

Effet de l'orientation d'une grille métallique placée au dessus d'une ligne microruban.

Thierry Le Gougec, Pierre-Marie Martin

Université Européenne de Bretagne, France.

Université de Brest ; CNRS, UMR 3192 Lab-STICC,
6 avenue Victor Le Gorgeu, CS 93837, 29238 Brest cedex 3, France

Thierry.LeGougec@univ-brest.fr : correspondant principal

Résumé

Nous présentons ici la modélisation des effets de rubans métalliques perturbateurs placés juste au dessus d'une ligne microruban. Dans un premier temps nous proposons la modélisation de l'effet de l'orientation d'un seul ruban perturbateur sur la propagation de la ligne. Nous validons cette approche à l'aide de simulations électromagnétiques dans les deux cas de figure suivants : rubans flottants ou connectés à la masse. Nous étendons ensuite ce modèle au cas de grilles comprenant plusieurs rubans. De nouveau, nous confrontons avec succès les résultats de simulation circuit avec des simulations électromagnétiques et également avec des mesures sur des circuits de type PCB.

1. Introduction

L'augmentation des densités d'intégration des cartes PCB (Printed Board Circuit), l'augmentation du nombre de couches métalliques pour ces mêmes PCB ou bien encore les nouveaux concepts tels que les « System in Package » (SiP), les « System on Package » (SoP) [1], entraînent des interactions de plus en plus importantes entre les lignes d'interconnexions elles-mêmes et entre les lignes d'interconnexions et les grilles d'alimentation. D'autre part, l'augmentation des fréquences de travail (fréquences d'horloges ou fréquences des signaux analogiques) rend ces interactions encore plus problématiques notamment du point de vue de l'intégrité des signaux.

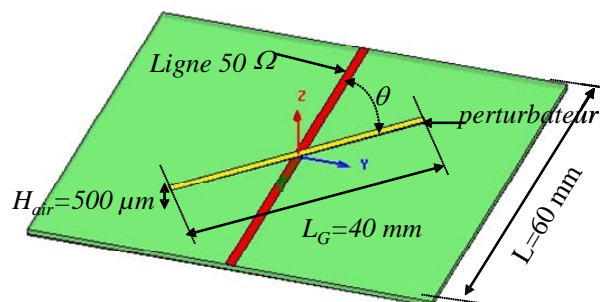
Dans ces milieux complexes multicouches la propagation des signaux sur les lignes de transmission peut largement être perturbée par la présence d'autres conducteurs dans leur voisinage. De façon à prendre en compte ces perturbations le plus tôt possible lors de la conception des cartes à haute densité d'intégration, il est nécessaire d'avoir des modèles simples et prédictifs des perturbateurs. Dans une architecture multicouches, nous avons déjà montré et modélisé les effets des grilles métalliques perpendiculaires sur les caractéristiques de lignes de transmission de type microruban (MTL) ou coplanaire ou encore de lignes couplées [2][3]. Nous proposons ici l'étude et la modélisation de l'influence de l'orientation de rubans métalliques perturbateurs sur la

propagation de signaux sur une ligne microruban et cela dans le contexte des circuits PCB multicouches.

Dans le second paragraphe, nous présentons l'étude et la modélisation des effets de l'orientation d'un perturbateur sur la propagation d'une ligne microruban. Nous validons la modélisation circuit que nous proposons en comparant les résultats qu'elle donne avec ceux obtenus par modélisation électromagnétique. La troisième partie de ce résumé concerne la validation de notre approche dans le cas d'une grille comprenant plusieurs conducteurs. Nous comparons ainsi les résultats issus de nos modèles avec des résultats de simulations électromagnétiques mais également avec des résultats de mesures. Enfin nous concluons et évoquons les perspectives de ce travail.

