

Phototransistors SiGe/Si pour les réseaux d'antennes commutés TMA

A. Giovannini^{1,2}, F. Peressutti¹, J. Nanni², J.L. Polleux¹, A.L. Billabert³, D. Masotti², G. Tartarini², J.M. Laheurte¹

¹Univ Gustave Eiffel, CNRS, ESYCOM, F-77454 Marne - la - Vallée, France

²Université de Bologne, Département DEI Guglielmo Marconi, 2 viale Risorgimento, 40136 Bologne

³Le CNAM, Laboratoire ESYCOM-CNRS, 75003 Paris

La technologie Radio sur Fibre (RoF) est une solution connue pour la densification et la montée en débit/fréquence des réseaux de télécommunications sans fil. Elle apporte aussi une réponse pour le déport des systèmes antennaires loin des stations de contrôle, en simplifiant dans le même temps les architectures des stations de base. La faible atténuation linéique sur voie optique des signaux modulés est ici exploitée pour directement alimenter les systèmes antennaires actifs de type *Time Modulated Array* (TMA), une technique qui apporte une flexibilité quant aux fréquences microondes émises [1,2]. Ceci permet d'avoir un système à formation de faisceaux maximisant la couverture et minimisant l'exposition électromagnétique.

Une première réalisation [3], [4] a démontré que le système RoF-TMA proposé, utilisant une photodiode InGaAs de type PIN pour la photodétection, se comporte comme un système TMA purement RF. Un aspect fondamental du TMA est la modulation temporelle de type On/Off du courant de l'antenne, réalisée par la commutation au niveau de la photodiode. Dans cette communication, nous présentons une évolution importante du système en remplaçant la photodiode par un phototransistor bipolaire à Hétérojonction (PTH) SiGe intégré en technologie BiCMOS SiGe pour exploiter son gain d'amplification en courant et sa capacité d'intégration dans une électronique complète sur puce BiCMOS. L'application finale visée pour ce système hybride est la distribution des signaux RF à l'intérieur des bâtiments, en exploitant la facilité d'installation et les débits élevés de la fibre optique, tout en apportant la possibilité de réduire au minimum les émissions électromagnétiques par la formation de faisceaux TMA.

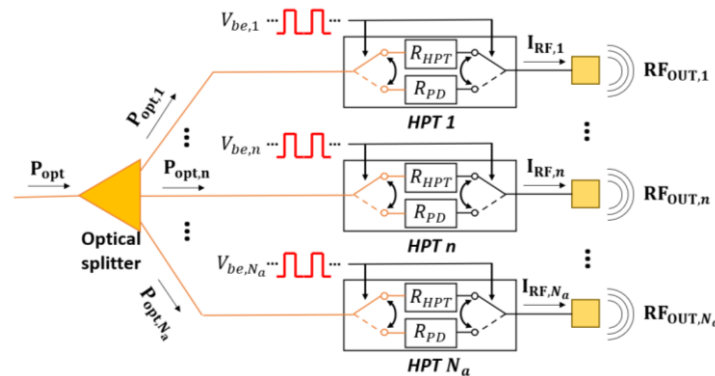


Figure 1. Schéma du système développé.

Le concept d'un système combiné RoF-TMA est présenté sur la figure 1. Le signal modulé RF transmis sur le lien RoF est divisé au niveau optique entre les différentes voies d'antennes par un splitter. Successivement, le PTH détecte le signal avec son gain optique en courant modulé par la tension de commande carrée qui polarise sa base. Le PTH fournit alors au système antennaire du TMA un signal RF fenêtré. La commutation de la tension V_{be} du PTH permet d'alterner sa responsivité entre le mode phototransistor R_{HPT} et le mode photodiode R_{PD} , en agissant comme un récepteur et un switch intégrés. Chaque phototransistor reçoit sur sa base une onde de tension V_{be} carrée spécifique, appelée séquence et repérée par $U_n(t)$. Toutes les séquences ont la même fréquence f_M commune, mais chacune est caractérisée par un rapport cyclique c_n et un retard initial $c_{i,n}$ qui sont spécifiques. Le facteur du réseau d'antennes est alors défini par l'équation 1 :

$$AF(\theta, t) = \sum_{h=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=0}^{N_a-1} (I_{ON} - I_{OFF}) c_n \text{sinc}(h\pi c_n) \cdot e^{-j\{\pi h(2c_{in}+c_n) - kd\sin(\theta) - 2\pi(f_0 + hf_M)t\}} \quad (1)$$

