Manuscrit auteur, publié dans "Journées Nationales d'Optique Guidée & Horizons de l'Optique, Lille : France (2009)"

hal-00397920, version 1 - 23 Jun 2009

MODELISATION DE SYSTEMES OPTIQUES-HYPERFREQUENCES A L'AIDE D'UN LOGICIEL DE CAO MICRO-ONDE

H.Brahimi[1,2], O.Llopis[1,2]

1 CNRS ; LAAS ; 7 avenue du colonel Roche, F-31077 Toulouse, France
2 Université de Toulouse ; UPS, INSA, INP, ISAE ; LAAS ; F-31077 Toulouse, France

hbrahimi@laas.fr

RESUME

Il est important de pouvoir modéliser les performances de liaisons et systèmes optiques hyperfréquences, dont leurs performances en termes de bruit de phase, et de comparer ces résultats avec ceux obtenus analytiquement et expérimentalement. Nous avons donc tenté une approche de modélisation utilisant un logiciel CAO : Agilent ADS. Il s'agit d'un logiciel de simulation de circuits hyperfréquences relativement complet, comprenant différentes méthodes d'analyse du bruit incluant le bruit de phase dans les circuits non-linéaires. La particularité ici, consiste en l'utilisation de ce logiciel pour simuler des composants optoélectroniques, qui sont décrits par des équivalents électriques ou mathématiques.

MOTS-CLEFS : *Systèmes optiques-micro-ondes, CAO, bruit de phase, bruit optique.*

1. INTRODUCTION

Les composants optoélectroniques sont de plus en plus utilisés dans les systèmes micro-ondes. Les liaisons par fibres optiques, permettent par exemple une réduction significative de la taille et de la masse des systèmes de distribution de signaux à bord des systèmes embarqués (avion, satellite, radar,…). Cependant, les performances de ces systèmes dépendent de celles des dispositifs utilisés pour les conversions électrique/optique et optique/électrique, de la technique de modulation optique choisie, des amplificateurs micro-ondes utilisés, de la qualité de la fibre optique et, finalement, de la topologie choisie pour réaliser le système complet. Ceci explique l'importance de développer une approche de modélisation efficace pour ces systèmes, capable de traiter des configurations très différentes dans un temps raisonnable. Grâce à cette approche, nous pourrons en particulier déterminer les principales sources de bruit dans le système et aussi améliorer ses performances en réduisant ces sources de bruit ou leur impact sur le bruit de phase. Nous avons donc tenté une approche de modélisation utilisant le logiciel Agilent ADS. L'avantage de cette approche réside dans les nombreux modèles de composants micro-ondes disponibles sous ADS, ainsi que dans la technique utilisée par ce logiciel pour traiter le problème du bruit, qui permet la simulation de composantes de bruit à la fois linéaires (bruit additif) et non-linéaires (bruit multiplicatif). L'inconvénient réside dans l'absence de modèles pour les composants optiques, qui doivent donc être crés à partir des composants existants dans le logiciel.

2. ÉTUDE D'UNE LIAISON OPTIQUE A BASE D'UN MMZ : GAIN RF

Nous nous sommes focalisés tout d'abord sur la modélisation de la réponse en puissance du Modulateur de Mach Zehnder (MMZ), ou plus exactement sur la simulation d'un lien optique complet utilisant ce modulateur et sur la simulation de la non-linéarité du système de transmission optique-hyperfréquence ainsi constitué [1]. Les résultats issus de la simulation sont ensuite comparés aux données expérimentales et aux modèles analytiques dont nous disposions [2,3]. Les paramètres d'entrée du modèle sont les pertes optiques L_{ins}, les tensions V_0 et V_π du MMZ, la sensibilité S de la photodiode ainsi que leurs réponses en fréquence. Deux types de modulations ont été étudiées : 1) la modulation classique du MMZ au voisinage de $V_{\pi/2}$, c'est-à-dire en régime

linéaire à bas niveau (ML) ; 2) la modulation autour de V_π, correspondant à l'annulation de porteuse et à un doublement de fréquence pour la transmission micro-onde (DSB-CS). La source optique est décrite par une simple source RF de la bibliothèque d'ADS (avec une fréquence de 200 THz). Le MMZ est décrit sous la forme d'une équation mathématique à l'aide d'un composant non-linéaire d'ADS (un « SDD »). Le laser alimente le MMZ, qui reçoit également le signal RF et la polarisation DC. En sortie, une photodiode effectue une détection quadratique et délivre le signal sur une charge.