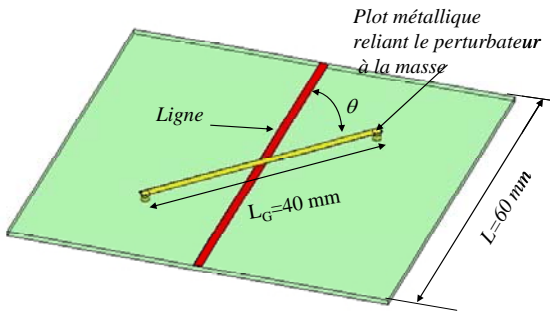
2. Modélisation de l'effet de l'orientation d'un perturbateur sur une ligne.

Afin de déterminer l'influence qu'a l'orientation d'un ruban métallique perturbateur sur la propagation d'une ligne microruban nous avons effectué l'analyse électromagnétique des structures présentées figure 1 et 2 à l'aide du logiciel HFSS©. Figure 1, nous présentons le cas d'un ruban métallique perturbateur flottant et Figure 2, celui d'un perturbateur relié à la masse de la ligne microruban à l'aide de plots métalliques de diamètre W_G égal à sa largeur.



$$\text{substrat} =: H_{\text{sub}} = 780 \mu\text{m}; \epsilon_R = 4.4; \text{tg}(\delta) = 0.02$$

Figure 1 : Ligne microruban en présence d'un perturbateur métallique flottant.



substrat: $H_{sub}=780\mu m$; $\epsilon_R=4.4$; $tg(\delta)=0.02$

Figure 2: Ligne microruban en présence d'un perturbateur métallique connecté à la masse.

La ligne microruban (MTL) en cuivre de longueur $L=60\text{ mm}$ a une largeur $W=1380\ \mu m$ pour un substrat de type FR4 ($\epsilon_R=4,4$ et $tg(\delta)=0.02$) d'épaisseur $H_{sub}=780\ \mu m$, ce qui permet d'obtenir une impédance caractéristique Z_C proche de $50\ \Omega$. Le perturbateur métallique consiste en un ruban de cuivre de largeur $W_G=1500\ \mu m$. Il est placé à une hauteur $H_{air}=500\ \mu m$ de la ligne et a une longueur $L_G=40\text{ mm}$. Il peut être flottant (figure 1) ou connecté à la masse (figure 2).

Nous présentons figures 3 et 4 le module du paramètre de transmission obtenu par simulation HFSS© et cela pour différentes valeurs de l'angle θ d'orientation entre le perturbateur et la ligne.

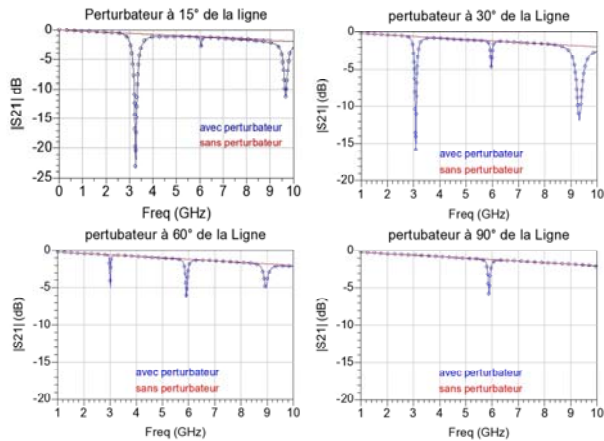


Figure 3: S_{21} pour un perturbateur métallique flottant et pour différentes orientations.

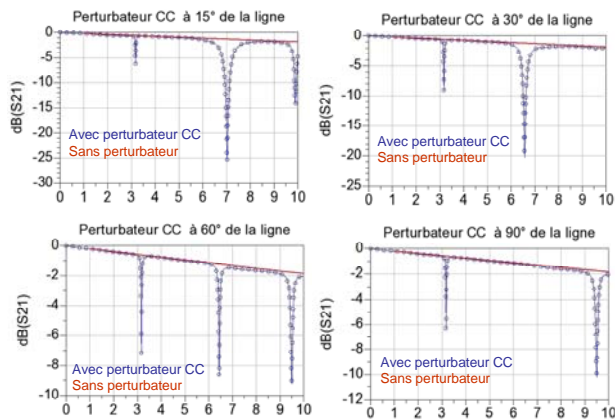


Figure 4: S_{21} pour un perturbateur métallique connecté à la masse et pour différentes orientations.

