

CONVERTITORI SWITCHING: METODI DI PROGETTO

A. De Nardo, G. Di Capua, L. Egiziano, N. Femia, W. Zamboni

Dipartimento di Ingegneria Elettronica e Ingegneria Informatica (DIEII)
Università degli Studi di Salerno
Via Ponte don Melillo 1, 84084 Fisciano (Salerno)

Le attività svolte dall'unità di Salerno nell'ambito della teoria dei circuiti sono state finalizzate ad inquadrare ed affrontare le problematiche di modellistica, simulazione numerica e *computer-aided design* connesse con le moderne applicazioni dei circuiti a commutazione nel campo dell'elettronica di potenza per il *power management*. In particolare, le attività di ricerca sono state orientate verso la formulazione di metodologie di progetto di regolatori di tensione DC-DC di tipo switching destinati alla realizzazione di sistemi di alimentazione per apparati informatici (microprocessori, DSP), di telecomunicazione (FPGA, GSM), *automotive* (sistemi di bordo) e fotovoltaici ad alta efficienza. Gli aspetti metodologici di maggiore interesse affrontati nella progettazione di tali convertitori riguardano principalmente la formulazione delle equazioni di vincolo derivanti dalle specifiche statiche e dinamiche di progetto e la correlazione fra i parametri dei componenti dello stadio di potenza e le prestazioni del convertitore. In particolare, è stato affrontato il problema dell'individuazione dei componenti capacitivi di dimensioni minime che soddisfano i vincoli statici e dinamici imposti dalle applicazioni. La ricerca ha condotto allo sviluppo di un modello unificato, applicabile a qualsiasi convertitore switching DC-DC, per la formulazione generalizzata delle equazioni di vincolo derivanti dalle specifiche statiche del convertitore, per i parametri fisici del condensatore, capacità C e resistenza parassita, ESR (o R). [1]. È stato inoltre formulato e risolto un modello analitico per la determinazione delle condizioni di accoppiamento ottimale di condensatori elettrolitici e ceramici in parallelo [2-3]. Grazie a tale modello, che considera la correlazione fra i parametri fisici dei componenti reali e il ruolo complementare giocato dai componenti nel soddisfacimento delle specifiche di progetto, è possibile individuare le combinazioni fisicamente realizzabili di condensatori di tipo differente che consentono la distribuzione ottimale delle correnti. Sono state determinate le espressioni in forma chiusa del ripple di tensione sui condensatori in parallelo e dei valori efficaci di corrente in ogni condensatore, come funzione delle specifiche del convertitore e dei parametri fisici dei condensatori reali. Fissato un condensatore ceramico, è possibile tracciare nel piano $C_{el} - R_{el}$ la nuova regione di accettabilità per i condensatori elettrolitici. In Figura 1(a) sono mostrate le curve di *boundary*, in presenza (curva tratteggiata) e in assenza (curva continua) del condensatore ceramico, che delimitano le regioni di accettabilità per la scelta del condensatore elettrolitico. La figura 1(a) evidenzia, dal punto di vista qualitativo, che mediante l'inserimento di un *piccolo* condensatore ceramico in parallelo ad uno elettrolitico è possibile ampliare la regione di accettabilità dei condensatori elettrolitici nel piano $C-ESR$ dei condensatori reali verso condensatori caratterizzati da capacità più piccole e ESR più grandi (basso costo e minor volume). Il metodo sviluppato permette, per una data applicazione di individuare più soluzioni di progetto. Tra le molteplici soluzioni di progetto che ricadono nella regione di accettabilità nel piano $C-ESR$, il condensatore reale viene poi scelto mediante una procedura di valutazione comparativa dei condensatori disponibili che permette di estrarre i condensatori reali ottimali (soluzioni non dominate) rispetto a diverse possibili priorità di progetto (efficienza, dinamica, costo, ingombro, etc.). L'approccio proposto è stato applicato,

ad esempio, alla scelta del condensatore del filtro di uscita del convertitore SEPIC. In Figura 1(b) è rappresentata la regione di accettabilità per la scelta del condensatore elettrolitico in presenza di un condensatore ceramico da $15\mu\text{F}$ e $3.1\text{ m}\Omega$. Nella Figura 1(b) i punti neri rappresentano i condensatori reali disponibili nel data-base utilizzato per la ricerca, i cerchi vuoti rappresentano l'insieme delle soluzioni fisicamente realizzabili (quelle cioè che soddisfano i vincoli sul ripple di tensione e sul valore efficace delle correnti) e i cerchi pieni individuano le soluzioni non dominate.

