

Platform of Reliability tOOls for Failure analysis dedicated to wide bandgap devices

# Etudes d'instabilités de circuits MMIC PA et LNA

Pilote du projet : Laurent BARY

- Responsable scientifique : Jean-Guy TARTARIN
- Responsables techniques : Damien SAUGNON

Alexandre RUMEAU

Doctorant : Bastien PINAULT





PROJET COFINANCÉ PAR LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL





- Contextualisation « interface technologue utilisateurs »
- Analyse des instabilités DC d'amplificateurs de puissance commerciaux GaN MMIC
  - Etudes expérimentales PA commercial #A
  - Etudes expérimentales PA commercial #B
- Analyse des instabilités DC d'un amplificateur faible bruit GaN MMIC







1500

Time (hour)

2000

 $\rightarrow$  Radar P2P

Pulse to Pulse stability





13,5

0

500

1000

#### Technologies ? Types de tests ? PRC

GaN HEMT structure : définition des procédés technologiques (études de fiabilité avec modèles TCAD et outils de caractérisation électrique/bruit)



Drain-source electrical field constant vs variable electron density (V<sub>GS</sub> variable) Mixed biasing : constant  $V_{DS}$  (variable  $V_{DG}$  and  $V_{GS}$  – thus  $I_{DS}$ )

10

## Technologies ? Types de tests ? PRod

 GaN HEMT structure : définition des procédés technologiques (études de fiabilité avec modèles TCAD et outils de caractérisation électrique/bruit)



Drain-source electrical field constant vs variable electron density ( $V_{GS}$  variable) Mixed biasing : constant  $V_{DS}$  (variable  $V_{DG}$  and  $V_{GS}$  – thus  $I_{DS}$ )

# Technologies ? Types de tests ? PRogram

 GaN HEMT structure : définition des procédés technologiques (études de fiabilité avec modèles TCAD et outils de caractérisation électrique/bruit)



## Technologies ? Types de tests ? PRod







- Contextualisation « interface technologue utilisateurs »
- Analyse des instabilités DC d'amplificateurs de puissance commerciaux GaN MMIC
  - Etudes expérimentales PA commercial #A
  - Etudes expérimentales PA commercial #B
- Analyse des instabilités DC d'un amplificateur faible bruit GaN MMIC



## INTRODUCTION



**Objectif :** Etudier expérimentalement la problématique d'instabilités statiques (DC) d'amplificateurs de puissance (PA) → impact potentiel sur le comportement RF

PA commercial **#A** à 2 étages



PA commercial **#B** à 3 étages



PAs montés sur Véhicules de Test avec intégration du réseau de découplage défini dans la documentation constructeur. Charges 50Ω connectées en entrée et sortie des PAs.





Amplificateur commercial #A à 2 étages Analyse séparée/commune des deux étages

APN279 propose une puissance de sortie de 10W à la saturation entre 16 – 20.5 GHz avec une PAE de 34% et un gain bas niveau de 19 dB.

Applications

Point-to-Point Radio

#### Fiche technique

Circuits commerciaux : TRL élevé (confiance élevée !?)

Multipoint Digital Radios















Amplificateur commercial #A à 2 étages Etudes de retard d'établissement de la commande sur l'étage n°2 Grille : régime impulsionnel et Drain : mode DC



- Démarrage d'un état oscillatoire visible pour les points de repos  $V_{G0} = -8,5 \ et 8V$
- Changement de caractéristique entre le démarrage/fin de l'état oscillatoire
- Phénomène surement visible à  $V_{G0} = -9V$  @ $V_D > 20V$  et actif pour  $V_{G0} > -8V$
- Phénomène reproductible et visible également en balayage décroissant

#### Etat oscillatoire récurrent et fixe ou évolutif vs *R*<sub>STAB</sub>?





Amplificateur commercial #A à 2 étages Etudes de retard d'établissement de la commande sur l'étage n°2 Grille : régime impulsionnel et Drain : mode DC

Caractéristique de sortie  $I_D V_D$  @ $[V_{G0}; V_{Gi}] : [-8,5V; -3,8V]$  avec **R\_{STAB} = Var** 



• Etat oscillatoire évolutif avec un décalage positif de la zone de changement de comportement

- Un  $R_{STAB} > 1k\Omega$  permettrait d'« annuler » le phénomène transitoire dans la zone d'intérêt de l'amplificateur
- Té de polarisation : présence du changement de comportement (hypothèse) mais décalé vers  $V_D > 20V$  (hors spéc. PA)

Etat oscillatoire Hypothèse Phénomène d'auto-polarisation de la commande de grille



Condition d'impédance du réseau de découplage sur l'accès de Grille et/ou de Drain





- Contextualisation « interface technologue utilisateurs »
- Analyse des instabilités DC d'amplificateurs de puissance commerciaux GaN MMIC
  - Etudes expérimentales PA commercial #A
  - Etudes expérimentales PA commercial #B
- Analyse des instabilités DC d'un amplificateur faible bruit GaN MMIC





Amplificateur commercial **#B** à 3 étages

Caractérisation individuelle de chaque étages en régime statique

#### Fiche technique



TGA4548 propose une puissance de sortie de 10W à la saturation entre 17 – 20 GHz avec une PAE de 30% et un gain fort niveau de 22 dB (27dB de gain bas niveau).

