

Développement de circulateurs en bande Ku par technologie collective multicouche

Equipe d'encadrement : Lab-STICC-UBO (Patrick Queffelec et Vincent Laur), Lab-STICC-IMT Atlantique (Vincent Castel et Camilla Karnfelt)

I. Problématique générale

L'électronique embarquée dans les missiles est actuellement en forte évolution de façon à s'adapter aux nouvelles cibles à intercepter. Cette évolution amène notamment à l'intégration d'antennes actives à balayage en remplacement des antennes à balayage mécanique. Ces antennes permettent de modifier à façon le diagramme de rayonnement de l'antenne ainsi que son pointage et ce dans des temps extrêmement courts. Si de telles antennes actives à balayage électronique sont maîtrisées et déjà utilisées de manière opérationnelle dans plusieurs équipements de défense, leur application à des senseurs radiofréquences embarqués de petites dimensions soulève plusieurs défis technologiques. Lorsque les antennes d'émission et de réception de ces senseurs sont confondues, une fonction de routage entre les voies actives d'émission à très forte puissance et celles de réception de très grande sensibilité est nécessaire. Si cette fonction de routage pourrait idéalement être réalisée par un simple commutateur RF rapide, des dispositifs non réciproques passifs sont préférés pour notamment se prémunir des phénomènes de Taux d'Onde Stationnaire (TOS) actif. Ce phénomène propre aux réseaux d'antennes peut perturber voire détruire les chaînes d'émission par la présence d'un signal en retour due aux couplages entre les éléments rayonnants du réseau. La parade consiste alors à isoler les voies d'émission par une fonction non réciproque, classiquement réalisée par un doublet isolateur – circulateur qui réalise la fonction de routage entre émission et réception tout en garantissant **une isolation de la classe 40 dB** en sortie des voies émission. Les antennes actives associent le balayage électronique d'un réseau d'antennes élémentaires avec une génération répartie de la puissance. De telles antennes nécessitent une multiplicité de modules Emission/Réception. Ces modules doivent être implémentés en accord à la maille de l'antenne, qui vaut de l'ordre de 1 cm dans la bande Ku. Aussi, **l'intégration** de ces composants isolateurs et circulateurs est indispensable. Enfin la multiplicité des modules Emission/Réception, de la classe 100 à 300 pour une antenne active 2D d'un autodirecteur classique, impose un **coût très compétitif** de la fonction unitaire. Les techniques actuelles de fabrication des isolateurs et circulateurs comportent de nombreuses étapes de réalisation et d'association de sous fonctions comme le circuit de couplage RF à 3 ports, le matériau ferroélectrique et l'aimant permanent ainsi que le packaging de l'ensemble, qui conduisent à un prix élevé de la fonction. Les tailles des composants actuels correspondent sans marge à la maille d'une antenne en bande Ku, ce qui rend très complexe leur intégration. L'objectif de ces travaux de thèse consistent à étudier une voie innovante de réalisation de ces composants circulateurs et isolateurs, basée sur de nouveaux matériaux et apte à répondre simultanément aux exigences de performances, d'intégration et de coût des antennes actives en haute bande pour systèmes embarqués.

II. Programme de la thèse

Les approches collectives multicouches sont un levier pour réaliser la fonction isolateur/circulateur pour un coût maîtrisé avec une empreinte réduite. Dans le cadre du projet Euripides LOCCIMIM, TRT a développé une technologie Low Temperature Co-fired Ceramics (LTCC) permettant de produire des composants non-réciproques en une seule étape (co-frittage des diélectriques, ferrites et métallisation). Cette innovation a été permise par le développement de ferrites de type grenat à

basses de température de frittage compatibles avec le procédé LTCC. Outre un abaissement de la température de frittage, ces ferrites substituées présentent l'avantage d'une plus forte constante diélectrique permettant une miniaturisation du composant.

Des circulateurs en bande X ont été réalisés dans le cadre de ce projet et ont montré des performances comparables à celles de circulateurs fabriqués par des procédés plus classiques (assemblage, collage, sérigraphie) disponible chez des fournisseurs tels que Dorado ou Trak. Ce circulateur présente une bande-passante de 2,56 GHz (8.12-10.68 GHz) dans laquelle les pertes d'insertion restent inférieures à 0,5 dB ($IL_{\min} = 0,37$ dB à 8,8 GHz) et l'isolation supérieure à 20 dB (Fig. 2). Par ailleurs, ce composant a démontré une stabilité en température remarquable, point clé dans les applications de type missile, avec une isolation restant supérieure à 15 dB jusqu'à 90°C.

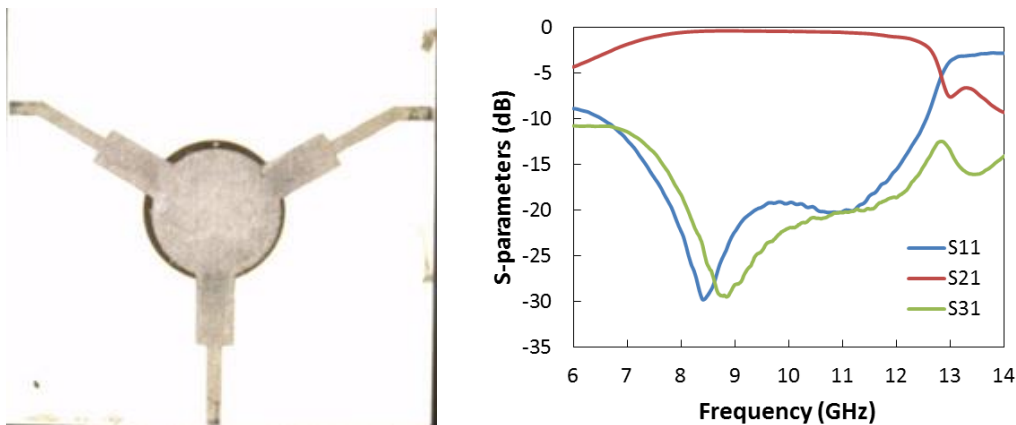


Fig. 1. A gauche : circulateur réalisé en technologie LTCC (diélectrique + ferrite + métallisation argent). A droite : Paramètres S mesurés entre 6 et 14 GHz.

Le développement des nouvelles architectures d'antennes actives nécessite des circulateurs/isolateurs compacts en bande Ku (15 – 17 GHz). Les composants devront permettre un report de type CMS (Composant Monté en Surface) sur PCB. Ces contraintes nécessiteront le développement de nouveaux ferrites compatibles LTCC avec des plus fortes aimantations à saturation que ceux développés pour la bande X dans le cadre de LOCCIMIM. Le gain en compacité sera également abordé sous l'angle d'une optimisation topologique de la jonction-Y. Cette thématique sera abordée de manière générale dans le projet ASTRID CircKu en cours de dépôt. La thèse proposée sera focalisée sur les aspects particuliers de la modélisation des circulateurs, notamment par l'utilisation de modèles de prédiction de la perméabilité de ferrites aimantés prenant en compte l'inhomogénéité spatiale (de façon à ne pas subir les effets d'inhomogénéité du champ liés à la polarisation du circulateur par un aimant permanent mais à la prendre en compte dès la phase de conception), et de la problématique technologique de réalisation de démonstrateurs en technologie LTCC (co-frittage diélectrique/ferrite/métallisation, intégration de la connectique type CMS). Pour cela, le doctorant bénéficiera de l'expertise du Lab-STICC-UBO dans la conception de composants à ferrite et dans celle du Lab-STICC-IMT Atlantique sur la technologie LTCC.