

## Etude et simulation de liaison opto-hyperfréquence à modulation de phase / fréquence large bande

Wosen Kassa\*, Salim Faci\*, Anne-Laure Billabert\*, Catherine Algani\*, Loïc Ménager\*\*, Stéphane Formont\*\*

\*ESYCOM 292, rue Saint-Martin, 75141 Paris Cédex 03

\*\*Thales Systèmes Aéroportés, 2 avenue Gay Lussac, 78851 Elancourt Cédex

La technologie optique est déployée dans les systèmes radars depuis plusieurs années permettant un fort gain en poids/volume et une immunité aux interférences électromagnétiques, pour des applications comme la distribution de signaux de type oscillateurs locaux. Ces liaisons fibrées reposent sur le principe de la modulation d'intensité et détection directe (IM-DD), et plus particulièrement sur une modulation directe en amplitude du laser et une détection quadratique du signal optique.

Or, pour les applications de surveillance du spectre électromagnétique, les signaux étudiés ont pour caractéristique d'être large bande. La modulation directe présente des limites de bande passante pour des fréquences de la bande Ku (>10GHz) d'où une préférence pour une modulation externe. La dynamique du système représenté par le rapport des amplitudes maximale et minimale des signaux à transmettre est un second critère important. Des systèmes à large dynamique sont nécessaires. C'est pourquoi, il paraît intéressant d'étudier des liaisons à modulation de phase/fréquence pour la transmission ou la réception par voie optique de signaux large bande.

Des résultats de simulation d'une liaison opto-hyperfréquence à modulation de phase et détection directe (MP-DD) développés à ESYCOM en collaboration avec Thales Systèmes Aéroportés seront présentés et comparés à ceux obtenus avec une modulation d'intensité et détection directe (MI-DD). Les éléments utilisés dans ces liaisons sont une diode laser de type DFB (Distributed Feedback), un modulateur Mach-Zehnder (MZM), un modulateur de phase, un discriminateur de fréquence (filtre optique) et un étage de détection. Les performances de la liaison opto-hyperfréquence à modulation de phase sont déterminées pour un filtre optique de type interféromètre Mach-Zehnder. De plus, ces performances sont parallèlement comparées à la théorie afin de valider la méthode de simulation.

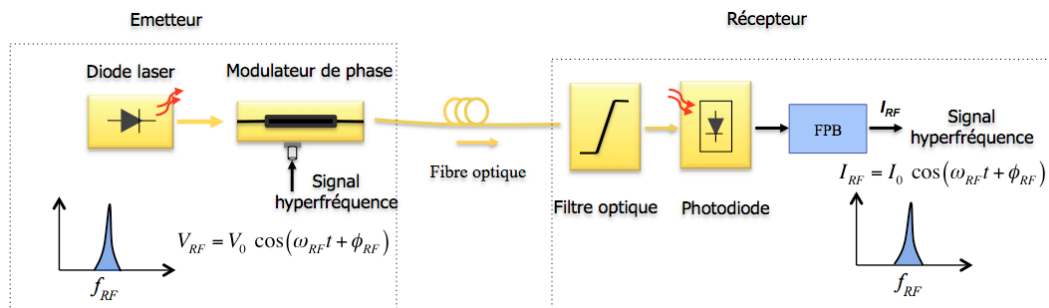


Figure 1. Liaison à modulation de phase et détection directe

La figure 1 présente la liaison simulée à modulation de phase et détection directe. Le laser est de type DFB caractérisé par sa largeur spectrale à mi-hauteur  $\Delta\nu$  de 200 kHz, son efficacité de 0,34 W/A, et son bruit RIN (Relative Intensity Noise) de valeur maximale de -150dB/Hz. Le modulateur de phase est un modulateur électro-optique caractérisé par une tension demi-onde  $V_{\pi}$  de 6V. La fibre optique est monomode et est caractérisée par une atténuation de 0,2 dB/km et une dispersion chromatique de 17 ps/(km.nm) à la longueur d'onde de 1,55 $\mu$ m. Le discriminateur de fréquence permet de convertir la modulation de phase en une modulation d'intensité qui est ensuite détectée par une photodiode. La réponse fréquentielle du discriminateur dépend du retard entre les deux bras de l'interféromètre et présente une périodicité en fréquence appelée FSR (Free Spectral Range).

