

# Modélisation électromagnétique de circuits hyperfréquences basée sur des changements d'échelle

E.Perret– H.Aubert  
 Laboratoire d'électronique INPT ENSEEIHT – 2, rue Camichel  
 31071 Toulouse - France

**Résumé** - Cet article présente une formulation intégrale basée sur une approche multi-échelles. Nous discuterons des problèmes liés à la multiplicité des échelles au niveau des circuits hyperfréquences actuels. En effet le haut niveau d'intégration caractérisant ces circuits pose de vrais problèmes de modélisation. Pour répondre à ce type de problème nous avons adopté une approche de changement d'échelles pouvant s'effectuer de manière récursive.

**Abstract** - This paper presents a modified integral formulation based on a multi-scale approach. Problems linked to scale multiplicity in current microwave circuits will be discussed here. Indeed, the high integration level characterizing circuits implies models problems. To tackle this type of problem, we adopt a scale changing approach, which can be driven recursively.

## I. INTRODUCTION

Il est désormais devenu commun de réaliser des circuits complexes où tous les composants sont intégrés sur un même substrat (MMIC). Cette course à la miniaturisation fait que l'on rencontre dans la pratique des rapports très importants entre la plus grande et la plus petite dimension d'un circuit [1], [2]. Cette constatation pose un des problèmes majeur que les rencontre les concepteurs de simulateurs numériques.

D'un coté, les méthodes hybrides basées sur le couplage de diverses modélisations électromagnétiques [3] n'apportent qu'une réponse partielle au problème soulevé. De l'autre, les méthodes rigoureuses sont très vites limitées par un coup en temps de calcul trop important.

Cette étude cherche à rendre compte des problèmes de simulation liés à la multiplicité des échelles mises en jeu dans une structure.

## II. MODELISATION ELECTROMAGNETIQUE MULTI-ECHELLES

Pour bien comprendre le formulation adoptée nous nous intéresserons à une ligne microruban « hybride ». Celle-ci constitue une structure multi-échelles, le domaine  $D_1^{-1}$  (Fig.2) rend la structure modulable. Nous y introduirons tour à tour une résistance surfacique (cas d'étude n°1, Fig.1,a), puis une ligne de plus petite largeur comportant une résistance afin d'introduire un niveau d'échelle supplémentaire (cas d'étude n°2, Fig.1,b).

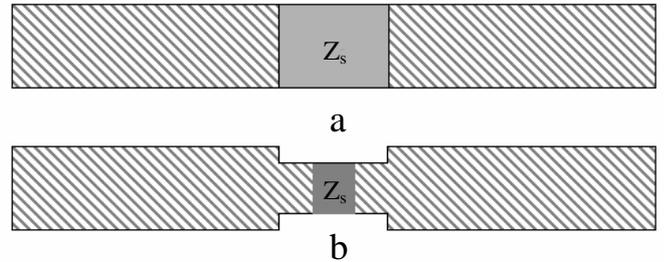


Fig.1 : Les différents cas d'étude : (a) insertion d'une impédance de surface, (b) d'un saut de largeur de ligne avec une résistance.

Le cas d'étude n°2 comprend 2 niveaux d'échelle, pour bien comprendre nous définissons différents domaines (Fig.2).  $D_0$  correspond au grand domaine, celui du boîtier,  $D_1^{-1}$  au domaine intermédiaire, le domaine ligne.  $D_1^{-1}$  est un sous domaine de  $D_1^0$ , c'est dans cette zone que va s'opérer le premier changement d'échelle.  $D_1^{-2}$  est un sous domaine de  $D_1^{-1}$ , il est lié à la ligne de plus petite largeur. Et enfin  $D_1^{-3}$ , sous domaine de  $D_1^{-2}$ , représente le domaine de définition de la charge surfacique, ça présence introduit le deuxième changement d'échelle.

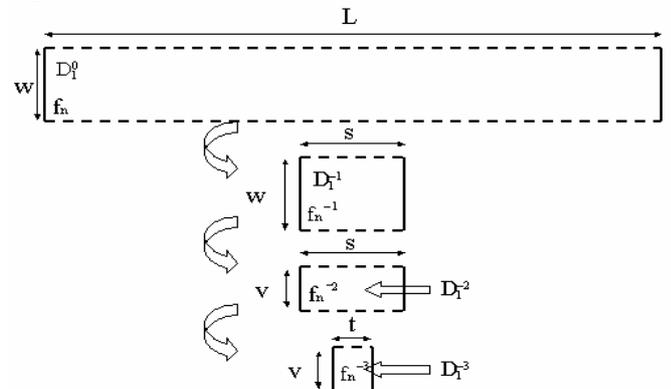


Fig.2 : Représentation (Découpage) des domaines géométriques relatifs à l'approche multi-échelles.

L'originalité de la méthode repose sur le découpage puis l'interconnexion des différents domaines. En effet les domaines sont mis en cascade:  $D_1^{-2}$  interagit avec  $D_1^0$  non pas directement comme dans une méthode intégrale habituelle mais uniquement par l'intermédiaire de  $D_1^{-1}$ . De même  $D_1^{-3}$  interagit avec  $D_1^0$  par l'intermédiaire de  $D_1^{-2}$ . Ceci se traduit au niveau des rapports de dimension comme suit: on passe de la dimension  $t$  à  $s$  puis de  $s$  à  $L$  et non de  $t$  à  $L$  directement. Cette constatation est à l'origine de la

réduction de la lourdeur des calculs numériques, elle va se retrouver à travers des expressions analytiques.

