ajustement de la réponse du circulateur dont les réalités physiques ne sont pas prises en compte dès la phase de conception du dispositif. Cet état de fait est principalement lié à l'incapacité des simulateurs commerciaux à prendre en compte ces réalités physiques, notamment l'inhomogénéité en champ et la présence de zones non-saturés dans le matériau. Pour contourner ces problèmes de précision des modélisations, les fabricants de circulateur sont souvent amenés à sur-dimensionner les aimants ou à utiliser des espaceurs (spacers) diélectriques.

Les outils développés au Lab-STICC ces dernières années doivent, après une étape d'adaptation à la topologie cylindrique du circulateur, nous permettre d'adopter cette approche globale en considérant les réalités physiques des aimants comme un paramètre d'optimisation à part entière. Outre l'amélioration de la précision des modélisations, la principale retombée attendue est une optimisation de la taille des aimants de commande, et donc, de l'encombrement global du circulateur.

Remarque : Une description plus complète du sujet de thèse est jointe à la fin de cette fiche.

Profil du candidat (veuillez préciser la spécialité du Master)

Master en électronique hyperfréquence

Ingénieur en électronique

Ingénieur généraliste

Directeur de thèse

Nom & Prénom Queffelec Patrick
Adresse mail patrick.queffelec@univ-brest.fr

Responsable CNES de la thèse

Nom & Prénom
ROUX Jean-Luc
Structure
DCT/AQ/EC

Adresse mail : jean-luc.roux@cnes.fr

Titre de la thèse :

Modélisation et réalisation d'isolateurs intégrés à base de composites ferrimagnétiques doux ou d'hexaferrites pré-orientés

Laboratoire d'accueil :

Le Lab-STICC (Laboratoire en sciences et technologies de l'information, de la communication et de la connaissance), unité mixte du CNRS 6285, a été créé en janvier 2008. Il résulte de la fusion de quatre laboratoires de l'Ouest Bretagne (LEST, TAMCIC, LESTER et SABRES). Le candidat en thèse sera accueilli au sein du pôle Micro-ondes, Optoélectronique, Matériaux (MOM) du Lab-STICC à l'Université de Bretagne Occidentale, qui met en commun des compétences de physiciens, d'électroniciens et d'électromagnéticiens et qui constitue un pôle de recherche original sur le plan national, car apte à prendre en compte des problématiques interdisciplinaires, particulièrement pertinentes vis à vis des préoccupations « Télécoms » de manière générale, mais également dans des domaines connexes. L'équipe qui encadrera cette thèse est reconnue au niveau international dans la synthèse, la caractérisation et la modélisation de matériaux (en particulier magnétiques) pour des applications hyperfréquences.

Contexte et objectifs de la thèse :

Les dispositifs hyperfréquences à base de ferrite (isolateurs, circulateurs, certains déphaseurs, etc.) sont confrontés aujourd'hui, à une profonde mutation d'ordre technologique. En effet, pour les nouvelles applications du secteur des télécommunications civiles, environnementales ou militaires, la taille et le coût de fabrication des objets communicants deviennent des critères aussi importants que les performances électromagnétiques. Or, les matériaux conventionnels et les méthodes courantes d'assemblage des différents éléments des dispositifs ont atteint leurs limites. Dans ces conditions, les gains en volume et en coût ne pourront être obtenus qu'en utilisant de nouveaux matériaux et de nouvelles techniques de fabrication des circuits et des matériaux associés.

L'utilisation de nanocomposites magnétodiélectriques, dans lesquels des nanoparticules ont été incluses dans une matrice, représente une solution alternative à l'emploi de ferrites conventionnels dans les dispositifs micro-ondes non réciproques tels que les circulateurs. Leur principal avantage par rapport aux ferrites

classiques est lié à leurs méthodes de fabrication qui, contrairement à celles des ferrites classiques (frittage haute température, LTCC), pourront être à terme compatibles avec les techniques de réalisation des circuits intégrés de l'électronique haute fréquence (sérigraphie, dispensing).

C'est dans ce contexte que le Lab-STICC à l'Université de Bretagne Occidentale, associée à Thales Alenia Space, s'est intéressé aux potentialités des nanocomposites ferrimagnétiques pour la réalisation d'isolateurs intégrés. Deux contrats de recherche successifs ont permis d'identifier les composites à base de nanoparticules de ferrite douce $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.3}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{1.98}\text{O}_4$, synthétisés au Lab-STICC, comme le meilleur candidat pour ce type d'applications. Un premier démonstrateur en bande Ku a été réalisé et caractérisé (Fig. 1). Les premiers résultats ont permis de démontrer le potentiel de ces matériaux pour la réalisation d'isolateurs/circulateurs intégrés mais ont également mis en évidence les difficultés d'intégration des matériaux magnétiques et de modélisation de ces dispositifs.

