HAL
open science

Mise en évidence de zéros de transmission sur une ligne microruban dans un environnement de type “ SiP ”.

Yves Quéré, Thierry Le Gouguec, Pierre-Marie Martin, Denis Le Berre, Fabrice Huret

To cite this version:

Yves Quéré, Thierry Le Gouguec, Pierre-Marie Martin, Denis Le Berre, Fabrice Huret. Mise en évidence de zéros de transmission sur une ligne microruban dans un environnement de type “ SiP ”.. 15èmes Journées Nationales Microondes, 23-24-25 Mai 2007 - Toulouse, May 2007, Toulouse, France. pp.5D11. hal-00492755

HAL Id: hal-00492755

https://hal.univ-brest.fr/hal-00492755v1

Submitted on 16 Jun 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

15èmes Journées Nationales Microondes
23-24-25 Mai 2007 Toulouse

Mise en évidence de zéros de transmission sur une ligne microruban dans un environnement de type « SiP ».

Yves Quéré, Thierry Le Gouguec, Pierre-Marie Martin, Denis Le Berre et Fabrice Huret.

Laboratoire d'Electronique et Systèmes de Télécommunications (LEST) UMR CNRS 6165, 6 avenue Victor Le Gorgeu CS 93837, 29238 Brest Cedex 3 France

yves.quere@univ-brest.fr

Résumé.

Nous proposons dans ce papier l'étude d'une interconnexion de type microruban dans un environnement 3D complexe tel que rencontré dans les systèmes sur puces (SoC) ou bien les systèmes en boîtier (SiP). Nous mettons en évidence, à l'aide de mesures et de simulations électromagnétiques, l'apparition de zéros de transmission dus à la présence d'une grille métallique orthogonale sous cette ligne. Nous montrons les effets de cette grille sur l'intégrité des signaux et finalement nous proposons une modélisation simple permettant de prédire les risques d'apparition de ces zéros de transmission.

I. Introduction

Les nouvelles techniques d'intégration de type SoC (System on Chip) ou bien SiP (System in Package) permettent d'associer sur une même puce ou dans un même boîtier plusieurs fonctions électroniques comme des fonctions RF, analogiques et numériques. Compte tenu de la densité de plus en plus importante de ce type de circuit, ainsi que l'augmentation des fréquences de fonctionnement, il devient nécessaire d'évaluer les interactions entre les différentes fonctions [1] mais également de caractériser les interconnexions reliant ces différents blocs fonctionnels. En technologie CMOS on utilise classiquement la technique de routage Manhattan [2] pour effectuer la connexion des différentes fonctions. Cette technique consiste à placer perpendiculairement entre eux, deux niveaux de métallisation adjacents. Les niveaux de métallisation pouvant atteindre actuellement le nombre de 8 ou 9, l'environnement des interconnexions est par conséquent complexe et demande une étude approfondie du comportement des lignes de transmission dans ce contexte et notamment en présence d'une grille métallique perpendiculaire. Plusieurs études ont montré que les grilles perpendiculaires ont des effets significatifs sur les caractéristiques de transmission des lignes [3] [4]. Nous montrons ici que les grilles peuvent également entraîner des effets parasites non désirés et remettre en cause l'intégrité des signaux.

Pour évaluer ces effets, nous présentons l'étude d'une ligne microruban placée au dessus d'une grille métallique perpendiculaire. Dans une première partie, nous mettons en évidence, à l'aide de mesures et de simulations électromagnétiques, l'apparition de zéros de transmission dus à la présence de grilles perpendiculaires. Nous évaluons ensuite l'effet de ces zéros de transmission sur l'intégrité de signaux numériques. Nous proposons dans une dernière partie, une modélisation simple d'une ligne microruban placée au dessus d'une grille metallique perpendiculaire. Cette approche nous permet d'estimer rapidement la fréquence d'apparition des résonances.

II. Structure de test et mesures

Nous avons réalisé en technologie multicouche du LEST, une série de circuits tests dont nous présentons le principe et une photographie figure 1. Ces circuits consistent en une ligne microruban de largeur $W=30\ \mu m$ placée au dessus d'une grille métallique située à mi hauteur du substrat de permittivité relative $\varepsilon_R=4.3$ et d'épaisseur $H=60\ \mu m$. Nous avons testé plusieurs densités de grille en faisant varier la largeur des rubans W_G et leur écartements S_G. Nous avons également considéré deux cas de figures ; un cas où tous les rubans métalliques de la grille sont connectés entre eux et reliés à la masse et le cas où la grille est flottante. Après une calibration de type TRL nous avons mesuré dans la bande de 1 à 50 GHz les paramètres de répartition de ces structures. Ces résultats de mesure sont présentés figure 2.

