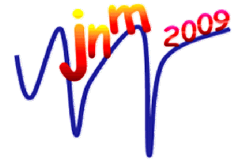


# 16<sup>èmes</sup> Journées Nationales Microondes 27-28-29 Mai 2009 Grenoble



## Modélisation comportementale des oscillateurs micro-ondes en utilisant des réseaux de neurones

Michael Kraemer<sup>1,2</sup>, Daniela Dragomirescu<sup>1,2</sup>, Robert Plana<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>LAAS-CNRS, Université de Toulouse ; <sup>2</sup>INSA, Université de Toulouse ; <sup>3</sup>UPS, Université de Toulouse  
7 avenue du Colonel Roche, 31077 Toulouse  
mkraemer@laas.fr

### Résumé

Ce papier décrit une nouvelle technique pour modéliser le comportement en régime transitoire et régime permanent ainsi que le bruit de phase pour des oscillateurs micro-onde. Cette méthodologie peut être appliquée à une grande variété d'oscillateurs contrôlés en tension (OCT) : différentiel ou non, indépendant de l'architecture et avec ou sans buffer.

La technique proposée utilise des réseaux de neurones pour approximer la caractéristique non linéaire du circuit. La dynamique est décrite par un système d'équations différentielles d'ordre deux dans l'espace d'états, ce qui représente une grande réduction par rapport à l'oscillateur initial. Le bruit de phase est simulé en injectant dans le résonateur du bruit Gaussien, qui sera ensuite transformé en bruit de phase dans la région  $1/f^2$ . L'implémentation du modèle est proposée en VHDL-AMS.

### 1. Introduction

À des fréquences très élevées, les modèles utilisés pour la conception des sous-circuits sont trop complexes, empêchant ainsi leur utilisation pour simuler un système complet. Il faut donc des modèles comportementaux qui réduisent l'ordre du système, comme présenté pour les quadripôles micro-onde dans [1]. Cette méthodologie n'est pourtant pas facilement applicable aux oscillateurs. Le modèle proposé dans ce travail comble cette lacune. Le principe de base est exposé de façon plus approfondie dans [2] pour des oscillateurs simples sans contrôle en tension.

Pour l'implémentation du modèle, le langage de description matériel « VHDL-AMS » [3] est utilisé, car il permet de simuler des blocs analogiques et numériques.

### 2. Structure du modèle

L'ordre du circuit d'un OCT peut facilement dépasser le millier puisque chaque capacité parasite indépendante en accroît l'ordre.

Dans le modèle proposé, les états de l'oscillateur ne sont plus liés aux capacités et inductances du circuit. Cela permet de réduire l'ordre du système à deux sans changer le comportement de l'oscillateur. En effet, le vecteur

d'état du système est défini par

$$\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{\text{tank}}(t) \\ \dot{v}_{\text{tank}}(t) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

avec  $v_{\text{tank}}(t)$  la tension sur le résonateur, et  $\dot{v}_{\text{tank}}(t)$  sa dérivée première.  $v_{\text{tank}}(t)$  et  $\dot{v}_{\text{tank}}(t)$  sont les nouveaux états du système. L'équation différentielle qui décrit l'évolution de ces états est donc

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2(t) \\ f(x_1(t), x_2(t), u(t)) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

La fonction  $f()$  représente le comportement fortement non linéaire de l'oscillateur, et prend comme arguments les vecteurs contenant les états  $\mathbf{x}(t)$  et les entrées  $\mathbf{u}(t)$  du système. Ces dernières sont dans ce cas la tension de contrôle et le signal d'une source de bruit. L'équation des sorties,

$$\begin{bmatrix} v_x(t) \\ v_y(t) \end{bmatrix} = \Psi(x_1(t), x_2(t), u(t)), \quad (3)$$

est utilisée pour calculer les tensions à la sortie de l'oscillateur à partir de ses états et de ses entrées.

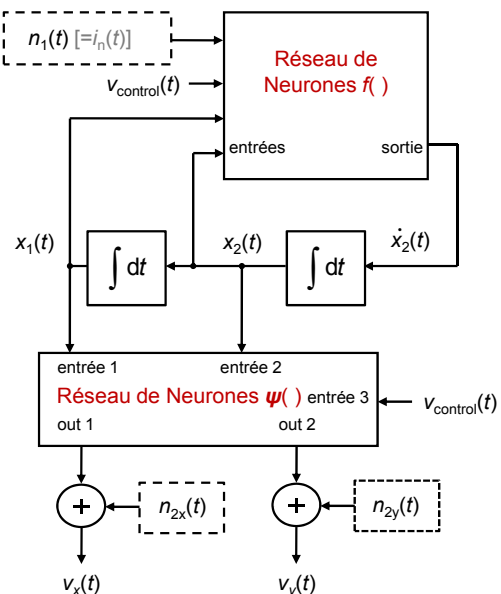
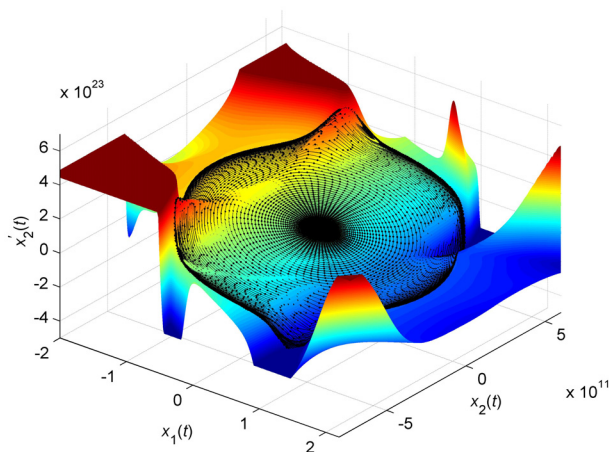


Figure 1. Structure du modèle proposé.

