

Analyse comparative des classes en commutation (F, F⁻¹, E) pour l'amplification de puissance en technologie GaN.

A. Ramadan¹, D. Sardin¹, T. Reveyrand¹, J-M. Nebus¹, P. Bouysse¹, L. Lapiere², J-F. Villemazet³, S. Forestier³

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

²CNES Toulouse, 18 Av. Edouard Belin 31055 Toulouse

³Thales Alenia Space, 26 Av. Jean François Champollion, 31100 Toulouse

Alaaeddine.ramadan@xlim.fr

Résumé

Cette étude est effectuée en bande L à 1.5GHz (pour les applications spatiales) avec un modèle de transistor GaN 10W de la fonderie Eudyna. L'amplificateur optimisé en classe F présente un rendement en puissance ajoutée (PAE) de 72% associé à une puissance de 40.3dBm à 2dB de compression de gain. Pour celui optimisé en classe F⁻¹, on obtient 74.5% de PAE et une puissance de 42.6dBm à 5dB de compression. Lors de l'analyse en classe E, on obtient 75% de PAE et une puissance de 41.1dBm à 3dB de compression de gain. La classe E apparaît alors comme la classe la mieux adaptée pour un compromis optimal en rendement et en puissance.

Mots clés: haut rendement; amplificateur de puissance; classe F; classe F inverse; classe E, mode de commutation.

1. Introduction

Ce papier présente une étude sur les amplificateurs de puissance où la configuration de charge aux harmoniques permet de se rapprocher d'un fonctionnement en mode de commutation (Switch mode power Amplifier).

D'un point de vu idéal, le mode de fonctionnement en commutation consiste en une formation temporelle des tensions/courants aux accès drain favorisant le maintien d'une tension forte à courant nul et vice versa [1].

Les classes de fonctionnement appliquées à des transistors unitaires répondant à ces critères sont les classes F, F⁻¹ et E.

Elles se différencient par des configurations spécifiques d'impédance de charge aux harmoniques (2f₀ et 3f₀ pour les fréquences microondes) [1] [2] [3].

2. Rendement et puissance dans les classes en mode de commutation

2.1. Le transistor utilisé : GaN HEMT 10W.

Le composant utilisé lors de cette étude est un transistor EGN010MK GaN HEMT (10W) issu de la fonderie Eudyna. Des mesures de paramètres [S] ainsi que des caractéristiques I-V ont été effectuées afin d'extraire le modèle non linéaire utilisé lors des

simulations sous le logiciel ADS pour les différentes classes de fonctionnements.

L'étude suivante est effectuée au point de polarisation V_{gs0}=V_p=-1.15V et V_{ds0}=50V. (V_p tension de pincement).

2.2. Principe des amplificateurs en mode de commutation

Dans un amplificateur de puissance en mode de commutation, le transistor est utilisé comme un interrupteur à la fréquence de travail, par conséquent, il doit avoir une haute impédance dans l'état "Off" et une faible impédance dans l'état "On"[3]. L'amélioration du rendement est obtenue en optimisant les formes de tension courant aux bornes de la source du courant, afin de réduire au minimum le temps de coexistence des tensions et des courants. Ainsi il est important d'utiliser un transistor possédant une résistance d'état passant R_{dson} la plus faible possible (faible zone de déchet), et de faibles capacités C_{gs} et C_{ds}.

Les amplificateurs à fortes réactions d'harmoniques (classe E, F, F⁻¹) sont des amplificateurs à haut rendement (idéalement 100%) ; ils présentent une tension aux bornes de la source de courant de forme carrée (F), demi sinusoïde (F⁻¹) ou demi sinusoïde décalée (E).

En réalité, le rendement de l'amplificateur de puissance est limité par la capacité C_{ds}, R_{on}, la résistance d'état passante et la tension de coude V_{knee}. C_{ds} est souvent difficile à absorber dans un réseau d'adaptation multi harmoniques. Un composant avec une forte fréquence de transition f_r comparée à la fréquence de fonctionnement paraît optimal pour utiliser dans des classes de fonctionnement utilisant les harmoniques pour la mise en formes des tensions/courants pour les classes des fonctionnement en mode de commutation.

Ceci indique que les transistors GaN HEMT sont de bons candidats pour les amplificateurs de puissance à fort rendement en mode de commutation (SMPA).

3. Résultats de Simulations

3.1. Simulation à $V_{ds0}=50V$.

Pour la classe F, les impédances optimales sont une basse impédance à la deuxième harmonique et une haute impédance à la troisième. Une fois l'optimisation effectuée, le rendement maximal obtenu est de 72% pour une puissance de sortie de 40.3dBm et une compression de gain de 2 dB.

