



HAL
open science

Génération millimétrique à 90 GHz à partir d'un oscillateur optoélectronique couplé à 30 GHz

Vincent Auroux, Ramin Khayatzadeh, Arnaud Fernandez, Olivier Llopis

► **To cite this version:**

Vincent Auroux, Ramin Khayatzadeh, Arnaud Fernandez, Olivier Llopis. Génération millimétrique à 90 GHz à partir d'un oscillateur optoélectronique couplé à 30 GHz. 20èmes Journées Nationales Micro-ondes, May 2017, Saint-Malo, France. 4p. hal-01542533

HAL Id: hal-01542533

<https://hal.science/hal-01542533v1>

Submitted on 19 Jun 2017

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.

Génération millimétrique à 90 GHz à partir d'un oscillateur optoélectronique couplé à 30 GHz

V. Auroux, R. Khayatzaheh, A. Fernandez, O. Llopis

LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, UPS, 7 avenue du Colonel Roche, 31400Toulouse
vauroux@laas.fr

Résumé – Une référence de fréquence est obtenue à 90 GHz à partir de la génération du troisième harmonique d'un oscillateur optoélectronique couplé à 30 GHz. L'influence du point de polarisation du modulateur Mach-Zehnder sur le battement RF, ainsi que sur le spectre optique, est présenté. Le signal à 30 GHz et son troisième harmonique sont générés en sortie de photodiode à des puissances de -15.5 dBm et -15.8 dBm respectivement. Une mesure de bruit de phase pour chacun des signaux a été réalisée et des niveaux de bruit de phase de -103 dBc/Hz et -95 dBc/Hz à 1 kHz de la porteuse à 30 GHz et 90 GHz respectivement ont été relevés.

1. Introduction

La génération millimétrique connaît un intérêt croissant avec le développement des télécommunications et la saturation de la bande centimétrique. L'augmentation des fréquences de fonctionnement des systèmes jusqu'au THz profite également aux applications spectroscopiques. La multiplication de fréquence à partir de sources stables basse fréquence n'est plus compétitive puisque les facteurs de multiplication dépassent la centaine voire le millier. D'autre part, la génération directe à partir de résonateur diélectrique n'est pas pertinente, à cause de la dégradation du facteur de qualité des résonateurs avec la montée en fréquence. Par contre, la génération hyperfréquence par l'optique constitue une approche efficace pour ces applications puisque le facteur de qualité augmente avec la montée en fréquence. Les très hauts facteurs de qualité obtenus par l'optique permettent un transfert de stabilité du résonateur au signal RF généré. De longues fibres optiques ou des résonateurs à très haut facteur de qualité sont utilisés dans de tels systèmes afin d'atteindre des niveaux de bruits de phase très faibles [1]. Les oscillateurs optoélectroniques (OEO) constituent une approche très intéressante en vue de la génération de signaux à haute pureté spectrale en gamme millimétrique [2]. La génération très haute fréquence reste toutefois limitée par la bande passante des composants optiques commerciaux utilisés dans l'OEO. La génération harmonique par l'optique à partir d'un OEO à haute fréquence permet de résoudre ce problème.

La multiplication de fréquence RF par l'optique est une technique bien maîtrisée, utilisant les non-linéarités des composants optoélectroniques, comme le modulateur Mach Zehnder (MZM) [3,4], optiques, avec l'amplificateur optique, ou bien des deux simultanément [5]. Le laser à blocage de modes est

également une bonne approche pour la multiplication de fréquence par l'optique [6,7] puisque la forte non-linéarité du système permet l'obtention de peignes s'étalant sur une large bande de fréquence.

Tandis que les OEO à base de résonateurs optiques requièrent une boucle de verrouillage pour maintenir l'oscillation, les longues lignes à retard fibrées favorisent les modes parasites proches de la porteuse. L'oscillateur optoélectronique couplé, ou COEO, est une alternative à ces deux approches [8]. Il utilise des fibres relativement courtes sans perdre en coefficient de qualité, grâce à la boucle active du laser à blocage de modes. Ce laser génère d'autre part un peigne de fréquences qui peut être mis à profit pour la génération en gamme millimétrique. L'utilisation d'un COEO pour la génération de signaux à haute pureté spectrale aux environs de 100 GHz et au-delà est donc une approche qui mérite d'être explorée.

