

MODELLI E METODI PER LA PROGETTAZIONE DI CONVERTITORI SWITCHING

G. Di Capua, L. Egiziano, N. Femia

Università degli Studi di Salerno
Dipartimento di Ing. dell'Informazione, Ing. Elettrica e Matematica Applicata (DIEM)
Via Giovanni Paolo II, 132, 84084 Fisciano (SA)

Parole chiave: induttori in ferrite, modellistica.

Il conseguimento di elevate densità di potenza in tutte le moderne applicazioni dei sistemi di alimentazione riveste una notevole importanza, sia in relazione ad aspetti di risparmio energetico, sia ai fini della realizzazione di apparati e prodotti tecnologici ad elevata integrazione. In particolare, la minimizzazione dei componenti magnetici di potenza è uno dei principali problemi nella progettazione e realizzazione di convertitori di tipo switching ad alta frequenza ed ad elevata efficienza energetica.

In tale contesto si colloca un filone di attività di ricerca dell'Unità di Salerno, che riguarda lo sviluppo di modelli e metodi per l'analisi e la progettazione di dispositivi magnetici (trasformatori e induttori), nonché l'investigazione delle correlazioni tra le caratteristiche di tali dispositivi e le condizioni operative di funzionamento, ai fini della minimizzazione delle perdite e del volume. Tale attività di ricerca ha messo in risalto problematiche di carattere interdisciplinare, che riguardano la modellazione di dispositivi magnetici, l'analisi di circuiti non lineari, e aspetti connessi con le misure sperimentali.

Le attività svolte nel corso dell'ultimo anno hanno messo in risalto che nella ricerca del miglior compromesso in termini di perdite, dimensioni e costo, è necessario analizzare e approfondire anche aspetti connessi alla saturazione dei componenti magnetici. Tra gli aspetti metodologici di maggiore interesse, l'unità di Salerno si è concentrata sullo sviluppo di un modello generalizzato per l'analisi del comportamento degli induttori di potenza in ferrite in saturazione in applicazioni di tipo switching. A tale scopo, è stato necessario anche avvalersi di misure sperimentali relative alla caratterizzazione di tali dispositivi. In Fig. 1.(a) è riportata la tipica caratteristica dell'induttanza in funzione della corrente per un induttore in ferrite. E' possibile riconoscere tre possibili regioni di funzionamento del dispositivo:

- regione di saturazione debole, nella quale l'induttanza diminuisce al più del 20-30% rispetto all'induttanza nominale definita a corrente nulla;
- regione di *roll-off*, nella quale l'induttanza decresce molto velocemente, passando dal 70%-80% al 20-30% del valore dell'induttanza nominale;
- regione di saturazione profonda, nella quale l'induttanza tende ad assumere il suo valore minimo.

Tradizionalmente, nella progettazione dei regolatori switching si assume che l'induttore operi in modo che l'ondulazione di corrente (*ripple*) conseguente al funzionamento switching sia completamente contenuta nella regione di saturazione debole. Una indagine condotta su dispositivi reali e verificata sperimentalmente ha dimostrato che questo approccio comporta difficoltà di individuazione di dispositivi con induttanza e corrente di saturazione elevate, conduce molto spesso alla selezione di dispositivi con dimensioni eccessive, nonché ad un

eccesso di perdite. E' stato quindi formulato un modello comportamentale di induttori in ferrite ed è stato sviluppato un algoritmo di risoluzione numerica, mediante i quali è possibile investigare il funzionamento in saturazione degli induttori e prevedere in modo affidabile la forma d'onda e l'ampiezza picco-picco della corrente di induttore, nonché stimare la dissipazione di potenza di tali componenti magnetici in qualunque condizione operativa.

