



Technique de mesure en impulsions pour de très faibles rapports cycliques appliquée aux transistors

Fabien De Groot¹, Olivier Jardel¹, Tibault Reveyrand¹, Christophe Charbonniaud², Jean-Pierre Teyssier¹, Raymond Quéré¹

¹ : XLIM – Université de Limoges, 7 rue Jules Vallès, 19100 Brive

² : AMCAD Engineering, ESTER Technopole, BP6915, 87069 Limoges

fabien.de-groote@xlim.fr

Résumé

Une approche innovante de mesures en mode en impulsions est présentée. Elle permet de supprimer la perte de dynamique de mesure engendrée par les méthodes de filtrage bande étroite et de reconstitution large bande. Dans le contexte de caractérisation des transistors micro ondes de puissance en régime de saturation, cette conservation de la dynamique permet de mesurer les informations d'amplitude et de phase générées à des fréquences harmoniques d'un rang élevé, même pour des rapports cycliques extrêmement faibles.

La méthode de prise de mesure, appelée temporelle stroboscopique est décrite, et des mesures sont proposées à partir d'un transistor HEMT AlGaIn/GaN avec des rapports cycliques d'impulsions descendant jusqu'à 0.0001 (soit 0.01%) sans perte de dynamique. L'instrument de mesure utilisé pour obtenir ces résultats est le LSNA (Large Signal Network Analyser).

I. Introduction

Les concepteurs de circuits microondes ont besoin d'informations très complètes sur les conditions de fonctionnement des transistors utilisés, en particulier quand ces derniers sont sollicités en régime de forte saturation. Ce mode de fonctionnement non linéaire implique la génération de fréquences harmoniques qu'il faut mesurer. Mais la puissance portée par les fréquences harmoniques au rang élevé est relativement faible par rapport à celle au fondamental, ceci impose donc d'avoir la meilleure dynamique possible du système de mesure.

De plus, travailler en impulsions est très utile, car premièrement cela reflète l'utilisation effective des transistors dans beaucoup d'applications [1], et deuxièmement, ce mode d'excitation permet d'identifier ou de contrôler des phénomènes intrinsèques au transistor tels les effets de pièges et thermiques.

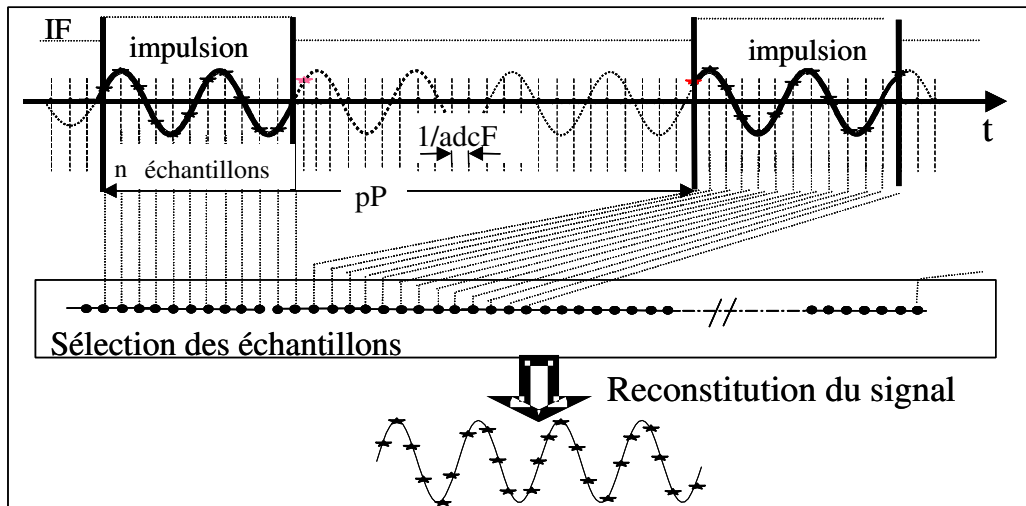
Un système de mesure idéal doit donc être capable de mesurer les formes d'ondes temporelles pour des choix d'impulsions très variables, autrement dit sur une large gamme de rapports cycliques avec une dynamique conservée. Nous présentons une technique de mesure hyperfréquence en impulsions pour accéder aux formes d'ondes temporelles. Le domaine considéré de rapports cycliques peut descendre ici jusqu'à 0.0001 (soit 0.01%), tout en gardant la possibilité de mesurer sans perte dynamique la puissance et les phases pour plusieurs harmoniques. Le principe présenté a été validé avec des mesures faites avec un LSNA (Large Signal Network Analyser) sur un HEMT AlGaIn/GaN.