Le laser à blocage de modes, qui constitue le cœur du COEO, est composé d'un modulateur de Mach Zehnder (MZM), d'un amplificateur optique à semiconducteur (SOA) et d'une ligne à retard fibrée. Le signal RF appliqué au modulateur génère un peigne de fréquence optique. Si le peigne obtenu est cohérent et intense, le battement de plusieurs raies espacées de N fois l'intervalle spectral libre de la cavité réalise la génération hyperfréquence. La cohérence du peigne ainsi que la bande passante de la photodiode limitent néanmoins la bande de fréquence du dispositif.

Dans ce travail, la génération d'un signal à 90 GHz à partir d'un COEO à 30 GHz est présentée. L'impact du point de polarisation du MZM sur la puissance RF en sortie et le peigne optique est étudié. Enfin, le bruit de phase des deux signaux est caractérisé.

2. Génération harmonique à partir du COEO 30 GHz

2.a. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental du COEO est présenté sur la Figure 1.

Afin d'obtenir un spectre optique large et intense, un SOA possédant une puissance de saturation de 16 dBm et un gain petit signal supérieur à 30 dB a été utilisé. Un filtre optique de bande passante 2 nm est néanmoins ajouté pour réduire l'émission spontanée du SOA. D'autre part, la cohérence du peigne est assurée grâce à un contrôle de la dispersion par l'insertion d'une fibre à compensation de dispersion (DCF). La longueur totale de la cavité optique est de 300 m pour une dispersion totale sur un tour de cavité de $-0,25$ ps/nm. Un contrôleur de

polarisation est placé avant le MZM pour minimiser les pertes optiques. Une fibre SMF avant la photodiode permet un filtrage des modes parasites par effet Vernier et aussi d'augmenter le facteur de qualité de la boucle optoélectronique. Le signal RF généré est amplifié, filtré puis réinjecté au niveau du MZM. Le filtre RF est un résonateur diélectrique à 30.1 GHz, dont le facteur de qualité est de 400. Un duplexeur en sortie de photodiode permet de séparer le signal utile à 30 GHz pour l'oscillation et son harmonique à 90 GHz. La photodiode est un modèle spécifié pour 75 GHz, mais les pertes induites par ce composant à 90 GHz restent faibles (un adaptateur V-W est utilisé directement en sortie).

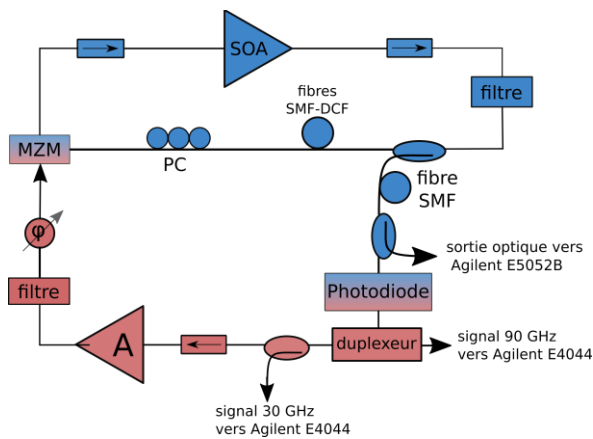


Figure 1. COEO experimental. MZM: Modulateur Mach Zehnder, SOA: amplificateur optique à semiconducteur, PC: contrôleur de polarisation,

2.b. Polarisation du MZM et spectre optique

Le modulateur MZM est un modulateur Photline 40 GHz, dont le point de polarisation à $V_{\pi/2}$ est environ à 2.5 V et celui à V_{π} à 5.5 V ($V_{\max} = -0.5$ V). La modification du point de polarisation du MZM modifie la dynamique du laser à blocage de modes, et donc la distribution de phase à l'intérieur du peigne.

Plusieurs spectres optiques ont été observés à l'analyseur de spectre optique pour différentes polarisations du MZM et sont reportés sur la Figure 2. Les spectres optiques obtenus possèdent tous une largeur de 2 nm pour un intervalle spectral libre de 30 GHz. On peut noter que tant que la fonction de transfert du MZM reste linéaire (polarisation proche de $V_{\pi/2}$), le spectre optique est large et une bonne réjection du bruit entre les modes est observé. Pour une polarisation de 4.5 V, le spectre est moins large et moins intense, dû à la perte relative de cohérence au sein du laser à blocage de mode. Enfin, près de V_{π} , le spectre est élargi et intense. En effet, le MZM apportant plus de pertes optiques, le gain du SOA augmente pour compenser ces pertes, ce qui augmente également le gain RF de la liaison. La génération d'harmoniques pour une polarisation du MZM proche de V_{π} est donc très intéressante.

