

CARATTERIZZAZIONE E PROGETTAZIONE DI TRASFORMATORI DI POTENZA IN CONVERTITORI SWITCHING

L. Egiziano, A. De Nardo, G. Di Capua, N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo

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

I convertitori DC-DC di tipo *switching* sono utilizzati per la realizzazione di sistemi di alimentazione in un'ampia varietà di applicazioni e sono soggetti a vincoli relativi al peso, alle dimensioni, all'affidabilità, all'efficienza e al costo del sistema. Tali restrizioni possono risultare particolarmente stringenti in settori quali l'automotive, l'aerospaziale e il fotovoltaico. Per alcune specifiche applicazioni emerge la necessità di disporre di un trasformatore di potenza, che consenta non solo di realizzare una condizione di isolamento galvanico tra ingresso e uscita del convertitore, ma che permetta anche di disporre di più uscite, eventualmente regolate. In tali casi, il trasformatore di potenza si configura come elemento cruciale nella progettazione e nello sviluppo di convertitori.

Il progetto del trasformatore prevede due fasi fondamentali:

- 1) la scelta di un nucleo idoneo per materiale, forma e dimensioni
- 2) la scelta di avvolgimenti di sezione e numero di spire opportuni.

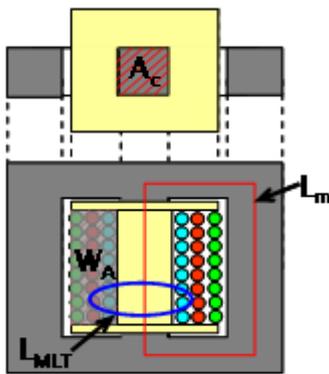


Fig.1. Grandezze geometriche caratteristiche di un trasformatore.

I metodi tradizionali di progetto del trasformatore, largamente approfonditi in letteratura, mirano all'ottimizzazione del progetto imponendo la minimizzazione delle perdite del componente. Tale approccio spesso conduce a soluzioni progettuali sub-ottime e talvolta impraticabili. L'unità di Salerno ha investigato un nuovo metodo di progetto [1] [2] che, partendo dalla definizione di opportune costanti geometriche, K_F e K_C , definite in funzione dei rapporti tra le lunghezze e le sezioni caratteristiche del trasformatore (Fig.1), assicura sia il soddisfacimento dei vincoli imposti sulla massima potenza dissipabile dal trasformatore, sia il conseguimento di soluzioni progettuali fisicamente realizzabili in quanto caratterizzate da numeri interi di spire per gli avvolgimenti. A partire dalle proprietà del materiale ferromagnetico e dalle specifiche di progetto, è stata determinata l'espressione della potenza dissipata dal trasformatore esprimendo esplicitamente la dipendenza dal numero di spire n_M associato all'avvolgimento corrispondente all'uscita del trasformatore con il più basso livello di tensione.

Mediante opportune trasformazioni, si è giunti ad una condizione di progetto, espressa in relazione alle due costanti geometriche $K_F - K_C$, grazie alla quale, fissata l'applicazione e definito un numero intero di spire n_M , è possibile tracciare opportune curve di *boundary* (Fig. 2(a)) che definiscono le regioni di accettabilità dei nuclei ferromagnetici. I nuclei magnetici – rappresentati in Fig.2(a) – sono stati caratterizzati mediante le due costanti geometriche introdotte. Ogni nucleo può contemporaneamente trovarsi al di sotto di più curve di *boundary*, può cioè dissipare valori di potenza differenti a seconda del valore di n_M considerato. Il metodo di progetto proposto risulta particolarmente flessibile in quanto le curve di *boundary*

utilizzate per la scelta dei nuclei ferromagnetici sono direttamente derivate dalle specifiche di progetto dell'applicazione. Inoltre, poiché il prodotto $K_F K_C$ risulta inversamente proporzionale al volume del nucleo e il rapporto K_F / K_C – indicativo della *snellezza* del nucleo – permette la scelta tra nuclei tendenzialmente più idonei per applicazioni ad alta corrente (elevato K_F / K_C) e nuclei più adatti per applicazioni ad alta frequenza (piccolo K_F / K_C), l'approccio proposto consente anche di aver informazioni sul volume e sulla forma complessiva del nucleo (Fig.2(a)).