Le gain petit signal de la liaison est représenté sur la Figure 2 pour trois valeurs de FSR. Pour une valeur de FSR de 10 GHz, des maxima et minima de gain se répètent respectivement à cette valeur comme décrit par l'expression de la puissance à la fréquence fondamentale (Equation 1) :

$$P_{RF} = I_{dc}^2 J_1^2 \left( \frac{2\pi V_{RF}}{V_\pi} \sin \left( \frac{\omega_{RF} \tau}{2} \right) \right) R_L \quad \text{Eq.1}$$

Pour les autres valeurs, la plage de fréquence affichée ne permet pas d'observer ces répétitions. Par conséquent, la bande passante de la liaison PM avec le MZI est étroitement liée au FSR. On remarque aussi une décroissance des maxima de gain à cause de la réponse de la photodiode.

Comparé à une liaison IM-DD, le gain petit signal de la liaison PM-DD est supérieur d'environ 16dB pour un FSR de 10 GHz et pour le premier maximum. Pour les autres FSR, le gain de la liaison PM-DD est inférieur à celui de la liaison IM-DD pour les forts FSR.

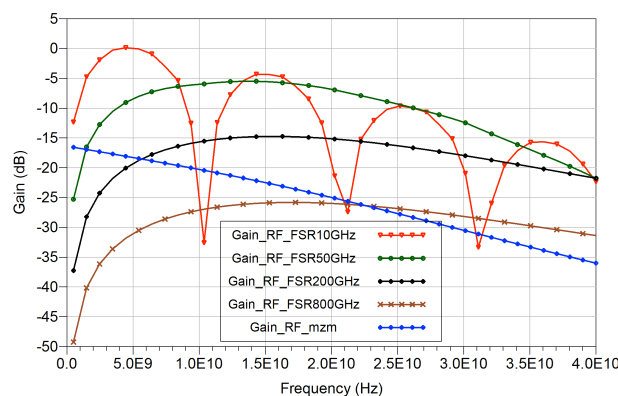


Figure 2. Gain de la liaison PM-DD en fonction de la fréquence de modulation.

Le bruit dans une liaison FM/PM-DD possède une composante supplémentaire par rapport à une liaison IM-DD. Cette composante est liée à la conversion par le discriminateur de fréquence du bruit de phase en un bruit d'amplitude. Ce bruit additionnel dépend de la largeur spectrale du laser et de la fréquence du signal RF. L'analyse du bruit par simulation d'enveloppe a permis de mettre en évidence cette conversion du bruit de phase de la diode laser.

Après analyse en gain, bruit et non linéarité des résultats de simulation, nous pouvons conclure que les performances analogiques de la liaison PM-DD dépendent essentiellement du discriminateur de fréquence. Ces performances peuvent être similaires à celles d'une liaison à modulation d'intensité lorsque les modulateurs ont des caractéristiques proches. Cependant, il est nécessaire d'utiliser un discriminateur optique présentant une meilleure réponse fréquentielle afin d'améliorer les performances de la liaison PM-DD. D'autre part, le bruit du laser est aussi un paramètre limitatif et le choix d'un laser avec une faible largeur à mi-hauteur donnera de meilleurs résultats.

#### Références :

- [1] M. Chtioui et al. «Analog microwave photonic link based on a high power directly modulated laser, a high power photodiode and passive impedance matching», MWP 2012.
- [2] C. Cox. «Limits on the performance of RF-Over fiber links and their impact on device design» *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 54.2 (2006): 906-920.
- [3] V. J. Urick, F. Bucholtz, J.D.McKinney, P.S.Devgan, A.L.Campillo, J.L.Dexter, K.J.Williams, « Long-Haul Analog Photonics », *JLT*, Vol. 29, N°8, April 15, 2011
- [4] J.M.Wyrwas, M.C.Wu, « Dynamic range of frequency modulated direct-detection analog fiber optic links », *JLT*, Vol.27, N°24, december 15, 2009.
- [5] R.W.Ridgway, L.Dohrman, J.A.Conway, « Microwave photonics programs at DARPA », *JLT*, Vol. 32, N°20, october 15, 2004.