



Mesures de cycles de charge non linéaires pour la caractérisation de transistors micro-ondes GaN

Fabien De Groote, Olivier Jardel, Tibault Reveyrand, Jean-Pierre Teyssier, Raymond Quéré

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

fabien.de-groote@xlim.fr

Résumé

Ce papier traite de la mesure de cycles de charge non linéaires à l'aide du LSNA (Large Signal Network Analyser) pour la caractérisation de transistors micro-ondes de puissance. Le banc de mesures utilisé contient une caractéristique innovante pour le couplage des ondes de tensions-courants présentée ici, ce qui permet de disposer d'un nouveau choix dans l'organisation d'un banc de mesure de transistors de puissance. Il s'agit d'un coupleur de type localisé entraînant un minimum de pertes dans le chemin RF principal.

Différents types de mesures de cycles de charge sont présentés, montrant l'intérêt des mesures temporelles en régime de saturation pour obtenir des informations sur le comportement du transistor. Les non linéarités du transistor sont mises en évidence en conditions de forte puissance. Elles sont ici appliquées aux transistors GaN, jusqu'à des puissances de plus de 12W, ceci correspondant à plus de 10W/mm.

I. Introduction

Les HEMTs AlGaIn/GaN sont particulièrement appropriés pour les applications de fortes puissances dans le domaine des micro-ondes. Toutefois, cela implique de pouvoir adapter les méthodes de mesures à leur niveau de puissance. Les caractérisations I(V) et paramètres [S] en impulsions ainsi que « load pull » sont déjà des moyens de mesures fournissant des informations essentielles. Cependant, la mesure temporelle permet de compléter les informations recueillies au niveau du transistor, en particulier parce que l'on peut directement accéder aux courants et tensions et donc reconstituer le cycle de charge dynamique. Avec l'ajout d'un ou deux tuners, cette même opération devient possible avec une impédance de charge (et éventuellement de source) de notre choix.

Ce papier présente un banc de mesures temporelles dédié aux transistors de fortes puissances. Des mesures de cycles de charges dynamiques sont proposées pour comparer les réponses du transistor sous différentes impédances de charges, ainsi que pour évaluer ses performances maximales.

II. Présentation du banc de mesures

Ce banc de mesures est construit autour du LSNA. Ce système permet d'acquérir les informations absolues d'amplitude et de phase pour une fréquence fondamentale ainsi que pour le nombre d'harmoniques spécifié lors du calibrage [1] dans la bande du système. Pour la mesure de ces informations, une des principales caractéristiques de notre banc (figure 1) consiste dans le fait que les coupleurs traditionnels sont remplacés par des coupleurs localisés, appelés sondes de puissance, positionnées à proximité du chemin de puissance Radio Fréquences (RF) mais sans contact [2]. Ces sondes sont placées entre le DST et le tuner, ce qui minimise les pertes entre ces deux éléments.

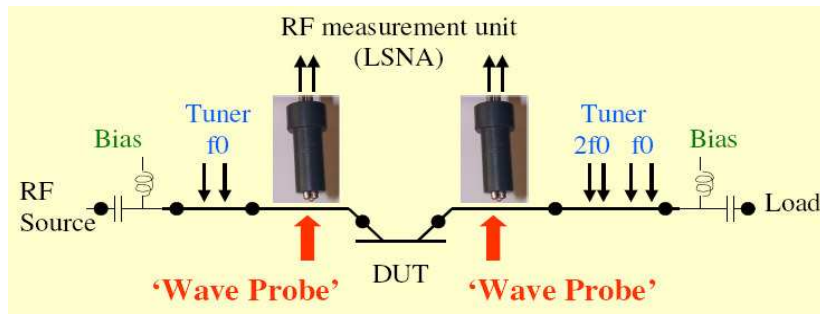


Figure 1 : Schéma du banc de mesure autour du LSNA et des sondes de puissance

III. Principe et avantages du couplage localisé

Le principe du couplage localisé consiste à placer au-dessus d'une ligne RF principale une sonde qui permet de donner une image de la puissance dans les deux directions. Les photographies de la figure 2 montrent cette sonde et comment cette solution est intégrée au banc de mesures.