Nous pouvons remarquer qu'un zéro de transmission apparaît dans la bande de fréquence, que la grille soit connectée à la masse ($f_{RC}\approx 20\ GHz$) ou qu'elle soit flottante ($f_{RC}\approx 44\ GHz$). Nous avons vérifié que ces fréquences dépendent principalement de la longueur de la grille et très peu de la densité de celle-ci. Nous avons également effectué une simulation électromagnétique à l'aide du logiciel HFSS, et nous pouvons remarquer la bonne concordance entre simulations et mesures ce qui nous permettra par la suite d'analyser de nombreuses structures à partir d'études électromagnétiques fiables.

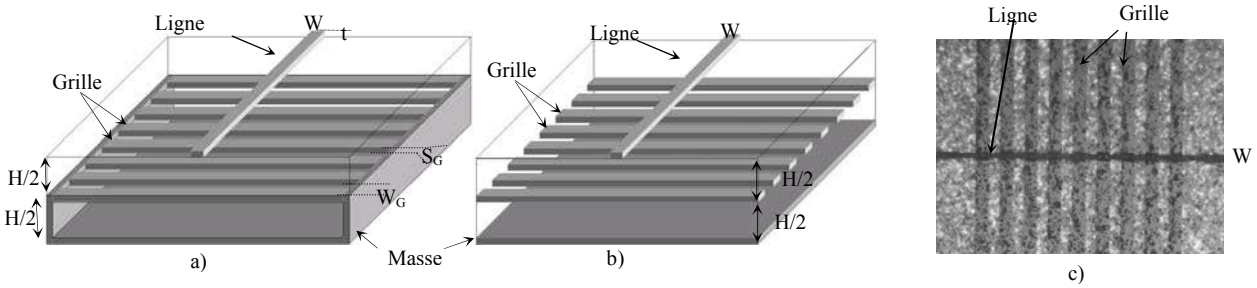

Figure 1 : géométrie des structures étudiées. a) grille connectée à la masse ; b) grille flottante ; c) photographie

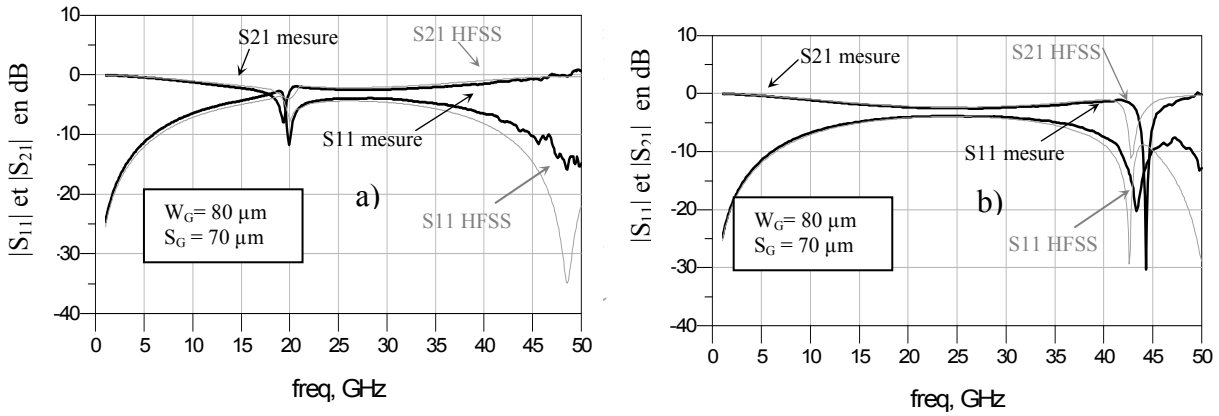

Figure 2 : Paramètres S mesurés et simulés : a) pour une grille connectée à la masse ; b) grille flottante.

