



HAL
open science

Conception d'un modulateur de puissance large-bande à deux étages en technologie GaN

Abhijeet Dasgupta, Anthony Disserand, Tibault Reveyrand, Pierre Medrel,
Philippe Bouysse, Jean-Michel Nebus

► **To cite this version:**

Abhijeet Dasgupta, Anthony Disserand, Tibault Reveyrand, Pierre Medrel, Philippe Bouysse, et al..
Conception d'un modulateur de puissance large-bande à deux étages en technologie GaN. XXèmes
Journées Nationales Microondes, May 2017, Saint-Malo, France. hal-01525476

HAL Id: hal-01525476

<https://hal.science/hal-01525476>

Submitted on 20 May 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Conception d'un modulateur de puissance large-bande à deux étages en technologie GaN

Abhijeet Dasgupta¹, Anthony Disserand¹, Tibault Reveyrand¹, Pierre Medrel¹, Philippe Bouysse¹ et Jean-Michel Nébus¹

¹XLIM, UMR CNRS-7252, Université de Limoges
abhijeet.dasgupta@unilim.fr

Résumé — Dans cet article, nous présentons un modulateur de puissance large-bande 25 W, sans mélangeur, conçu en technologie GaN haute tension (50 V). L'objectif principal de cette étude est de démontrer l'intérêt à fusionner les fonctions de modulation d'amplitude et d'amplification de puissance afin d'obtenir des performances élevées : un rendement en puissance ajoutée d'environ 40% sur une bande passante de 400 MHz est atteint avec des variations de gain de 10 dB. En utilisant une puissance d'oscillateur local de 19 dBm, une plage de gain en puissance allant de 13 à 24 dB est obtenue selon une commande de polarisation de drain variant entre 15 et 45V.

1. Introduction

Les développements technologiques pour la 4G ont introduit des schémas de modulation de signaux complexes afin de répondre aux capacités de données et de vidéo [1]. L'enveloppe complexe des signaux modulés utilisée est variable dans le temps, ce qui conduit à une différence d'efficacité significative entre les niveaux de puissance moyenne et maximale. Cette différence est définie par le rapport entre le pic de puissance et la puissance moyenne (PAPR) [2]. Cela impose des contraintes fortes sur la conception des amplificateurs de puissance RF notamment sur le compromis antagoniste entre puissance et efficacité énergétique. Par conséquent, l'objectif est de proposer une solution implémentable dans un module d'émission, qui permet d'amplifier efficacement ces signaux à PAPR élevé. Ce travail vise à démontrer l'intérêt de fusionner la modulation d'un signal complexe et la conversion d'énergie dans un même module (contrairement aux émetteurs traditionnellement existants qui cascaded modulateur et amplificateur de puissance). Cet article propose un contrôle de gain variable, à haut rendement dans une conception de modulateur de puissance, large-bande, à deux étages fonctionnant à puissance d'entrée constante. Ce modulateur convertit le signal bande-de-base numérique en un signal RF analogique modulé de forte puissance à 2,2 GHz.

2. Conception du circuit RF

2.a. Architecture du modulateur de puissance

La figure 1 présente la structure du modulateur de puissance. Notons la polarisation commune des tensions de

drain sur les deux étages à 4 niveaux (15, 25, 35 et 45 volts). Le système global fournit ainsi 4 niveaux de puissances de sortie (P_1 à P_4) en concordance avec les niveaux de polarisation de drain. La conception comprend des tran-

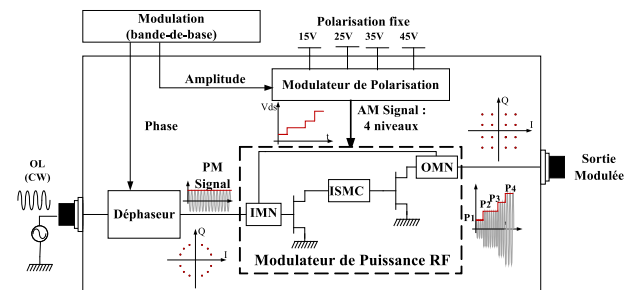


Figure 1. Approche de conception proposée pour le modulateur de puissance à deux étages.

sistors 6 et 25W GaN de la fonderie Wolfspeed. Les simulations d'équilibrage harmonique ont été réalisées avec les modèles non-linéaires du fondeur sous Keysight ADS. Une puissance d'entrée constante de 19 dBm (vue comme un oscillateur local) est appliquée en entrée du modulateur. Le premier étage génère alors une puissance de sortie

