

# Analyses numériques et expérimentales de structures de couplage multi-niveaux en circuits intégrés micro-ondes pour antennes actives

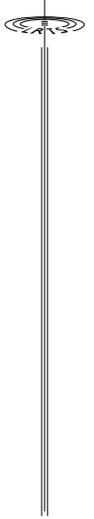
*Dr Abdelkader Dhouib*

*Professeur Michel Lecours, directeur de recherche*

*Dr Malcolm Stubbs, Antennas and integrated electronics, CRC, co-directeur*

*Abstract: This work concerns the analysis of a coupling scheme for potential applications in planar phased array antennas. The basic configuration uses two microstrip substrates and an intervening stripline substrate to facilitate vertical signal distribution from RF circuit elements to patch antennas. The power is coupled between the different layers through apertures in the common ground planes of adjacent substrates. A full wave electromagnetic analysis based on the three dimensional transmission line matrix (3D-TLM) method is used to model the microstrip to stripline coupling discontinuity. An improved signal averaging technique has been developed providing wide bandwidth absorbing boundary condition in the TLM method. A number of microwave circuits required in the fabrication of active microwave multilayer antennas microwave circuits, such as via holes, stripline couplers, aperture coupled microstrip to stripline transitions, resonator antennas, bond wire transitions from AsGa to alumina have been studied numerically and experimentally.*

*Résumé: Ce travail explore l'analyse des circuits et de transitions micro-ondes requis dans la conception d'antennes réseaux actives, pour des applications aux systèmes de communication personnelle du futur. Une nouvelle architecture multi-niveaux composée de structures planes micro ruban et stripline est proposée. Un simulateur d'onde électromagnétique basé sur la méthode numérique TLM est développé pour étudier les caractéristiques électriques des transitions d'interconnexion verticale dans une construction multi-niveaux. La méthode TLM utilise les conditions absorbantes aux limites (ABC) pour tronquer les circuits micro-ondes à espace ouvert. Une nouvelle technique ABC basée sur le moyennage de ondes de tension et de courant propagées dans une structure plane a été introduite. Plusieurs circuits micro-ondes requis dans la fabrication d'une antenne réseau multi-niveaux active ont été identifiés puis étudiés numériquement et expérimentalement.*



Les systèmes de communication personnelle sans fils du futur devront opérer aux fréquences micro-ondes et millimétriques. Ces systèmes nécessitent des antennes réseaux à commande de phase pour offrir les capacités requises d'orientation et de poursuite. Ces antennes devront être fabriquées avec les technologies avancées des circuits intégrés micro-ondes monolithiques et des antennes imprimées pour fournir des systèmes compacts, légers, portatifs et à faible coût. Ce travail explore l'analyse de circuits et de transitions requis dans la conception d'une antenne réseau multi-niveaux.

Les technologies de pointe des circuits intégrés micro-ondes miniatures hybrides et monolithiques (MHMIC, MMIC) sont présentées et leurs limitations sont identifiées. Un amplificateur MMIC compact opérant dans la bande de fréquence de 30 GHz a été fabriqué avec succès dès la première itération. Les caractéristiques électriques des antennes imprimées et des antennes diélectriques résonnantes sont aussi discutées.

Différentes architectures sont discutées dans la littérature pour assembler les modules T/R MMIC et les antennes imprimées. Une nouvelle construction multi-niveaux est proposée. Elle est composée de deux structures micro-ruban pour les intégrations des circuits actifs et des antennes imprimées et d'une structure stripline pour le réseau de distribution RF. Les signaux peuvent être couplés entre les niveaux adjacents soit par l'intermédiaire de fentes ou par des sondes.

Les interconnexions verticales dans une construction multi-niveaux sont des défis majeurs pour la conception et la fabrication d'une antenne réseau active. Ces interconnexions verticales montrent des géométries complexes qui ne peuvent pas être modélisées précisément avec les méthodes analytiques. Une partie importante du travail a consisté à développer un simulateur électromagnétique basé sur la méthode numérique "Transmission Line Matrix" (TLM) en trois dimensions. La description de cette méthode et de son application à l'analyse des circuits micro-ondes planaires est présentée. La méthode TLM utilise des conditions absorbantes aux limites (ABC) pour tronquer les circuits à espace ouvert. Une nouvelle technique ABC basée sur le moyennage des signaux de tension et de courant qui se propagent dans des structures planes a été développée. Cette technique de moyennage possède une bande très large et ne nécessite pas de mémoire supplémentaire et d'algorithmique complexe comparé avec les autres ABC. Cette technique présente une performance qui dépasse les conditions d'extrapolation d'espace-temps d'ordre supérieur.

Différents circuits micro-ondes requis dans la conception d'une antenne réseau active ont été étudiés numériquement et expérimentalement. Ces circuits incluent un trou métallisé elliptique MMIC, un nouveau coupleur stripline à bande large, des transitions de couplage par une fente ou par une sonde entre micro ruban et stripline, des antennes diélectriques résonnantes couplées par une fente ou par proximité, et une transition entre deux lignes micro ruban gravées sur des substrats en AsGa et en Alumine et connectées par des fils de thermocompression. Les résultats démontrent les capacités de la méthode TLM pour prédire les caractéristiques électriques des circuits micro-ondes multi-niveaux à géométries complexes. Le simulateur a été utilisé aussi pour étudier les effets des tiges de court circuit sur les modes parallèles dans la structure stripline dissymétrique et la permittivité effective des lignes micro-ruban dispersives. L'étude de

ces divers problèmes ne demande aucune pré-analyse et seulement un peu de programmation additionnelle.

Puisque la méthode TLM est très lente, une technique intéressante qui combine la méthode TLM et un simulateur linéaire est proposée pour optimiser quelques dimensions des antennes diélectrique résonnantes et des transitions de couplage entre micro ruban et stripline dans un temps considérablement réduit. À cause de la difficulté d'enlever les effets des connecteurs micro ruban et stripline des mesures de transitions multi-niveaux faites avec l'analyseur de réseau, une calibration TRL dissymétrique a été proposée pour mesurer les paramètres S des circuits micro-ondes à accès non-symétrique. Un programme basé sur la calibration TRL a été développé pour déterminer séparément les paramètres S de chaque connecteur. Ces effets peuvent être corrigés avec un simulateur linéaire.

Le temps d'exécution du simulateur TLM développé serait grandement amélioré par l'utilisation d'un maillage flexible. Ceci permettrait également de modéliser des composants MMIC passifs tels des capacités MIM et des inductances en spirale.

Il y aurait lieu également de pousser aux fréquences EHF ces travaux de modélisation de transitions microruban à stripline, qui ont été réalisés à 5 GHz sur des substrats de Duroid. Il y aurait lieu de modéliser la longueur et la largeur des ouvertures, les propriétés des substrats, longueurs de stubs, des vias, etc.

Finalement d'autres types de transitions telles antennes à fente stripline, antennes à résonateur diélectrique avec couplage stripline restent à étudier.

### Références:

1. DHOUIB A., STUBBS M. G., MONGIA R. K., LECOURS M., "Numerical and experimental Analysis of Multilayer Couplers", soumis, 1996 IEEE Ant. and Propagat. Conference.
2. DHOUIB A., STUBBS M. G., MONGIA R. K., LECOURS M., "3D-TLM analysis of rectangular dielectric resonator antennas," 1995 IEEE Ant. and Propagat. Conference, June 1995, pp 782-785.
3. DHOUIB A., "Numerical and experimental investigations of multilayer microwave integrated circuit coupling structures for active antennas", thèse de Doctorat, Université Laval, 1995.