

# UN MODELLO A LINEA DI TRASMISSIONE PER L'ANALISI FULL-WAVE DI INTERCONNESSIONI SU MICROSTRISCIA

A.G. Chiariello

Ass. EURATOM/ENEA/CREATE, DIEL, Università degli Studi di Napoli "Federico II"

In molti casi di interesse pratico, le bande dei segnali si estendono a frequenze tali da rendere inadeguata la classica ipotesi di propagazione quasi-TEM, alla base dei modelli a linea di trasmissione classici (STL). Nasce quindi l'esigenza di creare modelli accurati e a basso costo computazionale in grado di stimare effetti quali l'emissione elettromagnetica delle interconnessioni ad alta velocità, in principio prevedibili solo con una complicata analisi fullwave molto onerosa dal punto di vista computazionale.

L'autore nella sua tesi di dottorato ha esteso un modello a linea di trasmissione (ETL), [1], allo scopo di prevedere il comportamento di interconnessioni multiconduttori immerse in un dielettrico omogeneo a tratti (in particolar modo microstriscia). L'estensione di questo modello è stata fatta in modo da preservarne il basso costo computazione e ottenere una corretta stima delle correnti di modo comune [2], principale causa delle emissioni elettromagnetiche.

Il limite di applicabilità del modello STL è l'ipotesi di propagazione di modi quasi-TEM, condizione che viene meno se, ad esempio, alle frequenze di lavoro l'interconnessione è *elettricamente lunga* nel piano trasverso. Se  $k$  è il numero d'onda ed  $h$  la dimensione tipica delle grandezze nel piano trasverso, il modello a linea standard (STL) risulta valido fino a frequenze tali che  $kh \ll 1$ , mentre a frequenze maggiori occorre, in principio, una costosa analisi full-wave.

Il modello ETL proposto è invece in grado di prevedere la propagazione dei segnali lungo una interconnessione fino a frequenze tali che  $kh = 5$ , con la possibilità, quindi, di investigare effetti quali la radiazione e la dispersione attraverso un semplice modello a linea. Il modello si basa sulla formulazione integrale superficiale delle equazioni di Maxwell nel dominio della frequenza, introducendo potenziale vettore e scalare ed usando la gauge di Lorentz. La struttura considerata è una linea a due conduttori con piano di massa in un dielettrico omogeneo a tratti. L'imposizione delle condizioni al contorno sui conduttori e dell'equazione di continuità della corrente fornisce le equazioni che legano le correnti alla carica p.u.l. e le tensioni al flusso p.u.l.:

$$\frac{d\mathbf{I}(z)}{dz} = -i\omega\mathbf{Q}(z), \quad \frac{d\mathbf{V}(z)}{dz} = -i\omega\mathbf{\Phi}(z). \quad (1)$$

Nella (1) il generico vettore  $\mathbf{X} = [X_1 \ X_2]^T$  è costituito dai modi grounded relativi ai 2 conduttori considerati. Partendo dall'espressione integrale che lega potenziali e sorgenti, in opportune ipotesi (la relazione tra le dimensioni geometriche dei conduttori e la frequenza, rapporto di aspetto dell'interconnessione, ...) è possibile esprimere il legame tra flusso p.u.l. e correnti e tra tensioni e cariche p.u.l. attraverso convoluzioni spaziali:

$$\mathbf{\Phi}(z) = \mu \int_{-l}^{+l} \underline{\underline{H}}_{\Phi}(z-z')\mathbf{I}(z')dz' \quad \mathbf{V}(z) = \frac{1}{\epsilon} \int_{-l}^{+l} \underline{\underline{H}}_{V}(z-z')\mathbf{Q}(z')dz'. \quad (2)$$

I kernel di tali operatori sono matrici i cui elementi sono ottenuti integrando l'espressione delle funzioni di Green nel caso di dielettrico omogeneo a tratti con piano di massa [4].

