

**Caractérisation et conception des fonctions différentielles RF et  
Millimétriques : Bruit stabilité linéarité**

LINTIGNAT Julien, julien.lintignat@unilim.fr

Tél : 0555457746

JARRY Bernard, bernard.jarry@xlim.fr

Tél : 0555457746

Equipe : CCSNL, LIMOGES

**Mots clés :** systèmes RF et millimétriques différentiels, analyse et caractérisation en bruit

**Résumé de la thèse :**



Les structures différentielles présentent de nombreux avantages, par rapport aux structures à simple accès, en termes de bruit, de linéarité, d'interconnexion avec les antennes ou les étages numériques. Cependant les chaînes d'instrumentation sont peu adaptées à la caractérisation de ces systèmes à quatre accès.

Cette problématique est considérée comme centrale pour le développement des futurs front-ends de télécommunication.

L'objectif de la thèse, en s'appuyant sur les travaux précédents du laboratoire, est de mettre en œuvre un banc de caractérisation en bruit des structures différentielles. La métrologie associée sera aussi étudiée. Dans un second temps la question de la caractérisation du comportement non linéaire de ces structures sera abordée.

Le sujet théorique et expérimental, met en œuvre une gamme de compétences variées, de l'analyse à la mesure en passant par la CAO et le pilotage d'instrument.



The differential structures have many advantages compared to the single ended structures in terms of noise, linearity, interconnection with the antennas or the digital stages. However instrumentation chains are not suited to the characterization of these four ports systems.

This issue is considered central for the development of future telecommunications front-ends.

The aim of the thesis, based on previous work developed in the laboratory is to implement a noise characterization bench differential structures. Associated metrology will also be studied. Secondly the question of the characterization of the nonlinear behavior of these structures will be discussed.

Theoretical and experimental the thesis subject, implements a varied range of skills, from analysis and CAD, to measurement and instrument control.

**Objectifs :**

L'objectif de la thèse, en s'appuyant sur les travaux précédents du laboratoire, est de mettre en œuvre un banc de caractérisation en bruit des structures différentielles. La métrologie associée sera aussi étudiée. Dans un second temps la question de la caractérisation du comportement non linéaire de ces structures sera abordée.

**Description complète du sujet de thèse :**

L'intégration globale, qu'elle soit envisagée sous la forme d'un système sur une puce (SOC : System On Chip), ou d'un système encapsulé ou mis en boîtier (SIP : System In Package), est

actuellement un axe de recherche prioritaire dans le domaine des dispositifs RF et microondes. D'autre part les procédés monolithiques nano technologiques, de type Silicium, Silicium Germanium, Silicium sur Isolant, s'imposent dans les domaines RF et microondes. Ces technologies Silicium introduisent et généralisent l'usage de la structure différentielle, notamment pour la fonction d'amplification faible bruit. Cette évolution est encore accentuée avec la perspective d'une association sur le même substrat monolithique des fonctions analogiques et de leurs circuits numériques de commande. Par ailleurs les interfaces des circuits numériques, elles-mêmes de type différentiel, augmentent encore l'intérêt d'une méthode rigoureuse de conception des systèmes différentiels.

Bilan bibliographique et état de l'art [1] [6] [14] [20] :

Classiquement, les concepteurs de systèmes différentiels utilisent des artifices de simulation permettant de traduire ces systèmes dans une représentation dite « single-single » de type quadripôle. Cette technique, basée sur l'utilisation de baluns idéaux, présente l'avantage d'accéder rapidement à la simulation de paramètres couramment utilisés pour des quadripôles simples, tels que le facteur de bruit, le point de compression et le point d'interception d'ordre 3 pour l'intermodulation. Il est démontré que cette méthode de conception n'est pas rigoureuse, et des méthodes alternatives ont été introduites.

Programme de recherche proposé :

Les travaux de recherche proposés sont structurés en 4 parties :

ETUDES DES CIRCUITS DIFFERENTIELS [1] à [5] :

Cette partie concerne l'analyse du formalisme permettant de décrire les dispositifs différentiels. Ce formalisme permet de définir les modes communs et différentiels et la matrice S mixte des dispositifs. Ces bases théoriques mettent en évidence les défauts des méthodes de conception et de mesure des circuits différentiels introduits par les conversions de modes, commun vers différentiel et réciproquement. Elles permettent notamment de définir la matrice mixte des baluns spécifiques qui doivent être utilisés lors de la conception d'un LNA différentiel.

LE BRUIT DANS LES SYSTEMES DIFFERENTIELS [3] à [21] :

L'adaptation de la théorie du bruit des quadripôles linéaires, qui sont des dispositifs à 2 accès, doit être généralisée pour les circuits différentiels, qui sont des dispositifs à 4 accès. Une définition des facteurs de bruit et des paramètres de bruit pour les systèmes différentiels, a été introduite [6][7] par l'utilisation des modes mixtes et des ondes de bruit. On peut aussi définir la dégradation du rapport signal à bruit par un dispositif différentiel et étendre la formule de Friis au sens des facteurs de bruit des circuits différentiels. Une méthode permettant d'extraire les facteurs de bruit et la dégradation du rapport signal à bruit lors de la simulation d'un dispositif différentiel à l'aide d'un logiciel de C.A.O. peut aussi être proposée. Dans cette partie l'objectif de la thèse, en s'appuyant sur les travaux précédent du laboratoire [6][7][14], est de mettre en œuvre un banc de caractérisation en bruit des structures différentielles.

