

Continuous Parallel Plate Waveguide Lenses for Future Low-Cost and High-Performances Multiple Beam Antennas

Résumé :

Les futurs systèmes de communications par satellites (GEO, LEO) requièrent le développement significatif de nouvelles solutions antennaires multi-faisceaux à bas coût, tout en maintenant de hautes performances RF. Au cours de ces dernières années, les formateurs de faisceaux de type quasi-optique, combinés à une source primaire, font l'objet d'une attention particulière. Leurs capacités de dépointage sur une large bande de fréquence sont particulièrement attractives, évitant notamment les effets liés à la discrétisation de l'ouverture rayonnante (réduction de la bande de fréquence, lobes de réseau). La simplicité de réalisation qui est associée est également à mettre en avant.

Un nouveau concept de formateur quasi-optique a récemment émergé d'une collaboration entre l'ESA/ESTEC, Thales Alenia Space et l'IETR dans le cadre du programme TRP (Technology Research Programme) de l'ESA. La solution proposée, transforme une onde cylindrique issue d'une source primaire et se propageant dans un guide d'onde à plans parallèles, en un front d'onde plan rayonné dans l'espace libre par un cornet. La conversion du front d'onde est assurée par une lentille formée d'une lame et d'une cavité transversale. La conception de cette lentille est similaire à celle d'une lentille contrainte (lentille de Rotman) sans la complexité et les limitations ajoutées par la discrétisation de la lentille et l'utilisation de lignes de transmission. Sous cet aspect, la solution proposée se rapproche des antennes pillbox mais avec des performances nettement améliorées. Un premier prototype en bande Ku, conçu par TAS, a été proposé et validé par la mesure dans le cadre de l'activité TRP mentionnée ci-dessus. De bonnes performances en dépointage sur un large secteur angulaire ($[-30^\circ \ 30^\circ]$) ont été démontrées sur l'ensemble de la bande de fréquence dédiée aux applications de communication par satellite. Cette solution, mécaniquement simple, peut répondre à des contraintes de coût. Elle est également purement métallique et donc particulièrement adaptée aux applications qui requièrent de fortes puissances. Cependant, la démarche initiale implémentée par TAS et basée sur l'utilisation du logiciel commercial Ansoft HFSS fait face à des temps de calcul et d'optimisation rédhibitoires. Ce type de procédure est difficilement applicable lorsque l'on souhaite faire un dimensionnement rapide de cette solution pour répondre à un nouveau jeu de spécifications (dépointage recherché, nombre de faisceaux, bande de fréquence). Le but de cette thèse est de développer les aspects théoriques principaux, nécessaires à l'étude du concept. Des évolutions de celui-ci sont également à analyser, afin d'en améliorer les performances ou alors viser des solutions plus compactes.

Un outil d'analyse basé sur l'optique géométrique (GO) a été tout d'abord proposé. Une prédiction rapide et précise des performances en rayonnement est obtenue. Une procédure de tracé de rayons spécifique est définie, caractérisant la propagation dans le guide d'ondes à plans parallèles mais également dans la cavité transversale. Les résultats obtenus sont validés avec Ansoft HFSS.

L'outil d'analyse a été ensuite combiné avec une procédure d'optimisation minimisant les aberrations de phase dans l'ouverture rayonnante, mais aussi avec une méthode d'optimisation directe basée sur le diagramme de rayonnement, permettant la prise en compte des erreurs de

phase et d'amplitude dans l'ouverture. Des degrés de liberté supplémentaires, utilisant des profils polynomiaux, ont été introduits pour former la cavité transversale. Des performances en dépointage sur un large secteur angulaire, proches de celles obtenues avec des modèles contraints simplifiés (lentille de Rotman et Bifocal) ont été obtenues. Une stabilité des diagrammes en rayonnement est démontrée (ouverture à mi-puissance, niveaux de lobes secondaires et pertes en dépointage).

La fabrication d'un prototype dans la bande Ka pour le lien montant ([27.5-31] GHz) est réalisée pour valider les performances précédemment obtenues. Une solution purement métallique a été fabriquée à l'aide d'un procédé d'usinage classique. Un excellent accord est présenté entre les mesures réalisées et la simulation finale sous Ansoft HFSS. Les propriétés de dépointage sont démontrées, incluant une stabilité des performances sur l'ensemble de la bande de fréquence considérée. L'approche faible coût est une nouvelle fois mise en avant et de hautes efficacités de rayonnement sont également démontrées, ce qui est particulièrement approprié lorsque des applications satellites sont visées.

Les performances en compacité sont ensuite étudiées, dans le but de répondre à de fortes contraintes d'intégration mais également pour envisager un réseau planaire de formateurs de faisceaux superposés. La cavité transversale proposée par le concept, limite la hauteur finale de la structure. Un second prototype dans la même bande Ka ([27.5-31] GHz), visant les mêmes performances que le précédent est proposé, et dans ce cas, plusieurs lentilles sont optimisées de manière à réduire la taille de l'antenne. Le modèle final obtenu en simulation montre une réduction significative des dimensions transverse et longitudinale, tout en proposant des performances RF similaires au précédent design. Ce second prototype, théoriquement prêt, va être fabriqué prochainement à l'IETR et mesuré en chambre anéchoïque.