III. Effet des zéros de transmission dans le domaine temporel.

De façon à illustrer l'effet des zéros de transmission sur les signaux temporels, nous avons simulé les effets d'une grille sur le comportement temporel d'une ligne. Nous présentons le schéma de principe de cette simulation figure 3 : notons qu'une ligne sans grille a également été simulée pour comparaison. De façon à illustrer l'effet des zéros de transmission sur l'intégrité du signal, nous avons utilisé un signal numérique de fréquence 5 GHz correspondant à un zéro de transmission de la structure avec grille. La comparaison entre le spectre du signal numérique de fréquence F_{Clock}=*5 GHz* et le module du coefficient de transmission est présentée figure 4. Les résultats des simulations temporelles sont présentés figure 5.

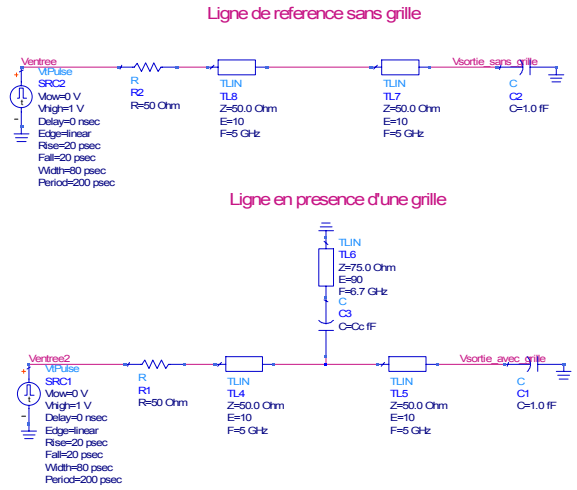

Figure 3 : principe de la simulation

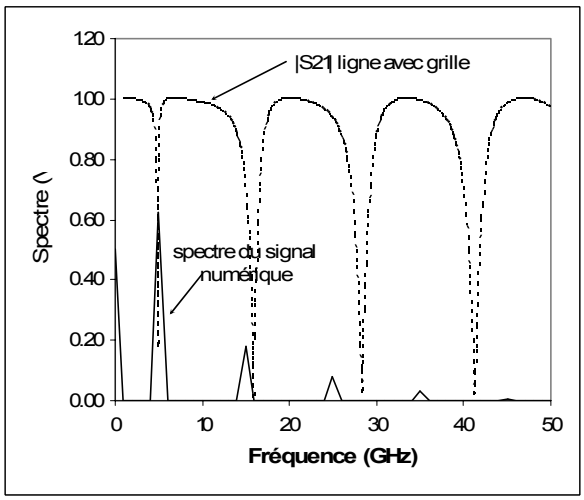

Figure 4 : Spectre du signal numérique et |S21| ligne

Nous pouvons constater qu'un zéro de transmission peut entraîner une déformation importante des signaux propagés, notamment s'il correspond à la fréquence du signal numérique ou à un de ces harmoniques. Il est donc nécessaire de développer une modélisation simple permettant au cours du « *flow* » de conception de prédire le risque d'apparition des zéros de transmission dus à la présence de grilles perpendiculaires à l'axe de propagation des interconnexions. La modélisation que nous avons cherchée à développer a pour but d'évaluer les risques d'apparition de zéros de transmission en fonction des longueurs de grille et ce afin d'établir des règles de conception permettant de limiter les risques de disfonctionnement. Nous avons donc cherché à établir la modélisation la plus simple possible.

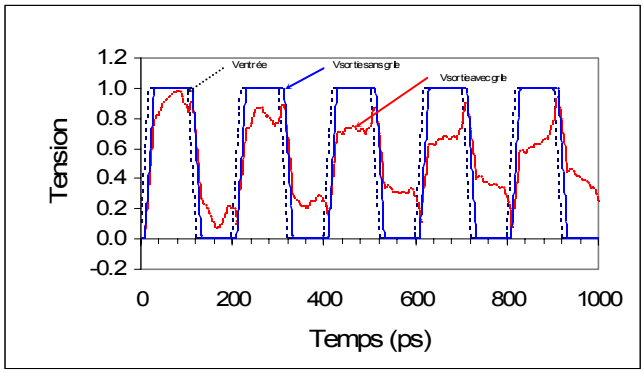

Figure 5 : Simulation temporelle.