ANALYSE DE LA STABILITE DES SYSTEMES DIFFERENTIELS [20] :

L'analyse théorique de la stabilité proposée dans cette partie vise à généraliser et à étendre les critères de stabilité des quadripôles aux circuits différentiels et à définir les conditions de stabilité inconditionnelle, conditionnelle, et les marges de stabilité.

ETUDE DES SYSTEMES DIFFERENTIELS UTILISÉS COMME CIRCUITS D'INTERFACE HYPERFRÉQUENCE/NUMÉRIQUE POUR APPLICATIONS RF ET MILLIMÉTRIQUES [20] :

Pour cette partie, l'objectif est d'étudier des circuits différentiels faible niveau et à forte linéarité, optimisés en faible variation de phase sur les voies différentielles de sortie, et à très faibles

gains de conversion des modes différentiels et commun. Ces spécifications nécessitent une optimisation de la topologie de la structure différentielle pour garantir la qualité de sa masse virtuelle, et une analyse spécifique des sources de courant continu qui ne doivent pas perturber le fonctionnement hautes fréquences du dispositif. L'objectif est ici de couvrir les bandes fréquentielles RF et millimétriques.

CONCEPTION D'AMPLIFICATEURS DIFFERENTIELS FAIBLE BRUIT RF ET MILLIMÉTRIQUES [6][14][20] :

Il est proposé de valider ces travaux par la conception d'amplificateurs différentiels utilisant les développements théoriques des étapes précédentes et de définir une méthodologie générale de conception des dispositifs différentiels faible bruit.

Les travaux de développement de la méthode de synthèse CAO seront développés au sein du laboratoire XLIM (Université de LIMOGES – UMR CNRS7252), sous l'encadrement de Julien LINTIGNAT (MCF) Bruno BARELAUD et de Bernard JARRY (Professeurs). Les conceptions de circuits intégrés seront faites en utilisant les procédés technologiques intégrés de type Silicium BiCMOS et CMOS.

Equipement : XLIM est équipé d'un analyseur de réseau Keysight 4 ports pour réaliser les mesures différentielles dans les bandes RF et millimétriques ;

Références :

- [1] D. E. Bockelman and W. R. Eisenstadt "Combined differential and common-mode scattering parameters: Theory and simulation", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.43, pp. 1530–1539, July 1995.
- [2] Bob Stengel "Mixed mode S-parameters measurements and application", Motorola Labs, Differential device characterization and modeling – WMO ISM2002 workshop
- [3] P.Penifield "Wave representation of amplifier noise" IRE Trans. Circuit Theory, vol.ET-4, pp. 84-86, Mars 1962
- [4] S.W. Wedge, D.V.Rutledge "Wave techniques for noise modeling and measurement" IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol.40, n°11, pp.2004-2012, November 1992
- [5] J. Randa "Noise characterization of Multiport Amplifiers" IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 49, n. 10, (Oct. 2001), 1757-1763
- [6] Julien LINTIGNAT "Analyse, Synthèse et Mesure des Systèmes Différentiels RF et microondes Intégrés en Technologie Silicium par le Formalisme des Modes Mixtes" Thèse de l'Université de LIMOGES 25 octobre 2006
- [7] J. Lintignat, B. Barelaud, B. Jarry "Analysis and Characterization of Differential RF Devices" 72nd ARFTG Microwave Measurement Symposium Time domain and Frequency Domain Measurement, 2008. Portland, Dec. 9-12, 2008 Multiport / Differential Measurements for Signal Integrity Workshop
- [8] L. Belostotski, J.W. Haslett, "A Technique for Differential Noise Figure Measurement of Differential LNAs" IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 57, Issue 7, pp. 1298 - 1303 , July 2008
- [9] L.k F. Tiemeijer, R. J. Havens, R. de Kort, A. J. Scholten, "Complete On-Wafer Noise-Figure Characterization of 60-GHz Differential Amplifiers" IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 58, no. 6, June 2010
- [10] J. Dunsmore, S. Wood, "Vector corrected noise figure and noise parameter measurements of differential amplifiers" European Microwave Conference, 2009, Rome, pp. 707 – 710
- [11] Sakian, P.; Janssen, E.; Essing, J.; Mahmoudi, R.; van Roermund, A. « Noise figure and S-parameter measurement setups for on-wafer differential 60GHz circuits » Microwave Measurement Symposium (ARFTG), IEEE 2010 76th ARFTG