Au niveau de la mise en équation, nous insisterons simplement sur le fait que la forme générale des expressions analytiques se retrouve d'une échelle à l'autre. Autrement dit, les deux cas d'étude présentent les mêmes expressions, on trouve ainsi la notion de récursivité qui est propre à la démarche effectuée. La forme de équations non-détaillée est donnée par :

$$Z = \left[ A^t \left\{ (UZU^t)^{-1} + (U_s Z_s U_s^t)^{-1} \right\} A \right]^{-1} \quad (1)$$

### III. RESULTATS

Pour la comparaison des résultats, la référence sera donnée par une méthode des moments « classique ». Le logiciel du commerce Zeland IE3D a été utilisé à cette fin.

Nous exposerons les paramètres S en fonction de la fréquence. Concernant le choix du nombre de modes à prendre en considération, une étude de convergence a été réalisée pour chaque cas. Le nombre de modes par unité de distance est pris constant ainsi la multiplicité des échelles ne complique pas cette l'étude.

Les figures 3 et 4 valident l'approche utilisée, les résultats sont très proches les uns des autres. De plus, une réduction significative du temps de calcul est observée.

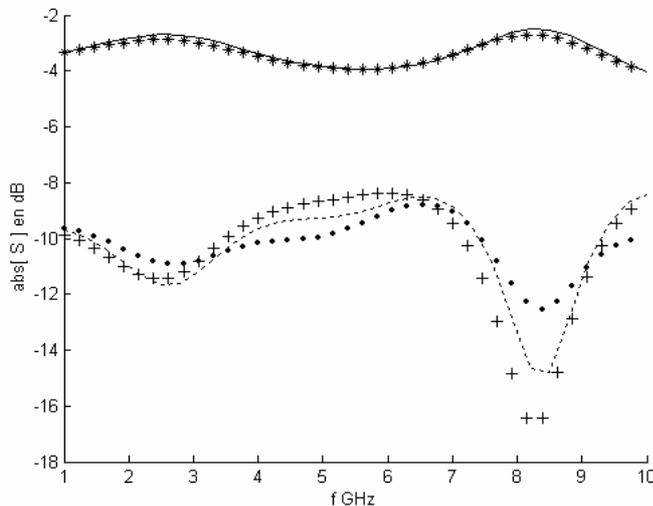


Fig.3 : Cas d'étude n°1. Les courbes : ligne continue, pointillée, astérisque, croix, points correspondent respectivement à  $S_{12}$ ,  $S_{11}$ ,  $S_{12}$  (MoM),  $S_{11}$  (MoM),  $S_{22}$  (MoM).  $S_{11} \neq S_{22}$ , ceci vient d'une dissymétrie du maillage au niveau d'IE3D.

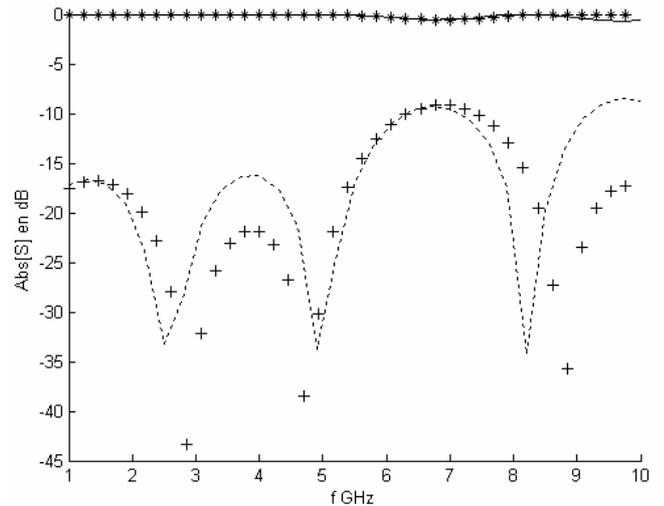


Fig.4 : Cas d'étude n°2. Les courbes : ligne continue, pointillée, astérisque, croix correspondent respectivement à  $S_{12}$ ,  $S_{11}$ ,  $S_{12}$  (MoM),  $S_{11}$  (MoM).

### IV. CONCLUSION

Le développement actuel des technologies favorise l'apparition de circuits où les écarts des dimensions mises en jeu deviennent très significatives. C'est pourquoi ces facteurs nous poussent à reformuler le problème afin de l'aborder d'une toute autre manière.

Nous considérerons un circuit non plus comme un tout mais comme une imbrication de domaines où chacun d'entre eux sera lui même composé de sous domaines. Les perspectives de cette étude multi-échelles sont multiples, en plus de réduire significativement le temps de calcul l'approche se révèle être incontournable lorsque les méthodes classiques connaissent des difficultés.

### REFERENCES

- [1] H.BAUDRAND, H.AUBERT, "Integral Formulation For planar Active or Passive Devices using Equivalent Circuit Approach," Workshop on *Global EM Simulators of Planar Microwave Circuits*, 1996 *IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, San Francisco, California, USA, 1996.
- [2] M. NADARASSIN, H.AUBERT, H.BAUDRAND, "Analysis of Planar Structures by an Integral Multi-scale Approach," 1995 *IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, Orlando, Florida, USA, 14-19 May 1995, Conference Proceedings vol.2 pp.653-656.
- [3] P.TAILLARDAT, H.AUBERT, H.BAUDRAND, "A combination of Quasi-static Approach with an Integral Method for the Characterization of Microwave Planar Circuits," 1994 *IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, San Diego, California, USA, 23-27 May 1994, Conference Proceedings vol. 1 pp.417-420.