

Caractérisation temporelle RF impulsionnelle directe par des THA d'amplificateurs de très forte puissance GaN.

Sajjad Ahmed¹, Mohamed Saad-el-Dinne¹, Denis Barataud¹, Tibault Reveyrand, Guillaume Neveux¹, Jean Michel Nebus²

¹ XLIM – UMR 6172, Université de Limoges/CNRS, 123 avenue Albert Thomas, 87060 Limoges, France.

Résumé

Ce papier propose un nouveau système de caractérisation temporelle RF impulsionnelle fondé sur l'utilisation de récepteur à base de d'amplificateur suiveur-bloqueur large bande (Track and hold Amplifiers (THA)). Les caractéristiques non linéaires et le fonctionnement de ces THA permettant un échantillonnage direct du signal radiofréquence (RF) sont décrits. Les avantages principaux en termes de bande passante et de dynamiques des structures THA par rapport à des échantillonneurs (samplers) sont exposés. Une comparaison de mesures d'enveloppe de signaux impulsionnels RF entre un système fondé sur le principe du mélange fondamental (VSA) et le système à sous-échantillonnage par THA permet de valider le fonctionnement de ce dernier. Cette comparaison permet de caractériser les effets de mémoire basse fréquence présents dans un amplificateur commercial RF 50W NITRONEX Non linéaire soumis à des signaux d'excitation RF impulsionnels.

1. Introduction

Les caractéristiques électriques des transistors semi conducteurs grands gaps en font d'excellents candidats pour la conception d'amplificateurs de très forte puissance. Afin d'optimiser la conception de ces amplificateurs la connaissance des effets de mémoire basse fréquence présents dans ces dispositifs fortement non linéaires doivent être caractérisés très précisément. Pour ce faire, les systèmes de mesures temporelles permettent de mieux appréhender tous les phénomènes transitoires qui peuvent exister dès lors que les amplificateurs sont soumis à des signaux d'excitations modulés réels. La mesure temporelle de signaux RF est largement fondée sur l'utilisation d'échantillonneurs comme c'est le cas pour le Large Signal Network Analyzer. Cet instrument présente une bande passante très étroite (20MHz). Des travaux ont été menés par le passé pour étendre cette bande passante jusqu'à 160 MHz au détriment de la dynamique (8bits) et au prix d'un circuit à la fréquence intermédiaire très complexe [1]. Ce papier propose un nouveau système de mesure temporelle de signaux modulés fondé sur l'utilisation de THA qui permet d'obtenir d'augmenter encore plus la bande passante du système de mesure ainsi que la

dynamique tout en supprimant la nécessité d'utiliser un circuit FI. Ce papier présente tout d'abord le fonctionnement du THA en mettant en évidence ces avantages par rapport à l'utilisation de samplers. Le paragraphe suivant permettra de décrire le banc de caractérisation en mode impulsionnel d'amplificateurs de très forte puissance. Enfin, la validation du fonctionnement de ce banc de caractérisation temporelle sera démontrée à partir d'une comparaison de mesure d'enveloppe impulsionnelle réalisée ce banc et sur un banc utilisant le principe du mélange fondamental.

2. Fonctionnement des THA pour la numérisation directe de signaux radiofréquences.

Le principe de fonctionnement d'un THA est présenté sur la figure 1.

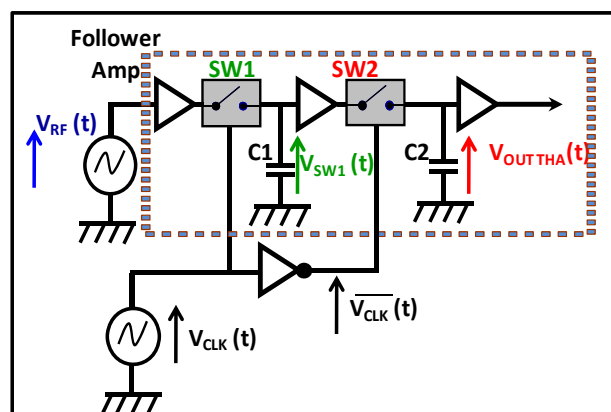


Figure 1. Schéma bloc de simulation d'un THA sous ADS.