Pour la classe F^{-1} , il faut une haute impédance à la deuxième harmonique et une basse impédance à la troisième harmonique. Dans cette configuration, on obtient un maximum de rendement de 74.5% à une puissance de sortie de 42.6dBm et une compression de gain de 5 dB. Pour obtenir des performances en classe F^{-1} en rendement comparables à la classe F, il est nécessaire de travailler à forte compression. A 2dB de compression, on obtient un rendement de 66% nettement inférieur à celui de la classe F.

Le fonctionnement en classe E nécessite une haute impédance aux harmoniques 2 et 3. Le circuit de charge est de type résonnant série.

La classe E permet d'obtenir un rendement maximal de 75% à une puissance de sortie de 41.1 dBm et une compression de gain de 3dB. Elle offre un bon compromis entre puissance de sortie, rendement et taux de compression (figure 1).

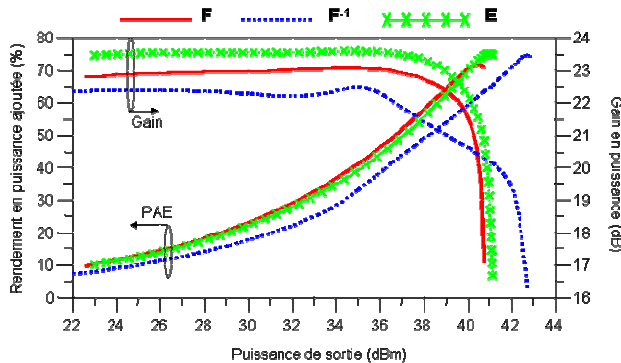


Figure 1. Rendement et Gain en fonction de la puissance de sortie pour les trois classes de fonctionnement.

La figure 1 montre les évolutions du rendement et du gain en fonction de la puissance de sortie.

Les formes d'ondes temporelles optimisées de tension et courant intrinsèques aux bornes de la source de courant pour les trois classes de fonctionnement sont représentées dans le Tableau 1.

	Formes simulées I-V	PAE	Comp. Gain
F		72%	2dB
F^{-1}		74%	5dB
E		75%	3dB

Tableau 1. Formes temporelles et bilan des résultats.

Les configurations des impédances de charges intrinsèques aux harmoniques qui donneront les formes temporelles optimisées pour chaque classe de fonctionnement sont les suivantes.

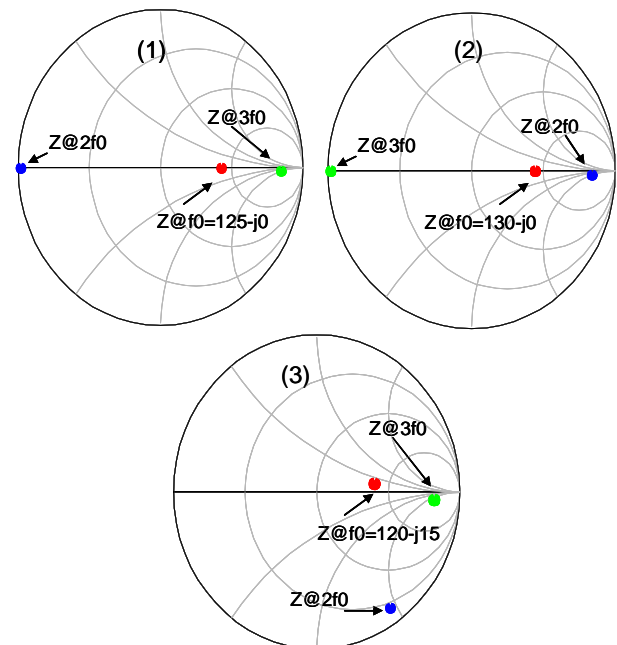


Figure 2. Impédances de charge intrinsèques pour la classe F (1), F^{-1} (2) et E (3).

3.2. Simulation à $P_{out}=40.5dBm$.

Si on cherche une configuration pour trouver un rendement à puissance ajoutée maximum sans contrainte de point de polarisation fixée par l'application, on a la

possibilité de trouver la même puissance de sortie visée avec les trois classes de fonctionnement F, F⁻¹ et E.

Classe	V _{ds0} (V)	P _{out} (dBm)	Gain (dB)	PAE (%)
F	50	40.5	20.2	72
F ⁻¹	28	40.4	15.5	78
E	40	40.5	18.5	77

Tableau 2. Résultats de simulation des classes de fonctionnement pour une puissance de 40.5dBm.

