

Traitement digital de signaux RF : quelques applications récentes chez iXblue Photonics

Baptiste Gouraud, Cheikh Lo, Kouceila Sadoudi
iXblue Photonics, 3 rue Sophie Germain, 25000 Besançon

L'expertise principale du site de Besançon de iXblue Photonics est la conversion de signaux radiofréquences (RF) en signaux optiques via ses modulateurs électro-optiques, ainsi que la génération des signaux RF adaptés grâce à sa gamme d'amplificateurs haute-fréquences.

Pour certaines applications, la source des signaux radiofréquences est numérique et passe par une conversion digitale-analogique. Dans ce cas il est possible d'utiliser les outils de traitement digital du signal en amont. Les domaines d'application sont variés, avec notamment les communications quantiques, la mise en forme d'impulsions lasers haute puissance, la radio sur fibre, et la caractérisation de liens et de composants pour les télécommunications optiques. Dans le cas le plus standard des télécommunications optiques, l'accent est mis sur les débits, avec des taux de modulation de plusieurs dizaines de gigabauds, pour lesquels les convertisseurs numériques-analogique sont limités en résolution. En revanche, pour les communications quantiques, la radio sur fibre et la mise en forme d'impulsions, quelques gigaéchantillons/s (GSa/s) suffisent le plus souvent : l'accent sera mis sur la qualité du signal qui pourra bénéficier efficacement des techniques de traitement numérique du signal.

Les modulateurs électro-optiques en niobate de lithium (Figure 1) offrent des bandes passantes de modulation de plusieurs dizaines de GHz. On assiste parfois, dans le cadre de certaines applications à une légère distorsion des signaux en basses fréquences (jusqu'à environ 500MHz). Cette distorsion (exemple Figure 2) est due à différents effets physiques, dont l'imparfaite adaptation de fin de ligne des électrodes RF, leur dispersion de temps de groupe [1] ou des effets acoustiques générés par piézoélectricité [2].

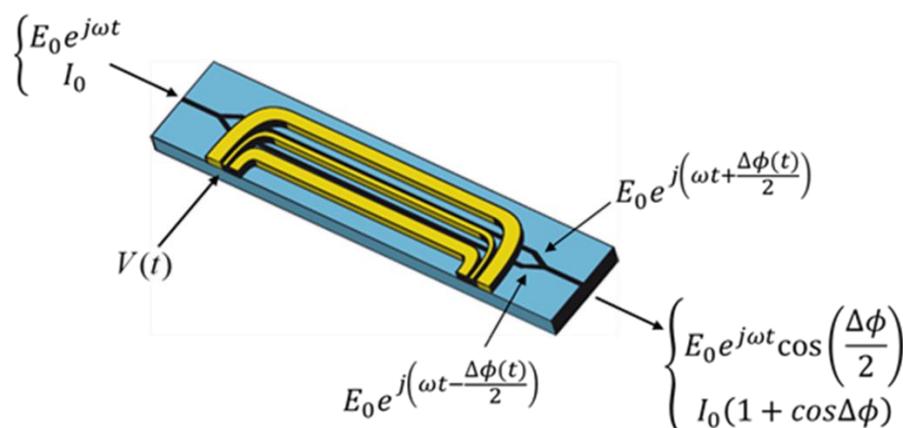


Figure 1. Modulateur électro-optique de Mach-Zehnder. L'effet électro-optique modifie la phase du mode optique proportionnellement à l'amplitude du champ RF appliquée. La structure en interféromètre permet de convertir la modulation de phase en modulation d'amplitude. La modulation est la plus efficace lorsqu'il y a un accord parfait entre les vitesses de phase des ondes RF et optiques.

Une étude récente montre que ces effets peuvent être très bien corrigés par un filtre numérique linéaire. La phase du champ optique (la différence de phase entre les deux chemins optiques dans le cas d'un modulateur de Mach-Zehnder) en sortie de modulateur est effectivement une fonction linéaire de l'amplitude RF en entrée de modulateur. On peut mesurer cette réponse simplement en plaçant un

modulateur de Mach-Zehnder à un point de fonctionnement (en ajustant le champ électrique DC) à mi-chemin entre le minimum et le maximum de la puissance optique de sortie, et en mesurant la puissance optique en sortie de modulateur.

On construit ensuite un filtre correctif dont la réponse en fréquence est l'inverse de celle du modulateur. Un exemple de résultat est donné en Figure 2 : lorsqu'un modulateur est soumis à un échelon, la réponse non-correctée des modulateurs présente un régime transitoire caractéristique sur plusieurs nanosecondes. Cet effet est bien corrigé par un filtre numérique, quel que soit le point de fonctionnement du modulateur et malgré le fait que la réponse totale du système (s'il l'on s'intéresse comme sur ces mesures à la puissance optique en sortie de modulateur) ne soit pas linéaire. Le filtre fonctionne également avec l'ajout d'un amplificateur RF à condition que celui-ci soit linéaire.

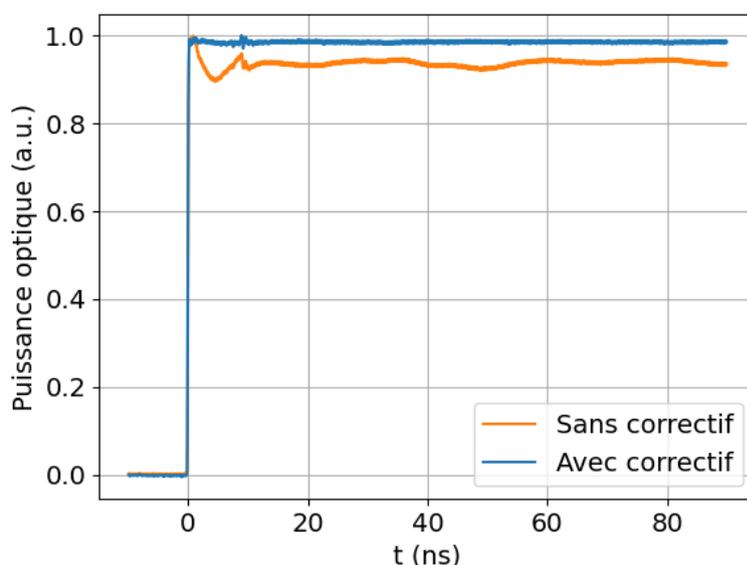


Figure 2. Mesure en domaine temporel de la réponse à un échelon. En orange : sans filtre correctif et en bleu : avec filtre.

En pratique ces filtres fonctionneront bien pour une bande de fréquence de quelques GHz. Cependant les résultats obtenus permettent de mieux comprendre la réponse en fréquence complexe des modulateurs et d'envisager la conception de filtres analogiques qui pourront fonctionner sur plusieurs dizaines de GHz. Dans le cas de la cryptographie quantique, un aspect essentiel est de maîtriser le mode du champ électromagnétique dans lequel un symbole est émis, avec une bande de fréquence typique correspondant bien aux résultats présentés ici (DC à 1GHz). On pourra également utiliser des méthodes plus avancées de traitement du signal pour corriger la réponse non-linéaire d'un système complexe comme celle des chaînes d'amplifications pour les impulsions lasers à haute énergie.

Références :

- [1] W.R. Leeb, A.L. Scholtz, E. Bonek, "Measurement of Velocity Mismatch in Traveling-Wave Electrooptic Modulators", IEEE Journal of Quantum electronics, **18** (1), 1982
- [2] R.L. Jungerman, C.A. Flory, "Low-frequency acoustic anomalies in lithium niobate Mach-Zehnder interferometers", Appl. Phys. Lett. **53** (16), 1988