#### Applications

- Point-to-Point Radio
- Satellite Communications









#### AAS CNRS

PR

Vg1 Vg2 Vg3

RF IN -

Vd1 Vd2 Vd3Vdet

Vd1Vd2Vd3VdetVr



• Influence des conditions expérimentales sur le fonctionnement global du PA

Point de polarisation d'intérêt : zone instable.

 $\rightarrow$ Ne dépend pas de la configuration →Potentiellement influencée par la technologie/topologie du PA







variation du **MDT** et du <u>Width</u> sur la caractéristique  $I_{D_1}V_{D_1}$ ( $V_{G0}=0 V$ ;  $V_{D0}=0 V$ ;  $V_{G_1}=-2,31 V$ ; **IT**=50 µs et **Time**=20 ms)

AAS

CNRS

18

 $(V_{G0}=0 V; V_{D0}=0 V; V_{G_1}=-2,31 V; IT=50 \mu s;$ 

**Width**=1100 µs et **Time**=20 ms)



Amplificateur commercial #A à 2 étages

Analyse des instabilités DC d'amplificateurs de puissance

Analyse des symptômes « circuits »

→ Préconisations de design (Zones de stabilité)

Amplificateur commercial **#B** à 3 étages



→ Uniquement CW et questionnement sur la stabilité long terme











- Contextualisation « interface technologue utilisateurs »
- Analyse des instabilités DC d'amplificateurs de puissance commerciaux GaN MMIC
  - Etudes expérimentales PA commercial #A
  - Etudes expérimentales PA commercial #B
- Analyse des instabilités DC d'un amplificateur faible bruit GaN MMIC



### LNAs Bande X



#### Versions mono-étage :

AAS

CNRS

gestion des paradigmes de conception faible-bruit / linéarité



Version 2 étages : plus réaliste, avec auto-correction de la linéarité (protection sous signal RF agressif)

> Cahier des charges 1 étage : Bde freq. 8-12 GHz Gain >10 dB NF < 1 dB $P_{1dB} > 20 dBm$



PB d'instabilité non corrigées par réseau sur VT

Croisement et analyse en retro-simulation

Nouvelle approche pour « détecter » les instabilités non-simulées, et durcir le réseau de stabilité externe MF et BF.

 $(\rightarrow PCB \text{ avec degrés de liberté de réglage})$ 

21

> Objectif : utiliser un transistor de taille nominalement importante (8\*50µm) afin d'accroitre la linéarité du dispositif. Obtention d'un LNA robuste et faible bruit dont le compromis est assuré par la juste dimension et polarisation du transistor.

	V <sub>DS</sub> / V <sub>GS</sub>	I <sub>DS</sub>	NF <sub>2</sub> (dB) @ 10GHz	Adaptation en Bande X	P <sub>1dB</sub> / OP <sub>1dB</sub> (dBm) @ 10GHz	S <sub>21</sub> (dB) @ 10GHz
LNA-R	12V / -1,25V => 12,9V/ -1,35V Repolarisation induite par les résistances	48m A	0,92	S11<-16 dB S22<-12dB	<b>22,3</b> / 30	8,7

**Problématique** : Oscillations de tous les LNAs à une fréquence comprise entre 1MHz et 1GHz en fonction des systèmes de stabilisation utilisés



Solution : Mise en place d'un réseau de stabilisation commun à tous les LNA :

AAS

CNRS



# Analyse Basse fréquence – pb d'instabilités non prévues en simulations (Nyquist, Rollet)

Problèmes de stabilité identifiés à basse fréquence  $\rightarrow$  réseau de stabilisation. La prise en compte du facteur de ROLLET est limitée dans cette approche (inefficace), car de nombreux réseaux de stabilisation ont été mis en place et qui satisfaisaient la condition K>1, sans pour autant permettre la stabilité des LNA's monoétage. Notons que la résistance et les capacités prises de manière séparé sont nécessaires mais pas suffisantes.



Les courbes en rouges présentent un circuit stable en simulation mais qui oscille lors des expérimentations.

