

Oscillateurs optoélectroniques bas bruit à 10 GHz

Oriane Lelièvre¹, Vincent Crozatier¹, Ghaya Baili¹, Perrine Berger¹, Grégoire Pillet¹, Olivier Llopis²,
Loïc Morvan¹, Daniel Dolfi¹, Fabienne Goldfarb³ and Fabien Bretenaker³

¹Thales Research and Technology France - 1 Avenue Augustin Fresnel – 91120 Palaiseau

²Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes, CNRS, Univ. de Toulouse, 7 avenue du Colonel Roche, 31031 Toulouse

³Laboratoire Aimé Cotton, CNRS – Univ. Paris Sud – ENS Cachan – Université Paris Saclay, 91400 Orsay

Les oscillateurs à quartz sont des oscillateurs bas bruit ultra-stable avec une fréquence d'oscillation entre 10 et 100 MHz. Pour atteindre des fréquences de l'ordre de la dizaine de gigahertz, les oscillateurs à quartz doivent donc être multipliés. Cette opération entraîne une dégradation du bruit de phase qui peut se révéler trop pénalisante pour des systèmes destinés, par exemple, aux télécommunications, à la navigation, aux radars ou à la guerre électronique. Dans ce contexte, Yao et al. ont introduit dans les années 90 les oscillateurs optoélectroniques [1], optoelectronic oscillator (OEO) en anglais. Ces oscillateurs bénéficient des avantages de l'optique permettant l'obtention de signaux à haute fréquence à grande pureté spectrale.

Les OEOs sont classiquement constitués d'un laser continu suivi d'un modulateur d'intensité de type Mach-Zehnder. A la suite de ce modulateur, on trouve une longue ligne à retard fibrée puis une photodiode rapide qui permet le passage du domaine optique au domaine électrique. Pour finir, le signal électrique est amplifié puis filtré avant d'être réinjecté dans le modulateur. Cette structure est représentée en figure 1(a). Les OEOs dits à boucle unique présentent néanmoins un défaut. En effet, la présence d'une fibre longue dans la boucle optoélectronique se traduit par l'apparition de pics périodiques sur le spectre de bruit de phase. Ces pics sont appelés « spurs ». Pour réduire leur amplitude, une solution consiste à combiner plusieurs délais optiques. La différence de délai, entre deux longueurs de fibres utilisées en parallèle par exemple, va en effet permettre de filtrer en partie l'amplitude des spurs. Ces structures particulières, introduites elles aussi dans les années 90 [2], sont appelées OEO à double boucle si deux fibres sont utilisées. La structure d'un OEO à double boucles est représentée en figure 1(b). Nous présentons ici les résultats obtenus pour les deux structures d'OEO précédemment introduites, à savoir simple et double boucles. Dans les deux cas, les niveaux de bruits de phase obtenus sont excellents malgré une longueur de fibre relativement courte, de l'ordre du kilomètre.

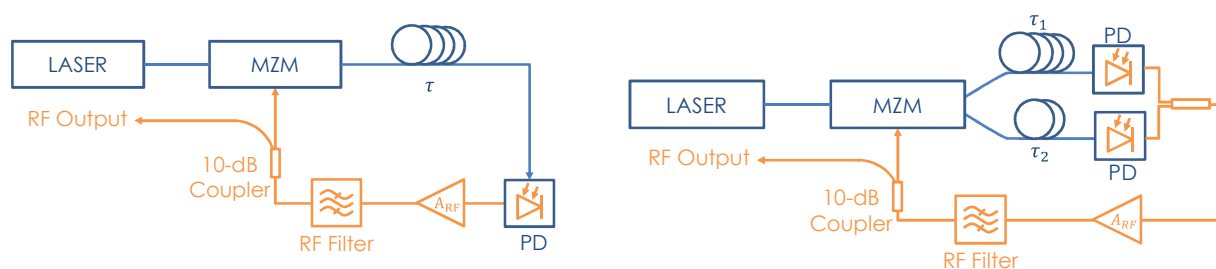


Figure 1. (a) Schéma de principe d'un OEO simple boucle (b) Schéma de principe d'une OEO double boucle (Abréviations : A_{RF} = Amplificateurs RF, PD = Photodiode, MZM = Modulateur Mach Zehnder, RF = Radio Fréquence)

Pour sélectionner les différents composants de ces OEOs, nous avons développé un modèle. Ce modèle s'appuie sur les travaux de Leeson [3] et Rubiola [4]. Afin de rendre les OEOs compatibles avec des applications embarquées, nous avons choisi de travailler avec un laser DFB et avec des longueurs de fibre ne dépassant pas le kilomètre. Grâce à notre modèle permettant une sélection réfléchie de nos composants, nous obtenons les spectres de bruit de phase présentés en figure 2(a) pour l'OEO à boucle unique. Il est à noter que tous les composants utilisés sont standards et commercialement disponibles à l'exception du filtre RF. Ce dernier a été conçu et fabriqué par le LAAS et présente les caractéristiques suivantes : une fréquence centrale de 10,0 GHz, une bande passante à 3 dB de 4,4 MHz et 3,8 dB de pertes d'insertion.