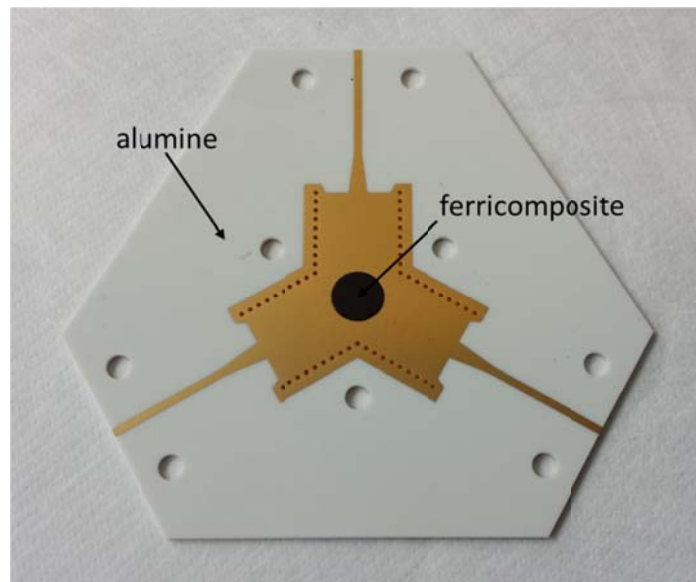


Fig. 1. Circulateur en technologie SIW intégrant une pastille de nanocomposite ferrimagnétique.

L'optimisation des propriétés du matériau et des procédés d'intégration des composites dans le circulateur sera au centre de l'action de R&T « Evaluation d'isolateurs intégrés au sein d'une chaîne RF » démarrant en octobre 2014 [1]-[2]. Elle permettra d'évaluer la capacité de ces technologies à permettre l'intégration des isolateurs dans les procédés standards de réalisation des front-end.

D'autre part, cette action de R&T devra permettre d'explorer des solutions plus ambitieuses consistant à intégrer des composites dont les particules de ferrite dur (hexaferrite) seront pré-orientées durant la synthèse du composite dans le but de s'affranchir de l'utilisation d'un aimant. Dans ce domaine, des premières synthèses de particules d'hexaferrites ont été réalisées au Lab-STICC mais ce travail de thèse devra permettre d'avancer dans leur intégration au sein d'un isolateur sous forme

de composite pré-orienté.

Outre les aspects technologiques, une rupture dans le domaine de l'intégration des circulateurs ne semble pouvoir être obtenue sans une amélioration de la modélisation de ces dispositifs. En effet, à l'heure actuelle, les concepteurs de circulateurs utilisent les modèles intégrés dans les simulateurs commerciaux pour dimensionner ces dispositifs. Hors, ces modèles ne prennent pas en compte l'inhomogénéité des champs internes dans le matériau magnétique ou la présence de zones non-saturées dans celui-ci. De plus, ces modèles sont limités à la prédiction du comportement des ferrites dans leur état saturé et non à l'état rémanent correspondant au fonctionnement des circulateurs intégrant des composites à base d'hexaferrites pré-orientés.

De nombreux travaux ont été menés ces dernières années au Lab-STICC sur la modélisation des dispositifs intégrant des matériaux magnétiques. Un modèle permettant de prédire les propriétés hyperfréquences des ferrites quel que soit leur état d'aimantation a notamment été développé [3]. Ce modèle, appelé Generalized Permeability Tensor (GPT), a permis d'améliorer la modélisation des circulateurs en technologie planaire [4]-[5], en prenant notamment en compte l'inhomogénéité du champ interne dans le ferrite et la présence de zones non-saturés où le modèle classique de Polder, généralement intégré dans les simulateurs électromagnétiques, ne permet plus de décrire la perméabilité du ferrite. Plus récemment, nos efforts se sont concentrés sur la modélisation à une échelle locale de ces effets. Cette approche, appliquée à la modélisation de déphaseurs à ferrite utilisés pour des applications spatiales [6]-[8], permet de mieux décrire les effets démagnétisants dans le matériau et les effets d'inhomogénéité du champ interne (direction et intensité), et donc, d'affiner la précision des modélisations. Les derniers résultats de ces travaux ont permis de prédire finement le comportement de déphaseurs à double toroïde de ferrite fonctionnant à l'état rémanent pour différents courants de commande grâce au couplage d'un outil de modélisation statique développé au laboratoire, du modèle GPT et du logiciel de simulation électromagnétique CST.