Une analyse en transitoire du THA a été simulé sous ADS avec un signal RF CW à 2.5 GHz. Deux commutateurs idéaux (SW1 et SW2) sont pilotés par deux horloges complémentaires à 400MHz (i.e. $T_{clock}=2.5ns$). La figure 2 montre que pendant la demi-période négative de l'horloge, SW1 suit le signal RF en mode « track » jusqu'au niveau de tension atteint par la capacité C1 quand le signal d'horloge devient positif. SW2 qui est piloté par un signal d'horloge complémentaire à celui de SW1 réalise la même fonction

que SW1. Toutefois SW2 maintient la tension en sortie de SW1 aux bornes de la capacité C2 en mode « Hold »

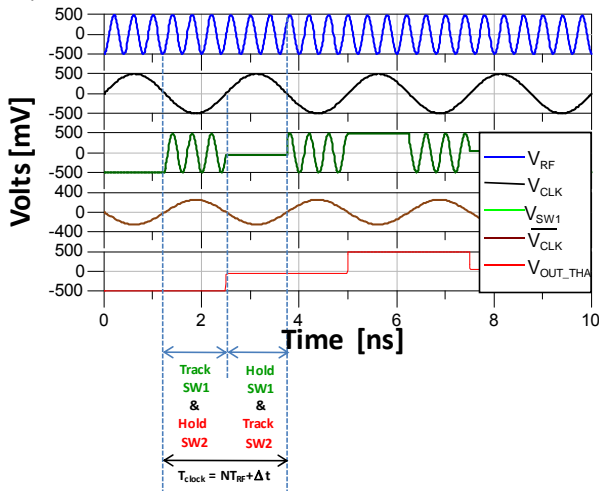


Figure 2. Simulation du principe de sous-échantillonnage du THA

Pendant la demi-période d'horloge suivante, c'est SW1 qui maintient la valeur du signal RF, acquise directement pendant que SW2 suit la tension chargée dans C1. La tension de sortie du THA (V_{OUT_THA}) correspond donc directement à la valeur de la tension RF acquise pendant une période d'horloge avec un gain de conversion idéal unitaire. Ce gain unitaire est obtenu grâce à l'utilisation en sortie de chaque commutateur SW1 et SW2 d'amplificateurs suiveurs. Cette tension peut alors être numérisée par les convertisseurs analogiques numériques (ADC) sans aucun circuit à la fréquence intermédiaire contrairement à ce qui se passe dans les systèmes à sampler. Il est à noter pourtant que le THA fonctionne comme les samplers selon le principe de sous-échantillonnage harmonique comme le montre l'équation suivante :

$$T_{clock} = NT_{RF} + \Delta t \quad (1)$$

Avec $N=6$, $T_{RF}=0.4ns$ et $\Delta t=0.1ns$

Dans la réalité le gain de conversion n'est pas unitaire et il s'agit de le caractériser pour pouvoir en déduire sa dynamique. Cette caractérisation est obtenue à l'aide du banc présenté sur la figure 3.

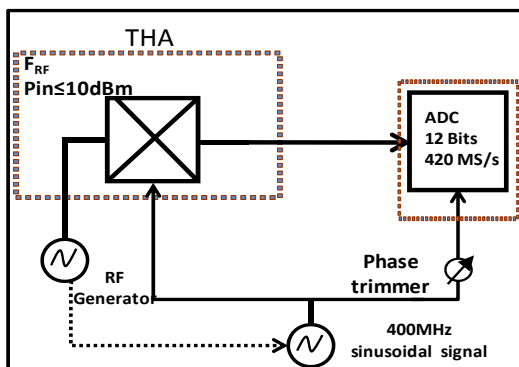


Figure 3. Banc de caractérisation du THA.

Le THA et l'ADC fonctionnent avec la même horloge sans circuit FI complémentaire réduisant ainsi fortement la complexité du récepteur. Un déphaseur peut être utilisé pour assuré que l'échantillonnage de l'ADC est effectif durant la période de Hold du SW2 comme le montre la figure 4.

