

ROBUSTEZZA DEL MODELLO A LINEA DI TRASMISSIONE DI NANOTUBI DI CARBONIO

B. De Vivo, L. Egiziano, P. Lamberti, V. Tucci

Dipartimento di Ingegneria dell' Informazione ed Ingegneria Elettrica
Università degli Studi di Salerno
Via Ponte Don Melillo, 84084 Fisciano (SA)

La continua riduzione delle dimensioni dei dispositivi elettrici ed elettronici e il contemporaneo aumento delle frequenze e delle densità di potenza in gioco rendono necessario il ricorso a soluzioni sostitutive al rame per le interconnessioni e le vias sui dispositivi VLSI. L'attuale tecnologia basata sull'utilizzo del rame risulta infatti inadeguata per le future specifiche in termini di prestazioni elettriche ed elettromagnetiche: la riduzione delle interconnessioni al di sotto dei 100nm porta alla degradazione delle proprietà di conduzione del materiale e a problemi di affidabilità legati agli stress elettrici, meccanici e termici [1]. Recenti studi hanno individuato nella tecnologia dei nanotubi di carbonio (Carbon Nanotubes CNTs) una soluzione in grado di consentire il superamento di tali limiti. La ricerca riguarda sia le problematiche concernenti la produzione di CNT di caratteristiche controllabili, che lo sviluppo di approcci modellistici per l'analisi, la sintesi e l'ottimizzazione delle prestazioni delle interconnessioni che impiegano tali materiali. L'attività di ricerca ha riguardato l'analisi di sensitività dei modelli, con particolare riferimento alle problematiche di compatibilità elettromagnetica alle radio frequenze delle nano-interconnessioni a base di CNT, dove l'integrità del segnale e della potenza trasmessa riveste un ruolo di primaria importanza. Come primo risultato, sono state individuate le fasce di appartenenza delle proprietà di propagazione in presenza di un'assegnata incertezza sui parametri caratteristici di un CNT a parete singola (Single Wall Carbon NanoTube - SWNT) modellato come una linea di trasmissione (TL) (Fig. 1).

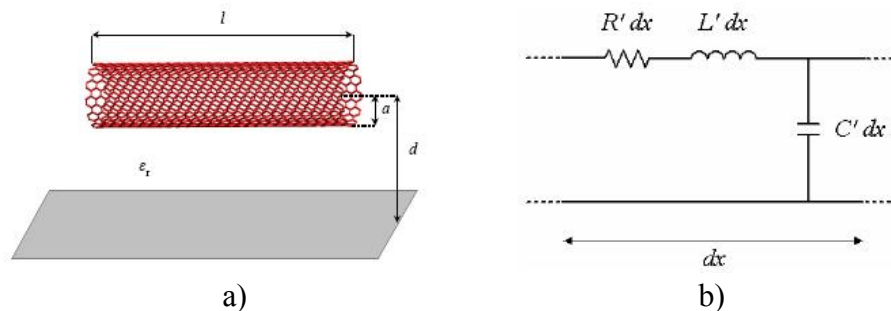


Fig. 1 SWNT su un piano di massa conduttore perfetto: a) schema 3D; b) modello a linea di trasmissione per la propagazione di modo comune

Infatti, per la valutazione delle caratteristiche di propagazione alle radiofrequenze di modo comune, un SWNT di raggio a posto a distanza d da un piano conduttore elettrico perfetto (Fig. 1.a) può essere modellato attraverso un circuito equivalente TL (Fig. 1.b). I parametri per unità di lunghezza (induttanza, L' , data dalla induttanza magnetica e da quella cinetica equivalente, capacità, C' , data dal contributo della capacità elettrostatica e di quella quantica equivalente, e resistenza, R' , che descrive il meccanismo di damping per un plasma 1D) sono esprimibili come funzioni delle caratteristiche geometriche e fisiche del CNT. Nella