A l'heure actuelle, cet outil de modélisation globale n'est pas adapté aux dispositifs à symétrie axiale de révolution tels que les circulateurs puisque développé dans le système de coordonnées cartésien. Son adaptation aux topologies cylindriques (circulateurs) permettrait d'améliorer la modélisation de ces dispositifs, et ainsi, d'optimiser la réponse de ces dispositifs. De plus, son caractère universel permettra à la fois de dimensionner des circulateurs intégrant des composites ferrimagnétiques doux (fonctionnement à l'état saturé / inhomogénéité du champ interne) et des composites ferrimagnétiques durs pré-orientés (fonctionnement à l'état rémanent).

Les retombées de cette thèse pourront concerner la R&T « Evaluation d'isolateurs intégrés au sein d'une chaîne RF » en cours de démarrage et, au-delà du périmètre de cette étude R&T, participeront à l'effort actuel menés par les industriels du

secteur des télécommunications pour mettre en place une chaîne européenne avec un très bon rendement pour les composants à ferrite, isolateurs et circulateurs (*cf.* deux projets européens Euripides en cours s'intéressant aux circulateurs dans le contexte spatial, *i.e.* MM-WIN : circulateurs auto-polarisés à base d'hexaferrite, LOCCIMIM : circulateurs en technologie LTCC).

Etapas clés de la thèse :

- Prise en compte du caractère hétérogène des nanocomposites ferrimagnétiques dans leur modélisation hyperfréquence (adaptation du modèle GPT aux matériaux hétérogènes)
- Synthèse de particules d'hexaferrites et réalisation de composites pré-orientés (solution isolateur sans-aimant)
- Modification de l'outil de modélisation globale aux géométries à symétrie axiale de révolution (conversion des analyses statiques et dynamiques de cartésien à cylindrique)
- Validation de l'outil de simulation globale sur des structures canoniques (circulateur en guide d'onde rectangulaire, validation pour des aimants de différentes dimensions)
- Modélisation et réalisation de circulateurs planaires intégrant des nanocomposites ferrimagnétiques doux ou durs (pré-orientés) à l'aide de l'outil de modélisation globale développé

Profil du candidat :

Le candidat recherché devra être titulaire d'un master ou d'un diplôme d'ingénieur généraliste, physicien ou électronicien. Des compétences en développement d'outil de modélisation numérique et des compétences en synthèse de matériaux composites seront appréciées.

Bibliographie :

- [1] Spécification Technique de besoin « Isolateurs intégrés », Réf. DCT/AQ/EC-2014/05852, 31 mars 2014.
- [2] Cahier des Clauses Techniques Particulières « Evaluation d'isolateurs intégrés au sein d'une chaîne RF », Réf. DCT/AQ/EC-2014/010151, 17 juin 2014.
- [3] P. Gelin, and P. Quéffélec, "Generalized Permeability Tensor Model: Application to Barium Hexaferrite in a Remanent State for Self-biased Circulators," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 44, n°1, pp. 24-31, Jan. 2008.
- [4] A. Guennou, P. Quéffélec, P. Gelin, and J.L. Mattei, "Coupled Magnetostatic / Electromagnetic Studies of Non-Uniformly Biased Y-Junction Circulator: Application to Transmission Bandwidth Increase", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 43, n°9, pp. 3645-3651, Sept. 2007.
- [5] A. Guennou, B. Della, P. Quéffélec, P. Gelin, and J.L. Mattei, "Influence of the magnetic field nonuniformity on an X-band microstrip Y-junction circulator

bandwidth: theory/experiment comparison", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 43, n°6, pp. 2642-2644, June 2007.

[6] A. Le Gouellec, G. Verissimo, V. Laur, P. Queffelec, I. Albert, T. Girard, "Ferrite-based phase shifter design: the modeling problem of non-saturated anisotropic ferrites", IEEE International Microwave Symposium, Seattle, session orale, juin 2013.

[7] G. Vérissimo, A. Le Gouellec, V. Laur, P. Queffelec, "Modélisation de la perméabilité tensorielle et aide à la conception de dispositifs hyperfréquences à ferrite", 13^{èmes} Journées de Caractérisation Microondes et Matériaux, Nantes, Session orale, mars 2014.

[8] A. Le Gouellec, "Modélisation de déphaseurs ferrite hyperfréquences à double toroïde", Thèse de doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale, soutenance prévue fin 2014.