II. Différentes approches pour des mesures Radio Fréquences (RF) en impulsions

Trois méthodes sont utilisées pour acquérir l'information RF en impulsions : le filtrage Fréquences Intermédiaires (IF) bande étroite, la reconstitution large bande IF et le mode temporel stroboscopique.

Le spectre IF d'une onde RF en mode d'impulsions est constitué de nombreuses raies dans une enveloppe en sinus cardinal. On peut alors choisir seulement la raie centrale (filtrage IF bande étroite), ou, à l'aide d'un synthétiseur annexe, utiliser par re-convolution l'énergie des raies latérales. La première approche induit une perte dynamique de $-20 \log$ (rapport cyclique), tandis que la deuxième méthode est moins pénalisée, approximativement $-10 \log$ (rapport cyclique) suivant le nombre de raies considéré. Cependant la même conclusion s'impose : des grands rapports cycliques sont difficiles à exploiter.

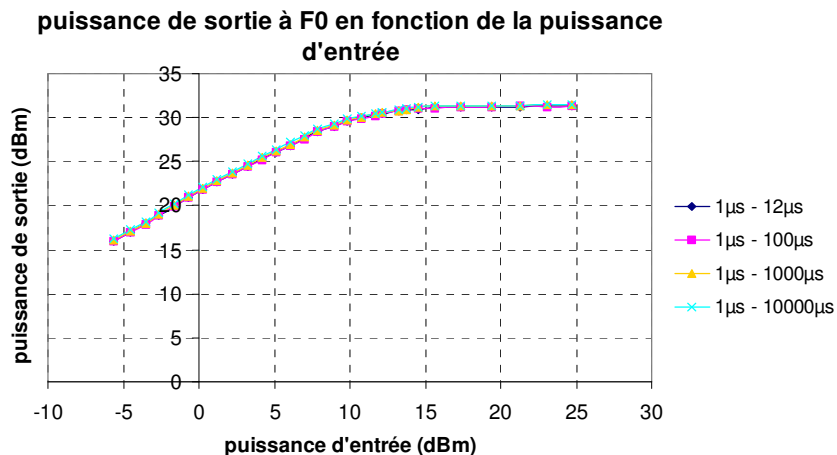
L'approche temporelle, décrite en [2], est basée sur une acquisition en plusieurs fois des points du signal temporel comme le montre la figure 1. Dans chaque impulsion, un lot d'échantillons est capturé. Des calculs rigoureux de rotation de phase (diviseurs numériques entiers) entre la RF, les échantillonneurs et les convertisseurs analogiques/numériques assurent que les lots d'échantillons successifs pourront être mis bout à bout et reconstituer ainsi une séquence complète cohérente. Cette méthode n'a pas de lien avec le rapport cyclique, et donc conserve intacte la dynamique de mesure. Cependant, le temps global d'acquisition pour disposer du nombre requis d'échantillons augmente avec le rapport cyclique. Bien que toutes les horloges du système soient verrouillées, les phénomènes de gignages de phase à long terme introduisent une limitation.



