

Simulations d'un amplificateur GaN avec polarisation de drain variable pour la recherche de conditions de fonctionnement linéaire et à haut rendement

T. Elmazova¹, G. Callet², T. Reveyrand¹, G. Neveux¹, D. Barataud¹, J-M. Nebus¹, S. Piotrowicz²

¹XLIM CNRS UMR 6172, 123 Av. Albert Thomas 87000 Limoges

²ALCATEL-THALES 3-5Lab, Route de Nozay 91460 Marcoussis

turkan.elmazova@xlim.fr

Résumé

Cette étude est effectuée en bande L à 1.8 GHz en utilisant des cellules d'un modèle non linéaire de transistor GaN. Des simulations d'un amplificateur en mode CW sont effectuées par la technique d'équilibrage harmonique pour plusieurs tensions de polarisation de drain afin de déterminer le profil de la loi de commande de polarisation visant un fonctionnement linéaire et à haut rendement. L'amplification à commande de polarisation est ensuite simulée par la technique du transitoire d'enveloppe en associant l'amplificateur RF à un circuit de commande de polarisation de drain. Des prédictions d'améliorations de performances en rendement de l'ordre de 8 points sont obtenues comparativement à un fonctionnement à polarisation de drain fixe de 40V pour un amplificateur de 35W.

Mots clés : Amplification de puissance GaN, Envelope Tracking (ET).

1. Introduction

Ce papier présente une étude basée sur des simulations circuits de l'amplification de puissance GaN linéaire et à haut rendement en appliquant le principe de commande de polarisation de drain. Afin de pouvoir mettre en évidence les prédictions de performances de l'amplification en appliquant le principe dit «d'Envelope Tracking» [1], [2], [3], des simulations circuits sont présentées en couplant le circuit modulateur de polarisation de type «Buck Converter» [4], [5], [6] et l'amplificateur de puissance RF.

Dans un premier temps, il est montré la recherche du profil de la loi de commande de drain.

Dans un second temps, la simulation du fonctionnement du modulateur de polarisation est décrite.

En dernier lieu, il est montré des résultats de simulations effectués par la technique du transitoire d'enveloppe et obtenus lorsque les deux blocs modulateur et amplificateur RF sont couplés.

2. Recherche du profil de la loi de commande de polarisation de drain de l'amplificateur RF

Le schéma de l'amplificateur simulé est représenté figure 1.

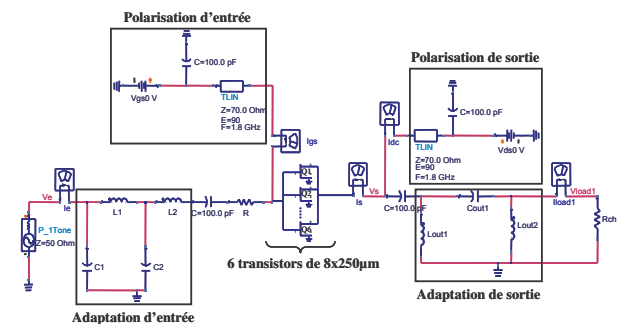


Figure 1. Schéma de l'amplificateur simulé (PA RF)

Il est composé de 6 cellules de 8x250µm (modèle non linéaire de transistor GaN d'Alcatel Thalès III-V Lab, extrait à partir de mesures I/V et [S]) combinées idéalement en parallèle et de réseaux d'adaptation représentés en éléments localisés. Le modèle non-linéaire de la cellule élémentaire (8x250µm) a été validé par des mesures fort signal (figures 2 et 3).