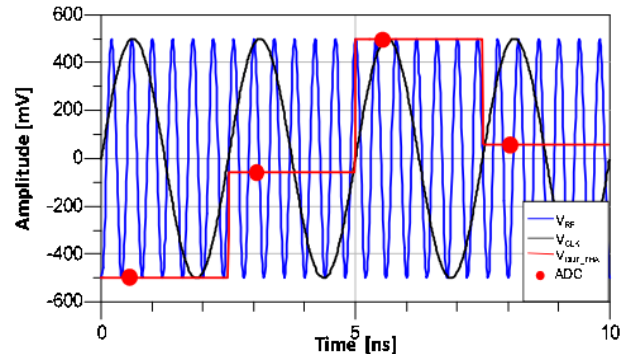


Figure 4. Echantillonnage de la sortie du THA par l'ADC (Simulation ADS).

Le THA large bande commercial utilisé (INPHI 13GHz BW&2GS/s) et les ADC 12 bits sont synchronisés avec une horloge unique sinusoïdale (contrairement aux samplers). Le déphaseur permet de synchroniser l'échantillonnage de l'ADC et la sortie du THA. Les pertes de conversion obtenues sont présentées sur la figure 5 et l'analyse de linéarité du THA est exposée sur la figure 6.

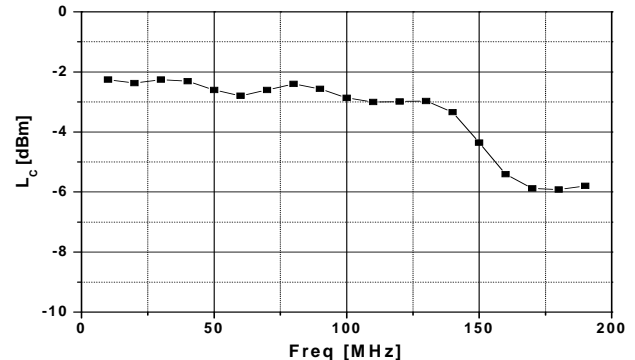


Figure 5. Gain de conversion mesuré du THA.

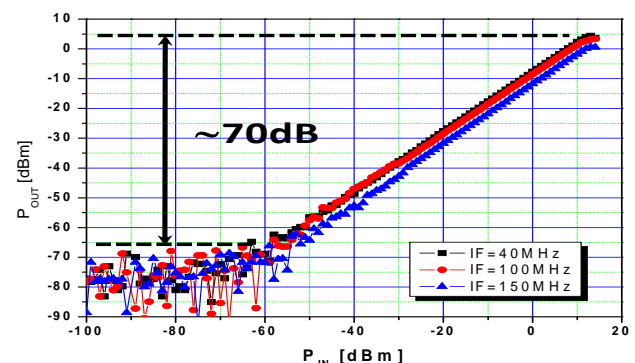


Figure 6. Compression à 1 dB du THA.

Une dynamique de près de 70 dB est obtenue avec le THA alors qu'elle n'est que de 50 dB sur les samplers. Par ailleurs le niveau de puissance maximale admissible

par le THA est 15 dB supérieur à celui des samplers et atteint la valeur de 5 dBm.

3. Description du système de mesure temporel impulsionnel à base de THA.

3.a. Système de mesure

Le système de mesure temporel RF impulsionnel à base de THA est représenté sur la figure 5.

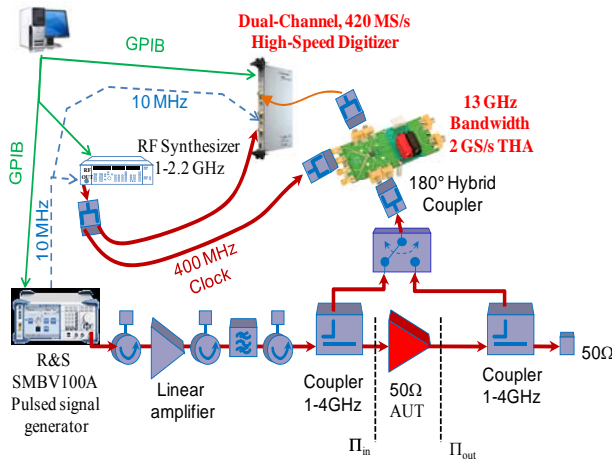


Figure 5. Description du système de mesures temporelles à base de THA.