Tout d'abord nous pouvons constater que le perturbateur entraîne l'apparition de plusieurs zéros de transmission dans la bande de 0 à 10 GHz. Les fréquences d'apparition de ces zéros dépendent de l'orientation du ruban perturbateur par rapport à la ligne mais également de la terminaison de ses extrémités (en circuit ouvert (CO) ou connecté à la masse de la ligne microruban (CC)).

L'étude du cas d'une orientation du perturbateur à 90° de la ligne microruban est intéressante car dans ce cas seul un couplage capacitif peut exister entre le ruban et la ligne. Nous pouvons donc conclure que le zéro apparaissant autour de 6 GHz dans le cas d'un ruban parasite non connecté est dû à un couplage capacitif tandis que ceux autour de 3 et 9 GHz reflètent un couplage inductif. Dans le cas des perturbateurs connectés à la masse, nous observons le comportement dual au précédent, c'est-à-dire que les zéros de transmission autour de 3 et 9 GHz sont dus à un couplage capacitif et ceux autour de 6 GHz au couplage inductif.

Dans le cas des perturbateurs faisant un angle de 90° avec la ligne, nous avons déjà démontré dans [2] que la position des zéros dépend principalement de la terminaison du perturbateur ainsi que de sa longueur. Nous pouvons constater ici qu'une orientation différente de 90° du perturbateur peut également entraîner d'autres zéros de transmission ce qui peut être problématique.

De façon à rendre compte des comportements décrits précédemment, nous proposons figure 5 la modélisation circuit de l'effet d'un perturbateur sur une ligne.

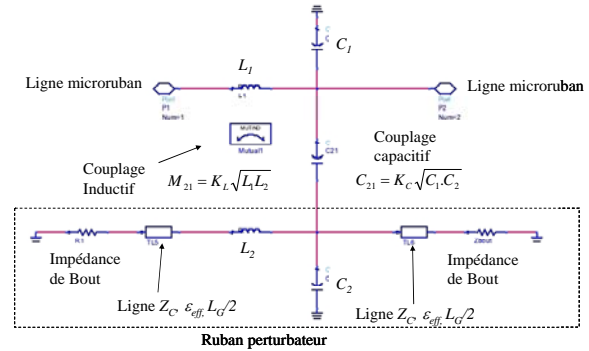


Figure 5: Modélisation circuit de l'effet d'un perturbateur sur une ligne de transmission.

Ce schéma équivalent permet de rendre compte des couplages capacitif et inductif et donc de l'orientation du perturbateur par rapport à la ligne. Il nous permet également de tenir compte de la longueur du perturbateur ainsi que de sa terminaison en CO ($Z_{bout}=+\infty$) ou bien relié à la masse ($Z_{bout}=0$). Les inductances L_1 , L_2 et les capacités C_1 , C_2 correspondent aux inductances et capacités d'un tronçon de ligne représentant respectivement la ligne microruban et le perturbateur. Les couplages capacitifs et inductifs sont définis à l'aide des coefficients de couplages K_C et K_L . La capacité de couplage C_{21} entre la ligne et le ruban ainsi que la mutuelle inductance M_{21} , sont alors déterminées par les formules suivantes :

$$C_{21} = K_C \sqrt{C_1 C_2} \quad (eq1)$$

$$M_{21} = K_L \sqrt{L_1 L_2}$$

Nous avons déterminé à l'aide du logiciel Q3Dextractor©ANSYS ces coefficients de couplage entre deux rubans métalliques en fonction de l'angle θ entre ces deux rubans. Nous présentons figure 6 l'évolution des coefficients de couplage inductif « KL » et capacitif « KC » en fonction de θ .

