

Modélisation Non-Linéaire de Photodiodes Hyperfréquences

Z. Abdallah^{1,2}, A. Rumeau¹, A. Fernandez¹, O. Llopis¹

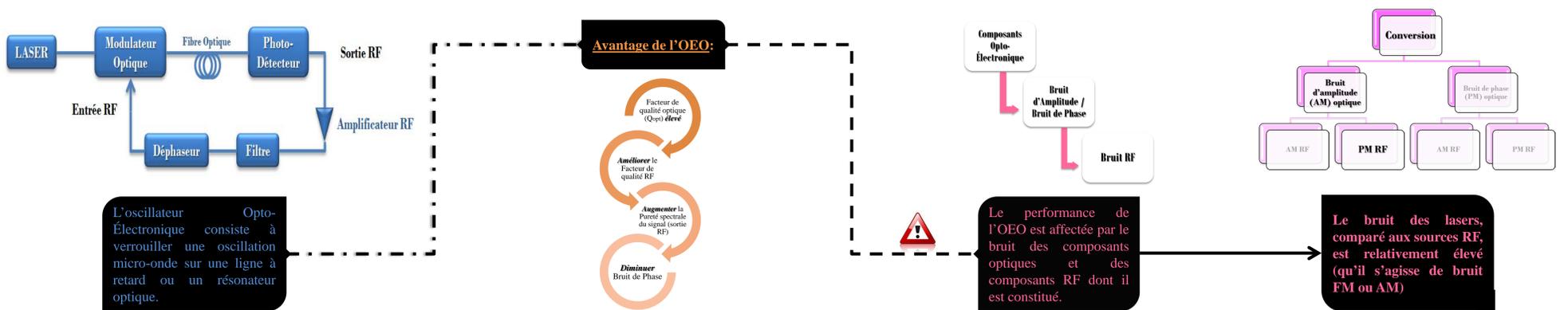
¹CNRS, LAAS, Université de Toulouse, Toulouse, France

²CNES, Toulouse, France

zeina.abdallah@laas.fr

Un nouveau Modèle non-linéaire de photodiode, décrivant la conversion du bruit d'intensité relative du laser en bruit de phase RF, est proposé. Ce modèle comprend une cellule à retard RC non-linéaire. La validité de ce circuit équivalent est confirmée par un bon accord entre les résultats mesurés et les résultats simulés pour différentes fréquences micro-ondes.

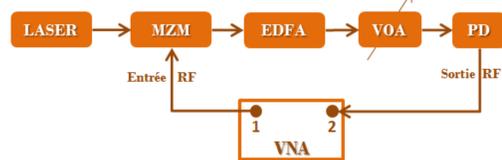
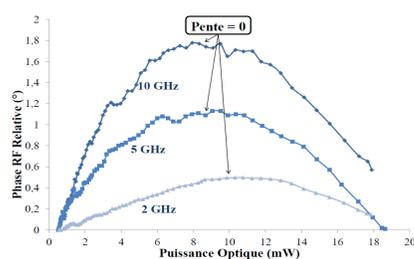
L'Oscillateur Opto-Électronique



La Conversion du Bruit du Laser en Bruit de Phase RF

Etude Expérimentale:

La variation de la Phase RF en fonction de la puissance optique d'une PD Discovery (S=0.8 A/W) ; pour 3 différentes fréquences RF.



Configuration expérimentale utilisée pour évaluer le comportement non-linéaire en amplitude et phase RF des photodiodes.

- ✓ Comportement non-linéaire.
- ✓ Conversion des variations de puissance optique vers la phase RF.
- ✓ La pente commence à diminuer jusqu'à ce qu'elle atteigne zéro pour une puissance optique de 8-10 mW, due à « l'effet d'écran » qui apparaît au début de la saturation de la photodiode.
- ✓ La phase RF relative augmente avec l'augmentation de la fréquence de modulation.

PHOTODIODE !

Bruit d'amplitude du laser $\xrightarrow{\text{NON-LINÉARITÉ de la PD}}$ Bruit de phase RF