Figure 2 : Photographies d'une sonde de puissance et intégration de 2 sondes au banc de mesures

Cette sonde a été réalisée à partir d'un câble RF. La masse et le diélectrique sont enlevés sur une petite partie de ce câble qui est replié pour former une boucle. Cette boucle se comporte à la fois comme une sonde de champ électrique et une sonde de champ magnétique. Les ondes incidentes et réfléchies vont exciter la sonde électrique avec des signes identiques tandis que la sonde magnétique sera excitée par des signes opposés lorsque le sens de l'onde change. La contribution totale détectée dans la boucle est ainsi sensible à la direction des ondes. Une des sorties de la boucle sera une image de l'onde incidente et l'autre celle de l'onde réfléchie. On peut vérifier si cette sonde est un bon coupleur par deux figures de mérite principales : le facteur de couplage et la directivité.

Le facteur de couplage d'un coupleur est généralement le plus plat possible sur une large bande. Dans le cas de notre coupleur localisé, ce facteur est réglable par la distance entre la ligne RF principale et la sonde. La figure 3 donne un exemple de mesure de facteur de couplage pour la sonde de puissance dans la bande de fréquences 0.5GHz – 20GHz, et pour une position donnée au-dessus de la ligne RF principale.

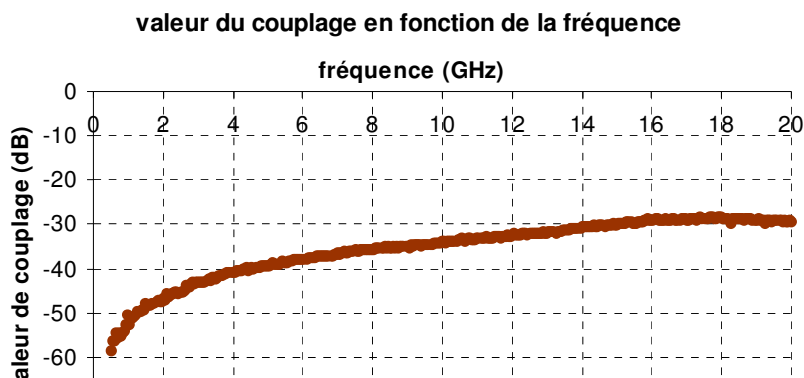
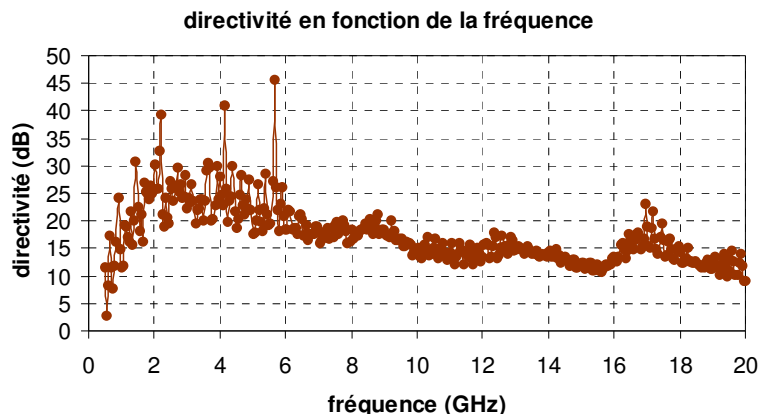


Figure 3 : Exemple de la valeur du facteur de couplage pour une position de la sonde de puissance au-dessus de la ligne principale.

Comme la courbe ci-dessus le montre, le facteur de couplage avec la technique localisée présente une propriété intéressante : il augmente de manière significative avec la fréquence, de l'ordre de 20dB entre 1GHz et 20GHz, ce qui permettra d'augmenter la dynamiques sur les mesures aux fréquences harmoniques. Par ailleurs, il a ici une valeur relativement faible, entre -50dB et -40dB entre 1GHz et 5GHz, correspondant à une distance entre la ligne et la boucle d'environ 4mm, ce qui est approprié pour des mesures de forte puissance.