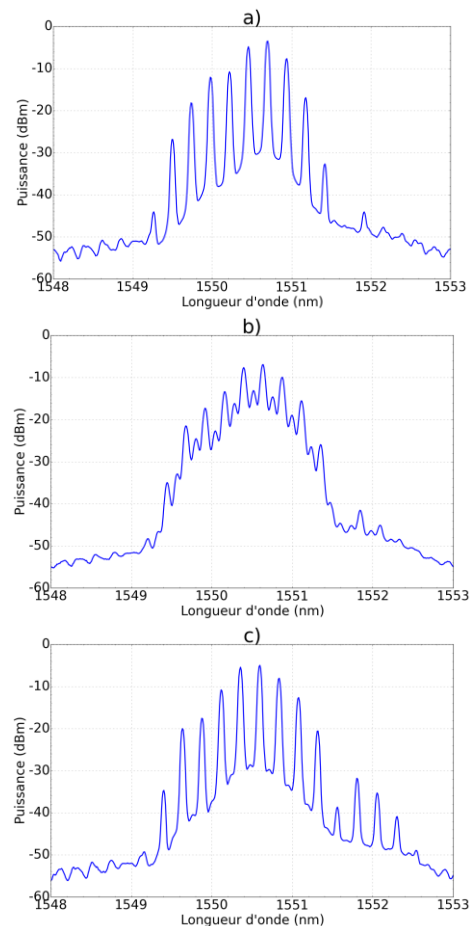


Figure 2. Spectres optiques pour différentes tensions de polarisations du MZM, a) 3.7 V ; b) 4.5 V ; c) 4.8 V

2.c. Puissance RF des deux signaux

Les puissances RF des deux signaux à 30 GHz et 90 GHz ont été mesurées à l'aide d'un analyseur de spectre électrique Agilent E4044A. Puisque l'appareil ne possède une bande passante que de 50 GHz, un mélangeur externe calibré a été utilisé et un facteur correctif a été appliqué pour obtenir la puissance RF à 90 GHz. L'évolution de la puissance RF des deux signaux en fonction de la polarisation du MZM est reportée sur la Figure 3. En pratique, la tension de polarisation du MZM a été augmentée afin de se rapprocher du point d'extinction (V_{π}) jusqu'à ce que les pertes optiques soient trop importantes et que la condition d'oscillation ne soit plus vérifiée. Toutefois, la saturation de l'amplificateur optique est essentielle afin de minimiser la contribution de ce dernier au bruit de phase du système [9]. La Figure 3 montre que la puissance du signal RF de la fréquence fondamentale n'est pas modifiée. En effet, l'amplificateur optique compense en partie l'augmentation des pertes optiques. La puissance RF dans la boucle est constante et de -16 dBm en entrée d'amplificateur, bien que le courant de la photodiode ait diminué de 13,5 mA à 9,3 mA. L'évolution de la puissance du troisième harmonique est quant à elle différente. On note une augmentation sensible du signal à 90 GHz lorsque la polarisation s'approche de V_{π} (5.5 V) atteignant -15,8 dBm en sortie du duplexeur.

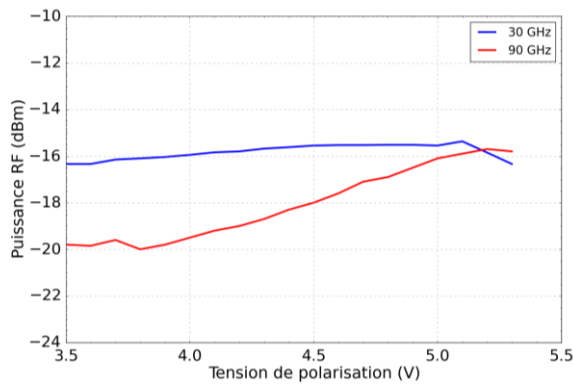


Figure 3 : Puissance du signal à 30 GHz et à 90 GHz en fonction de la tension de polarisation du MZM