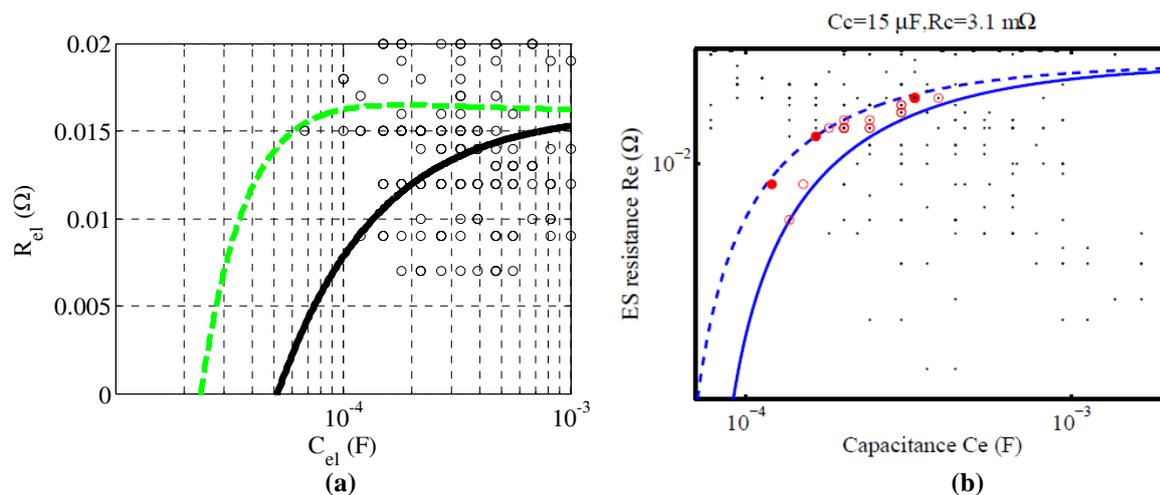


Figura 1: Regioni di accettabilità per la scelta dei condensatori. (a) rappresentazione qualitativa; (b) condensatore di uscita del SEPIC

Nell'ambito delle problematiche relative al progetto ottimale dei dispositivi passivi per i convertitori switching, è stato affrontato il progetto del convertitore *buck-boost* in configurazione invertente. È stato dimostrato che l'aggiunta di un condensatore posto tra l'ingresso e l'uscita del convertitore comporta una notevole riduzione dei valori delle capacità dei condensatori in ingresso e in uscita. È stato definito e formalizzato un metodo analitico [4] per la determinazione delle espressioni dei ripple di tensione su ogni capacità e dei valori efficaci delle correnti che li attraversano. Per ciascun condensatore sono state individuate le equazioni di progetto sulla base delle interdipendenze fra i parametri dei componenti, determinate dalle condizioni di efficienza e dalle condizioni di regolazione della tensione.

- [1] A. Cantillo, A. De Nardo, N. Femia, W. Zamboni: "A Unified Practical Design Method for Capacitors of Switching Converters" *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, 2010 DOI 10.1109/TIE.2010.2084050.
- [2] A. Cantillo, A. De Nardo, N. Femia, W. Zamboni: "Symbolic Modelling and Design of Parallel Capacitors in DC-DC Converters" *Proc. of SM2ACD 2010*, Tunisi, Oct 4-6, 2010, pp. 1-5, DOI 10.1109/SM2ACD.2010.5672293.
- [3] A. De Nardo, N. Femia, W. Zamboni, "Designing a Mixed Electrolytic/Ceramic Filter Capacitor in DC-DC Converters" *sottomesso a Analog Integrated Circuits and Signal Processing*
- [4] N. Femia, G. Di Capua, A. De Nardo,: "Design of Inverting Buck-Boost DC-DC Converter with Input-to-Output By-Pass Capacitor", ISIE 2011, Gdansk (Polonia), Giugno 27-30, 2011