

Nouvelle méthode de caractérisation des enveloppes temporelles de signaux modulés aux accès de dispositifs non linéaires RF dans un environnement Load-pull

F. Macraigne, T. Reveyrand*, C. Mazière, D. Barataud, J.M. Nebus, R. Quéré, F. Gizard*
IRCOM – UMR CNRS 6615 – 123 Avenue Albert Thomas 87060 LIMOGES Cedex
*CNES – CT/RF/HT– 18, Avenue Edouard Belin, 31055 TOULOUSE Cedex

I. Introduction :

La prise en compte des désadaptations dans la réalisation d'amplificateurs de puissance est un point clé pour les concepteurs. Connaître les comportements non linéaires de dispositifs excités par des signaux modulés en présence de désadaptations est donc fondamental et nécessaire. Au cours de ces dernières années, un grand nombre de systèmes de mesures ont été développés pour investiguer le comportement non linéaire de ces amplificateurs. Ces systèmes sont basés sur l'utilisation de MTA [1], d'Oscilloscopes [2][3] ou de LSNA [4], permettant la caractérisation en enveloppe de dispositifs non linéaires sous des excitations de type CW ou 2 tons. Des procédures de calibration spécifiques ont été développées avec ces systèmes afin d'extraire ces signaux dans le domaine temporel aux accès de dispositifs sous test (DST).

Associés à différentes techniques load-pull aux fréquences RF et/ou FI, ces systèmes sont très utiles, dans un premier temps, pour développer la connaissance des effets des impédances de charge sur la linéarité des transistors de puissance [5][6], et dans un deuxième temps, pour fournir des informations exactes pour la modélisation d'amplificateur de puissance [7][8]. Cependant, l'influence des désadaptations d'impédances, sur les effets mémoires HF et BF des dispositifs non linéaires RF, exige l'entière connaissance des 4 enveloppes temporelles des signaux présents aux accès des dispositifs.

Dans ce papier, une description plus détaillée de la mesure d'enveloppe est présentée. Ce système proposé est basé sur l'utilisation d'un oscilloscope numérique à 4 voies entièrement calibrées afin d'extraire les enveloppes RF, dans le domaine temporel, des signaux modulés complexes. Une procédure spécifique de calibration d'enveloppe est présentée. Et en conclusion, des résultats de mesures d'enveloppe obtenus pour un transistor MESFET optimisé en gain sont rapportés.

II. Description du banc de caractérisation :

Le synoptique du banc de caractérisation temporelle est représenté sur la Figure 1.

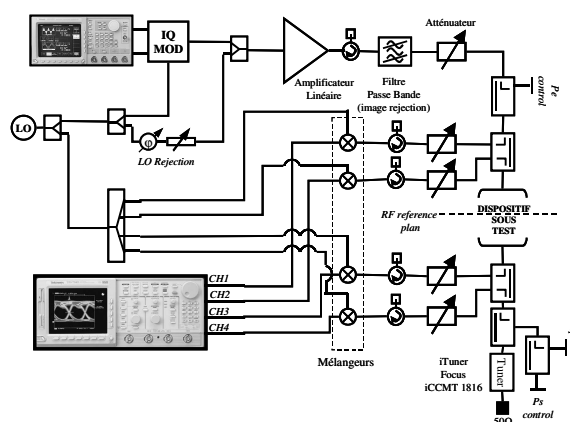


Figure 1 : Synoptique du banc de caractérisation temporelle.

Une première fonctionnalité de ce système de mesure consiste à générer des signaux modulés complexes RF. La génération des signaux d'enveloppe modulés est réalisée à partir d'un AWG (générateur de signaux arbitraires 12bits – 250MHz) permettant une grande diversité de signaux. Les deux signaux (I,Q) de l'AWG sont modulés en FI autour de la fréquence porteuse f_{OL} en utilisant un modulateur I/Q. Un amplificateur linéaire et des atténuateurs programmables permettent de conditionner la puissance du signal dans le plan du DST. Les offsets de la voie I et Q de l'AWG sont ajustés afin de diminuer au mieux la fuite d'OL du modulateur I/Q. Cette fuite est totalement atténuée en utilisant un circuit spécifique de réjection. La réjection d'image du signal modulé est réalisée avec un filtre passe-bande. La seconde fonctionnalité de ce système de mesure sert à l'acquisition des signaux. Elle est fondée sur l'utilisation d'un oscilloscope numérique à 4 voies synchronisées. Chaque voie de réception est constituée d'un coupleur directionnel, d'un atténuateur, d'un bloc de conversion en fréquence (mélangeur) et d'un CAN (500Ms/s par voie). Ces 4 voies de réception permettent l'extraction simultanée des 4 ondes tension/courant à l'entrée et à la sortie du DST. Un même oscillateur local pilote les 4 mélangeurs pour que la cohérence de phase entre les signaux émis et reçus soit assurée. Des atténuateurs pre-calibrés sont utilisés sur les 4 voies de réception pour s'assurer que les mélangeurs travaillent dans leur zone linéaire. Un ordinateur réalise le traitement des données ainsi que la commande d'un iTuner large bande (Microwave iTuner iCCMT) [9]. Le système d'acquisition et les éléments de prélèvement de signaux (coupleurs, atténuateurs, mélangeurs) doivent être totalement calibrés afin d'obtenir les enveloppes temporelles corrigées associées aux signaux réels RF modulés dans le plan de référence RF du DST.