Nous pouvons constater que le coefficient de couplage capacitif K_C décroît lorsque θ augmente jusqu'à atteindre un palier pour $\theta=30^\circ$. Cela signifie que ce couplage pourra être considéré comme ponctuel dès que l'angle sera supérieur à 30° . Pour des angles compris entre 0 et 30° il est nécessaire de prendre en compte un couplage capacitif réparti.

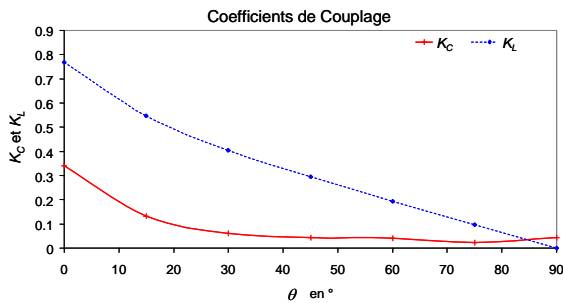


Figure 6 : Evolution des coefficients de couplages inductif K_L et capacitif K_C en fonction de l'orientation des lignes θ .

Le coefficient de couplage magnétique quant à lui décroît également lorsque l'angle θ augmente. Ce coefficient atteint même 0 lorsque $\theta=90^\circ$. En effet, dans ce cas, les courants circulant dans les deux conducteurs sont orthogonaux ce qui rend impossible tout couplage de type magnétique.

Pour valider notre modélisation nous avons comparé les paramètres de répartition obtenus à l'aide de notre modèle avec ceux obtenus à l'aide de HFSS©. Nous présentons ces comparaisons figure 7 et 8 pour différentes valeurs d'angle θ (15° , 45° et 90°) et dans les deux cas de figure : un perturbateur flottant (figure 7) ou connecté à la masse de la ligne microruban (figure 8). Nous constatons la bonne aptitude de notre modèle à rendre compte du comportement d'une ligne microruban perturbée par un ruban métallique placé au dessus de celle-ci et faisant un angle quelconque avec elle. Nous allons dans le paragraphe suivant étendre cette modélisation au cas d'une grille perturbatrice

3. Modélisation de l'effet de l'orientation d'une grille sur une ligne.

Les structures que nous étudions dans cette partie consistent en une ligne microruban en cuivre de largeur $W=1380 \mu m$ et d'épaisseur $T=35 \mu m$, réalisée sur un substrat FR4 de permittivité relative $\epsilon_R=4.4$ d'épaisseur $H_{sub}=780 \mu m$ perturbée par des grilles métalliques. La longueur totale des lignes MTL est $L=60 mm$. Les grilles

perturbatrices sont constituées de 10 rubans de cuivre de largeur $W_G=1500 \mu m$ espacés entre eux de $S_G=1500 \mu m$ et gravés sur un substrat FR4 équivalent à celui de la ligne. La longueur des grilles est $L_G=40 mm$. Ces grilles sont placées au centre de la ligne microruban et séparées de celle-ci d'une hauteur d'air H_R variable ; les rubans métalliques de la grille sont en vis-à-vis de la ligne microruban. Les grilles peuvent présenter une orientation de 0° , 30° , 60° ou 90° par rapport à la ligne microruban. (cf Figure 9).

