Méthode de caractérisation des transistors de puissance GaN pour la conception des convertisseurs statiques hautes fréquences

Pace Loris[1,2], Defrance Nicolas[1], Videt Arnaud[2], Idir Nadir[2], De Jaeger Jean-Claude[1]

[1] Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologies (IEMN)
[2] Laboratoire d'Electrotechnique et Electronique de Puissance de Lille (L2EP)
Contact : loris.pace@ed.univ-lille1.fr

Résumé :

Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre de la collaboration entre l'IEMN et le L2EP sur la thématique de la montée en fréquence des convertisseurs statiques pour l'intégration de puissance. Les transistors de puissance à base de Nitrure de Gallium (GaN) offrent la possibilité de commuter de fortes puissances (au-delà d'1 kW) à hautes fréquences (au-delà d'1 MHz), permettant ainsi de réduire le volume des composants passifs des convertisseurs d'énergie. La conception des convertisseurs hautes fréquences par simulation nécessite de disposer de modèles de composants de puissance précis et valides sur une large plage de fréquence. Les techniques classiques de caractérisation et modélisation utilisées en électronique de puissance sont limitées en bande de fréquence et ne permettent pas de modéliser de façon précise tous les effets intrinsèques aux composants en hautes fréquences. L'objectif de ce travail est d'adapter les techniques utilisées dans le domaine de la caractérisation hyperfréquences pour la modélisation d'un transistor de puissance GaN. Dans le cadre de cette étude, le transistor GS66502B 650V/7.5A de type GaN HEMT sera utilisé pour la mise en place de notre méthode. La plage de fréquence visée pour la modélisation est 1 MHz – 1 GHz.

Les transistors de puissance sont des composants encapsulés ne permettant ni la caractérisation sous pointes coplanaires, ni la caractérisation directe par systèmes coaxiaux. Un dispositif d'adaptation a alors été conçu pour permettre la mesure des paramètres S sur le transistor GS66502B. Le circuit consiste classiquement en l'association des électrodes de grille et de drain à des structures coplanaires avec plan de masse inférieur. Les premières confrontations modèles/mesures ayant souligné la présence d'une impédance non maîtrisée au niveau de la connexion de source, un second dispositif original, présenté figure 1, a été réalisé. Chacune des électrodes est alors associée à une ligne d'accès coplanaire d'impédance caractéristique 50 ohms. Des standards de calibration de type THRU et OPEN sont également réalisés de sorte à obtenir un modèle précis de ces accès et permettre un de-embedding de leurs effets jusqu'à 1 GHz. Des mesures Cold-FET ont ensuite été conduites. La première mesure, réalisée au pincement ($V_{GS} = 0V, V_{DS} = 0V$), a permis de déterminer les capacités d'entrée C_{iss}, de sortie C_{oss} et Miller C_{rss} du transistor pour ce point de fonctionnement et de juger de la validité de la mesure de paramètres S en se référant aux valeurs de capacités spécifiées par le constructeur du composant. Une seconde mesure effectuée à canal ouvert ($V_{GS} = 6V, V_{DS} = 0V$) offre la possibilité, après calibration, de se ramener dans le plan du transistor et d'extraire les éléments d'accès, démontrant ainsi la validité de cette technique de caractérisation.

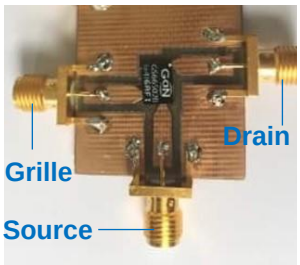

Figure 1 : Dispositif d'adaptation pour la mesure de paramètres S sur le transistor de puissance

Afin de caractériser le composant sur l'ensemble de sa plage de fonctionnement, un banc expérimental permettant des mesures jusqu'à 20V et 20A en régime pulsé ainsi qu'un banc permettant des mesures au pincement (jusqu'à 10 kV) sont disponibles. Un té de polarisation permettant une caractérisation du transistor jusqu'à des tensions de 400V et des courants de 20A (pulsé) sur la bande de fréquence 1 MHz – 1 GHz a également été conçu. Dans la version finale, nous présenterons l'extraction de l'ensemble des éléments nécessaire à la modélisation du composant. L'objectif final est de concevoir un convertisseur statique commutant à hautes fréquences et d'en prédire le fonctionnement à l'aide des modèles développés.

Références :

[1] K. Li, "Wide Bandgap (SiC/GaN) Power Devices Characterization and Modeling: Application to HF Power Converters," Université de Lille 1, Lille, 2014.

[2] A. Cutivet, "Caractérisation et modélisation de dispositifs GaN pour la conception de circuits de puissance hyperfréquence," Universités de Lille 1 et de Sherbrooke, Lille et Sherbrooke, 2015.

[3] G. Dambrine, A. Cappy, F. Heliodore, and E. Playez, "A new method for determining the FET small-signal equivalent circuit," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 36, no. 7, pp. 1151–1159, 1988.