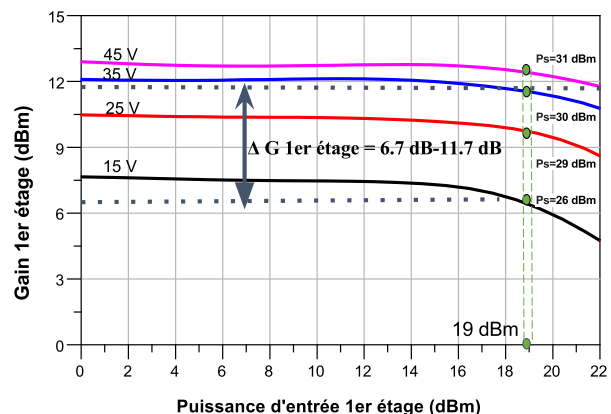


Figure 2. Simulation du gain du premier étage du modulateur RF.

entre 26 et 31 dBm selon la polarisation de drain (entre 15 et 45V). Cette variation de puissance est appliquée à l'étage de sortie grâce à un circuit inter-étage dont l'impé-

dance d'entrée est optimisée en transfert de puissance. Les puissances en sortie du second étage varient entre 33 dBm ($V_{ds0} = 15\text{ V}$) et 44 dBm ($V_{ds0} = 45\text{ V}$). Le gain total varie entre 14 dB et 25 dB. Les variations de gain saturé de 11 dB sont réparties de la manière suivante 5 dB de variation pour le premier étage, 6 dB de variation pour le second étage. Les gains obtenus en simulation sont présentés respectivement pour le premier et le deuxième étage en figure 2 et 3.

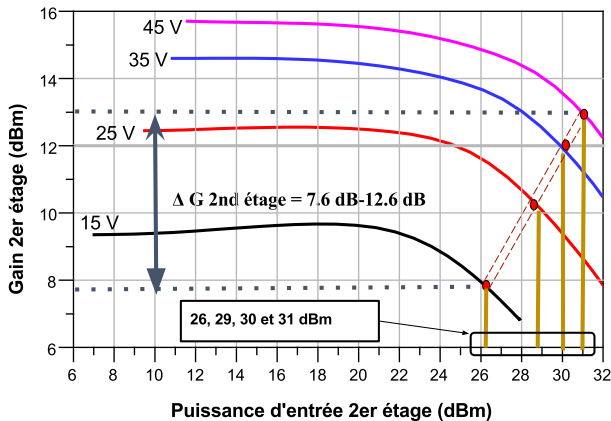


Figure 3. Simulation du gain du deuxième étage du modulateur RF.

2.b. Réalisation du circuit

Les conditions de charge des transistors, notamment à $2.f_0$ ont été optimisées sur les performances en rendement (PAE). L'impédance de charge vue par le premier étage est une adaptation en puissance (complexe conjugué) de l'inter-étage du circuit, cascadié à l'impédance d'entrée du second étage. Les polarisations de grille pour les deux étages sont proche du pincement (-2.8 V). Les deux étages

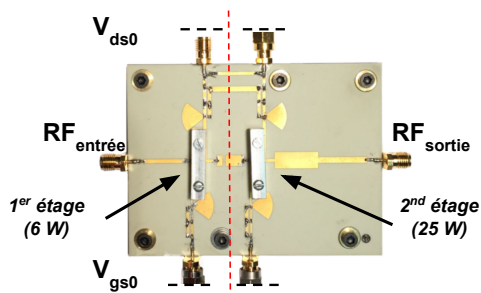


Figure 4. Démonstrateur du modulateur de puissance GaN à deux étages (9 cm x 7 cm).

ont une polarisation de drain commune (V_{ds0}). Quatre états discrets de V_{ds0} sont alors considérés. Ils correspondent aux niveaux de puissance de sortie désirés ainsi qu'aux optimums de PAE des transistors. Les analyses de stabilité linéaire ont été effectuées. Afin de valider notre approche, un démonstrateur, présenté figure 4, réalisé sur un substrat Roger 4350 ($\epsilon_r = 3.48$ et $h = 0.508\text{ mm}$) a été mesuré.