$$RIN(f) = \frac{\Delta P_{opt}^2(f)}{P_{opt}^2} \text{ dB/Hz}$$

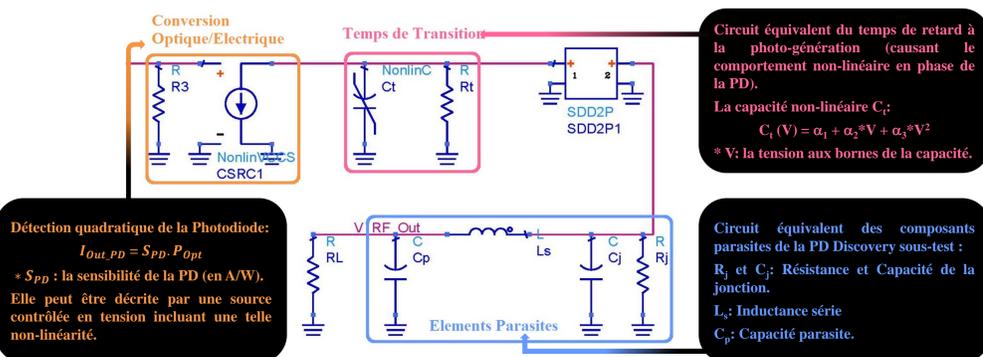
Pour de faibles niveaux de puissance optiques, inférieurs à la puissance de saturation de la photodiode, le nombre des électrons et des trous augmente avec l'augmentation de la puissance lumineuse et puisque la vitesse de propagation des porteurs dans la photodiode dépend du nombre de porteurs dans le semi-conducteur, la phase RF va changer avec la puissance optique.

Pour de faibles fluctuations d'intensité du laser, la conversion du RIN en bruit de phase RF:

$$S_{\Phi}(f) = RIN(f) \cdot P_{opt}^2 \cdot \left(\frac{d}{\Phi_{dP_{opt}}}\right)^2$$

$S_{\Phi}(f)$: la densité spectrale du bruit de phase (rad²/Hz); $d/\Phi_{dP_{opt}}$: la sensibilité de la phase RF aux variations de la puissance optique (en rad/mW).

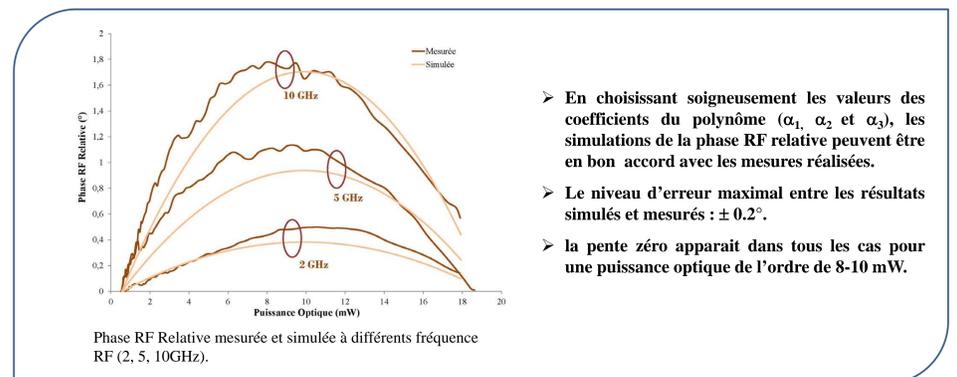
Modélisation ET Résultats



Détection quadratique de la Photodiode:
 $I_{out,PD} = S_{PD} \cdot P_{opt}$
* S_{PD} : la sensibilité de la PD (en A/W). Elle peut être décrite par une source contrôlée en tension incluant une telle non-linéarité.

Circuit équivalent du temps de retard à la photo-génération (causant le comportement non-linéaire en phase de la PD).
La capacité non-linéaire C_t :
 $C_t(V) = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot V + \alpha_3 \cdot V^2$
* V : la tension aux bornes de la capacité.

Circuit équivalent des composants parasites de la PD Discovery sous-test:
 R_j et C_j : Résistance et Capacité de la jonction.
 L_s : Inductance série
 C_p : Capacité parasite.



- En choisissant soigneusement les valeurs des coefficients du polynôme (α_1 , α_2 et α_3), les simulations de la phase RF relative peuvent être en bon accord avec les mesures réalisées.
- Le niveau d'erreur maximal entre les résultats simulés et mesurés : $\pm 0.2^\circ$.
- la pente zéro apparaît dans tous les cas pour une puissance optique de l'ordre de 8-10 mW.

Conclusion

Un nouveau modèle de photodiode hyperfréquence a été présenté et implémenté sous ADS. Ce circuit équivalent représente le comportement non-linéaire de la photodiode, et plus précisément la conversion du bruit d'amplitude du laser en bruit de phase RF, ceci grâce à l'ajout d'une cellule de retard non-linéaire RC(V) après la détection quadratique.

L'avantage le plus important de ce modèle non-linéaire est qu'il permet une modélisation complète du bruit dans la liaison optique micro-onde, et donc de traiter le cas de l'optimisation en bruit d'un Oscillateur Opto-Électronique.