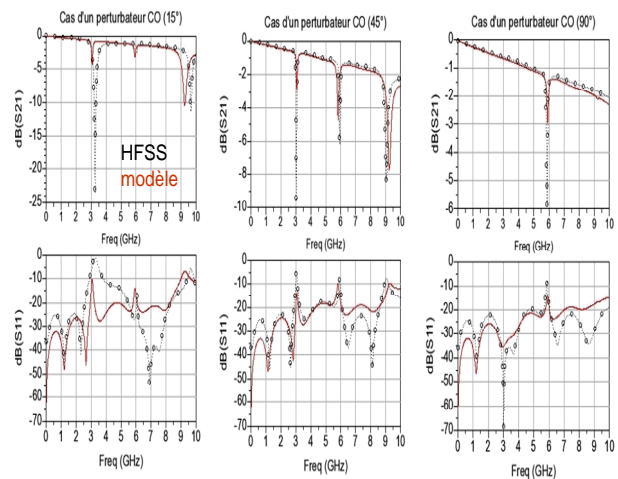


Figure 7 : Paramètres de répartition dans le cas d'un perturbateur flottant pour différents angles θ (15° , 45° et 90°) avec la ligne

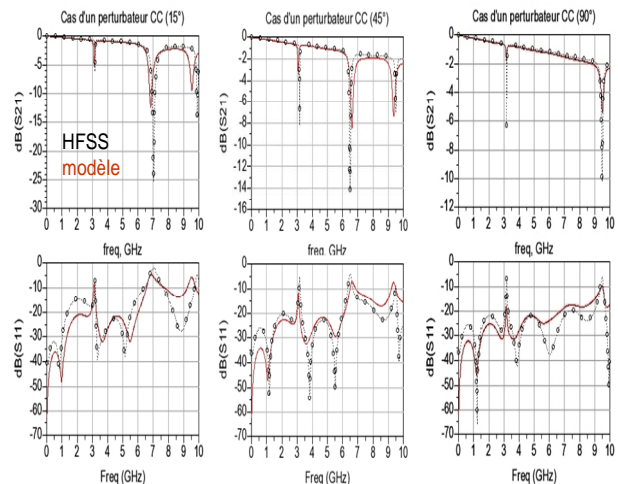


Figure 8 : Paramètres de répartition dans le cas d'un perturbateur connecté à la masse pour différents angles θ (15° , 45° et 90°) avec la ligne

La ligne et les grilles perturbatrices ont été réalisées par gravure à l'IUT GEII de BREST dans le cadre d'un stage de DUT. Nous avons ainsi mesuré les paramètres de répartition de la ligne en présence de la grille et pour différentes orientations (0° , 30° , 60° et 90°) avec un analyseur R&S™ ZVRE, après une calibration de type SOLT. Les mesures ont été effectuées dans la bande de fréquences comprise entre 0 et 4 GHz. Nous avons également simulé l'ensemble de ces structures à l'aide du logiciel éléments finis HFSS©.

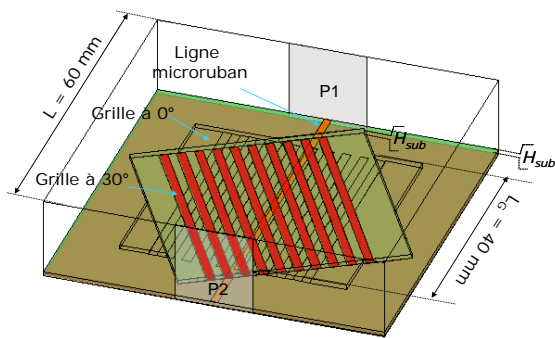


Figure 9 : Ligne microruban perturbée par un grille métallique pouvant faire un angle θ avec elle.

En ce qui concerne la modélisation circuit de ces structures, nous avons simplement considéré que chaque ruban métallique de la grille ce comporte comme un perturbateur indépendamment des autres. La grille est donc modélisée par une succession de cellules élémentaires telles que celles présentées dans le paragraphe 2. Le schéma équivalent global que nous utilisons est présenté figure 10.

Nous présentons Figure 11 les coefficients de transmission obtenus pour une ligne microruban en présence d'une grille flottante distante de $H_R=500 \mu\text{m}$ de la ligne et cela pour les 4 angles d'orientation (0° , 30° , 60° , et 90°).