3. Résultats du circuit RF

Le module, composé des transistors GaN Wolfspeed CGHV1F006S (entrée) et CGHV1F025S (sortie), a été caractérisé (illustration figure 5) pour les quatre niveaux de polarisation de drain attendus avec une puissance d'entrée constante de 19 dBm et une fréquence fondamentale de 2.2 GHz.

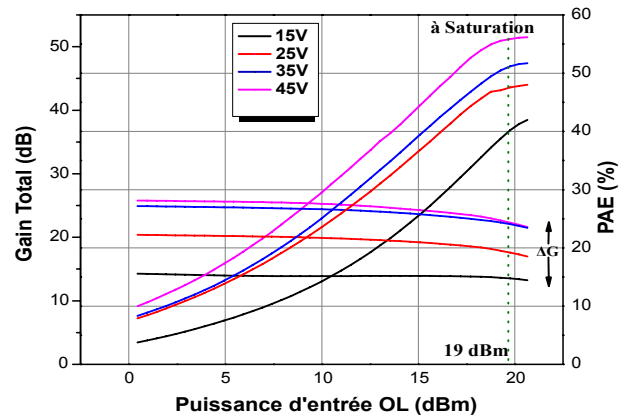


Figure 5. Gain du modulateur de puissance et ses performances en rendement mesurées à 2.2 GHz.

Une variation de gain ΔG de 11 dB (la puissance de sortie varie entre 33 dBm et 44 dBm) est validée expérimentalement et confirme les simulations précédentes.

La figure 5 illustre également les performances statistiques mesurées en PAE du modulateur.

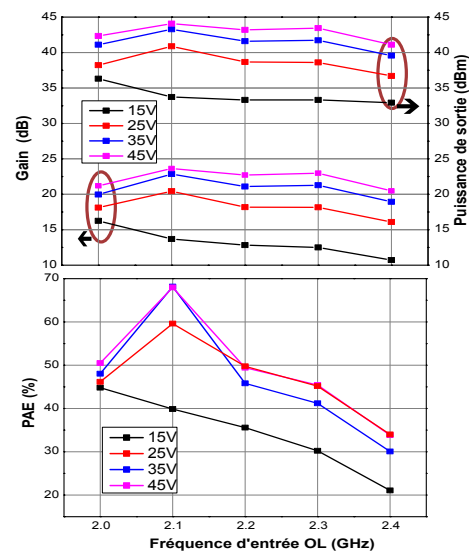


Figure 6. Performances du modulateur de puissance en fonction de la fréquence.

La figure 6 présente les performances du modulateur dans la bande de fréquence 2-2.4 GHz afin d'illustrer les potentialités large-bande d'un tel système.

Nous présentons, figure 7, les performances complètes du modulateur (Gain, PAE et AM-PM) en fonction des états de polarisation V_{ds0} . Notons que la variation de phase

est quasi-linéaire, simplifiant à l'avenir de possibles méthodes de compensation de phase.

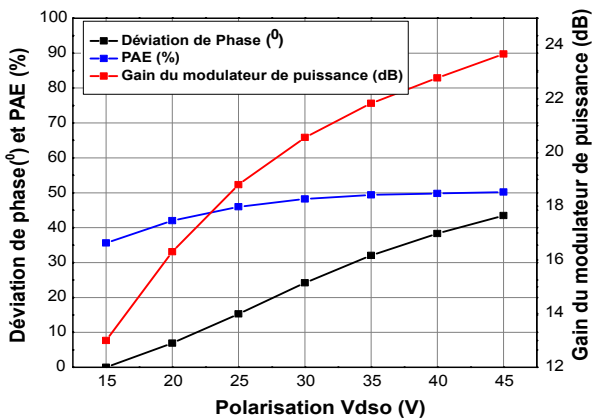


Figure 7. Caractéristiques à 2.2 GHz du modulateur de puissance.

Ainsi, le modulateur de puissance présente non seulement des performances large-bande comme illustrées en figure 6 mais également une dynamique de puissance étendue. La variation de 11 dB permet de conserver les performances optimales en terme d'efficacité énergétique (PAE) et assure au modulateur une configuration judicieuse en présences de signaux modulés à fort PAPR.

4. Caractérisation dynamique du modulateur

Le circuit présenté dans le cadre de cette communication, peut être vu comme un amplificateur à gain variable [3] et doit être associé à un modulateur de polarisation [4] afin de permettre des mesures dynamiques du sous-système qu'est ce modulateur RF sans mélangeur.