Où I_{ON} et I_{OFF} sont les amplitudes du courant d'antenne quand le PTH est commuté en mode phototransistor, dit triporte (3T, dit état On), ou en mode photodiode (PD, dit état Off) respectivement, k est le nombre d'onde, d est la distance entre les antennes et f_0 est la fréquence de la porteuse. A cause de la modulation, le facteur du réseau d'antennes présente différents diagrammes de rayonnement aux fréquences $f_0 + hf_M$. La formation de faisceaux est réalisée en modifiant c_n et $c_{i,n}$. En considérant un réseau d'antennes isotropes et une valeur I_{ON} fixée, la puissance rayonnée à $f_0 + hf_M$ est maximale si l'OOR, correspondant au rapport entre I_{ON} et I_{OFF} , tend vers l'infini (c'est-à-dire $I_{OFF} = 0$). Pour évaluer la dégradation introduite par un OOR fini, on considère le rapport entre la puissance maximale émise par le système pour un $OOR = \infty$ et celle pour un $OOR < \infty$. En particulier, la valeur de l'OOR associé à une réduction de 3 dB de la puissance maximale est extraite ainsi :

$$OOR|_{3dB} = \frac{\sqrt{(P_{OOR=\infty}/P_{OOR<\infty})}}{\sqrt{(P_{OOR=\infty}/P_{OOR<\infty})} - 1} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2} - 1} \approx 5.33 \text{ dB} \quad (2)$$

La condition définie par l'Eq. 2 montre que si l'OOR est au moins égal à 5.33 dB alors la puissance rayonnée à toutes les fréquences dans la direction maximale est à moins de 3 dB de celle émise par un système défini par OOR infini. L'objectif est ici d'utiliser le PTH comme un switch en définissant l'OOR comme le ratio entre la responsivité du mode phototransistor (3T) et celle du mode photodiode (PD).

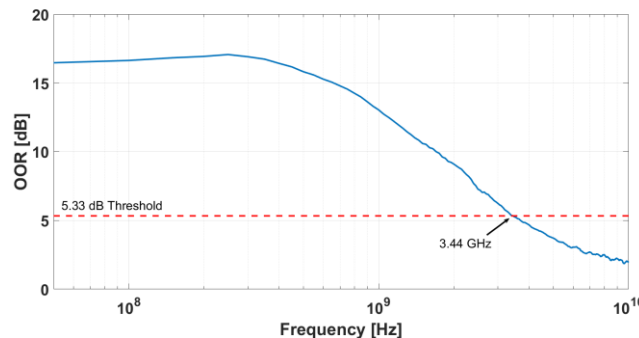


Figure 2. Taux d'extinction OOR du PTH en fonction de la fréquence. La ligne pointillée indique le seuil optimal de 5.33 dB.

La réponse fréquentielle du paramètre S21 du PTH a été mesurée pour Vce fixée à 3 V et Vbe variant entre 0 V et 0.8 V. La figure 2 représente l'OOR en considérant la différence entre le S21 à Vbe = 0 V et celui à Vbe = 0.8 V. L'écart entre le mode PD et le mode 3T reste supérieur de 10 dB jusqu'à 1.7 GHz. La courbe montre qu'on atteint l'OOR minimum, de 5.33dB, dans l'intervalle de fréquence 50MHz – 3.44 GHz. En particulier, l'OOR à 2.45 GHz qui est la fréquence de résonance des antennes du système TMA est égale à 7.53dB. Cela démontre que le PTH est adapté à une utilisation comme un switch pour l'application TMA visée.

Références :

- [1] L. Poli et al., "Harmonic beamforming in time-modulated linear arrays," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 59, no. 7, pp. 2538–2545, Jul. 2011.
- [2] P. Rocca et al., "4-D arrays as enabling technology for cognitive radio systems," IEEE Trans. Antennas Propag., Mar. 2014.
- [3] A. Giovannini, et al., « Radio over Fiber-driven Time Modulated Array Antennas for Efficient Beamforming within In-Building Environments », ECOC 2020.
- [4] A. Giovannini, et al., « Beam-Steering Features of Radio-over-Fiber Systems via Antenna Array Time Modulation », IEEE MWP 2020.