IV. Modélisation de l'effet d'une grille sur une ligne microruban.

Pour modéliser l'effet des grilles perpendiculaires, nous proposons d'évaluer les effets d'une grille sur la propagation à partir de l'étude d'une cellule élémentaire telle que définie à l'aide de la figure 6. Le schéma équivalent de type circuit de cette cellule élémentaire est présenté figure 7. Un ruban de grille est modélisé par deux tronçons de ligne d'impédance caractéristique Z_{CG} et de facteur de propagation β_G. Ces paramètres sont déterminés en considérant une ligne microruban noyée dans un substrat diélectrique d'épaisseur H. Les lignes de grilles sont reliées à la masse par une impédance Z_{CH} traduisant la terminaison de la grille (grille connectée $Z_{CH}=0$; grille flottante $Z_{CH}=\infty$). Ces tronçons de ligne sont couplés à la ligne microruban supérieure au travers d'une capacité de couplage C_C équivalente à la capacité « *plan* » existant entre le ruban supérieur et le ruban de grille. Cette capacité *« plan »* peut aisément être estimée par la formule suivant :

$$C_C = \varepsilon_0 \varepsilon_R \frac{W.W_G}{H/2} \qquad \textbf{(1)}$$

où W est la largeur de la ligne microruban supérieur, W_G la largeur d'une ligne de grille, H la hauteur du substrat séparant la ligne microruban de la grille et ε_R la permittivité du substrat diélectrique.

Nous présentons figure 8 la comparaison entre le paramètre S_{21} obtenu avec le modèle circuit et celui mesuré dans le cas d'une ligne microruban placée au dessus d'une grille connectée à la masse. Nous pouvons constater une bonne adéquation entre simulations et mesures, tout du moins en ce qui concerne la fréquence d'apparition du zéro de transmission.

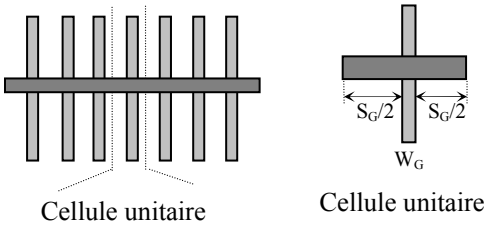

Figure 6 : Définition d'une cellule élémentaire

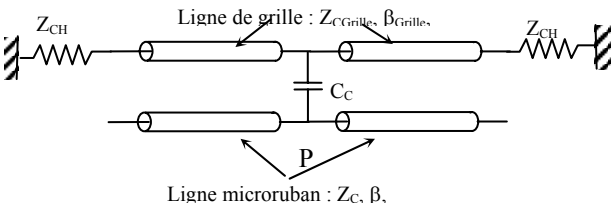

Figure 7 : Schéma équivalent d'une cellule élémentaire

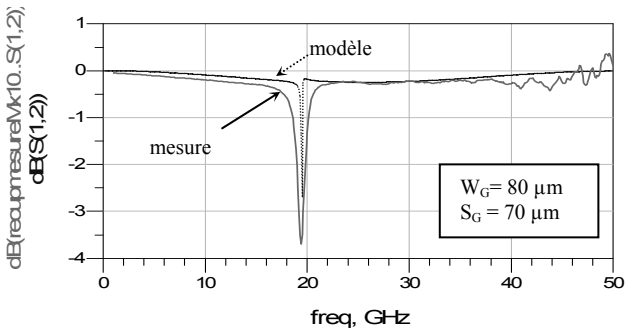

Figure 8 : Comparaison des paramètres de transmission mesurés et déterminés avec notre modèle.

L'exploitation de ce schéma simplifié, nous permet d'établir les équations qui vont nous permettre de prédire les fréquences d'apparition des zéros de transmission. Les zéros de transmission apparaissent lorsque l'impédance vue dans le plan « P » est nulle. Dans un cas très général cette impédance s'écrit :

$$Z_P = \frac{1}{jC_C\omega} + \frac{Z_{GC1}.Z_{GC2}}{Z_{G1} + Z_{G2}} \qquad (2)$$

où Z_{GC1} et Z_{GC2} sont respectivement, les impédances ramenées par la ligne de grille au niveau de la capacité de couplage C_C. Ces impédances sont données par:

$$Z_{GCi} = Z_G \frac{Z_{CH(i)} + jZ_G \tan(\beta_G.L_{G(i)})}{Z_G + jZ_{CH(i)} \tan(\beta_G.L_{G(i)})} \qquad \textbf{(3)}$$

où Z_G et β_G sont les caractéristiques de propagation de la ligne de grille, $Z_{CH(i)}$ traduisant les impédances des extrémités de la grille (($Z_{CHi} \approx 0$ pour une grille connectée et $Z_{CHi} \approx \infty$ pour une grille flottante). $L_{G(i)}$ est la longueur des lignes de grilles de part et d'autre de la ligne microruban.