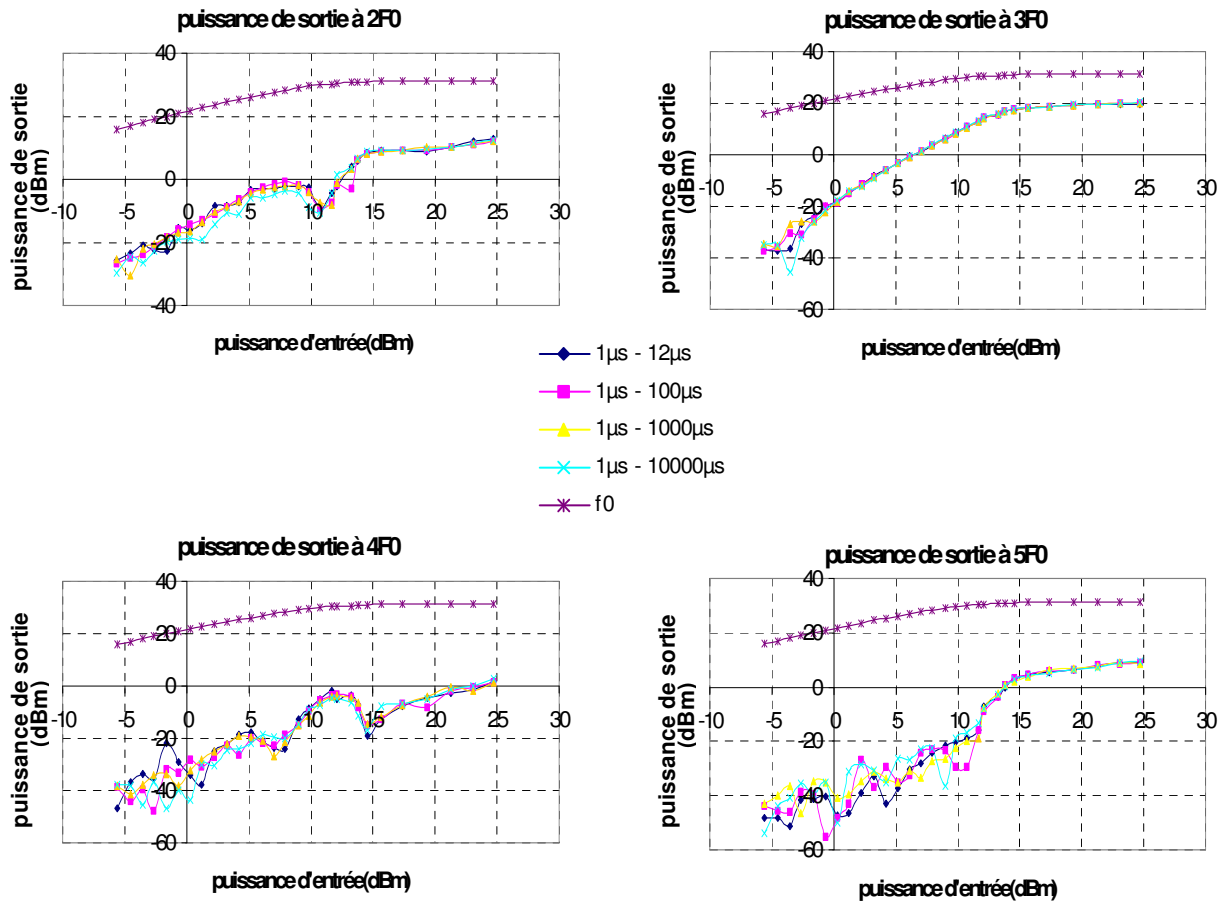
III. Application de l'approche temporelle stroboscopique à une mesure de transistor

Les mesures présentées ont été effectuées avec le banc LSNA décrit dans [3]. Pour valider cette approche, les formes d'ondes temporelles ont été mesurées sur un transistor AlGaIn/GaN Tiger ($4 \times 100 \times 0.25 \mu m^2$). La fréquence fondamentale est de 3GHz et quatre harmoniques supplémentaires ont été mesurés. L'impédance de charge est $(176 + j47)\Omega$. Pour valider le principe de mesure RF, l'excitation RF est en impulsions mais la polarisation a été volontairement laissée en mode continu. Les formes d'ondes ont été mesurées pour des impulsions de $1 \mu s$ et des récurrences de :

- $12 \mu s$,
- $100 \mu s$,
- $1000 \mu s$,
- $10000 \mu s$.



La figure 2 donne, pour une excursion en puissance à l'entrée du transistor, l'évolution de la dynamique de mesure pour les différents rapports cycliques choisis. La figure 2a, dans un premier temps, donne la puissance de sortie pour un domaine de puissance d'entrée à la fréquence fondamentale, et ce pour chaque rapport cyclique d'impulsions considéré. La conclusion est que dans ce cas et dans ces conditions de mesure, le rapport cyclique ne fait pas varier cette caractéristique. Les figures 2b, 2c, 2d et 2e donnent, quant à elles, la mesure de la puissance aux fréquences harmoniques $2f_0$, $3f_0$, $4f_0$, $5f_0$. Elles contiennent toutes également la courbe moyenne de la puissance à f_0 . Sur ces courbes, on retrouve la dynamique de notre système, aux alentours de 60dB. Quand le rapport cyclique atteint 0.0001, la perte de dynamique serait de 80dB pour la première méthode vue en I, et approximativement 40dB pour la deuxième. Cette diminution, si elle avait lieu avec la méthode temporelle stroboscopique, rendrait impossible la mesure correcte dans cet exemple de la puissance à $2f_0$, $4f_0$, $5f_0$ et même $3f_0$ avec la première méthode.