Il metodo proposto è stato completato inserendo l'analisi termica del ferro e del rame [3]. Il modello *magneto-elettro-termico* del trasformatore così ottenuto è descritto da un set di equazioni fortemente non-lineari la cui risoluzione ha richiesto l'adozione di tecniche numeriche di tipo *Newton – Raphson*. Le soluzioni di tale sistema individuano due distinte superfici, una di potenza e una di temperatura, che dalla rispettiva intersezione con altrettante superfici, corrispondenti alla massima potenza dissipabile dal trasformatore e alla massima temperatura raggiungibile nel ferro, individuano al variare della temperatura di funzionamento un altro set di curve di boundary nel piano $W_a - A_c$ (Fig.2(b)). Si è osservato come nuclei potenzialmente idonei per una data applicazione siano invece non adatti perché non contenuti nella regione di accettabilità descritta in termini della massima potenza dissipabile e della massima temperatura raggiungibile nel ferro (rispettivamente curva verde e blu in Fig.2(b)).

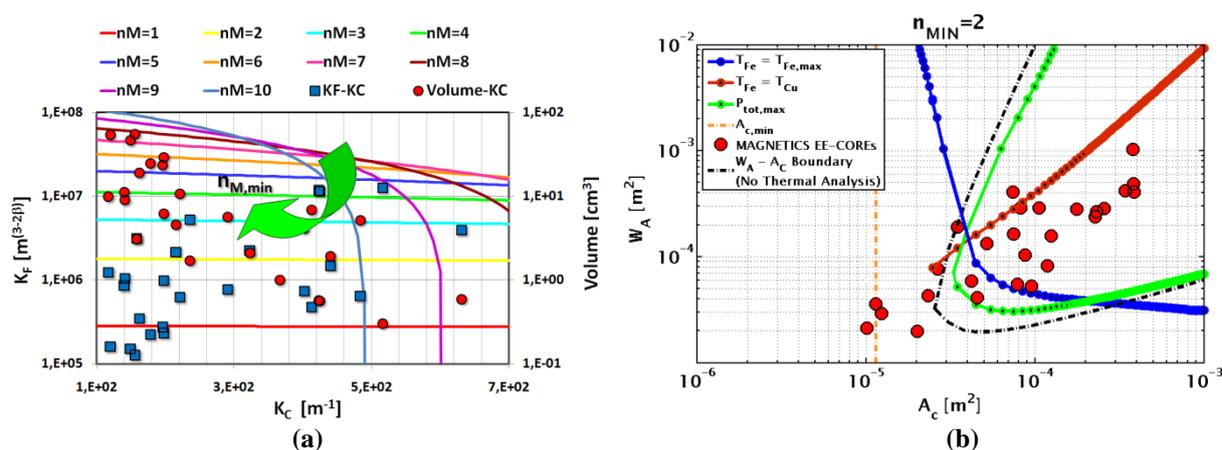


Fig.2.(a) Curve di *boundary* per nuclei ferromagnetici; (b) Curve di *boundary* ottenute mediante risoluzione del modello *magneto-elettro-termico*.

- [1] A. De Nardo, G. Di Capua, N.Femia, G.Petrone, G.Spagnuolo, "Geometric-Constants-Based Design of Transformers for Isolated Switching Converters", IEEE International Symposium of Industrial Electronics (ISIE), Bari, Italy, 2010.
- [2] A. De Nardo, G. Di Capua, N. Femia, "Design of Transformers for Isolated Switching Converters Based on Geometric Form Factors", sottomesso all'IEEE Transaction on Industrial Electronics Journal.
- [3] N. Femia, G. Di Capua, "A Novel Approach to Transformers Design Based on Acceptability Boundary Curves of Magnetic Cores", IEEE 12th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), Boulder, CO, U.S.A., 2010.