4.a. Modulateur de polarisation multi-niveaux

Le modulateur de polarisation utilisé fait intervenir une cellule de commutation présentée dans [5] et utilisée dans une application d'enveloppe tracking continu détaillée dans [6]. Ce modulateur de polarisation, illustré figure 8, comprend deux cellules de commutation actives afin de générer une modulation 16-QAM. Les cellules, qui utilisent des transistors de puissance normally-on, sont pilotées par un signal de commande rectangulaire.

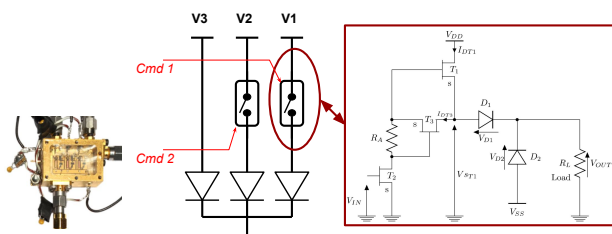


Figure 8. Modulateur de polarisation utilisé pour les mesures dynamiques du modulateur de puissance RF.

Ce modulateur de polarisation, testé individuellement, présente un rendement supérieur à 70% pour des tensions

comprises entre 10 à 40 V et des fréquences de commutation pouvant atteindre 100 Msymbole/seconde [5].

Une caractérisation dynamique du modulateur en présence d'une modulation 16-QAM est possible en connectant ce modulateur de polarisation au modulateur RF présenté précédemment.

4.b. Mesures dynamiques

La caractérisation dynamique se fait à partir de l'enveloppe complexe 16-QAM non filtrée. Le module de cette enveloppe complexe correspond alors à 3 niveaux de tension distincts qu'un générateur de fonction arbitraire (AWG) appliquera aux entrées de commande du modulateur de polarisation. De façon totalement synchrone, une modulation de phase est appliquée sur le signal RF pilotant l'entrée OL du modulateur RF. Cette modulation de phase est générée par un générateur de signaux vectoriel (VSG) synchronisé avec l'AWG. Notons qu'une pré-distorsion linéarisant les caractéristiques du modulateur (illustrées figure 7) est appliquée aussi bien sur le module (signaux BF par l'AWG) que sur la modulation de phase RF (RF modulée par le VSG). Le signal RF modulé en amplitude et phase présent en sortie du modulateur, est mesuré par un analyseur de signal vectoriel (VSA). Un exemple de constellation de sortie est présenté figure 9.

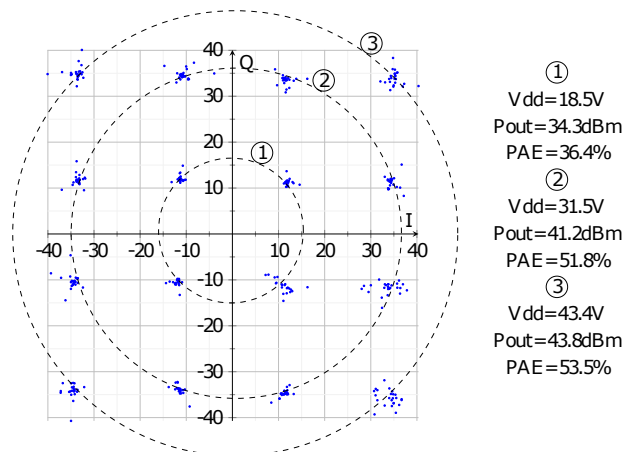


Figure 9. Constellation 16-QAM mesurée avec un débit de 40 Msymboles/sec pour une puissance d'OL de 19 dBm. Une correction d'amplitude et de phase appliquée en entrée permet d'obtenir un EVM de 3.2% avec un rendement global moyen de 38.1% [7].

Afin d'identifier les consommations énergétiques de façon indépendante mais simultanée du modulateur RF et du modulateur de polarisation, des sondes de tension et de courant sont placées entre les deux modulateurs. Les signaux sont enregistrés de façon synchrone sur un oscilloscope.

Finalement, les mesures d'erreur vectorielles de constellation (EVM) sont effectuées à l'aide du VSA. Les résultats d'EVM et de PAE sont présentés figure 10.