La structure du modèle complète est donnée dans la Figure 1. Les fonctions  $f(\cdot)$  et  $\Psi(\cdot)$  sont implémentées par des réseaux de neurones [4]. Les blocs en pointillés contiennent des sources de bruit Gaussien, qui sont utilisés, pour émuler le bruit de phase à la sortie de l'oscillateur, et pour initier l'oscillation.

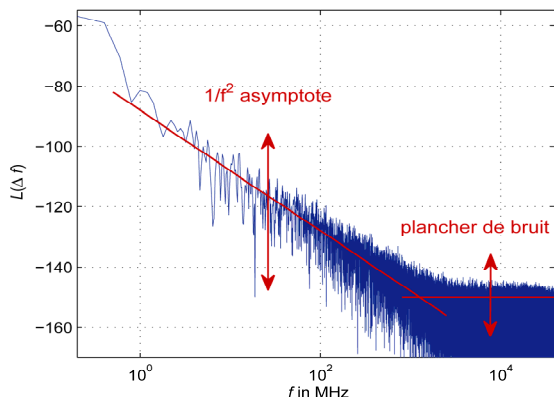
Les réseaux de neurones [4] contiennent l'intégralité du comportement de l'oscillateur. Afin de déterminer les paramètres de ces réseaux, on les entraîne avec des données obtenues via une simulation au niveau circuit (SPECTRE ou ADS). La réponse d'un réseau de neurones avec deux couches cachées, approximant la fonction  $f(\cdot)$ , est représentée dans la Figure 2. La réponse du réseau entraîné correspond très précisément au cycle limite obtenu par la simulation sur ADS.



**Figure 2.** Couverture de la fonction  $f(\cdot)$  obtenue par le réseau de neurones (surface colorée) par rapport à sortie du modèle ADS (cycle limite en noir).

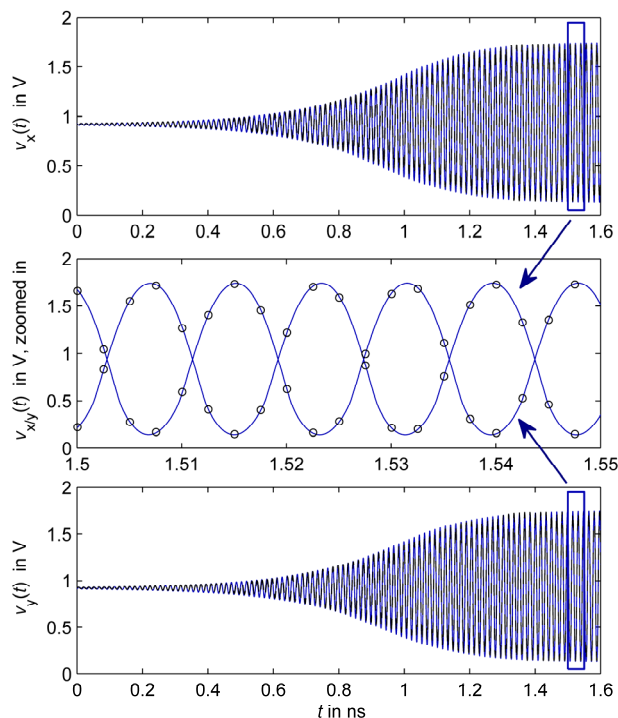
### 3. Résultats

La méthodologie décrite ci-dessus est appliquée afin de modéliser le comportement d'un OCT type « Colpitts » différentiel à 60 GHz, dont le schéma existe sur ADS. A partir de ce modèle, les deux réseaux nécessaires présentés sur la Figure 1 sont entraînés. Deux couches cachées avec 15 et 10 neurones pour approximer  $f(\cdot)$  et une couche cachée avec 3 neurones pour approximer  $\Psi(\cdot)$  ont été nécessaires pour obtenir une erreur quadratique moyenne de l'ordre de  $1E-6$ .



**Figure 3.** Spectre du bruit de phase produit par le modèle VHDL-AMS proposé.

Le spectre de bruit de phase simulé avec le modèle proposé est donné en Figure 3. Le comportement en régime transitoire et en régime permanent, qui contient aussi le point de polarisation du circuit, est donné en Figure 4.



**Figure 4.** Comparaison : sorties différentielles du modèle proposé (cercles) par rapport aux résultats du modèle ADS (ligne).

### 4. Conclusion

Une technique pour créer des modèles comportementaux des OCT a été développée. Les résultats montrent qu'il est possible de réduire l'ordre des modèles à deux, si la vue boîte noire est suffisante.

Ce modèle peut être appliqué dans des simulations systèmes, où le temps de calcul des simulations au niveau circuit est trop long, mais où une précision très élevée, avec la possibilité d'inclure le bruit de phase, est néanmoins indispensable.

### 5. Bibliographie

- [1] J. Wood, D. Root, and N. Tuffillaro, "A behavioral modeling approach to nonlinear model-order reduction for RF/microwave ICs and systems," IEEE Trans. Microwave Theory & Techn., Vol. 52, pp. 2274–2284, 2004.
- [2] Kraemer, M.; Dragomirescu, D., Plana, R., "Nonlinear Behavioral Modeling of Oscillators using Artificial Neural Networks", IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, 2008
- [3] "IEEE standard VHDL analog and mixed-signal extensions: Std. 1076.1-1999," 1999.
- [4] S. Haykin, "Neural Networks - A Comprehensive Foundation", 2nd ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1999.