3. Bruit de phase des deux signaux

3.a. Dispositif expérimental

La génération harmonique d'un signal à haute fréquence ne requiert pas uniquement une puissance de sortie importante mais aussi un faible bruit de phase. Pour mesurer le bruit de phase du signal à 30 GHz et 90 GHz, un analyseur Agilent E5052 combiné à un convertisseur de fréquence E5053A et des mélangeurs externes millimétriques a été utilisé. La Figure 4 présente une photo du montage expérimental. L'amplificateur millimétrique utilisé présente un gain petit signal de 30 dB et une puissance de saturation en sortie de 3 dBm. Les mélangeurs possèdent 46 dB de pertes sur la bande de fréquence 75 GHz–110 GHz.

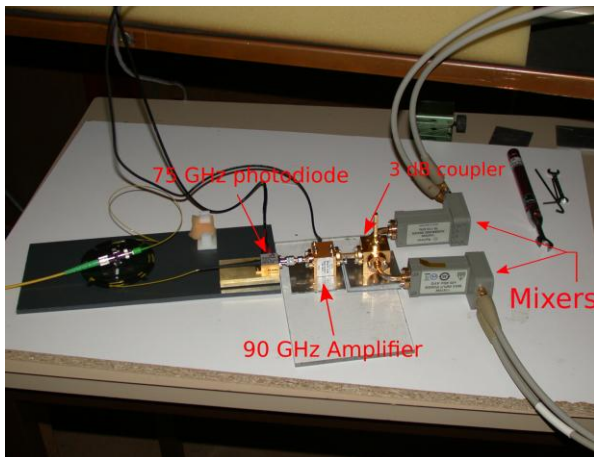


Figure 4 : Photo du montage expérimental pour la mesure du bruit de phase d'un signal à 90 GHz

3.b. Mesures de bruit de phase

Le bruit de phase a été mesuré pour plusieurs tensions de polarisations du MZM. Les mesures expérimentales à $V_{\pi/2}$ et proche de V_{π} sont reportées sur la Figure 5. Le bruit de phase pour une polarisation du MZM proche de $V_{\pi/2}$ est légèrement inférieur à la porteuse. Pour une fréquence de modulation comprise entre 20 kHz et 500 kHz, le bruit de phase est limité par le plancher de mesure. Malgré l'utilisation d'une corrélation croisée d'un facteur 300, le bruit de phase du COEO reste difficile à mesurer.

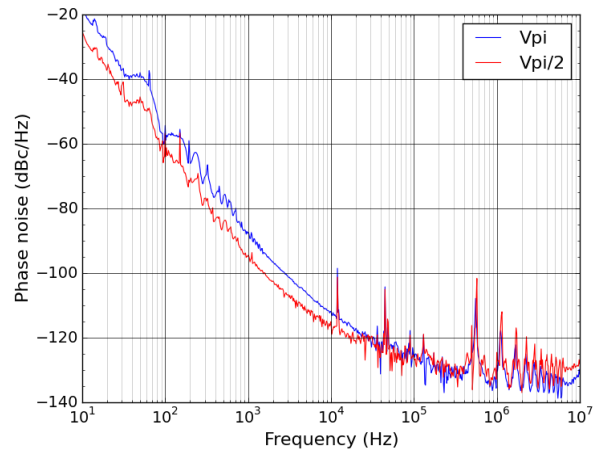


Figure 5 : Bruit de phase mesuré à 90 GHz pour une polarisation du MZM à $V_{\pi/2}$ et proche de V_{π}

Les spectres de bruit de phase des deux signaux, mesurés avec un facteur de corrélation de 100, sont reportés sur la Figure 6. Le bruit de phase généré à la troisième harmonique est relié au bruit de phase du fondamental puisqu'il s'agit d'une multiplication de fréquence simple. Bien que la puissance RF générée à 90 GHz soit plus grande pour une polarisation proche de V_{π} , le bruit de phase est minimal pour un régime linéaire du MZM. Des niveaux de bruit de phase de -103 dBc/Hz et -95 dBc/Hz à 1 kHz de la porteuse ont été obtenus à 30 GHz et 90 GHz respectivement. La multiplication de fréquence par 3 est donc réalisée sans ajout de bruit.