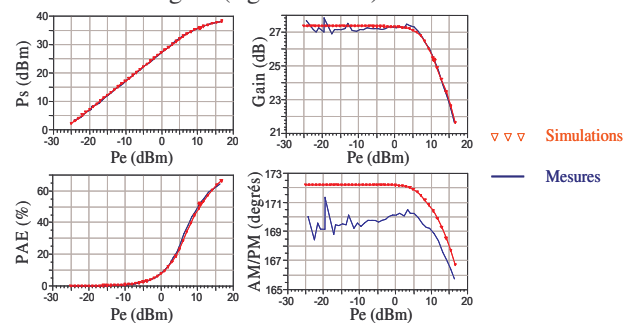


Figure 2. Caractéristiques fort signal du transistor @ Vds0=40V

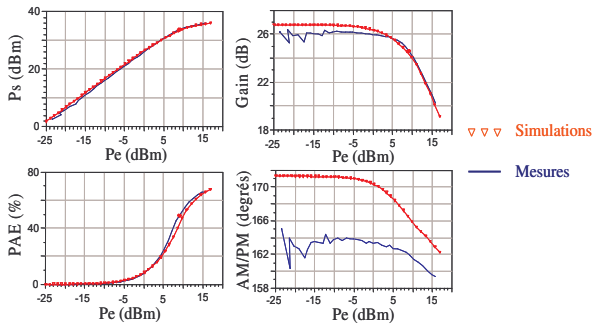


Figure 3. Caractéristiques fort signal du transistor @ $V_{ds0}=28V$

Des courbes de gain et de rendement de l'amplificateur simulées en CW à la fréquence centrale de 1.8 GHz pour plusieurs tensions de polarisation de drain sont données figures 4 et 5.

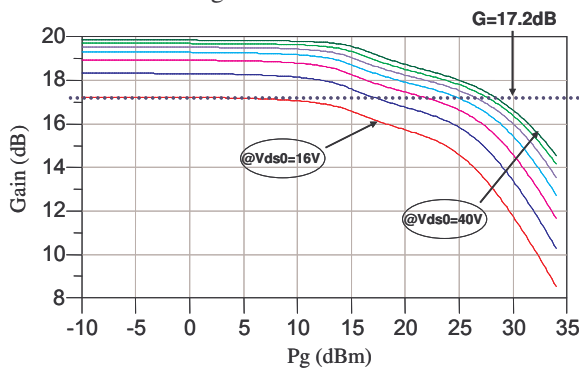


Figure 4. Courbes de gain en puissance de l'amplificateur simulées pour $16V \leq V_{ds0} \leq 40V$ par pas de 4V

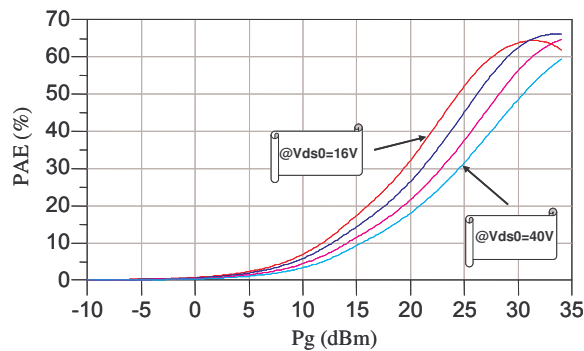


Figure 5. Courbes de rendement en puissance ajouté de l'amplificateur simulées pour $16V \leq V_{ds0} \leq 40V$ par pas de 8V

La tension de polarisation de grille est ajustée pour obtenir un gain plat à bas niveau pour la polarisation de drain de 16V.

La recherche de la loi de commande de polarisation de drain qui vise à avoir un gain constant de l'ordre de 17 dB est illustrée figure 4 par la droite en trait pointillé. Le profil de cette loi de commande de V_{ds0} en fonction de la puissance disponible du générateur est tracé figure 6. Cette courbe est obtenue de manière quasi-statique à partir des points d'intersection entre les courbes de gain paramétrées en V_{ds0} et la droite horizontale de gain constant égal à 17.2 dB.

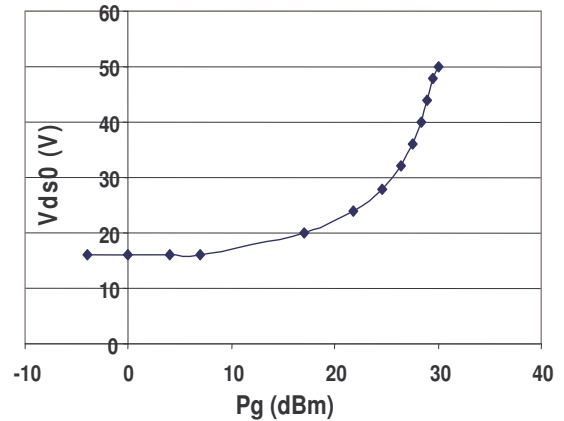


Figure 6. Loi de commande $V_{ds0}=F^{tion}(P_{générateur})$

Le tableau 1 indique les valeurs du rapport $R_{ds0}=V_{ds0}/I_{ds0}$ qui représente les variations de charge statique que verra le modulateur de polarisation.

Rds0 (Ω)	36	24	19.5	20	20.4
Pg (dBm)	7	21.8	26.4	29	30

Tableau 1. Variation de R_{ds0} en fonction de la puissance disponible du générateur

Les cycles de charge correspondant à chaque cellule élémentaire sont représentés figure 7.