Pour résoudre ce problème, nous nous sommes donc focalisé uniquement sur le gain, avec pour objectif de l'abaisser au maximum dans la bande de fréquence représentant un risque [ 1MHz ; 1,5GHz ]



Simulation électrique/électromagnétique vs Mesure (40 MHz– 40 GHz)



AAS

CNRS

#### Remarque :

- + bonne correspondance entre les mesures et la simulation électromagnétique jusqu'à 40 GHz.
- + Bonne concordance générale également avec les simulations électrique, certains écart pouvaient paraitre important en bande X mais l'allure générale ne révèle pas d'anomalie.
- importante divergence des simulations électrique à partir de la bande Ka.

Intervalle de confiance des données simulées : [ **<u>1GHz</u>** ; 26,5 GHz]

24

### Facteur de bruit & mesure de phase en bande X



<u>Bonne concordance générale en bruit (</u>8,1 GHz et 12 GHz) entre mesure et modèle électrique et des points 9 GHz et 10 GHz qui s'en éloignent plus ou moins fortement.

NFA à recalibrer  $\rightarrow$  passer au PNA-X option bruit !

Paramètres d'adaptation ADS  $S_{11}$ freq (8.000GHz to 12.00GHz)  $S_{22}$ freq (8.000GHz to 12.00GHz)



### Linéarité (P<sub>1dB</sub>=22 dBm)





## LNA version Agile(LNA-A) ou « bimodal » PR $\hat{\underline{g}}$

> Objectif : utiliser un transistor nominalement optimisé pour avoir un facteur de bruit optimal. Puis construire un Layout autour de ce transistor permettant une repolarisation de ce dernier afin de pouvoir le basculer dans un « mode qui supporte les agressions RF ». Le « mode agression » étant évalué sur le point de compression du dispositif; des études destructives viseront à comparer si une augmentation des performances en linéarité induisent nécessairement une augmentation de la survivabilité du composant.

	V <sub>DS</sub> / V <sub>GS</sub>	I <sub>DS</sub>	NF <sub>2</sub> (dB) @ 10GHz	P <sub>1dB</sub> / OP <sub>1dB</sub> (dBm) @ 10GHz	S <sub>21</sub> (dB) @ 10GHz				
Faible bruit (bas niveau)	5V / -1V 5,6V/-1V	53 mA	0.77	<b>13</b> / 22,3	10.3				
Mode Agression EM	12V / -0.3V 14V/-0,25V	152 mA	1.21	<b>21</b> / 30.4	10.3				
Repolarisation induite par les résistances de stabilisation									





#### Simulation électrique/électromagnétique vs Mesure (40MHz – 40GHz)



#### Remarque :

+ bonne correspondance entre les mesures et la simulation électromagnétique et cela jusqu'à 40GHz.

- Les adaptations d'entrée et sortie semble marquées d'une divergence plus importantes visà-vis des simulations par rapport au constat fait sur le LNA-R. SANS INCIDENCE toutefois



### LNA version agile (LNA-A): @ VDS=5,6V & VGS=-1V PROD

#### Simulation électrique/électromagnétique vs Mesure (40MHz – 40GHz)



Meilleure reproductibilité des mesures.

Le NFA indique quand même un problème de saturation malgré l'utilisation d'un atténuateur 6dB en externe.

=> Mise en place de la manip sur le PNA-X semble la meilleure option.

Mesure (Att 6dB) Mesure (Att 0dB)

### Linéarité



P<sub>1dB</sub>=12 dBm en mode agression RF (-10 dB / simu)



# LNA deux étages (LNA-D) PROD



Polarisation @ V<sub>DS</sub>=6V/V<sub>DS</sub>=15V Les polarisations de Drain sont constantes Mode faible bruit V<sub>GS</sub>=-1V/V<sub>GS</sub>=1,4V



## LNA deux étages (LNA-D) PRODE

### LNA-D @ Vgs=-1V & Vgs=-1,4V

Simulation électrique/électromagnétique vs Mesure en Bande X : Module + Phase





## LNA deux étages (LNA-D) PRODE

### LNA-D @ V<sub>GS</sub>=-1V & V<sub>GS</sub>=-1,4V

Simulation électrique/électromagnétique vs Mesure en Bande X : Module + Phase



AAS

CNRS

Correspondance entre les mesures et les simulation EM impressionantes, sauf sur l'adaptation d'entrée en bande X (comme par hasard)

### Linéarité

P<sub>1dB</sub>=-3 dBm en mode faible bruit (-8 dB / simu)

 $P_{1dB}$ =6 dBm en mode agression RF (-9 dB / simu)







### **CONCLUSIONS - DISCUSSIONS**

### SYNERGIE NECESSAIRE ENTRE TECHNO / MODELES / CIRCUITS AFIN DE MIEUX MAITRISER LES SOA DES COMPOSANTS

### DIAGNOSTICS HEMT / CIRCUITS / SYSTEMES (BER ?)

