

# Résumé

La complexification inhérente à l'essor des circuits microondes se traduit par la coexistence de plusieurs échelles dans un même circuit mais aussi par l'apparition de rapports de dimensions importants. Elle se traduit également sur le plan numérique par le fait que l'explosion même des moyens de calcul ne semble pas répondre au besoin des utilisateurs. En effet, on demande aux outils de simulation bien plus qu'un simple dimensionnement de structures, à savoir la mise au point de nouvelles techniques. L'enjeu n'est autre que de pouvoir analyser de manière rigoureuse des problèmes globaux allant du composant élémentaire jusqu'à la prise en compte des phénomènes de propagation en milieux complexes.

Une modélisation électromagnétique basée sur une formulation par changements d'échelle a été développée et appliquée sur différents circuits planaires hyperfréquences. Cette méthode vise à s'affranchir des problèmes classiques de simulation, liés à la multiplicité des échelles mises en jeu dans une structure.

Le caractère multi-échelle d'une structure est utilisé pour décomposer celle-ci en sous structures, encore appelées briques élémentaires de passage. Ces briques apparaissent comme de véritables constituants de base de n'importe quelles structures multi-échelles. Elles caractérisent le passage d'une échelle vers une autre, et sont associées à un multi-port. La prise en compte du problème global revient à mettre en cascade ces différents multi-ports. Cette démarche de type «Lego» apporte une certaine modularité qui facilite grandement la mise en place d'études paramétriques.

Nous combinons la rapidité de calcul d'une formulation modale classique mais d'application très restreinte avec une approche flexible permettant l'étude de structures multi-échelles. Ceci conduit à une réduction très significative en terme de temps de calcul et d'espace mémoire par rapport aux méthodes numériques classiques.

Pour illustrer notre approche, nous avons considéré l'étude de microcomutateurs MEMS, d'une antenne active et d'une cellule déphaseuse. Une validation expérimentale de la méthode est présentée, de plus les résultats obtenus ont confirmé l'efficacité d'une telle approche par rapport aux méthodes classiques.

## Mots clés

Hyperfréquences  
Modélisation électromagnétique multi-échelle  
Méthode integrale  
Technique par changements d'échelle  
Réseaux réflecteur  
Antennes actives  
MEMS



# Abstract

The complexification related to the rise of microwaves circuits results in the coexistence of several scales in the same circuit and in the appearance of important dimensions ratios. So numerically speaking, even the significant boom of computer resources doesn't seem to meet the user's need. Indeed, simulation tools are not only used for a simple design of structures, but for the development of new techniques. The stake is none other than to be able to analyze precisely global problems from the elementary component to the consideration of the propagation phenomenon in complex mediums.

An electromagnetic modeling based on a Scale changing technique formulation has been developed and applied to various microwave planar circuits. This method aims at bypass traditional problems of simulation, related to the multiplicity of scales present in a structure.

The multiscale nature of a structure is used to break up this one into sub-structures, still called building blocs of transition. These blocs seem true basic components of any multiscale structure. They characterize the transition of a scale towards another, and are associated with an N-port network. Taking into account the entire problem corresponds to the cascading of these different N-ports. This "Lego" demarche brings modularity which largely eases the implementation of parametric studies.

We combine the computing speed of a very restricted application based on a traditional modal formulation with a flexible approach allowing the study of multi-scales structures. This allows a substantial reduction in computational time and memory compared to classical numerical techniques.

To illustrate this approach, the study of MEMS, of an active antenna and a MEMS-controlled Phase-shifters was carried out. An experimental validation of the method is presented; moreover the results obtained have confirmed the effectiveness of such an approach compared to the traditional methods.

## Key words

Microwaves  
Multi-scale electromagnetic modeling  
Integral Equations Formulations  
Scale changing technique  
Reflectarray antenna  
Active antenna  
MEMS