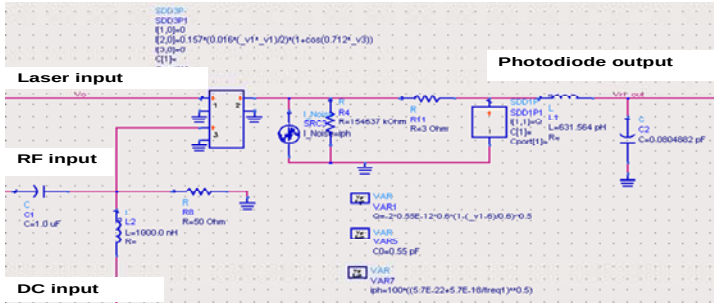

Fig. 1 : Modèle SDD du MMZ et modèle de la photodiode

La figure 2 montre le résultat d'une simulation ADS concernant la puissance RF de sortie en fonction de la puissance RF d'entrée pour ce système aux deux types de modulations. Les résultats sont en accord avec les mesures et avec les modèles analytiques jusqu'à des puissances RF assez élevées [2, 4, 5]. Toutefois, à très forts niveaux (aux alentours de 20 dBm), et en particulier dans le cas de la modulation linéaire, des différences entre la simulation et les mesures sont apparues. Ces différences peuvent être dues aux effets thermiques dans le MMZ aux fortes puissances de modulation.

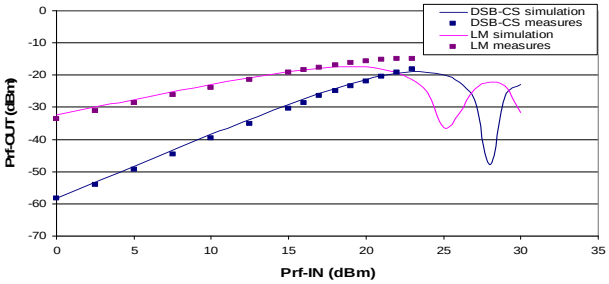

Fig. 2 : Mesures et simulations ADS de la liaison optique pour deux types de modulation ($f_{RF\ out}$ = 10 GHz)

3. MODELISATION D'UNE LIAISON OPTIQUE A BASE D'UN MMZ: BRUIT RF ET BRUIT DE PHASE

Un de nos objectifs étant la simulation d'un oscillateur opto-électrique et de l'ensemble de ses composantes en bruit, il était essentiel d'introduire le bruit dans nos simulations. L'intérêt du logiciel ADS réside principalement dans ses capacités à décrire les conversions de bruit en régime non-linéaire entre différentes porteuses. Dans ce cas, le laser est décrit par une source de fréquence avec son bruit de phase associé, suivi d'un modulateur AM pour décrire son bruit d'amplitude (RIN). Quant au modèle de la photodiode, il comprend une source de bruit Schottky et une source de bruit en 1/f. Les valeurs de ces grandeurs sont déterminées à partir des mesures [1,3]. La figure 3 représente le résultat de la simulation en bruit de phase « pnmx » et en bruit d'amplitude « anmx » autour de la porteuse RF à 10 GHz. Contrairement au résultat en bande de base [1] (autour de l'harmonique DC), aucune composante de bruit en 1/f n'est visible sur la simulation du bruit de phase, et une composante en 1/f relativement faible est observée sur la simulation du bruit AM. Par contre, le plancher de bruit de phase observé correspond au rapport signal/bruit qui peut être calculé à partir de la valeur du RIN à 10 GHz et de l'amplitude du signal RF en sortie à cette même fréquence.