La figure 3 donne un bilan des mesures à la saturation en fonction du rapport cyclique. Ces figures montrent que la mesure de la puissance n'est pas affectée par le rapport cyclique.

Une deuxième manière de vérifier notre approche consiste à regarder le cycle de charge à la saturation pour chaque rapport cyclique. Le cycle de charge contient les informations d'amplitude et de phase de toutes les composantes spectrales considérées du signal. Nous superposons figure 4 les 4 cycles de charge des 4 rapports cycliques précédents. La qualité de la superposition obtenue démontre la très faible sensibilité de notre banc au rapport cyclique.

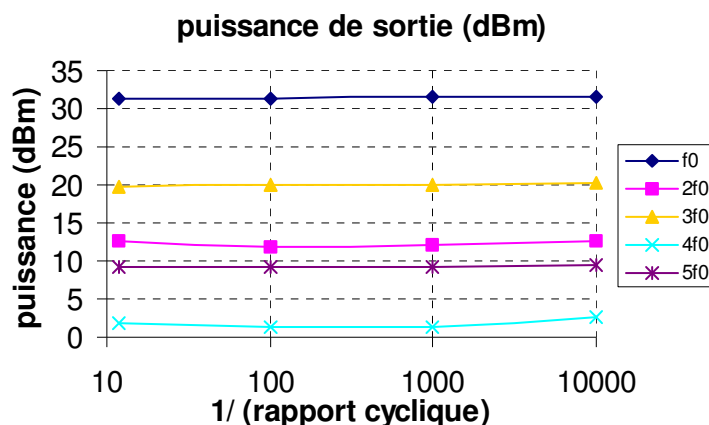


Figure 3 : puissance de sortie à la saturation en fonction du rapport cyclique

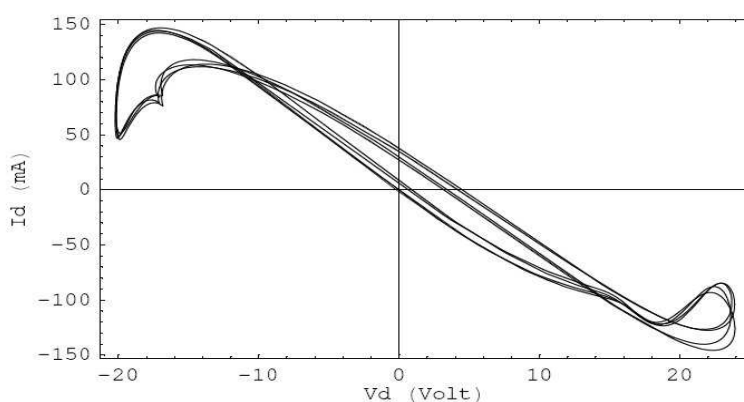


Figure 4 : cycle de charge dynamique à la saturation en fonction du rapport cyclique

IV. Conclusion

L'approche temporelle apporte une amélioration des mesures en impulsions. En effet elle permet de ne pas perdre de dynamique même pour des rapports cycliques extrêmement faibles, ce qui permet la mesure d'amplitude et de phase des fréquences harmoniques d'un rang élevé. La démonstration effectuée avec des rapports cycliques d'impulsions allant jusqu'à 0.0001. Notre banc construit autour du LSNA auquel nous avons ajouté un mode en impulsion ouvre des perspectives d'investigation prometteuses qui seront appliquées aux transistors RF de forte puissance.

Remerciements

Les auteurs désirent remercier la société NMDG Engineering (Belgique) pour l'actualisation du logiciel du LSNA pour la prise en charge de la méthode temporelle stroboscopique, ainsi que la DGA pour son soutien financier.

- [1] B. Green et al. « *Microwave power limits of AlGaIn/GaN HEMTs under pulsed-bias conditions* », IEEE Transactions on Microwave theory and techniques, Vol 51, n° 2, 2003.
- [2] C. Charbonniaud et al. « *Time-domain pulsed large-signal non-linear characterization of microwave transistors* », 33ème EuMC, 7-9 octobre 2003, Vol 1, n° 3, pp. 241-244.
- [3] J-P. Teyssier et al., « *A transistor measurement setup for microwave high power amplifiers design* », APMC décembre 2005.