La Fig.1a) riporta i risultati relativi all'impedenza di ingresso di una microstriscia con substrato di tipo FR4. I risultati sono confrontati con le predizioni del modello classico (STL) e con le simulazioni numeriche ottenute con il codice numerico full-wave 3D SURFCODE [5] e quello commerciale HFSS [6]. La figura 1b) mostra invece l'andamento del Far-end cross talk relativo a due linee accoppia sempre su substrato di tipo FR4. Per basse frequenze ( $kh \ll 1$ ) il modello generalizzato tende al modello STL, mentre ad elevate frequenze il modello ETL è in grado di predire correttamente la soluzione full-wave.

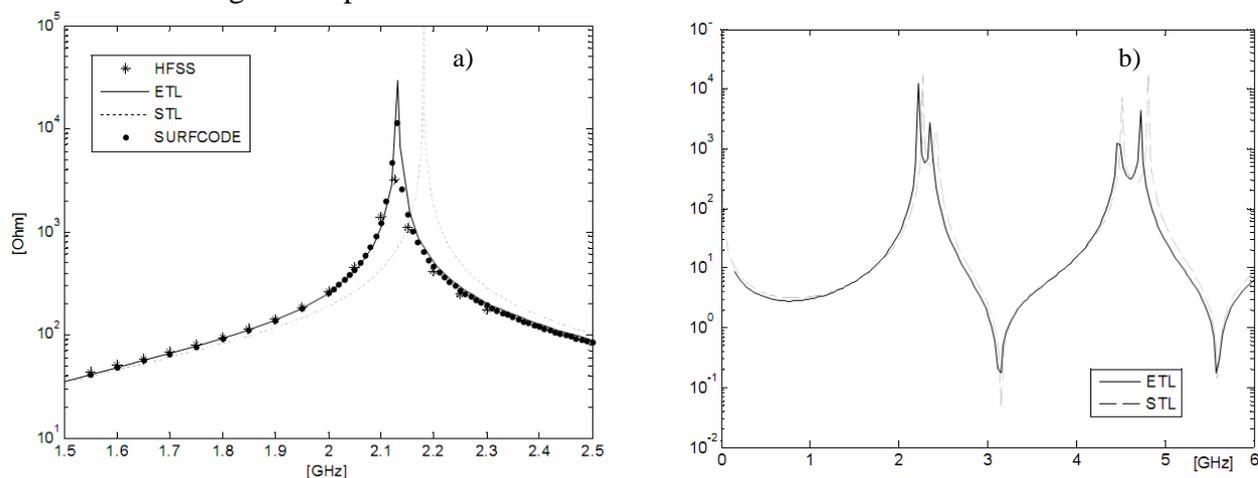


Fig. 1 a) Andamento della impedenze di ingresso b) far end cross talk di microstrisce su FR4

Questa attività di ricerca è in parte svolta in collaborazione con Numonix / ST microelectronics (Arzano, NA)

#### RIFERIMENTI

- [1] A. Maffucci, G. Miano, F. Villone, "An enhanced transmission line model for conductors with arbitrary cross-sections", *IEEE Trans. on Advanced Packaging*, Vol.28, Issue 2, May 2005, pp.174–188.
- [2] A.G. Chiariello, A. Maffucci, G. Miano, F. Villone, W. Zamboni, "Mode conversion on high-frequency signal propagation on asymmetric interconnects", *EMC-Europe, Barcellona*, sep. 2006.
- [3] A.G. Chiariello, A. Maffucci, G. Miano, F. Villone, W. Zamboni, "High-Frequency Full-Wave Analysis of Interconnects with Inhomogeneous Dielectrics through an Enhanced Transmission Line Model", *ACES Journal*, Vol. 23, No. 1, March 2008
- [4] Y. L. Chow, J. J. Yang, D. G. Fang and G. E., "Howard, "A closed-form spatial Green's function for the thick microstrip substrate," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. 39, pp. 588 – 592, March 1991
- [5] G. Miano, F. Villone, "A surface integral formulation of Maxwell equations for topologically complex conducting domains", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol. 53, Issue 12, Dec. 2005, pp. 4001-4014
- [6] <http://www.ansoft.com/products/hf/hfss/>