

Méthode de Conception Agile en Tension pour Amplificateur Faible Bruit Robuste

Bastien Pinault, Jean-Guy Tartarin, R Leblanc, A Jourier

▶ **To cite this version:**

Bastien Pinault, Jean-Guy Tartarin, R Leblanc, A Jourier. Méthode de Conception Agile en Tension pour Amplificateur Faible Bruit Robuste. 2022. hal-03587960

HAL Id: hal-03587960
https://laas.hal.science/hal-03587960

Preprint submitted on 24 Feb 2022

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.

XXII[èmes] Journées Nationales Microondes
8-10 juin 2022 – Limoges

Méthode de Conception Agile en Tension pour Amplificateur Faible Bruit Robuste

B. Pinault[1,2], J.-G. Tartarin[1,2], R. Leblanc[3], A. Jourier[3]

[1] *LAAS-CNRS, 7 Av. du Colonel Roche, 31400 Toulouse*
[2] *Université Toulouse III - Paul Sabatier, 118 Rte de Narbonne, 31062 Toulouse*
[3] *OMMIC SAS, 2 Rue du Moulin, 94450 Limeil-Brévannes, France*
bpinault@laas.fr, tartarin@laas.fr

Résumé *– Cet article présente une nouvelle méthode de conception d'amplificateur faible bruit (LNA) robuste qui vise à conjuguer les avantages naturels des transistors développés en technologie nitrure de gallium (GaN) en termes de linéarité, à leurs performances faible bruit. L'architecture de LNA proposée permet de basculer d'un mode faible bruit nominal à un mode à forte linéarité lorsqu'il est soumis à une agression électromagnétique. Cette agilité s'opère par un changement du point de polarisation du transistor. Cette étude permet de comparer les simulations électrique et en bruit de notre approche avec celles des topologies conventionnelles de LNA, sur des versions monoétage en bande X. Un facteur de bruit inférieur à 0.8 dB peut ainsi être obtenu avec un point de compression de 21dBm à 10 GHz.*

1. Introduction

Par leurs caractéristiques intrinsèques (large bande interdite, tension de claquage élevée et bonne conductivité thermique, …) les technologies nitrure de gallium (GaN) sont d'excellents candidats pour l'implémentation d'amplificateur faible bruit. En effet la robustesse naturelle offerte par ce matériau permet de s'affranchir des dispositifs de protection tels que les limiteurs de puissance utilisés en technologie GaAs ou SiGe. Les contraintes des systèmes modernes poussent ces derniers à maintenir leurs caractéristiques même lorsqu'ils sont soumis à des agressions électromagnétiques (EM). Les topologies d'amplificateurs faible bruit doivent donc pouvoir répondre au double objectif de forte détectivité (faible bruit HF) et de grande linéarité aux fréquences d'utilisation.

Afin d'augmenter la linéarité d'un LNA, une stratégie consiste à surdimensionner le transistor (dimensions physique ou électrique plus importantes que celles nécessaires pour un facteur de bruit optimal) [1]. Les performances non linéaires se trouvent alors améliorées au détriment des paramètres de bruits et/ou petits signaux. Ce papier propose une nouvelle approche permettant d'exploiter simultanément les caractéristiques non linéaires d'une conception de LNA initialement optimisée sur les paramètres de bruit en améliorant le comportement non-linéaire de l'élément actif via un changement de son point de repos. Dans cet article, trois stratégies de conception sont ainsi comparées au travers de l'implémentation de deux LNA monoétage dans la bande de fréquence 8-11GHz. Le premier ($LNA_{\#1}$) se focalisera sur l'accomplissement du meilleur facteur de bruit possible tout en assurant un gain petit signal suffisant ($|S_{21}|$>10dB). Le second amplificateur ($LNA_{\#2}$) est fondé sur un compromis entre une conception faible bruit et une conception robuste (c.-à-d. axée sur la linéarité). Pour ce faire le $LNA_{\#2}$ prendra le point de compression d'entrée à 1dB (IP_{1dB}) comme facteur de mérite d'ordre 1, au même titre que le facteur de bruit. Ainsi son point de compression sera fixé 9dB au-dessus de celui du $LNA_{\#1}$. Cette valeur est choisie de sorte de présenter un point de comparaison équitable avec les performances fournies par notre méthode d'agilité en tension ($LNA_{\#tuned}$). Cette dernière méthode nous permettra de tirer profit du potentiel non linéaire du $LNA_{\#1}$ via une repolarisation de son composant actif. Les conditions d'applicabilité de cette méthode seront également évoquées.