Si la ligne microruban est court-circuitée au niveau du plan P, alors un zéro de transmission apparaît, ce qui se traduit au niveau de l'impédance Zp par : $Z_P = 0$. **(4)**

La résolution de cette équation (4) en fonction des impédances de charge de la grille, nous permet d'envisager de nombreux cas de figures. Par exemple dans le cas où la grille est connectée à la masse sur ces deux extrémités l'impédance Zp devient:

$$Z_P = \frac{-j}{C_C\omega} + jZ_G \frac{\tan(\beta_G L_{G1})\tan(\beta_G L_{G2})}{\tan(\beta_G L_{G1}) + \tan(\beta_G L_{G2})}. \qquad \textbf{(5)}$$

dans le cas d'une grille flottante, Zp s'écrit

$$Z_P = \frac{-j}{C_C\omega} + jZ_G \frac{1}{\tan(\beta_G L_{G1}) + \tan(\beta_G L_{G2})}. \qquad \textbf{(6)}$$

et finalement dans le cas où la grille est connectée d'un coté et flottante de l'autre, on obtient:

$$Z_P = \frac{-j}{C_C\omega} + jZ_G \frac{\tan(\beta_G L_{G1})}{1 - \tan(\beta_G L_{G1}).\tan(\beta_G L_{G2})} \qquad \textbf{(7)}$$

Il est donc possible de déterminer en première approximation, c'est-à-dire en négligeant l'influence de C_C sur la valeur de la fréquence de résonance, les fréquences entraînant des zéros de transmission. Si nous notons f_{RC} la fréquence de résonance dans le cas d'une grille connectée et f_{RO} celle dans le cas d'une grille flottante nous obtenons :

$$f_{RC} \approx \frac{c}{4L_G\sqrt{\varepsilon_{reff}}} \qquad \textbf{(8)} \qquad\qquad f_{RO} \approx \frac{c}{2L_G\sqrt{\varepsilon_{reff}}} \qquad \textbf{(9)}$$

où c est la vitesse de la lumière, ε_{reff} la permittivité relative du milieu et L_G la longueur de la grille.

IV. Conclusion.

Dans cette communication, nous avons montré, à l'aide de mesures, l'influence d'une grille métallique sur la transmission du signal véhiculé par une ligne microruban. Les grilles peuvent notamment entraîner l'apparition d'un zéro de transmission qui peut s'avérer pénalisant dans le contexte des circuits « SoC » et « SiP ». Nous avons également proposé une modélisation simple des grilles nous permettant de prédire les fréquences d'apparition des zéros de transmission. La modélisation simplifiée que nous avons développée va permettre d'établir des règles de conception permettant de limiter les risques de disfonctionnement.

[1] T. Sudo, H. Sasaki, N. Masuda, J. L. Drewniak, « Electromagnetic Interference (EMI) of System-on-Package (SOP) » IEEE TRANSACTIONS ON ADVANCED PACKAGING, VOL. 27, NO. 2, MAY 2004 pp304-314

[2] J. M. Rabaey, "Digital Integrated Circuits: A Design Perspective". Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.

[3] Pingshan Wang and Edwin Chih-Chuan Kan,"High-Speed Interconnects With Underlayer Orthogonal Metal Grids" *IEEE Trans on Advanced Packaging,* vol. AP-27, N° 3, Aug 2004 pp 497–507

[4] Richard D. Lutz, and al "Enhanced Transmission Characteristics of On-Chip Interconnects with Orthogonal Gridded Shield" *IEEE Trans on Advanced Packaging*, vol. AP-24, N° 3, Aug 2001 pp288–293

[5] Y. Quéré, T. Le Gouguec, N. Tanguy, P-M. Martin, D. Le Berre, F. Huret « High-Frequency Effects of Orthogonal Interconnect Layers on Inductance in High-Speed VLSI Circuits » 10th IEEE Workshop on Signal Propagation on Interconnects Berlin may 2006-12-07