III. Description de la procédure de calibration :

L'objectif de la procédure de calibration est de déterminer la réponse en fréquence des 4 canaux RF en réception aux différentes fréquences d'enveloppe (Figure 2) [10]. Cette procédure de calibration est divisée en 2 étapes. Une calibration classique SOLT est réalisée, dans un 1^{er} temps, afin de déterminer tous les coefficients relatifs décrits dans le graphe de fluence (Figure 3).

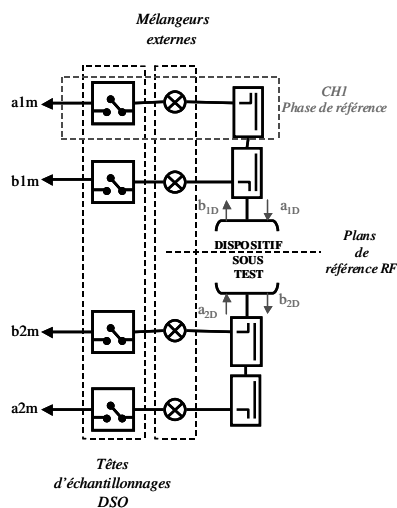


Figure 2 : Voies de réception RF.

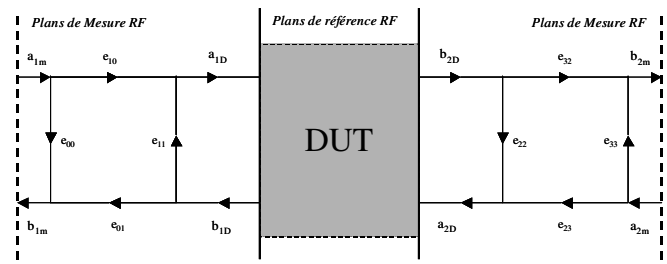


Figure 3 : Représentation du graphe de fluence.

Les relations entre les mesures et les ondes courant/tension dans le plan de référence RF peuvent être écrites comme ci-dessous (Figure 4). La détermination de chaque terme d'erreurs est basée sur la résolution des moindres-carrés.

$$\begin{pmatrix} a_{1D}(\Omega) \\ b_{1D}(\Omega) \\ a_{2D}(\Omega) \\ b_{2D}(\Omega) \end{pmatrix} = \frac{1}{e_{01}} \begin{pmatrix} e_{10}.e_{01} - e_{00}.e_{11} & e_{11} & 0 & 0 \\ -e_{00} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(e_{32}.e_{23} - e_{22}.e_{33}).e_{10}.e_{01}}{e_{32}.e_{10}} & \begin{pmatrix} e_{22}.e_{10}.e_{01} \\ e_{32}.e_{10} \end{pmatrix} \\ 0 & 0 & -\begin{pmatrix} e_{33}.e_{10}.e_{01} \\ e_{32}.e_{10} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} e_{10}.e_{01} \\ e_{32}.e_{10} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_{1m}(\Omega) \\ b_{1m}(\Omega) \\ a_{2m}(\Omega) \\ b_{2m}(\Omega) \end{pmatrix}$$

Figure 4 : Matrice des coefficients d'erreurs.

La seconde étape de la procédure consiste en l'étalonnage absolu en amplitude et en phase. Il s'agit de déterminer le module $|e_{01}|$ du coefficient e_{01} aux différentes fréquences d'enveloppes des signaux. Le module du coefficient e_{01} est obtenu par une calibration classique en puissance en utilisant un wattmètre comme référence.

Pendant la mesure, le DST est excité par un signal modulé périodique. Les 4 acquisitions synchronisées des signaux modulés sont réalisées simultanément, au même instant de déclenchement, avec l'oscilloscope numérique. Celui-ci est déclenché par un signal spécifique TTL pulsé généré par l'AWG. Ce signal est cohérent en phase avec l'enveloppe du signal modulé et a exactement la même période que l'enveloppe du signal modulé.