2. Technologie GaN OMMIC

Pour cette étude comparative, nous avons sélectionné la technologie nitrure de gallium sur substrat silicium (GaN/Si) d'OMMIC (D01GH). Les transistors HEMT de ce procédé technologique fournissent une fréquence de transition de 110 GHz, une tension de claquage de 36V et une densité de puissance de 4W/mm. Cette technologie fournie des solutions intéressantes pour des applications RF de puissances (HPA), mais aussi faible bruit (LNA robuste).

3. Conception conventionnelle ($LNA_{\#1}$ et $LNA_{\#2}$)

3.a. Méthodologie de conception $LNA_{\#1}$ et $LNA_{\#2}$

Pour le $LNA_{\#1}$, le facteur de mérite d'ordre 1 se focalise sur son facteur de bruit et sur son gain petit signal qui doit être cohérent avec une application premier étage d'un LNA (choisi ici à $|S_{21}|$>10dB). La sélection de l'élément actif est une étape clé, basée sur les critères tels que les paramètres de bruits (NF_{min}, Rn, $|\Gamma opt|$), l'effort d'adaptation nécessaire à l'obtention d'un bon facteur de bruit $\Delta NF(=NF_{50\Omega}-NF_{min})$ ainsi que le gain petit signal $|S_{21}|$. Un transistor 6*40µm est choisi, selon des conditions de polarisation V_{GS} = -1 V et V_{DS} = 5 V. Le courant

statique I_{DS} est ainsi limité à 53 mA, dans l'objectif de réduire le bruit de grenaille tout en assurant un bon gain de transconductance g_m.

L'implémentation des réseaux d'adaptation entrée/sortie se fait dans un premier temps à l'aide d'éléments passifs idéaux puis avec ceux du design kit. Une contre-réaction inductive est implémentée afin de permettre une adaptation simultanée en bruit et en petit signal. La stabilité inconditionnelle du montage est vérifiée et des simulations électromagnétiques sont réalisées afin de sécuriser le design, c'est à dire la cohérence attendue entre les simulations électriques et les futures mesures.

Concernant le $LNA_{\#2}$, les mêmes précautions sont utilisées. L'approche diffère uniquement par le fait que le point de compression devient un facteur de mérite d'ordre 1. L'objectif est donc d'atteindre un IP_{1dB} de 22 dBm (soit 9 dB supérieur à celui du $LNA_{\#1}$), tout en gardant en facteur de bruit le plus bas possible. Pour ce faire, un transistor de dimension 8*50µm est sélectionné, et polarisé sous V_{GS} = -1.25 V et V_{DS} = 12V. Ainsi en pinçant fortement le composant, le courant de drain I_{DS} reste limité à 48 mA, valeur quasiment égale au $LNA_{\#1}$. La valeur de contre-réaction est elle aussi rehaussée, ce qui induit une réduction du gain petit signal, mais permet de maintenir un bon facteur de bruit et d'atteindre la valeur de P_{1dB} souhaitée. [2]

Les résultats de simulation des conceptions $LNA_{\#1}$ et $LNA_{\#2}$ sont reportés sur la Figure 1.

4. Méthode de conception agile en tension

Cette troisième approche vise à implémenter ou réutiliser une conception optimisée sur des paramètres de bruits avec l'objectif de pouvoir augmenter sa linéarité (point de compression à 1dB) ; cela se fait via un changement de polarisation statique en fonction du niveau de puissance RF présent en entrée du dispositif.