realizzazione delle interconnessioni, la variazione delle differenti proprietà fisiche e geometriche dei CNT può sensibilmente influenzare le caratteristiche di propagazione teoriche. Gli approcci proposti in letteratura per studiare tale fenomeno non consentono di ottenere informazioni affidabili circa il range di variabilità delle prestazioni osservate. Appare, pertanto, opportuno far ricorso alle proprietà della Analisi di Intervallo (IA) che consente di ottenere informazioni accurate ed affidabili sul range di una funzione di [3]. È stato valutato il range dell'impedenza caratteristica, Z_c , della costante di attenuazione, α , della lunghezza d'onda, λ e della velocità di propagazione, v , nel range di frequenze fino ad 10 GHz come funzioni del raggio a , della distanza d e del libero cammino medio degli elettroni, l_{mfp} . In particolare si è fatto uso delle espressioni approssimate della caratteristiche di propagazione riportate in Tab. I e sono state considerati incerti i parametri di progetto, così come riportato in Tab. II. Ad esempio, per la prestazione α è stato ottenuto il range di inclusione (Fig. 2) di tutti i possibili valori che essa può assumere considerato i parametri incerti come variabili intervallo. L'approccio proposto supera sia le limitazioni intrinseche degli algoritmi stocastici, come quelli basati sull'analisi Monte Carlo, dove si riesce ad ottenere solo una sottostima dell'effettivo range di variazione di una prestazione, sia i problemi di disallineamento tra l'effettivo range e quello stimato, tipici dell'analisi di sensitività (SA) classica (Fig. 3).

Tab. I Funzioni di prestazione ed espressioni approssimate

Z_c	α	λ	v
$j^{3/2} \sqrt{\frac{R'}{2\pi f C_e}}$	$\sqrt{\pi f R' C_e}$	$2 \sqrt{\frac{\pi}{f R' C_e}}$	$2 \sqrt{\frac{\pi f}{R' C_e}}$

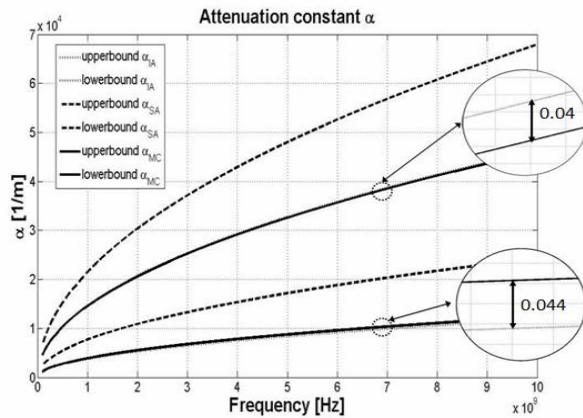


Fig. 2 Bounding della costante di attenuazione con IA

Tab. II Range dei parametri del SWCNT

a [nm]	d [nm]	l_{mfp} [mm]
[0.68, 0.70]	[67.99, 70.01]	[1, 15]

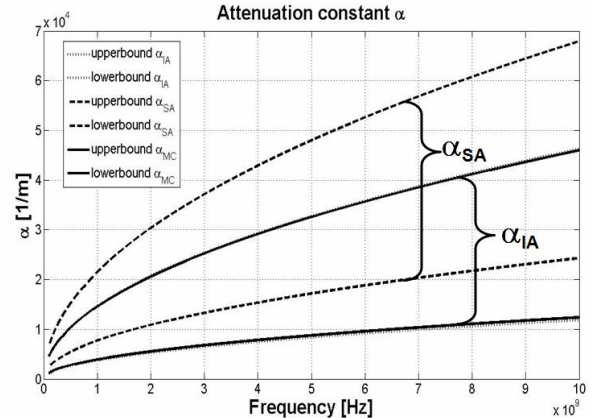


Fig. 3 Disallineamento del range con analisi di sensitività (SA) classica

Riferimenti bibliografici

- [1] Int. Tech. Roadmap for Semiconductors, 2006, <http://public.itrs.ne>.
- [2] B. De Vivo, L. Egiziano, P. Lamberti, V. Tucci: Range Analysis on the Wave Propagation Properties of a Single Wall Carbon Nano Tube, accettato a workshop on Signal Propagation Interconnects 2008, Avignone, May 2008.
- [3] P. Lamberti, V. Tucci: "Interval Approach to Robust Design", International Journal COMPEL, vol. 26, n. 2, 2007, pp. 285-297.