L'efficacité énergétique du modulateur de puissance RF est supérieure à 40% jusqu'à un débit symbole de 60 Msym/s. L'efficacité énergétique totale doit prendre en

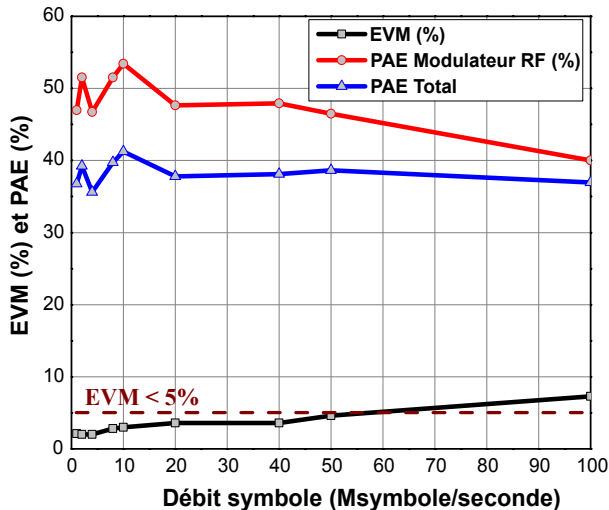


Figure 10. EVM du système global et PAE du circuit RF à deux étages (rouge) et du système total (bleu) en fonction du débit symbole. Cette mesure est réalisée pour une puissance d'oscillateur local de 19 dBm et une fréquence de 2.2 GHz [7].

compte l'efficacité du modulateur de polarisation qui est estimée à environ 80%. L'ensemble de ce sous-système présente un rendement global de l'ordre de 40%.

5. Conclusion

La conception d'un modulateur de puissance large-bande à deux étages sans mélangeur a été présentée et validée. Cette conception illustre la génération d'un signal RF modulé de forte puissance par la commande de polarisation d'un dispositif à gain variable de façon similaire aux techniques de suppression et de reconstruction d'enveloppes (EER : Envelope Elimination and Restoration). L'originalité du travail repose sur une topologie à deux étages dont les modulations de polarisation de drain sont communes. Ce type de circuit peut être associé à un déphaseur analogique dans le cadre d'applications d'antennes actives reconfigurables à forte efficacité énergétique. Il a également été implémenté conjointement à des cellules GaN à commutation à grande vitesse afin de générer des ondes de puissance RF modulées à fort rapport PAPR en conservant un haut rendement. Notons que ce travail a nécessité la conception d'un banc de mesure dédié, permettant la mesure de modulations RF et basse-fréquence afin de valider le démonstrateur présenté.

Références

- [1] Z. Wang, *Envelope Tracking Power Amplifiers for Wireless Communications*. Artech House, 2014.
- [2] R. Pengelly and C. Harris, "A Review of Applications for High Power GaN HEMT Transistors and MMICs," in *ARMMS & Microwave Society*, April 2013.
- [3] A. Dasgupta, A. Delias, P. Medrel, P. Bouysse, and J.-M. Nébus, "A New Design Approach of High Efficiency S-band 25 W Mixerless Power Modulator based on High Voltage 50V GaN-HEMT Technology," in *Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC)*, December 2016.
- [4] P. Augeau, P. Bouysse, A. Martin, J. M. Nebus, R. Quéré, L. Lapierre, O. Jardel, and S. Piotrowicz, "A new GaN-based high-speed and high-power switching circuit for envelope-tracking modulators," *International journal of microwave and wireless technologies*, vol. 6, no. 01, pp. 13–21, February 2014.
- [5] A. Disserand, P. Bouysse, A. Martin, R. Quéré, O. Jardel, and L. Lapierre, "A new high speed and high efficiency GaN HEMT switching cell for envelope tracking modulators," in *46th European Microwave Conference (EuMC)*, October 2016, pp. 281–284.
- [6] A. Disserand, P. Bouysse, A. Martin, R. Quéré, and L. Lapierre, "Convertisseur de puissance haute fréquence en technologie GaN : Application à l'enveloppe tracking continu," in *20èmes Journées Nationales Microondes (JNM)*, May 2017.
- [7] A. Dasgupta, A. Disserand, J.-M. Nébus, A. Martin, P. Bouysse, P. Medrel, and R. Quéré, "High Speed and Highly Efficient S-Band 20 W Mixerless Vector Power Modulator," in *IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*, June 2017.