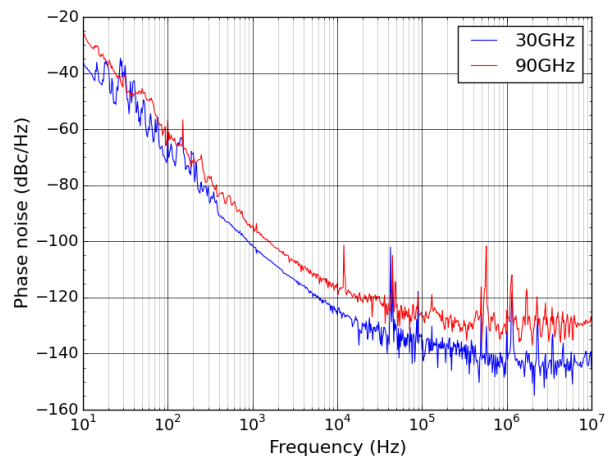


Figure 6 : Bruit de phase mesuré à 30 GHz et 90 GHz avec une méthode de corrélation croisée pour une polarisation du MZM à $V_{\pi/2}$

4. Conclusion

Une génération harmonique à partir d'un COEO à 30 GHz a été réalisée afin d'obtenir un signal à haute pureté spectrale à 90 GHz. Le spectre optique et la puissance RF du mode fondamental, ainsi que du troisième harmonique, ont été observés pour différents états de polarisation du MZM. Proche du point V_{π} , la puissance RF sur le troisième harmonique augmente sans altérer la puissance du mode fondamental. Cependant, cet état de polarisation dégrade le bruit de phase. Un

compromis doit donc être réalisé entre la puissance de sortie à 90 GHz et les performances en bruit de phase.

5. Remerciements

Ce travail est soutenu par la DGA (projet ANR Astrid Difool) et, en partie également, par la région Occitanie (projet Aérosat Fleksy).

Références

- [1] X. S. Yao, L. Maleki, et D. Eliyahu, « Progress in the optoelectronic oscillator - a ten year anniversary review », in *Microwave Symposium Digest, 2004 IEEE MTT-S International*, 2004, vol. 1, p. 287-290 Vol.1.
- [2] M. Bagnell, J. Davila-Rodriguez, et P. J. Delfyett, « Millimeter-Wave Generation in an Optoelectronic Oscillator Using an Ultrahigh Finesse Etalon as a Photonic Filter », *J. Light. Technol.*, vol. 32, n° 6, p. 1063-1067, mars 2014.
- [3] H. Kiuchi *et al.*, « High Extinction Ratio Mach-Zehnder Modulator Applied to a Highly Stable Optical Signal Generator », *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 55, n° 9, p. 1964-1972, sept. 2007.
- [4] O. Llopis, P. Martinet, P.-H. Merrer, et K. Saleh, « 50–60 GHz local oscillator transmission over fiber using optical frequency multiplication », *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 54, n° 5, p. 1313–1316, 2012.
- [5] A. Garcia *et al.*, « Low phase noise and frequency tunable 95–115 GHz photonic LO based upon DSB-SC modulation in an MZM and FWM in an UL-SOA », in *Microwave Photonics (MWP), 2012 International Topical Meeting on*, 2012, p. 152–155.
- [6] S. Fukushima, C. F. C. Silva, Y. Muramoto, et A. J. Seeds, « Optoelectronic millimeter-wave synthesis using an optical frequency comb generator, optically injection locked lasers, and a unidirectional carrier photodiode », *J. Light. Technol.*, vol. 21, n° 12, p. 3043-3051, déc. 2003.
- [7] A. Akrouf, F. van Dijk, G.-H. Duan, A. Shen, F. Lelarge, et A. Ramdane, « Low phase noise optical oscillator at 30GHz using a quantum dash mode-locked laser associated with an optical self injection loop », in *Microwave Photonics, 2009. MWP'09. International Topical Meeting on*, 2009, p. 1–3.
- [8] X. S. Yao et L. Maleki, « Dual microwave and optical oscillator », *Opt. Lett.*, vol. 22, n° 24, p. 1867–1869, 1997.
- [9] V. Auroux, A. Fernandez, O. Llopis, P.-H. Merrer, A. Vouzelaud, et others, « Microwave phase noise properties of optical links involving small signal and gain saturated optical amplifiers », in *European Frequency and Time Forum*, 2014.