

RIDUZIONE D'ORDINE PARAMETRICA PER SISTEMI ELETTRICI ANALIZZATI TRAMITE IL METODO PEEC

Francesco Ferranti, Giulio Antonini***

* Dip. of Information Technology (INTEC), Ghent University-IBBT,
Sint Pietersnieuwstraat 41, 9000 Ghent, Belgium,

** *UAq EMC Laboratory*, Dip. di Ingegneria Elettrica e dell'Informazione,
Università degli Studi dell'Aquila
Via Campo di Pile, 67100, L'Aquila (AQ)

L'analisi ed il progetto di sistemi elettromagnetici (EM) complessi richiede l'uso di metodi elettromagnetici 3D [1]-[2]. Tali metodi EM spesso producono sistemi di equazioni di grandi dimensioni e onerosi da risolvere, quindi tecniche di riduzione d'ordine del modello (MOR) vengono utilizzate per ridurre la complessità del modello EM e il costo computazionale delle relative simulazioni [3]-[4]. Il metodo EM denominato Partial Element Equivalent Circuit (PEEC) ha acquisito una crescente popolarità tra ingegneri del settore della compatibilità elettromagnetica per la sua capacità di trasformare sistemi EM in circuiti RLC passivi [2], [5]. Dispositivi non lineari, come drivers and receivers, sono solitamente connessi con circuiti ottenuti tramite il metodo PEEC e simulati per mezzo di simulatori nel dominio del tempo (ad esempio SPICE). La simulazione diretta di modelli circuitali PEEC per sistemi EM complessi può risultare molto onerosa a livello computazionale, poiché tali sistemi PEEC posseggono decine di migliaia di elementi circuitali. Metodi MOR devono quindi essere utilizzati per ridurre la dimensione dei sistemi PEEC [3]-[4].

L'ottimizzazione dei sistemi EM e l'esplorazione dello spazio di progetto sono usuali attività di progetto che richiedono simulazioni multiple nel dominio della frequenza per diversi valori dei parametri di progetto (ad esempio variabili di layout). Realizzare tali attività di progetto tramite simulazioni EM può spesso risultare inattuabile a causa di un'alta complessità computazionale. Le tecniche MOR effettuano una riduzione d'ordine considerando come unica variabile la frequenza, quindi volendo realizzare le attività di progetto sopra citate, una nuova riduzione d'ordine deve essere effettuata ogni volta che si cambia il valore dei parametri di progetto e tale approccio non garantisce una elevata efficienza. Metodi di riduzione d'ordine parametrica (PMOR) diventano necessari per effettuare efficientemente l'ottimizzazione dei sistemi EM e l'esplorazione dello spazio di progetto. Le tecniche PMOR sono in grado di ridurre sistemi di equazioni di grosse dimensioni che dipendono dalla frequenza ed altri parametri di progetto; queste tecniche sono in grado di effettuare una riduzione d'ordine di sistemi dipendenti da molteplici variabili. Questa memoria propone una tecnica PMOR applicabile al metodo PEEC, che è in grado di generare accurati modelli parametrici ridotti e garantire la loro stabilità e passività sull'intero spazio di progetto.

La tecnica PMOR proposta è basata su una robusta ed efficiente combinazione di tecniche MOR in grado di preservare la passività nel caso monovariabile (frequenza) e schemi di interpolazione positiva [6]. Alcuni metodi sono stati recentemente proposti in [7]-[8] per la costruzione di modelli parametrici, stabili e passivi sull'intero spazio di progetto, a partire da campioni della risposta del sistema alle porte, che dipende dalla frequenza ed altri parametri di progetto. I metodi di macromodellazione parametrica in [7]-[8] utilizzano campioni multivariabile della risposta del sistema alle porte, mentre il metodo PMOR qui proposto utilizza sistemi di equazioni multivariabile di grosse dimensioni.

Esempio numerico: Microstriscia con 2 parametri.

In questo esempio, una microstriscia con un dielettrico DriClad dispersivo e lunga 2 cm e' stata modellata. Lo spessore del dielettrico e della striscia conduttrice sono $h = 600 \mu\text{m}$ and $t = 100 \mu\text{m}$, rispettivamente. Un modello ridotto bivariabile e' stato costruito, come funzione della frequenza e della larghezza della striscia conduttrice W . Gli intervalli della frequenza e di W sono $\text{freq} = [1 \text{ kHz} - 4 \text{ GHz}]$ e $W = [50 - 250] \mu\text{m}$.

Inizialmente sono stati calcolati dei modelli PEEC con formulazione MNA (rappresentazione ammettenza) per 30 valori di W . Solamente 12 valori di W sono stati usati per la costruzione del modello parametrico ridotto, mentre i rimanenti 18 valori di W sono stati usati per validare la capacita' di modellazione del modello parametrico ridotto in punti dello spazio di progetto non usati per la sua costruzione. Fig. 1 mostra il modulo del modello parametrico ridotto di $S_{11}(s, W)$, mentre Fig. 2 mostra il modulo del modello parametrico ridotto di $S_{11}(s, W)$ e $S_{21}(s, W)$ per i valori di larghezza $W = \{55, 150, 245\} \mu\text{m}$, i quali non sono usati per la costruzione del modello parametrico ridotto.

