

Simulazione di circuiti

Angelo Brambilla, Giambattista Gruosso, Amedeo Premoli, Massimo Redaelli, Giancarlo Storti-Gajani
Dipartimento di Elettronica e Informazione
Politecnico di Milano - Campus Leonardo
Via Golgi, 40, I-20133 MILANO

Il gruppo di ricerca si occupa principalmente dell'analisi e progetto di circuiti ed in particolare dello sviluppo di algoritmi numerici per l'analisi (tutti gli algoritmi presentati in questa breve memoria sono stati implementati nel simulatore "pan", disponibile sul sito *brambilla.elet.polimi.it*). In quest'ambito l'attività si suddivide nei seguenti settori.

a) Studio di algoritmi e metodi per la simulazione di circuiti a radiofrequenza

Si è sviluppato un algoritmo di "envelope following" che permette la simulazione di circuiti con costanti di tempo decisamente differenti come per esempio oscillatori al quarzo. E' ben noto che la fase di "accensione" di un oscillatore al quarzo caratterizzato dal un alto fattore di qualità (Q) può durare svariate migliaia o milioni di cicli dell'oscillatore.

In questo caso la simulazione di un oscillatore nel dominio del tempo con algoritmi convenzionali risulta proibitiva [3], [5]. D'altra parte è ragionevole arguire che due cicli successivi diano risultati molto simili. L'algoritmo di envelope following cerca di evitare l'analisi di tutti i cicli di funzionamento dell'oscillatore, ma opera "salti" nel tempo analizzando solo quei cicli che appaiono sufficientemente differenti rispetto ad una soglia di accuratezza stabilita dall'utente. L'algoritmo di "envelope following" risulta essere un valido strumento anche per fornire la condizione iniziale ad algoritmi (per esempio algoritmi tipo *shooting*) per la determinazione dello stato stazionario sia di circuiti autonomi che non autonomi [7].

In sostanza un algoritmo di shooting converge ad una possibile soluzione del circuito se e solo se la condizione iniziale è "sufficientemente" vicina alla soluzione stessa. Un modo semplice ed efficace è simulare per un certo intervallo di tempo un circuito nel dominio del tempo sino a che l'algoritmo di shooting non sia in grado di determinarne il funzionamento a regime. Spesso l'intervallo di tempo per cui si deve simulare il circuito risulta essere così lungo da scoraggiare la simulazione. L'algoritmo di "envelope following" risulta essere un valido strumento per rendere molto più efficiente questa fase della simulazione.

Nell'ambito del finanziamento FIRB e' stata valutata e successivamente realizzata l'applicazione del metodo "envelope following" alla determinazione degli esponenti di Floquet di circuiti operanti a regime e, piu' in generale, degli esponenti di Lyapunov per generici circuiti dinamici.

L'analisi degli esponenti di Floquet, e la relativa teoria, sono la base di partenza per l'analisi del rumore di fase negli oscillatori, argomento di notevole attualità anche nelle discipline elettroniche. Se infatti le componenti di rumore ortogonali al ciclo limite dell'oscillatore tendono comunque e sempre ad azzerarsi, le componenti tangenti possono crescere indefinitamente. Il rumore di fase è responsabile della perdita di sincronismo tra i sistemi di comunicazione e può essere causa di "crosstalk" tra bande adiacenti .

A questo proposito è stato proposto un metodo, basato sulla teoria di Floquet, per la determinazione della sensibilità del rumore di fase alle perturbazioni; il metodo proposto supera alcuni dei problemi impliciti nei metodi già presenti in letteratura.

Sempre considerando oscillatori ad alto Q , si sono considerati i problemi di "frequency warping" introdotti dai più comuni metodi di integrazione. Sono stati analizzati i metodi normalmente utilizzati nei simulatori (commerciali e non), oltre ad alcuni metodi di ordine superiore, ed è stata trovata in forma chiusa una espressione dell'errore in frequenza introdotta dai metodi tipo "Linear Multi Step" [8]. E' stato mostrato come, per questi circuiti, il rischio di instabilità proprio dei metodi di ordine elevato sia non rilevante, data la presenza di una varietà stabile dotata di bacino d'attrazione ben definito, rispetto alla riduzione dell'errore in frequenza.

Si sta anche studiando un metodo di analisi guidato dagli eventi che permetta di simulare circuiti di grandi dimensioni in cui le caratteristiche elettriche degli elementi sono rappresentate da funzioni a "gradinata" [1], [4].

b) Metodi numerici per circuiti con grandi variazioni di scala nei componenti

E' stato messo a punto un metodo per l'analisi di circuiti caratterizzati da grandi variazioni di scala nei componenti. L'analisi di questi componenti mediante la tradizionale MNA puo' infatti portare, a causa della precisione intrinseca all'unita' Floating Point della macchina, a errori rilevanti o, in molti casi, addirittura al fallimento dell'algoritmo di analisi. Si e' proposto (e implementato nel simulatore "pan") un metodo basato su una pre-trasformazione del metodo MNA che permette di eliminare del tutto nella maggior parte dei casi (o almeno ridurre drasticamente) l'incidenza e gli effetti di questi errori.

Elenco degli articoli più significativi:

[1] A. Brambilla, G. Storti-Gajani, "Frequency Warping in Time Domain Circuit Simulation", IEEE Trans. on CAS-I, Vol. 50, No. 7, July 2003, pp. 904-913.

[2] G. Storti-Gajani, A. Brambilla, A. Premoli, "Electrothermal Dynamics of Circuits: Analysis and Simulations", IEEE Trans. on CAS-I, Vol. 48, No. 8, Aug. 2001, pp. 997-1005.

[3] A. Brambilla, P. Maffezzoni, G. Storti-Gajani, "Computation of Period Sensitivity Functions for the Simulation of Phase Noise in Oscillators", IEEE Trans. on CAS-I, Vol. 52, No. 4, pp. 681-694, April 2005.

[4] A. Brambilla, A. Premoli, G. Storti-Gajani, "Recasting Modified Nodal Analysis to Improve Reliability in Numerical Circuit Simulation", IEEE Trans on CAS-I, Vol. 52, No. 3, March 2005, pp 552-534.

[5] A. Brambilla, "Method for Simulating Phase-Noise in Oscillators" IEEE Trans. on CAS-I, Vol. 48, No. 11, Nov. 2001, pp. 608-616.

[6] G. Storti-Gajani, A. Premoli, A. Brambilla, "Exploiting Electrothermal Oscillations for Identifying MOFSET Thermal Parameters", Microelectronics Journal, Vol. 32, No. 10-11, Oct-Nov. 2001, pag. 883-889.

[7] A. Brambilla, P. Maffezzoni, "Envelope Following Method to Compute Steady State Solutions of Electrical Circuits", IEEE Trans. on CAS-I, Vol. 50, No. 3, March 2003, 412-

421.

[8] A. Brambilla, G. Storti-Gajani, "Frequency Warping in Time Domain Circuit Simulation", IEEE Trans. on CAS-I, Vol. 50, No.7, July 2003, 904-913.