Le signal radiofréquence impulsionnel est produit par le générateur Rhode et Schwarz SMBV100A. Il est amplifié linéairement avant d'être envoyé à l'amplificateur sous test. Les signaux RF impulsionnels à l'entrée et à la sortie de l'amplificateur sous test sont mesurés à l'aide de deux couplageurs unidirectionnels et d'un commutateur. Ils sont ensuite directement numérisés par l'association d'un THA large bande (13 GHz) très haute vitesse (2GS/s) et d'un convertisseur analogique numérique (CAN) à 420MS/s et haute dynamique (12 bits). Une horloge commune de fréquence égale à 400MHz est synthétisée et utilisée à la fois pour le THA et pour le CAN. Le CAN, l'horloge et le SMBV sont synchronisés par un signal 10MHz. L'ensemble du banc est piloté par bus GPIB utilisant le logiciel Labview via la couche VISA de National Instrument. Un étalonnage en puissance et en phase identique à celui présenté dans [2] est réalisé pour obtenir dans les plans Π_{in} et Π_{out} le signal RF directement numérisé.

3.b. Mesures des signaux RF impulsionnels directement numérisés.

Dans ce paragraphe, la mesure d'un amplificateur de très forte puissance (50W) Nitronex soumis à une excitation impulsionnelle est présentée. L'amplificateur est polarisé à une tension de 28V et un courant de drain égal à 330 mA. Un train périodique de 8 impulsions de largeur $1\mu s$ et 10 % de récurrence est appliqué à l'entrée de l'amplificateur sous test (AST). La fréquence RF est égale à 2.5 GHz, l'horloge partagée par le THA et les ADC est égale à 400 MHz. Le sous-échantillonnage produit ainsi un signal FI à 100 MHz. La figure 6

représente la forme temporelle mesurée et corrigée du signal de sortie de l'AST pour un niveau de puissance de sortie dans l'impulsion de 45 dBm (@1 dB de compression).

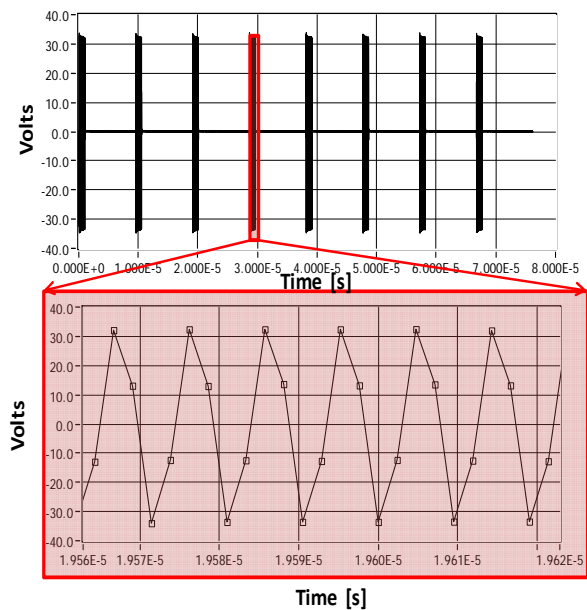


Figure 6. Signal temporel impulsionnel mesuré en sortie de l'amplificateur @ 1 dB de compression.

Compte tenu des valeurs choisies de la fréquence IF et de la fréquence d'horloge, le signal RF est représenté par 4 échantillons par période RF. Dans ce cas, les fréquences harmoniques sont éliminées par les couplageurs bande étroite présents en entrée et sortie de l'AST. Ces 4 échantillons par période permettent de démoduler le signal RF en calculant les signaux I et Q selon la méthode décrite dans [3]. Le signal d'enveloppe impulsionnelle ainsi démodulé est présenté sur la figure 7.

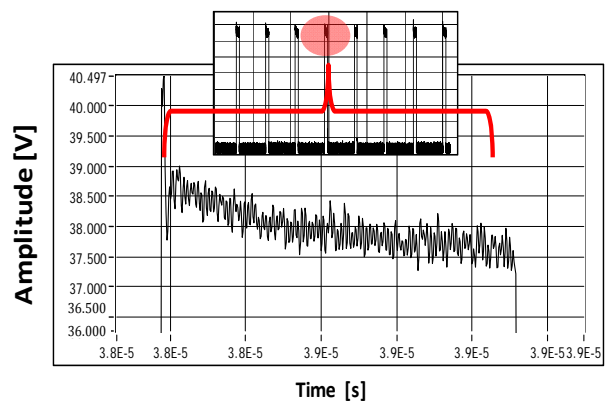


Figure 7. Enveloppe impulsionnelle temporelle en amplitude mesurée en sortie de l'amplificateur @ 1 dB de compression.