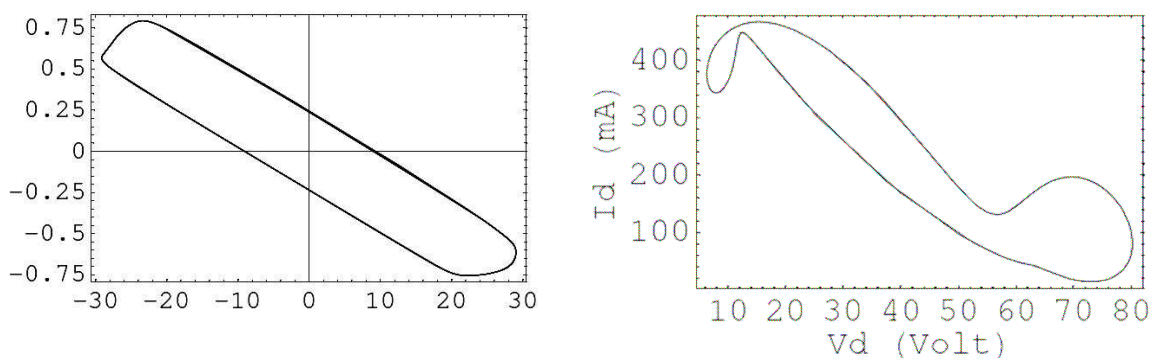
La deuxième figure de mérite est la directivité. Notre sonde, placée dans l'environnement de la ligne RF fendue, possède une directivité intrinsèque supérieure à 12dB de 1 à 19 GHz (figure 4). Cela correspond globalement à de légèrement moins bonnes performances que des coupleurs « classiques » distribués. Les algorithmes de calibrage du LSNA qui sont utilisés (dérivés des algorithmes SOLT ou LRRM des analyseurs de réseaux vectoriels) permettent d'augmenter nettement la directivité en mesure corrigée, approximativement 40 dB.



IV. Mesures de formes d'ondes temporelles sur des transistors GaN

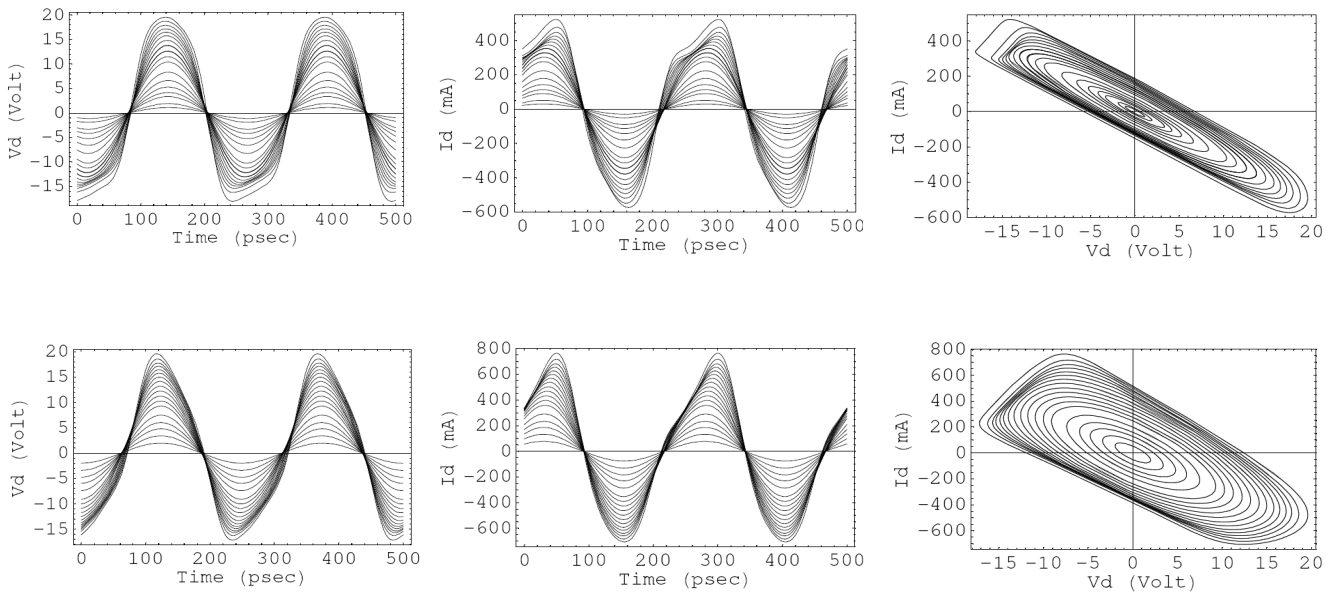
Les formes d'ondes temporelles contiennent l'information de la puissance de sortie, tout en contrôlant si le cycle de charge ne « passe » pas dans des zones limites telles l'avalanche et le coude. La figure 5 montre un cycle de charge (uniquement les composantes RF centrées autour du point de polarisation) d'un AlGaIn/GaN HEMT Tiger (16x75x0.25 μm^2) avec une fréquence fondamentale de 4GHz CW et quatre fréquences harmoniques prises en compte. La puissance de sortie est de 12.4W soit plus de 10W/mm. L'impédance de sortie est $(36+j12)\Omega$.