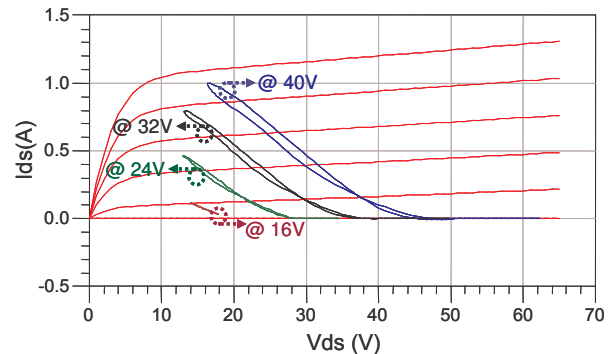


Figure 7. Cycles de charge correspondants au fonctionnement de chaque cellule avec la loi de commande de polarisation

3. Principe et simulation du modulateur de polarisation

L'architecture du modulateur générant la polarisation variable de drain est illustrée figure 8.

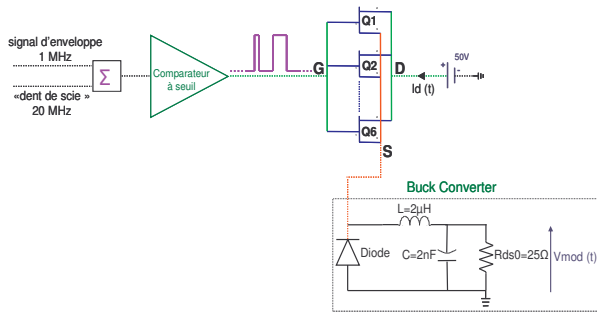


Figure 8. Schéma du modulateur de polarisation

Une modulation PWM (Pulse Width Modulation) effectuée par des blocs fonctionnels idéaux est connectée à un montage de type DC/DC Buck Converter simulé avec le modèle circuit non linéaire des cellules GaN. La fréquence d'enveloppe est fixée à 1 MHz et la fréquence de découpage est de 20 MHz. Le signal d'impulsions appliqué à la grille des transistors a un rapport cyclique variant de 30% à 80%. Le filtre de reconstruction est une simple cellule passe bas du premier ordre fermée sur une impédance de 25 Ohms (valeur moyenne du tableau 1). Les résultats de la simulation temporelle correspondant à quelques périodes d'enveloppe du signal modulant sont donnés figures 9 et 10.

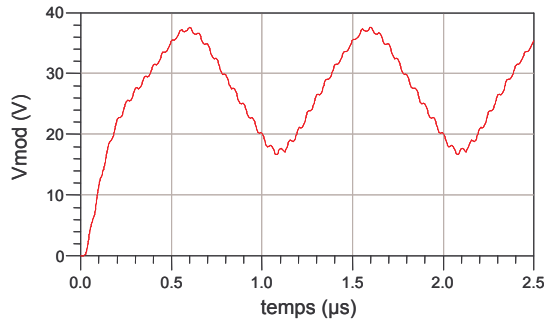


Figure 9. Tension de sortie Vmod du modulateur

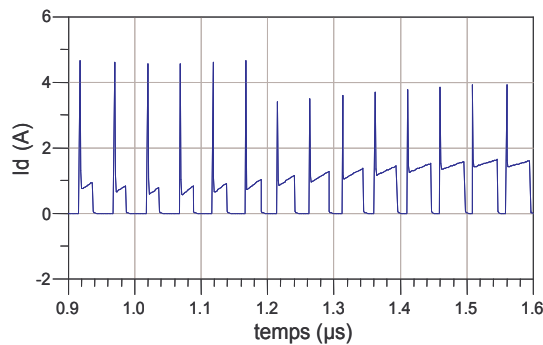


Figure 10. Courant d'alimentation Id du modulateur

4. Simulation du couplage du modulateur de polarisation et de l'amplificateur RF

Le synoptique global de simulation est représenté figure 11. La simulation est effectuée avec la technique du transitoire d'enveloppe pour un fonctionnement de polarisation de drain dynamique représenté pour l'instant par des variations en dent de scie.

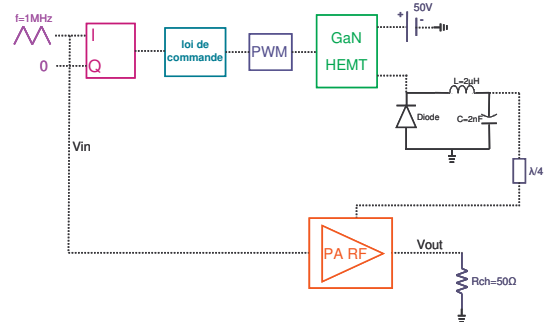


Figure 11. Circuit global de simulation

La figure 12 représente le rendement global simulé. On peut observer une amélioration du rendement de l'ordre de 8 points comparativement à un fonctionnement à polarisation de drain fixe.