hal-00397920, version 1 - 23 Jun 2009

hal-00397920, version 1 - 23 Jun 2009

L'absence de bruit de phase en 1/f autour de la porteuse RF nous a intrigués, puisque nous observons sa présence expérimentalement en sortie de ce type de système [2]. Au départ, le modèle comprenait uniquement le bruit d'amplitude en 1/f du laser et la non-linéarité du MMZ. Nous avons ajouté dans un premier temps les non-linéarités et les composantes de bruit associées à la photodiode. La conversion en bruit de phase au niveau de ce composant est possible, à condition qu'un élément réactif intervienne pour déphaser le signal. Cet élément réactif peut être constitué par la capacité de la diode, qui est d'ailleurs elle-même non-linéaire. Une telle capacité non-linéaire est susceptible de convertir vers la fréquence RF des composantes de bruit en 1/f issues de la porteuse optique ou du DC (bruit en 1/f de la photodiode) [6]. Le problème est que la capacité de la diode est quasiment constante dans la zone de travail habituelle pour une utilisation en photodiode [1]. Nous avons effectivement constaté que, malgré l'ajout de ces éléments au schéma équivalent, le bruit de phase en 1/f restait extrêmement faible (pour des valeurs réalistes du bruit AM en 1/f du laser et de la photodiode). Le bruit FM du laser a ensuite été ajouté au modèle. Toutefois, nous ne disposons pas encore des données sur la composante en 1/f de ce bruit. Un banc de mesure spécifique a été mis en place, et nous présenterons lors de la conférence le résultat de cette étude.

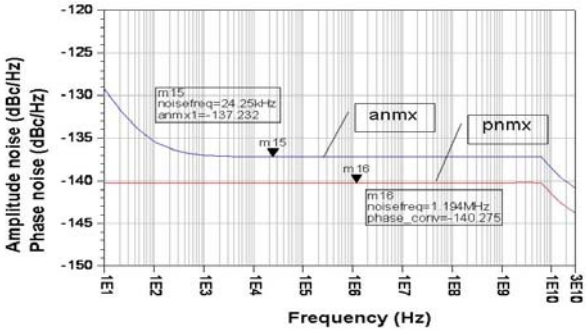

Fig. 3 : Bruit de phase et bruit d'amplitude simulés autour de la porteuse RF (10 GHz).

CONCLUSION

Notre approche de modélisation est capable de décrire les paramètres principaux d'une liaison optique-hyperfréquence comme le gain en puissance ou le rapport signal à bruit. La simulation du bruit de phase additif de la liaison optique a aussi été réalisée, mais le résultat obtenu n'est pas encore satisfaisant en ce qui concerne la composante en 1/f autour de la porteuse RF. Cette approche est appliquée aujourd'hui à la modélisation de systèmes optiques micro-ondes complexes, comme des oscillateurs électro-optiques ou des systèmes de mesure de bruit de phase utilisant une ligne à retard optique.

RÉFÉRENCES

[1] H. Brahimi, P.H. Merrer, O. Llopis, "CAD of microwave optical systems for time&frequency applications" Proc. of the European Frequency and Time and Forum (EFTF), Toulouse, April 2008.

[2] B. Onillon, S. Constant, O. Llopis, "Optical links for ultra-low phase noise microwave oscillators measurement", Proc. of the IEEE Int. Freq. Control Symposium, Vancouver, 2005, pp. 545-50.

[3] B. Onillon, S. Constant, G. Quadri, B. Benazet, O. Llopis, "Optical-microwave links for LO distribution in space systems ", Proc. of the EuMA, 1(3), special issue on microwave for space, 2005, pp. 206-11.

[4] Y. Le Guennec, et al. "Performance of interferometric systems for optical processing of microwave signals: influence of laser- and microwave-phase noises", Photonics Technology Letters,IEEE 16(9), Sept. 2004 pp. 2120-22.

[5] A. Hilt, "Microwave harmonic generation in fiber-optical links", Microwaves, Radar and Wireless Communications. 2000. MIKON-2000. 13th International Conference on Volume 2, 22-24 May 2000 pp. 693-98 vol.2.

[6] J. Dawidczyk, et al., "Investigation of Optical-Microwave Frequency Conversion Processes for PIN Photodiode", 1999, Proc. of EDMO 1999 Symposium, King's College London, p.103-07.