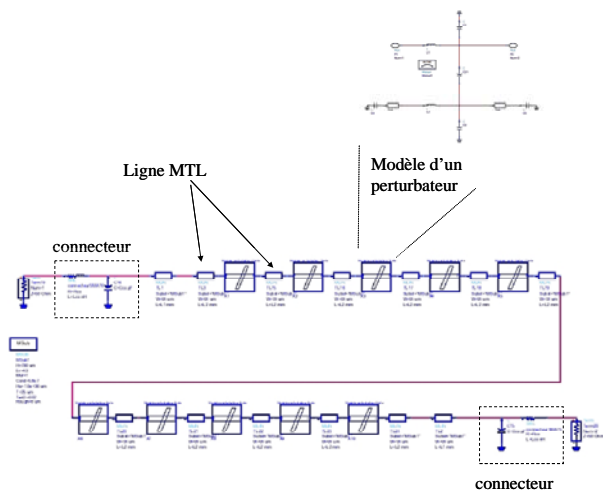


Figure 10 : Modélisation d'une ligne en présence d'une grille perturbatrice comprenant 10 conducteurs.

Nous constatons un bon accord entre la mesure, les simulations électromagnétiques et les résultats issus de notre modélisation ce qui tend à valider notre modèle.

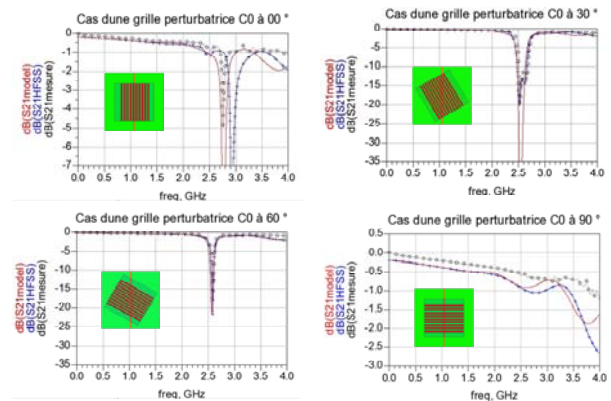


Figure 11 : Paramètres de transmission d'une ligne microruban perturbée par une grille de rubans métalliques flottants.

4. Conclusion

Nous avons présenté et modélisé l'effet de l'orientation d'un ruban métallique placé au dessus d'une ligne microruban. La modélisation circuit proposée nous a permis de rendre compte précisément de l'apparition de zéros de transmission dus au perturbateur quel que soit l'angle qu'il fait avec la ligne de transmission. Nous avons étendu cette modélisation au cas des grilles métalliques et nous l'avons vérifié avec succès à partir de mesures sur un circuit de type PCB. Ces résultats sont le point de départ d'une étude plus générale sur la modélisation de structures dans un environnement 3D complexe.

5. Remerciements

Nous tenons à remercier particulièrement Mademoiselle Wei Shi et Monsieur Stéphane Girod pour la réalisation des circuits et des mesures.

6. Bibliographie

- [1] T. SUDO, and al "Electromagnetic Interference (EMI) of System-on-Package (SOP)" IEEE trans on Advanced Packaging Vol. 27, N°. 2, May 2004 pp 304-314
- [2] Y. QUERE, and al «Frequency Domain Analysis of Transmission Zeroes on High-Speed Interconnects in the Presence of an Orthogonal Metal Grid Underlayer» IEEE trans on Advanced Packaging, Vol 31 n°4, Nov 2008, pp: 684-691.
- [3] T. LE GOUGUEC, P.M. MARTIN "Impact by an Orthogonal Metal Grid upon Differential- and Common-Mode Characteristics of Coupled Lines in PCB Technology Structures" 14th IEEE workshop on Signal Propagation on Interconnects May 09-12 2010 Hildesheim Germany