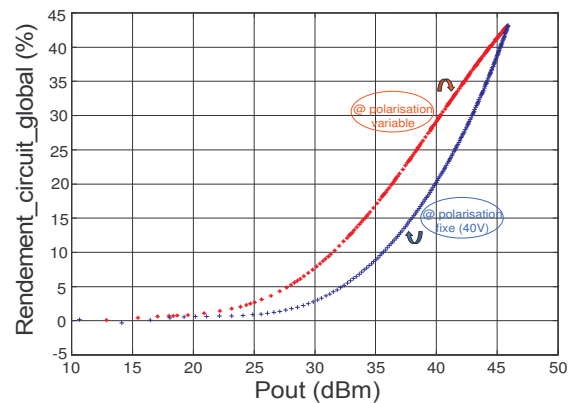


Figure 12. Courbes comparatives du rendement à polarisations variable et fixe.

Le rendement du modulateur seul est de l'ordre de 90%

La caractéristique de transfert d'enveloppe totale entre l'accès de modulation (I/Q) et la sortie 50 Ohms de l'amplificateur RF est montrée figure 13. La caractéristique dynamique AM/AM demeure bien linéaire. Néanmoins il apparaît une conversion de phase AM/PM significative de l'ordre de 20 degrés.

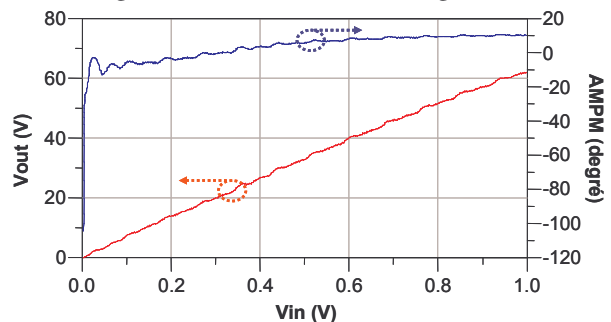


Figure 13. «Fonction de transfert» d'enveloppe de l'amplificateur ET

5. Conclusion

Cette étude a montré des résultats de simulations des performances en rendement d'un amplificateur GaN à commande de polarisation de drain à la vitesse de 1 MHz.

Une analyse complémentaire est en cours pour traiter l'impact de l'accroissement de la bande de modulation sur les performances en rendement.

Des mesures sont également nécessaires pour valider les tendances de simulations décrites dans ce papier.

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Agence Nationale de la Recherche portant la référence ANR-08-vers-001. XLIM et les auteurs remercient l'ANR et les partenaires du consortium Attitude 4G+ (UMS, Alcatel Lucent, RFP, Alcatel III-V Lab, Systrel, Xlim) qui ont contribué à la réalisation de ces travaux.

6. Bibliographie

- [1] Timo Aitto-oja, "High Efficiency Envelope Tracking Supply Voltage Modulator for High Power Base Station Amplifier Applications", Nokia Siemens Networks, Oulu, Finland, May 2010.
- [2] J. Jeong, D. F. Kimball, M. Kwak, P. Draxler, C. Hsia, C. Steinbeiser, T. Landon, O. Krutko, L. E. Larson, and P. M. Asbeck, "High-efficiency WCDMA envelope tracking basestation amplifier implemented with GaAs HVHBTs", IEEE journal of solid-state circuits, vol. 44, no. 10, 2629-2639, October 2009.
- [3] L. Bacque, G. Nanfack-Nkondem, P. Bouysse, G. Neveux, J.M.Nebus, W.Reberneck, L. Lapiere, D. Barataud, R. Quere, "Implementation of dynamic bias and digital predistorsion to enhance efficiency and linearity in a 100W RF amplifier with OFDM signal" International Journal of microwave and wireless technologies, Vol 1 issue 4, n° 2009, Août, pp 261-268.
- [4] Guy Séguier, "Electronique de puissance, 7th edition, Dunod", Paris 1999.
- [5] J. Geng, C. Zhang, C. Luo, Research of a PWM based new sliding mode controller for the buck converter Industrial Electronics and applications ICEA 2007 2nd IEEE conference -May 2007 pp 1907 1911.
- [6] Y. Xiong, X. Cheng, D. Okada, Z. Shen, "Comparative study of lateral and trench power mosfets in multi Mhz buck converter applications", Power electronics specialists conference, PESC, june 2007, pp 2175-2181.