- [12] Robens, M.; Wunderlich, R.; Heinen, S. « Differential Noise Figure De-Embedding: A Comparison of Available Approaches » *Microwave Theory and Techniques*, IEEE Transactions on Year: 2011, Volume: 59, Issue: 5 Pages: 1397 - 1407
- [13] Perez, O.G.; Gonzalez-Posadas, V.; Garcia-Munoz, L.E.; Segovia-Vargas, D. « Noise-Figure Measurement of Differential Amplifiers Using Nonideal Baluns » *Microwave Theory and Techniques*, IEEE Transactions on Year: 2011, Volume: 59, Issue: 6 Pages: 1658 - 1664
- [14] Cédric ENGUEHARD « Analyse et Mesure des Structures Différentielles RF Faible Bruit » Thèse de l'Université de LIMOGES - ÉCOLE DOCTORALE n0 521 – Sciences et Ingénierie pour l'Information - XLIM – 26 Octobre 2011
- [15] Prinsloo, D.S.; Meyer, P. « Noise figure measurement of three-port differential low-noise amplifiers » *Electronics Letters* Year: 2012, Volume: 48, Issue: 10 Pages: 578 - 580
- [16] Spinelli, E.; Haberman, M. « Noise Analysis of Fully Differential Circuits » *Latin America Transactions*, IEEE (Revista IEEE America Latina) Year: 2012, Volume: 10, Issue: 4 Pages: 1889 - 1892,
- [17] Andee, Y.; Prouvée, J.; Graux, F.; Danneville, F. « Determination of noise figure of differential circuits using correlation of output noise waves » *Electronics Letters* Year: 2014, Volume: 50, Issue: 9 Pages: 665 - 667
- [18] Andee, Y.; Prouvée, J.; Graux, F.; Danneville, F. « A fast and functional technique for the noise figure measurement of differential amplifiers » Ph.D. Research in Microelectronics and Electronics (PRIME), 2014 IEEE 10th Conference on
- [19] Andee, Y.; Siligaris, A.; Graux, F.; Danneville, F. « On-wafer differential noise figure measurement without couplers on a vector network analyzer » *Microwave Measurement Conference (ARFTG)*, IEEE 2014 84th ARFTG
- [20] Yves GERMAIN « Méthode de conception des systèmes différentiels RF utilisant le formalisme des Modes Mixtes » Thèse de l'Université de LIMOGES - ÉCOLE DOCTORALE n0 521 – Sciences et Ingénierie pour l'Information – XLIM - 21 janvier 2015
- [21] Andee, Y.; Arnaud, C.; Graux, F.; Danneville, F. « De-embedding differential noise figure using the correlation of output noise waves » *IEEE Microwave Measurement Conference (ARFTG)*, 2015 85th ARFTG

### **Compétences à l'issue de la thèse :**

Le sujet théorique et expérimental, met en œuvre une gamme de compétences variée, de l'analyse à la mesure en passant par la CAO et le pilotage d'instrument.

### **Présentation de l'équipe d'accueil :**

L'équipe CCSNL (Composants Circuits Systèmes Non Linéaires) se positionne sur l'analyse, la modélisation, la conception et la caractérisation des fonctions actives du frontal RF. Pour couvrir ce domaine scientifique elle est structurée en 3 projets de recherche :

- Projet IN-OV - INstrumentatiOn aVancée
- Projet SIM3RF - Simulation/Modélisation Multi-échelle/Multi-physique du frontal RF
- Projet ACT-RF - Architectures et Conception de Transmetteurs RF.

Ces projets de recherche sont pleinement cohérents et complémentaires au niveau de l'équipe, et avec les autres équipes du pôle scientifique Électronique d'XLIM.

Les membres de l'équipe sont très fortement impliqués dans la responsabilité et l'animation des plateformes d'XLIM, PLATINOM (PLATe forme de technologie et d'INstrumentation) et SIMULIM (Plateforme CAO de simulation) et dans les activités de recherche du Labex  $\Sigma$ Lim.

Les activités et les projets scientifiques de l'équipe bénéficient de nombreux soutiens industriels (Thales (TSA, TR6, TAS), NXP, III-V Lab, UMS, Freescale, AMCAD Engineering, Dassault Systems) et institutionnels (CNES, DGA-MI et DGA-IP), et des moyens obtenus dans le cadre de la chaire industrielle DEFIS RF.

Par ailleurs les laboratoires communs, AXIS (Thales Alenia Space), MITIC (ATL 3-5 Lab), NXL (NXP), outre les collaborations privilégiées qu'ils induisent avec les industriels partenaires, donnent accès aux technologies avancées du spatial et intégrées de type AsGa GaN InP et Silicium.

**Financement :** Lot1: Sujet financé sur crédits institutionnels (sujets fléchés)

**Spécialité de Doctorat :** Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication

**Domaine de compétences principal:** Sciences pour l'Ingénieur

**Domaine de compétences secondaire:** Physique

**Candidat :**

**Compétences souhaitées :** Formation RF et microonde

**Conditions restrictives de candidature :** Aucune

**Date Limite de candidature :** 4 Juin 2016 – 18h