

PASSIVITÀ DI MACROMODELLI CON RITARDI

Alessandro China, Stefano Grivet-Talocia, Piero Triverio

Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Torino
Corso Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 Torino

Le interconnessioni elettriche possono avere un impatto estremamente negativo sull'integrità di segnale dei sistemi elettronici. Per questo è necessario tenere in conto, fin dalle primissime fasi della progettazione, degli effetti non ideali delle interconnessioni, che possono presentarsi a diversi livelli (chip, package, board). Per prevedere il comportamento di queste strutture si utilizzano particolari modelli, compatibili con i programmi di simulazione circuitale (SPICE), che possono essere utilizzati in simulazioni transitorie a livello di sistema (ad esempio, costruzione di diagrammi ad occhio).

In particolare, la modellazione di interconnessioni elettricamente lunghe (come canali di comunicazione fra chip su schede diverse) è un compito estremamente complesso. Modelli standard a parametri concentrati, rappresentati da funzioni razionali fratte nel dominio della frequenza, richiedono infatti un ordine molto elevato per descriverne accuratamente il comportamento, risultando quindi inefficienti.

Un recente approccio [1] permette di creare modelli che includono strutturalmente nelle loro funzioni di trasferimento opportuni operatori di ritardo, allo scopo di rappresentare correttamente i fenomeni di propagazione elettromagnetica lungo l'interconnessione. Questo metodo consente la separazione dei termini di ritardo da termini dovuti ad altri fattori (attenuazione, dispersione, perdite), che vengono rappresentati con funzioni razionali di basso ordine.

Questi modelli, per poter essere utilizzati efficacemente, devono soddisfare alcune importanti proprietà fisiche. Una di queste, la passività, assicura che nelle simulazioni a livello di sistema si ottengano sempre simulazioni stabili, indipendentemente dai driver e receiver utilizzati per caricare le interconnessioni.

Purtroppo l'algoritmo utilizzato in [1] per la costruzione di questi modelli non garantisce la passività a priori. In termini matematici la passività di un modello richiede che i valori singolari della matrice scattering siano sempre minori di uno su tutto l'asse delle frequenze. Il calcolo diretto dei valori singolari per il controllo della passività non è il modo più efficiente di risolvere il problema. Una condizione alternativa puramente algebrica permette di calcolare le bande di violazione della passività attraverso la soluzione di un problema agli autovalori dipendente dalla frequenza. Le soluzioni puramente immaginarie di questo problema coincidono con i limiti delle bande di violazione della passività.

Per ristabilire la passività è necessario perturbare il modello (in particolare i residui della matrice di trasferimento) in modo che le traiettorie dei valori singolari della matrice scattering siano sempre minori di uno [2]. Per questo problema sono state applicate due tipi di soluzione, denominate rispettivamente orizzontale e verticale. L'approccio orizzontale perturba gli autovalori immaginari citati in precedenza in modo da restringere le bande di non passività, mentre il secondo metodo utilizza direttamente le traiettorie dei valori singolari cercando di abbassare i punti di massimo. Naturalmente i due metodi devono essere applicati iterativamente in quanto la relazione che lega i valori singolari con i parametri del modello è un'approssimazione al prim'ordine che quindi non garantisce di raggiungere la passività in un solo passo. Ogni iterazione consiste in entrambi i casi nella soluzione di un problema di

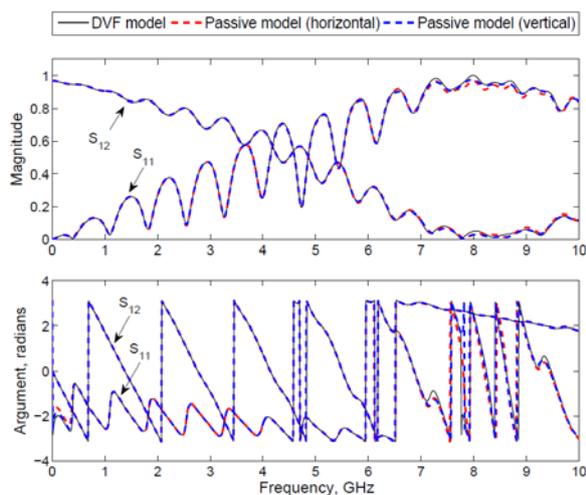


Figura 1

Applicazione dei due metodi di imposizioni della passività ad una interconnessione PCB di 10 cm. L'accuratezza è ben preservata rispetto al modello originale.

ottimizzazione quadratica con vincoli lineari, per il quale esistono algoritmi molto efficienti dal punto di vista computazionale.

La perturbazione del modello va effettuata in modo da non compromettere l'accuratezza originale [3]. I due algoritmi sviluppati garantiscono che la perturbazione indotta sul modello produca la minima differenza di energia possibile tra la risposta all'impulso originale e perturbata. Questo risultato è stato raggiunto attraverso l'utilizzo di un cambio di base delle variabili di ottimizzazione, derivante dalla soluzione di un'equazione di Lyapunov che permette di trovare in maniera analitica l'energia della risposta all'impulso della perturbazione.

Come esempio di applicazione dei due metodi si riporta in figura 1 il confronto tra il modello originale di un'interconnessione PCB di 10 cm (generato a partire da 801 campioni in frequenza da 0 a 10 GHz) e i rispettivi modelli perturbati passivi. Si può notare che l'accuratezza è preservata durante il processo, le poche differenze visibili sono limitate alle zone in cui era presente una violazione di passività.

I modelli così ottenuti possono essere sintetizzati attraverso netlist SPICE e quindi utilizzati efficacemente nelle simulazioni per lo studio di problemi legati all'integrità di segnale.

Referenze

- [1] A. China, P. Triverio, S. Grivet-Talocia, "Delay-Based Macromodeling of Long Interconnects From Frequency-Domain Terminal Responses", *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, Vol. 33, n.1, pp. 246-256, February, 2010
- [2] A. China, S. Grivet-Talocia, D. Deschrijver, T. Dhaene, L. Knockaert, "On the construction of guaranteed passive macromodels for high-speed channels", *Design, Automation and Test in Europe (DATE 10)*, Dresden, (Germany), pp. 1142-1147, March 8-12, 2010
- [3] A. China, S. Grivet-Talocia, P. Triverio, "On the Performance of Weighting Schemes for Passivity Enforcement of Delayed Rational Macromodels of long Interconnects", *Proc. of 18th IEEE Topical Meeting on Electrical Performance of Electronic Packaging and Systems, EPEPS, Tigard (OR, USA)*, pp. 61-64, October 19-21, 2009