Dans un deuxième temps, en régime de saturation, on peut explorer les limites d'utilisation du composant en cherchant les zones limites du cycle de charge [3]. La figure 6 donne un exemple d'un AlGaIn/GaN HEMT Tiger (4x75x0.25 μm^2) avec les mêmes fréquences que précédemment. La puissance de sortie est de 3.4W soit 11.5W/mm. A cette densité de puissance, les zones de coude et d'avalanche apparaissent.



Troisièmement, il est possible de comparer les formes d'ondes temporelles pour différentes impédances de charge. Il devient intéressant de regarder les tensions et courants en fonction du temps en plus de l'ouverture de cycle de charge. Il est ainsi possible de faire le lien avec les modèles créés sous différents simulateurs qui peuvent fournir directement ces

informations. La figure 7 donne sur un AlGaIn/GaN HEMT Tiger ($12 \times 75 \times 0.25 \mu\text{m}^2$ et mêmes fréquences) pour deux impédances de charge les courbes temporelles de sortie : $Z1=(35+j12)\Omega$ (fig. 4a) et $Z2=(19+j18)\Omega$ (fig. 4b).



V. Conclusion

La mesure des formes d'ondes temporelles permet d'accéder à des informations fonctionnelles sur les transistors de puissance en GaN. Pour ce faire, dans le contexte d'un environnement load-pull, une méthode de couplage novatrice et bien adaptée a été intégrée au banc de mesure, permettant de faibles pertes entre le tuner et le DUT.

Ce banc de mesures autour du LSNA fournit l'excursion des cycles de charge extrinsèques, permettant de vérifier la zone de fonctionnement réelle du composant. Le comportement du transistor sous différentes impédances de charge est une vérification exigeante des modèles.

Remerciements

Les auteurs de ce papier désirent remercier la DGA pour son soutien financier.

- [1] J. Verspecht, P. Debie, A. Barel and L. Martens, « *Accurate on wafer measurement of phase and amplitude of the spectral components of incident and scattered voltage waves at the signal ports of a nonlinear microwave device* », IEEE MTT-S IMS Digest, Vol 3, pp 1029-1032, juin 1995.
- [2] F. De Groote et al., « *An improved coupling method for time domain load-pull measurements* », 65ème ARFTG Conf Digest, juin 2005.
- [3] M. El Yaagoubi et al., « *Mesure des lieux de claquage de transistors HBT par des mesures des tensions/courants temporels à l'aide d'un système LSNA* », 14^{ème} JNM, mai 2005.