

## **Metodi per la Simulazione, Verifica e Progetto di Circuiti Elettrici Nonlineari**

P. Maffezzoni, L. Codecasa, D. D'Amore, M. Santomauro,  
Dipartimento di Elettronica e Informazione  
Politecnico di Milano - Campus Leonardo  
via Golgi 40, 20133 MILANO

L'evoluzione continua della tecnologia di fabbricazione dei circuiti elettronici integrati conduce oggi alla realizzazione di sistemi sempre più complessi in termini di numero di componenti ed in cui funzionalità diverse, quali l'elaborazione analogica e digitale o addirittura l'elettronica di potenza, tendono ad essere integrate insieme su di un unico substrato.

La simulazione elettrica di tali sistemi costituisce una fase essenziale del progetto e della verifica del corretto funzionamento. Purtroppo gli strumenti di analisi attualmente disponibili nei simulatori commerciali (es. Spice o Spectre) si rivelano spesso inadeguati alle nuove esigenze del progettista. In particolare alcuni tipi di simulazione, quali l'analisi di sensitività alle fluttuazioni dei parametri di progetto, l'analisi di rumore e dell'effetto di interferenze e disturbi, non hanno ancora raggiunto un sufficiente livello di maturità ed affidabilità.

Un esempio importante in tal senso è rappresentato dai circuiti che compongono la sezione a Radio Frequenza (RF) dei moderni sistemi "wireless" per le comunicazioni elettriche in cui componenti tipicamente analogici, quali l'oscillatore o l'amplificatore, convivono con dispositivi fortemente non lineari quali, mixer, comparatori di livello o logica digitale.

Nell'ambito delle problematiche su esposte l'attività sviluppata ha prodotto i contributi di seguito descritti.

A) È stato proposto un metodo innovativo per la simulazione nel dominio del tempo di circuiti autonomi e non autonomi con comportamento fortemente nonlineare che impiega formule di Runge-Kutta implicite [1]. Il metodo è stato combinato con una particolare strategia di analisi guidata dagli eventi ("Event Driven Simulation") [2] che identifica con grande precisione gli eventi di forte variabilità del circuito e permette di conservare l'ordine di accuratezza teorica dell'integrazione numerica ed assicura robustezza alla simulazione.

B) Si è studiato un macromodello nel dominio della fase di oscillatori RF per l'analisi del comportamento in presenza di interferenze di piccolo segnale, di rumore di fase e per lo studio di fenomeni di sincronizzazione.

Lo studio condotto nell'attività di ricerca ha portato ad una reinterpretazione ed estensione del concetto originale di Impulse-Sensitivity-Function (ISF) impiegata come figura di merito nella caratterizzazione degli oscillatori RF.

Il macromodello è stato applicato all'analisi dei fenomeni di secondo ordine indotti da rumore di tipo colorato in oscillatori [4] e a fenomeni di injection-locking [5] e injection-pulling [7].

C) Si è sviluppata un'efficiente tecnica numerica per l'analisi di sensitività ai parametri sia in circuiti non autonomi quali gli amplificatori che in circuiti autonomi oscillanti [3], [6].

Tutti i metodi sono stati implementati in un simulatore prototipo denominato Simulation-LABoratory(S-LAB) in corso di sviluppo presso il nostro dipartimento [8], [9].

## Riferimenti Bibliografici

- [1] P. Maffezzoni, L. Codecasa, D. D'Amore, "Time-Domain Simulation of Nonlinear Circuits through Implicit Runge-Kutta Methods," *IEEE Trans. on Circuits and Systems I: Regular Papers*, Vol. 54, N. 2, Feb. 2007 pp. 391-400.
- [2] P. Maffezzoni, L. Codecasa, D. D'Amore, "Event-Driven Time Domain Simulation of Closed-Loop Switched Circuits", *IEEE Trans. on Computer-Aided-Design of Integrated Circuits and Systems*, Vol.25, N.11, Nov. 2006, pp. 2413-2426.
- [3] P. Maffezzoni, "Efficient Multiparameter Sensitivity Computation of Amplifier Harmonic Distortion," *IEEE Trans. on CAS-II: Express Briefs*, Vol. 54, N. 3, Mar. 2007 pp. 257-261.
- [4] P. Maffezzoni, "Frequency-Shift Induced by Colored Noise in Nonlinear Oscillators," *IEEE Trans. on CAS-II: Express Briefs*, Vol. 54, N. 10, Oct. 2007, pp. 887- 891.
- [5] P. Maffezzoni, "Analysis of Oscillator Injection Locking Through Phase-Domain Impulse-Response," in corso di stampa in *IEEE Trans. on Circuits and Systems I: Regular Papers*, (Disponibile on line: [www.ieee.org](http://www.ieee.org)).
- [6] P. Maffezzoni, "Unified Computation of Parameter-Sensitivity and Signal-Injection Sensitivity in Nonlinear Oscillators," *IEEE Trans. on Computer-Aided-Design of Integrated Circuits and Systems*, Vol. 27, pp. 781-790, May 2008.
- [7] P. Maffezzoni, L. Codecasa, D. D'Amore, M. Santomauro, "Closed-Form Expression of Frequency Pulling in Unlocked-Driven Nonlinear Oscillators," *IEEE European Conference on Circuits Theory and Design*, 26-29 Aug. 2007, Seville, Spain, pp. 914-917.
- [8] P. Maffezzoni, L. Codecasa, D. D'Amore, M. Santomauro, "Semi-Implicit Integration Method for the Time-Domain Simulation of Thermal Responses," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems 2008*, 18-21 May 2008, Seattle, USA.
- [9] P. Maffezzoni, L. Codecasa, D. D'Amore, M. Santomauro, "Steady-State Analysis of Strongly Nonlinear Oscillators by means of Runge-Kutta Methods," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems 2008*, 18-21 May 2008, Seattle, USA.