L'enveloppe du signal modulé et l'oscillateur local ne sont pas des signaux cohérents en phase. Pour limiter les erreurs de gigue de phase sur l'enveloppe du signal, une procédure spécifique de moyennage est appliquée dans le domaine fréquentiel avec une correction d'erreur de phase. Cette correction de phase est basée sur l'hypothèse que le temps de propagation de groupe (TPG) de la voie de référence de phase est constant. L'enveloppe du signal modulé est alors déduite en calculant le déphasage RELATIF entre chaque fréquence d'enveloppe. Seule une phase de référence absolue est nécessaire et elle correspond à la phase d'une fréquence significative du spectre d'enveloppe. Le déphasage relatif est indépendant de la phase absolue de la fréquence porteuse (oscillateur local). L'enveloppe déduite du DST (Plans RF du DST) a exactement la même forme d'onde retardée (Plans de mesure RF).

IV. Capacités de ce système calibré – Application à la mesure d'un transistor FET.

Les capacités de ce système sont démontrées en effectuant l'extraction des 4 enveloppes temporelles entrée-sortie corrigées d'un transistor de puissance Fujitsu FLK012. Ce transistor fonctionne en classe A ($V_{gs0}=0.8V, I_{ds0}=1mA, V_{ds0}=6V, I_{ds0}=30mA$). L'impédance de charge du transistor a été optimisée (en utilisant l'iTuner passif iCCMT) pour obtenir un gain en puissance maximum à la fréquence porteuse de 1,6 GHz ($(\Gamma_{ch}(f_0)=0.548e^{-j80})$).

Ce transistor, optimisé en CW, est alors excité par un signal 2 tons ($\Delta f=10$ MHz). La figure montre les 4 ondes de tension corrigées aux entrée/sortie du transistor désadapté. Le système de mesure, décrit précédemment, permet la visualisation, en temps réel, des impédances d'entrée et de charge et des formes d'ondes temporelles tension/courant. L'évolution du module et de la phase du produit d'intermodulation (IMD) des 4 signaux d'enveloppe courant/tension présentés aux entrée/sortie du DST peuvent être ainsi obtenus (Figure 8). Les effets de mémoire HF du transistor, placé dans un environnement différent de 50Ω , sont observés sur une caractéristique AM/AM dynamique pour différents niveaux de puissance (Figure 9). Cette information est d'importance primordiale pour la linéarisation et la conception d'amplificateur de puissance. Elle pourra être employée, à l'avenir, pour valider ou extraire un nouveau modèle comportemental bilatéral de dispositifs non linéaires actifs RF.

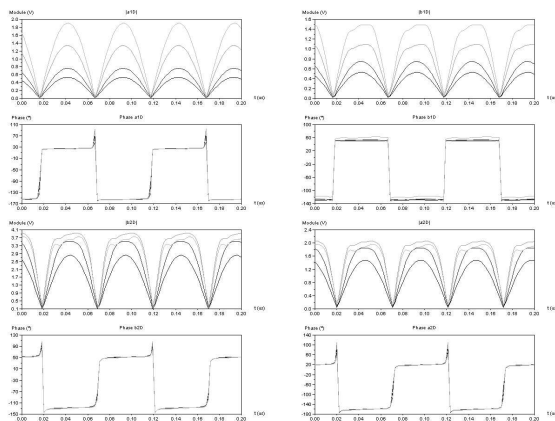


Figure 5 : Ondes de tension temporelles corrigées aux entrée/sortie du transistor FLK012.

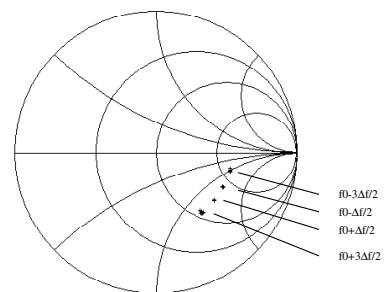


Figure 6 : Impédances de charge présentées aux 4 principales fréquences.

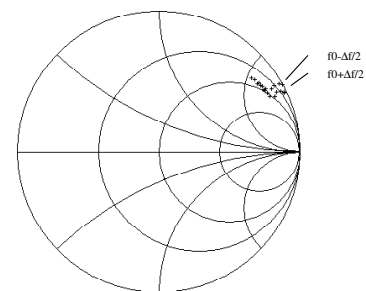


Figure 7 : Impédances d'entrée présentées par le transistor aux 2 fréquences du signal.