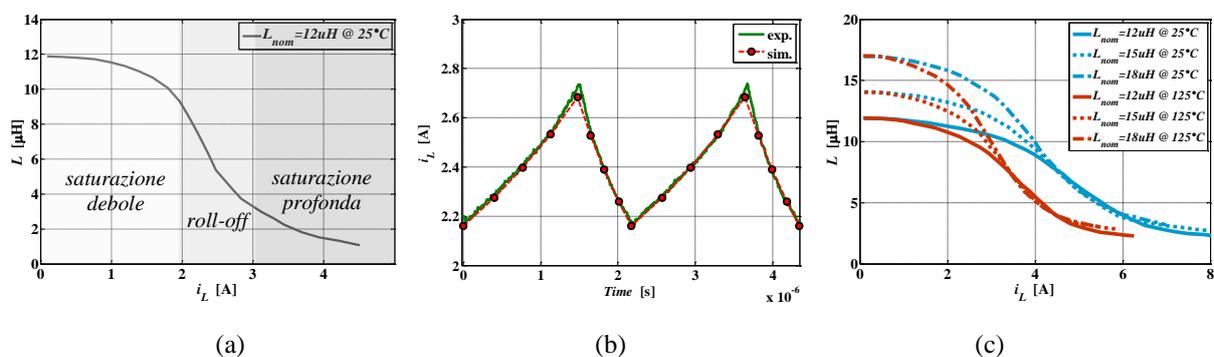


Fig. 1. (a) Induttanza vs corrente per un induttore in ferrite, (b) Corrente di induttore per un convertitore buck ($V_{in}=6\text{V}$, $V_{out}=3.3\text{V}$, $I_{out}=2.4\text{A}$): risultati sperimentali (curva verde) e di simulazione (curva rossa); (c) effetto della temperatura sulla curva induttanza vs corrente

Prove sperimentali hanno confermato l'attendibilità del modello analitico sviluppato, e verificato inoltre che il funzionamento con valore medio e ripple di corrente tali da portare il punto di lavoro nella regione di *roll-off* può essere pienamente sostenibile dall'induttore e determina inoltre molteplici vantaggi ai fini della minimizzazione delle dimensioni e delle perdite, dati i livelli di potenza in gioco per le applicazioni di riferimento (*Point-of-Load*, *automotive*, *industrial*). In Fig. 1(b) è mostrato il confronto tra la corrente di induttore misurata sperimentalmente (curva verde) e la previsione ottenuta utilizzando l'algoritmo numerico realizzato sulla base del modello analitico proposto (curva rossa). Pertanto, definite le condizioni operative del convertitore, è possibile mettere a confronto diversi induttori in ferrite per applicazioni di tipo switching, e identificare e confrontare soluzioni di progetto tali da determinare il miglior compromesso tra perdite e volume, senza necessariamente prevenire funzionamenti in parziale saturazione degli induttori di potenza. In molte applicazioni di ampio interesse in questo contesto, è possibile verificare come induttori con nucleo magnetico più piccolo e un valore di induttanza più bassa possano avere prestazioni simili, e talvolta addirittura migliori, di induttori con un nucleo magnetico più grande e un valore di induttanza più alta. Tra gli aspetti modellistici di maggiore interesse investigati, l'unità di Salerno ha inoltre messo a punto un modello termico completo per gli induttori in ferrite, grazie al quale è possibile includere gli effetti termici di variazione dell'induttanza rispetto alla corrente di saturazione dello stesso dispositivo. In Fig. 1(c) è mostrata la variazione delle curve di induttanza vs corrente per tre induttori in ferrite di induttanza nominale pari a $12\mu\text{H}$, $15\mu\text{H}$ e $18\mu\text{H}$.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] G. Di Capua, N. Femia, "Inductors-Saturation-Aware Design of Switching Power Supplies", sottomesso all'IEEE Transactions on Power Electronics.
- [2] L. Milner, G.A. Rincon-Móra, "Small saturating inductors for more compact switching Power Supplies, IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering, vol. 7, pag. 69-73, 2012.