

# MODELLI DI INTERCONNESSIONI DIFFERENZIALI PER LA PREDIZIONE DELLE EMISSIONI E DELLA SUSCETTIBILITA'

F. Grassi, S. A. Pignari, G. Spadacini

Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria, Politecnico di Milano, Piazza L. Da Vinci 32, Milano

**Parole chiave:** *Compatibilità Elettromagnetica, Modelli a Parametri Distribuiti, Interconnessioni Differenziali*

L'uso di interconnessioni differenziali, ovvero la trasmissione di segnali complementari su una coppia di conduttori bilanciati, costituisce la soluzione più utilizzata per trasmettere segnali ad alta frequenza per distanze elettricamente lunghe e in ambienti elettromagnetici rumorosi. Tipici esempi sono i doppini intrecciati con o senza schermo, e i cavi costituiti da molteplici doppini. I vantaggi offerti dalle interconnessioni differenziali bilanciate, rispetto a interconnessioni *single-ended*, consistono primariamente nella riduzione delle emissioni radiate, e nella maggiore immunità alle interferenze esterne (dovute a diafonia o a suscettibilità radiata). Queste proprietà sono tuttavia teoricamente ottenibili, al più elevato grado o addirittura *in toto* (perfetto annullamento del rumore), solo in strutture ideali, mentre nei casi pratici un certo numero di fenomeni parassiti e/o indesiderati non consente di ottenere le massime prestazioni teoriche. Ad esempio, fra queste cause sono da annoverare: (a) lo sbilanciamento dei carichi connessi alle terminazioni, (b) lo sbilanciamento della linea dovuto a tolleranze nei parametri geometrici/elettrici. La predizione degli effetti di queste non-idealità attraverso modelli di calcolo è difficoltosa, proprio in quanto sono intrinsecamente dovuti a parametri indesiderati e, in quanto tali, incogniti/incontrollati. L'attività di ricerca descritta in questa memoria ha riguardato lo sviluppo di modelli innovativi di predizione di fenomeni di compatibilità elettromagnetica in interconnessioni differenziali affette da non idealità, con riferimento a diverse tipologie d'uso pratico e diverse applicazioni tecniche.

L'accoppiamento indesiderato dei modi (modo comune e modo differenziale) quale conseguenza dello sbilanciamento dei carichi terminali è stata modellizzata mediante l'introduzione del concetto di *weak imbalance*, che consente di tradurre l'effetto di conversione modale attraverso sorgenti di rumore nei circuiti modali [1]. Lo stesso fenomeno, dovuto allo sbilanciamento della linea, è stato investigato mediante tecniche di analisi statistica per rappresentare parametri geometrici affetti da incertezza [2]. Le applicazioni di questi modelli sono molteplici, per esempio per la caratterizzazione di linee di potenza in corrente continua usate su satelliti per *power-line communications* [3]-[4], per la caratterizzazione di test di immunità condotta [5]-[6], per i fenomeni di suscettibilità radiata [7].

In particolare, modelli per la suscettibilità radiata di doppini intrecciati sono stati derivati nei casi di campi deterministici [8] e stocastici [9]. E' stato messo in evidenza, anche mediante metodi sperimentali, come la qualità dell'intreccio (uniformità, regolarità geometrica dell'elica, completezza degli intrecci alle terminazioni) giochi un ruolo fondamentale nel determinare il rumore indotto nei carichi terminali a causa dell'accoppiamento di campi elettromagnetici con i cablaggi [10]. E' stato quindi sviluppato un modello di predizione statistico del fenomeno, modellizzando il passo di intreccio variabile come un processo stocastico continuo nello spazio [11]. L'applicazione del modello anzidetto ha consentito anche di investigare le proprietà di doppini intrecciati con passo non uniforme recentemente introdotti in brevetti internazionali [11]-[12]. L'estensione dei metodi al caso di *multipair cables*, come i cavi LAN, costituiti da molteplici doppini intrecciati, e ai fasci aleatori di doppini è attualmente in corso [13].

## BIBLIOGRAFIA

- [1] F. Grassi, G. Spadacini, and S. A. Pignari, "The concept of weak imbalance and its role in the emissions and immunity of differential lines," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 55, no. 6, pp. 1346-1349, Dec. 2013.

- [2] X. Wu, Y. Yang, F. Grassi, G. Spadacini, and S. A. Pignari, "Statistical characterization of line-imbalance in differential lines," accepted for presentation, *31th URSI General Assembly and Scientific Symp.*, Aug. 26-23, 2014, Beijing, China.
- [3] F. Grassi, S. A. Pignari, and J. Wolf, "Channel characterization and EMC assessment of a PLC system for spacecraft DC differential power buses," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 53, no. 3, pp. 664 - 675, Aug. 2011.
- [4] F. Grassi and S. A. Pignari, "Immunity to conducted noise of data transmission along DC power lines involving twisted-wire pairs above ground," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 55, no. 1, pp. 195-207, Feb. 2013.
- [5] F. Grassi and S. A. Pignari, "Bulk current injection in twisted wire pairs with not perfectly balanced terminations," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 55, no. 6, pp. 1293-1301, Dec. 2013.
- [6] F. Grassi, G. Spadacini, and S. A. Pignari, "SPICE behavioral modeling of RF Current injection in wire bundles," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E97-B, no. 2, pp. 424-431, Feb 2014.
- [7] F. Grassi, S. A. Pignari, G. Spadacini, and F. Marliani, "Sensitivity to setup configuration of the response of differential lines driven by an external field," in *Proc. EMC'14 Tokio, Int. Symp. on EMC*, Tokio, Japan, May 12-16, 2014, pp. 852-855.
- [8] S. A. Pignari and G. Spadacini, "Plane-wave coupling to a twisted-wire pair above ground," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 53, no. 2, pp. 508-523, May 2011.
- [9] G. Spadacini and S. A. Pignari, "Radiated susceptibility of a twisted-wire pair illuminated by a random plane-wave spectrum," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E93-B, no. 7, pp. 1781-1787, July 2010.
- [10] G. Spadacini, S. A. Pignari, F. Marliani, "Experimental measurement of the response of a twisted-wire pair exposed to a plane-wave field," in *Proc. 2011 IEEE Int. Symp. on Electromagn. Compat*, Long Beach, CA, USA, pp. 828-833.
- [11] G. Spadacini and S. A. Pignari, "Numerical assessment of radiated susceptibility of twisted-wire pairs with random nonuniform twisting," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 55, no.5, pp. 956-964, Oct. 2013.
- [12] G. Spadacini, F. Grassi, and S. A. Pignari, "On the combined effect of random nonuniformity and deformation of twisting on the radiated immunity of twisted-wire pairs," in *Proc. 2013 IEEE Int. Symp. on Electromagn. Compat.*, Denver, CO, USA, Aug. 5-9, 2013, pp. 489-493.
- [13] G. Spadacini, F. Grassi, and S. A. Pignari, "Transmission-line model for field-to-wire coupling in bundles of twisted-wire pairs above ground," accepted for publication in *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, DOI 10.1109/TEMC.2014.2327195.