Ainsi en utilisant la conception du $LNA_{\#1}$ nous établissons que les paramètres S en réflexion restent stable lorsque la polarisation (V_{GS} ;V_{DS}) bascule de (-1V ;5V) à (-0.45V ;13V). La dégradation se reporte sur les paramètres de bruit du transistor, en effet le NFmin subit une dégradation de 0.5dB, le ΔNF connait lui une dégradation de 0.3dB (variation des conditions de Γ_{opt}). Le P_{1dB} présente une augmentation de 8.3 dB comme montré sur la Figure 1. Sous ces conditions de polarisations dégradées en bruit mais améliorées en linéarité, l'ouverture du canal entraine une forte augmentation du courant statique (I_{DS}=168mA) : la densité de puissance est alors de 4.1W/mm ce qui place le transistor proche de sa limite. Ce régime de fonctionnement non nominal étant uniquement prévu en cas d'agression, le temps d'exposition à cette forte puissance devrait rester faible.

Les résultats de la conception agile sont reportés sur la Figure 1, cette dernière permet ainsi d'accroitre le point de compression de 8.3dB vis-à-vis du $LNA_{\#1}$ sans modification du Layout ; le gain petit- signal reste également inchangé. Nous arrivons ainsi, lorsque la polarisation est basculée en mode robuste, à une valeur de point de compression proche de celle du $LNA_{\#2}$.

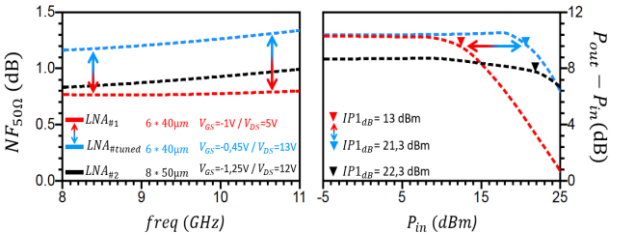


Figure 1 : Facteur de bruit sur la bande 8-11 GHz (Gauche) et le gain en fonction de la puissance en entrée (Droite) pour les 3 stratégies : $LNA_{\#1}$ et sa polarisation robuste $LNA_{\#tuned}$ ainsi que $LNA_{\#2}$.

5. Conclusion

Pour la première fois, un LNA agile en tension est présenté. Cette approche de conception permet de proposer deux modes de fonctionnement pour une architecture d'amplificateur de réception donnée. La technique consiste à pouvoir augmenter le point de compression du dispositif (au détriment d'une dégradation de son facteur de bruit) lorsque celui-ci reçoit une puissance RF trop importante. Ceci est possible au travers d'un changement de polarisation statique qui permet au LNA de passer d'un mode nominal faible bruit ($NF_{50\Omega}$<0.8 dB, P_{1dB}=13dBm) à un mode « d'agression » ($NF_{50\Omega}$ <1.35 dB, P_{1dB}=21.3dBm). Cette nouvelle approche apporte ainsi une alternative aux méthodologies déjà existantes et permet de s'extraire du compromis faible bruit/linéarité imposé dans les designs conventionnels. Ainsi trois stratégies deviennent implémentable en fonction du cahier des charges :

- Si le récepteur n'est pas exposé à un signal RF supérieur à 13dBm alors il restera en configuration petit signal et $LNA_{\#1}$ peut être utilisé
- Si le récepteur doit supporter un puissance RF importante et maintenir un fonctionnement linéaire, alors le $LNA_{\#2}$ permet de remplir cette fonction tout en assurant un facteur de bruit minimal durant cette période « d'agression »
- Si le récepteur à besoin d'exploiter au maximum son potentiel en bruit, mais doit également rester linéaire durant de potentielles agressions électromagnétiques, alors la solution $LNA_{\#tuned}$ semble la plus adaptée.

Références

[1] M. Rudolph *et al.*, « Highly robust X-band LNA with extremely short recovery time », in *2009 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Boston, MA, USA, juin 2009, p. 781-784. doi: 10.1109/MWSYM.2009.5165813.

[2] C. Andrei, R. Doerner, O. Bengtsson, S. A. Chevtchenko, W. Heinrich, et M. Rudolph, « Highly linear X-band GaN-based low-noise amplifier », in *2012 International Symposium on Signals, Systems, and Electronics (ISSSE)*, Potsdam, Germany, oct. 2012, p. 1-4. doi: 10.1109/ISSSE.2012.6374314.