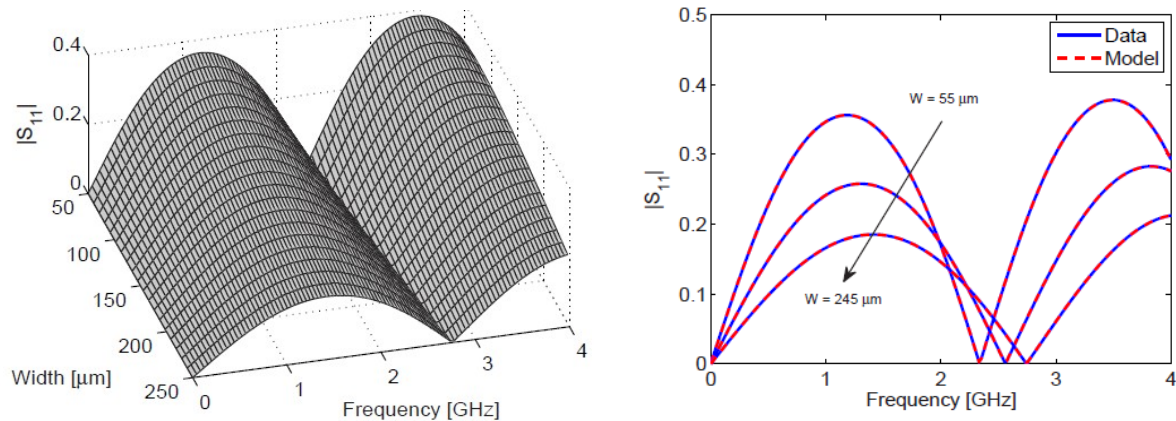


Figura 1. Modulo del modello parametrico ridotto di $S_{11}(s, W)$.
Figura 2. Modulo del modello parametrico ridotto di $S_{11}(s, W)$ ($W = \{55, 150, 245\} \mu\text{m}$).

Come si evince dalle Figg. 1-2, il modello parametrico ridotto cattura molto accuratamente il comportamento parametrizzato della microstriscia, mentre garantisce la stabilita' e la passivita' sull'intero spazio di progetto.

Referenze

- [1] R. F. Harrington, *Field Computation by Moment Methods*. New York: Macmillan, 1968.
- [2] A. E. Ruehli, "Equivalent circuit models for three dimensional multi conductor systems," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 22, no. 3, pp. 216–221, Mar. 1974.
- [3] A. Odabasioglu, M. Celik, and L. T. Pileggi, "PRIMA: passive reduced-order interconnect macromodeling algorithm," *IEEE Trans. Comput.-Aided Design Integr. Circuits Syst.*, vol. 17, no. 8, pp. 645–654, Aug. 1998.
- [4] L. Knockaert and D. De Zutter, "Laguerre-SVD reduced-order modeling," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 48, no. 9, pp. 1469–1475, Sep. 2000.
- [5] A. E. Ruehli, G. Antonini, J. Esch, J. Ekman, A. Mayo and A. Orlandi, "Non-orthogonal PEEC formulation for time and frequency domain EM and circuit modeling," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 45, no. 2, pp. 167–176, May 2003.
- [6] G. Allasia, "Simultaneous interpolation and approximation by a class of multivariate positive operators," *Numerical Algorithms*, vol. 34, no. 2, pp. 147–158, Dec. 2003.
- [7] F. Ferranti, L. Knockaert, and T. Dhaene, "Parameterized S-parameter based macromodeling with guaranteed passivity," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 19, no. 10, pp. 608-610, Oct. 2009.
- [8] F. Ferranti, L. Knockaert, and T. Dhaene, "Passivity-preserving interpolation-based parameterized macromodeling of scattered S-data," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 20, no. 3, pp. 133–135, Mar. 2010.

- [9] F. Ferranti, G. Antonini, T. Dhaene, L. Knockaert, “Guaranteed Passive Parameterized Model Order Reduction of the Partial Element Equivalent Circuit (PEEC) Method”, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 52, n. 4, pp. 974 - 984, Nov. 2010.
- [12] F. Ferranti, G. Antonini, T. Dhaene, L. Knockaert, “Passivity-preserving Interpolation-based Parameterized Model Order Reduction of the Partial Element Equivalent Circuit (PEEC) Method Based on Scattered Grids”, *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, 2011.
- [13] G. Antonini, F. Ferranti, T. Dhaene, L. Knockaert, “Physics-based Passivity-Preserving Parameterized Model Order Reduction for PEEC based Analysis”, *IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 1, n.3, pp. 399 – 409, 2011.