Cette enveloppe fait clairement apparaître une décroissance dans l'impulsion qui prouve l'existence de phénomènes de mémoire basse fréquence produit par les non linéarités de l'AST.

3.c. Validation du banc de caractérisation.

Afin de valider le banc de mesure proposé, une caractérisation du même amplificateur de puissance est réalisée avec le même banc que celui proposé dans la figure 5 dans lequel le récepteur THA+ADC est remplacé par un instrument à mélange fondamental : l'analyseur de signaux vectoriel (R&S FSQ26). La fréquence de cet analyseur est ajustée à sa valeur maximale de 326.4 MHz (inférieure à celle du THA). Une procédure identique de calibrage à celle utilisée précédemment permet d'obtenir les mêmes informations que celles de la figure 7 sans avoir accès au signal FI. L'enveloppe impulsionnelle mesurée au FSQ calibré est obtenue sur la figure 8.

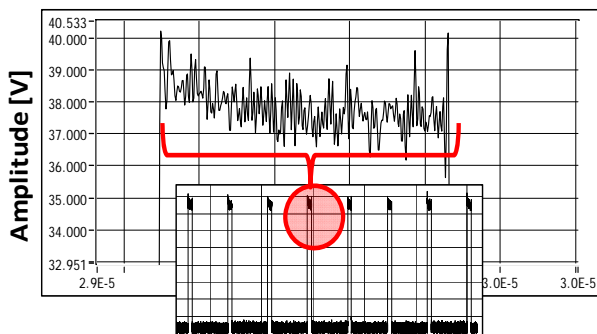


Figure 8. Enveloppe impulsionnelle temporelle en amplitude mesurée en sortie de l'amplificateur @ 1 dB de compression avec le FSQ26.

La variation d'amplitude de l'enveloppe est la même quel que soit le récepteur utilisé permettant de valider ainsi la mesure directe des signaux RF à l'aide de THA. Cette mesure confirme la valeur des effets de mémoire basse fréquence observés précédemment.

4. Conclusion

Ce papier a présenté un nouveau banc de caractérisation temporelle impulsionnel d'amplificateurs de très forte puissance RF fondée sur l'utilisation d'un récepteur à base de THA large bande et d'ADC 12 bits. Ce banc de caractérisation permet d'améliorer sensiblement la bande passante et la dynamique de mesure par rapport à des instruments de mesure à base de samplers ou par rapport à des instruments commerciaux. L'utilisation de THA permet en outre de simplifier fortement le circuit FI analogique et permet d'utiliser une seule horloge sinusoïdale et non plus des horloges impulsionnelles plus complexes à mettre en œuvre et à gérer.

La perspective à donner à ce travail consiste à monter maintenant un banc de caractérisation de type load-pull temporel 4 accès pour la caractérisation de stabilité pulse à pulse [4] d'amplificateurs de puissance soumis à des variations de charge pour des applications radar.

5. Bibliographie

- [1] M. Abouchahine, A.Saleh, G.Neveux, T. Reveyrand, J.P.Teyssier, D.Barataud and J.M.Nebus "Broadband Time-Domain Measurement system applied to the characteristics of cross modulation in nonlinear microwave devices", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 58, Issue 4, pp. 1038 - 1045, April 2010.
- [2] M Saad El Dine, T. Reveyrand, G. Neveux, P. Bouysse, D.Barataud, J.-M. Nebus, W. Reberneck "A Measurement Set-up and Methodology Combining Dynamic Biasing and Baseband Predistortion for High Efficiency and Linear Amplifier design", *International Microwave Symposium Boston USA, 20*
- [3] Kenneth J. Hetling "Multirate subharmonic sampling", *IEEE International Conference on Communications*, vol. 2 pp.763-767, 2000.
- [4] C.Salmer, PH. Eudeline, P.A. Rolland "Pulse to Pulse Stability of Solid state Transmitter Module for Radars Application", *28th European Microwave conference*, Amsterdam, 1998.