

Università degli Studi di Salerno, Facoltà di Ingegneria
Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, IX ciclo N.S. A.A. 2009/2010.
Tutor: Prof. Nicola Femia
Coordinatore: Prof. Angelo Marcelli

Andrea Cantillo

Stability of Peak-Current-Controlled Fourth Order StepUp/Down DC/DC Converters.

Abstract

Oggetto della ricerca è lo sviluppo di modelli e metodologie di progetto per convertitori switching DC/DC non isolati di tipo step up/down, ovvero in grado di fornire una tensione di uscita più alta o più bassa rispetto a quella di ingresso.

L'attenzione è principalmente rivolta allo studio della stabilità del convertitore SEPIC (Single Ended Primary Inductance Converter) e del convertitore Cuk.

I convertitori SEPIC e Cuk sono caratterizzati dalla presenza di un induttore sul ramo di ingresso, e per questo risultano particolarmente interessanti in applicazioni "battery powered", ad esempio nell'alimentazione di dispositivi GSM, o in applicazioni fotovoltaiche. Il convertitore Cuk presenta anche un induttore sul ramo di uscita, e per questo risulta adatto per applicazioni in cui si richieda un basso ripple della corrente di uscita, ad esempio applicazioni LED lighting.

Lo studio della stabilità dei convertitori SEPIC e Cuk richiede particolare attenzione a causa della presenza di quattro elementi reattivi nello stadio di potenza. In particolare, il conseguimento della stabilità dei convertitori SEPIC e Cuk risulta particolarmente difficile quando si adotti la tecnica di controllo in corrente di picco (PCC). Fenomeni di instabilità del convertitore SEPIC controllato in corrente (PCC-SEPIC) sono diffusamente riportati in letteratura. In particolare, dallo studio della letteratura si nota che la tendenza all'instabilità del PCC-SEPIC è maggiormente evidente a carico massimo ed in condizioni di funzionamento di tipo boost (quando la tensione di uscita è più alta di quella di ingresso). Inoltre, l'incremento dell'induttanza di uscita rispetto a quella di ingresso facilita il conseguimento della stabilità. Tuttavia, la maggior parte degli studi presenti in letteratura sono riferiti ad esempi specifici, ed i risultati sono ottenuti per via numerica. Al contrario, non sono proposte formulazioni analitiche che descrivano i limiti di stabilità del PCC-SEPIC, o del PCC-Cuk. È importante notare che, sebbene la progettazione dei sistemi di alimentazione tragga grandi benefici da strumenti di calcolo avanzati (CAD), l'utilizzo di modelli analitici presenta il vantaggio di fornire utili linee guida alla progettazione. Inoltre, la comprensione dell'impatto dei parametri dei componenti che costituiscono il sistema sulle sue caratteristiche dinamiche risulta più agevole quando vengano utilizzati dei modelli analitici.

Principali obiettivi della ricerca presentata sono:

- a) Lo sviluppo di modelli per piccolo segnale dei convertitori PCC-SEPIC e PCC-Cuk che consentano di descriverne adeguatamente la dinamica.
- b) La formulazione di vincoli analitici per la stabilità del PCC-SEPIC e del PCC-Cuk.

Con riferimento al punto a), il principale miglioramento rispetto a precedenti modelli presenti in letteratura è ottenuto con la rimozione dell'ipotesi di uguaglianza tra tensione di ingresso e tensione sul condensatore di accoppiamento quando si deriva il modello per piccoli segnali del controllore in corrente. Per validare il modello, le previsioni di stabilità ottenute con metodi numerici sono stati

confrontati sia con simulazioni circuitali che con verifiche sperimentali. Mediante l'utilizzo di modelli numerici si è investigato l'impatto del rapporto tra l'induttanza di uscita e quella di ingresso sul comportamento dinamico dei convertitori SEPIC e Cuk durante i transitori di linea. I risultati evidenziano come, per ogni coppia di possibili valori di induttanza di ingresso e di uscita, esista un valore ottimo per la capacità del condensatore di accoppiamento che consente di ottenere il massimo smorzamento delle oscillazioni di tensione su tale condensatore in risposta a transitori di linea.

Con riferimento al punto b), è stato utilizzato un modello senza perdite del convertitore SEPIC. Trascurando l'impatto delle variazioni della tensione di uscita sulle oscillazioni della tensione del condensatore di accoppiamento in presenza di transitori di linea, è stato ricavato un modello per piccoli segnali di ordine ridotto. Tale modello consente di ottenere vincoli di stabilità analitici per il convertitore SEPIC controllato in corrente. Lo stesso modello di ordine ridotto può essere utilizzato per il convertitore Cuk.

I principali risultati ottenuti per entrambi i convertitori sono:

1. L'identificazione di un valore minimo per la capacità del condensatore di accoppiamento al di sotto del quale la stabilità non può essere ottenuta. Tale valore minimo aumenta con la corrente di uscita e con la diminuzione della tensione di ingresso.
2. L'identificazione di un valore critico per il guadagno del controllore in corrente. Questo valore critico dipende dal rapporto di conversione di tensione, dalla capacità di accoppiamento, dal guadagno del sensore di corrente e dal rapporto tra le induttanze di uscita e di ingresso.
3. Tale valore critico può rappresentare un vincolo superiore o inferiore per il guadagno del controllore in corrente a seconda del valore assunto dal rapporto di conversione in tensione e dal rapporto tra le induttanze di uscita e di ingresso.

Confronti tra i vincoli di stabilità analitici ottenuti utilizzando il modello senza perdite di ordine ridotto con i risultati ottenuti da un modello completo risolto per via numerica consentono di evidenziare il ruolo svolto dalle perdite resistive nel favorire la stabilizzazione dei convertitori in esame. Trascurando le perdite resistive, i risultati ottenuti con il modello numerico confermano quelli ricavati mediante il modello di ordine ridotto. Tuttavia, il confronto con i risultati forniti dal modello numerico in cui siano tenute in conto le perdite resistive evidenzia come l'utilizzo del modello di ordine ridotto possa portare a previsioni di stabilità estremamente conservative. Questa discrepanza risulta più evidente quando il rapporto di tra le induttanze di uscita e di ingresso del convertitore è inferiore al rapporto di conversione in tensione. Di fatto, la presenza delle perdite resistive può portare ad uno smorzamento delle oscillazioni del sistema in risposta ad un transitorio di linea sufficiente a conseguire un comportamento stabile anche se i vincoli elencati ai precedenti punti 1) e 2) sono violati.

Bisogna tuttavia sottolineare che stabilizzare il sistema mediante le perdite degli elementi parassiti del convertitore può portare a risultati imprevedibili. Infatti, le perdite resistive degli elementi del convertitore variano con le condizioni di linea e di carico, con la temperatura e con l'invecchiamento dei componenti.

I risultati ottenuti dal modello di ordine ridotto costituiscono utili linee guida per il progetto dei convertitori SEPIC e Cuk controllati in corrente. Inoltre, consentono di individuare potenziali situazioni di instabilità in progetti ad alta efficienza.

Le validazioni sperimentali confermano i risultati ottenuti.