Afin de mieux observer les effets qu'entraîne l'ajout d'une deuxième boucle sur un OEO, nous avons utilisé les mêmes composants pour l'OEO à boucle unique et l'OEO à double boucles. Seuls une seconde photodiode identique à celle utilisée précédemment, un coupleur 3 dB et une fibre ont été ajoutés. Après optimisation de la longueur de la seconde fibre, nous obtenons les résultats présentés en figure 2(b).

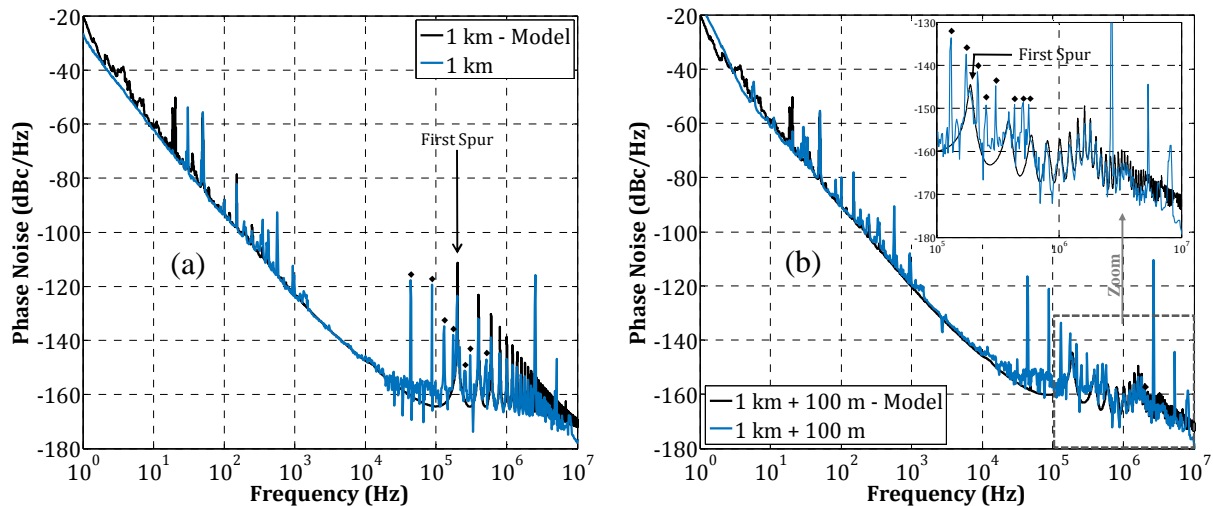


Figure 2. Spectres de bruit de phase expérimentaux (bleu) et modélisés (noir) : (a) OEO avec 1 km de fibre (b) OEO double boucle avec 1 km et 100 m de fibre.

Les losanges noirs indiquent la position des spurs dus au banc de mesure

Les figures 2(a) et 2(b) présentent aussi les bruits de phase prédits par notre modèle. On constate que ces derniers concordent avec ceux obtenus expérimentalement. Dans le cas de la simple boucle, on observe une différence entre les niveaux des spurs expérimentaux et ceux prédits par le modèle. Cette différence s'explique par la résolution du banc de mesure qui entraîne une sous-estimation de la hauteur de ces pics. En comparant maintenant les spectres de bruits de phase expérimentaux des figures 2(a) et 2(b), on remarque que l'ajout du second délai permet une atténuation de 20 dB sur la hauteur du premier spur (35 dB en prenant en compte les hauteurs des spurs données par notre modèle). La dégradation du bruit de phase aux basses fréquences, souvent observée sur les OEOs à double boucles, est limitée à quelques dB.

Dans les deux cas, les résultats présentés ici sont très bons au regard des longueurs de fibre utilisées. Il est à noter que les résultats de l'OEO à double boucles constituent, à notre connaissance, le meilleur bruit de phase obtenu avec un OEO à boucles multiples à 10 GHz [5][6][7].

Ce travail a été en partie financé par la DGA dans le cadre d'un projet de recherche EAD.

Références :

- [1] X. S. Yao and L. Maleki, *Converting light into spectrally pure microwave oscillation*, Opt. Lett., 21 483-485, 1996.
- [2] X. S. Yao et al., *A Dual-Loop Opto-Electronic Oscillator*, IEEE Int. Freq. Control Symposium, 1998.
- [3] D. B. Leeson, *A simple model of feedback oscillator noise spectrum*, Proceedings Letters, 54 329-330, 1966.
- [4] E. Rubiola, *Phase Noise and Frequency Stability in Oscillators*, Cambridge Univ. Press, 2009.
- [5] P. Devgan, *A Review of Optoelectronic Oscillators for High Speed Signal Processing Applications*, ISRN Electronics, 2013.
- [6] W. Zhou et al., *10 GHz Dual loop opto-electronic oscillator without RF amplifiers*, SPIE Proc.: Optoelectronic Integrated Circuits X, 6897, 2008.
- [7] D. Eliyahu et L. Maleki, *Tunable, Ultra-Low Phase Noise YIG Based Opto-Electronic Oscillator*, IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., 3 2185-2187, 2003.