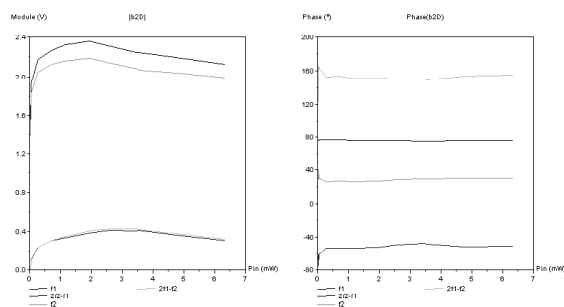


Figure 8 : Exemple d'évolution du module et de la phase du produit d'IMD en fonction de la puissance d'entrée.

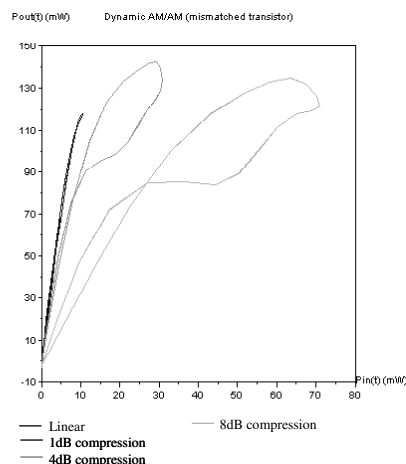


Figure 9 : Caractéristique AM/AM dynamique du transistor désadapté

V. Conclusion :

Ce papier a présenté un système de caractérisation d'enveloppes temporelles de dispositifs non linéaires chargés par des impédances différentes de 50Ω . Ce système de mesure 4 canaux entièrement calibrés combiné avec les techniques Load-Pull passif permet l'extraction des enveloppes des ondes de tension/courant aux entrée/sortie de dispositifs microondes non linéaires excités par des signaux modulés.

La procédure de calibration de ce système de mesure a été détaillée et complètement vérifiée. Les capacités de ce système ont été démontrées en réalisant la caractéristique d'un transistor de puissance MESFET adapté en gain et excité par un signal 2 tons ($\Delta f = 10\text{MHz}$).

Ces caractérisations de formes d'ondes temporelles courant/tension seraient très utiles dans l'objectif de la création et de la vérification de modèles comportementaux bilatéraux.

Référence :

- [1] C.J. Clark, G. Chrisikos, M.S. Muha, A.A. Moulthrop and C.P. Silva, "Time-Domain Envelope Measurement Technique with Application to Wideband Power Amplifier Modeling," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol. 46, No. 12, pp. 2531-2540, December 1998.
- [2] David J; Williams, Jonathan Leckey, Paul J. Tasker, "Envelope Domain Analysis of Measured Time Domain Voltage and Current Waveforms Provide for Improved Understanding of factors Effecting Linearity", *2003 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp.*, pp. 1411-1414, June 2003.
- [3] A. Mallet, F. Gizard, T. Reveyrand, L. Lapierre, J. Sombrin, "A new satellite repeater amplifier characterization system for large bandwidth NPR and modulated signals measurements", *IEEE MTT-S Digest*, Seattle, Vol. 3, pp 2245-2248, June 2002.
- [4] F. Verbeyst, E. Vandamme "Large-Signal Network Analysis. Overview of Measurement capabilities of Large-Signal Network Analyzer" *IEEE 58th ARFTG Conference Digest*, November 2001, pp.136-149
- [5] David J; Williams, Jonathan Leckey, Paul J. Tasker, "A Study of the effect of envelope impedance on Intermodulation asymmetry using a two-tone Time Domain Measurement system", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, Vol. 3, 2002, pp. 1841-1844.
- [6] J.F. Sevic et al., "A Novel Envelope Termination Load-pull method for ACPR Optimization of RF/Microwave Power amplifiers", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, Vol. 2, 1998, pp. 723-726.
- [7] T. Reveyrand, C. Mazière, J.M. Nébus, R. Quéré, A. Mallet*, L. Lapierre, J. Sombrin, "A Calibrated Time Domain Envelope Measurement System for the Behavioral Modeling of Power Amplifiers", *GAAS*, Milan, pp. 237-240, 2002.
- [8] C. Maziere, T. Reveyrand, S. Mons, D. Barataud, J.M. Nebus, R. Quere, A. Mallet, L. Lapierre, and J. Sombrin, "A novel behavioral model of power amplifier based on a dynamic envelope gain approach for the system level simulation and design." *Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-S International*, vol. 2, pp. 769-772, 2003.
- [9] Focus Microwaves "Measurement system Operation Manual" *Version 7.7 March 2003*.
- [10] J. Qiu, D. Abe, T. M. Antonsen, B.G. Danly, and B. Levush, "Calibration of a Gigahertz-Bandwidth Vector Signal generation and Analysis system." *Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-S International*, pp. 1659-1662, 2003.