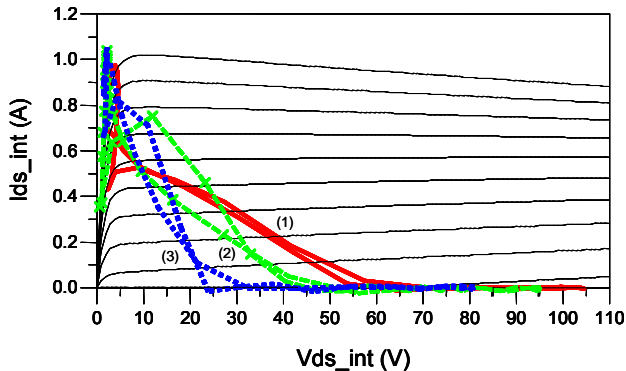


Figure 3. Cycles de charge des classes F (1), E (2), F⁻¹ (3).

La figure 3 présente les cycles de charges des classes de fonctionnement qui donnent la même puissance de sortie.

4. Résultats de Mesures

Des mesures de formes temporelles préliminaires ont été faites pour une tension de polarisation V_{ds0}=28V afin de valider le modèle du transistor utilisée pour étude.

Les mesures de formes d'ondes aux accès du boîtier ont été partiellement 'de-embeddés' pour se rapprocher au plus près de la source de courant contrôlée. (Cf. figure 4).

Le 'tuner' de variation de charge utilisé (Focus CCMT) ne permet pas le contrôle des impédances de charge aux harmoniques. Seule l'impédance à la fréquence fondamentale à été optimisée pour obtenir le maximum de rendement.

Les cycles de charges mesurés et simulés dans des conditions de charge identiques sont montrés figure 5.

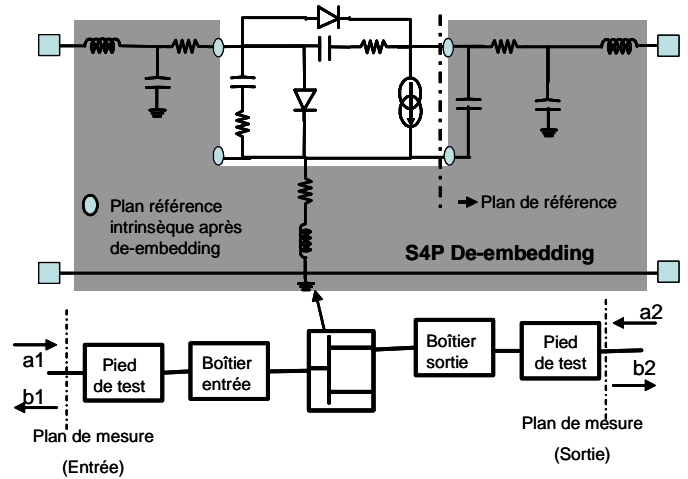


Figure 4. Méthode de de-embedding de mesure des formes temporelles.

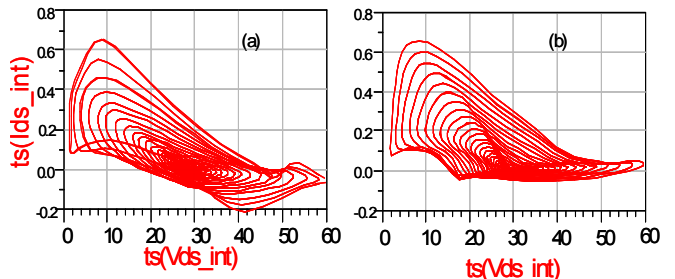


Figure 5. Cycles de charge mesurés (3a) / simulés (3b) au plus près de la source intrinsèques.

5. Conclusion

Une analyse comparative des classes de fonctionnement à haut rendement appliquée à un transistor HEMT de puissance en technologie GaN à été réalisée en bande L. ce travail propose des critères de choix en fonction de la tension de polarisation de drain et du taux de compression de gain.

6. Bibliographie

- [1] Andrei Grebennikov, Nathan O. Sokal "Switch mode RF Power Amplifiers", Newnes, 2007.
- [2] Han Gil Bae and al, "High-efficiency GaN class-E power amplifier with compact harmonic-suppression network" Microwave Conference, 2007. European.
- [3] David Schmelzer, and al. "A GaN HEMT Class F Amplifier at 2 GHz With >80% PAE" IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 42, NO. 10, OCTOBER 2007.
- [4] S. Gaol, P. Butterworth, A. Sambell, C. Sanabria, H. Xu, S. Heikman, U. Mishra and R. A. York, "Microwave Class-F and Inverse Class-F Power Amplifiers Designs using GaN Technology and GaAs pHEMT" 36th European Microwave Conference.