

## **MODELLO CIRCUITALE DI INDUTTORI AVVOLTI SU NUCLEO FERROMAGNETICO PER APPLICAZIONI AD ALTA FREQUENZA**

U. Reggiani (\*), G. Grandi (\*), A. Massarini (+), G. Sancineto (\*)

(\*) Dipartimento di Ingegneria Elettrica, DIE – Università di Bologna  
Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

(+) Dipartimento di Scienze dell'Ingegneria – Università di Modena e Reggio Emilia  
Via Campi 213/B, 41100 Modena

Negli ultimi anni sempre più numerose applicazioni nel settore elettrico ed elettronico hanno visto l'affermarsi dell'impiego di convertitori statici di tipo *switching*. La tendenza a ridurre le dimensioni ed il peso dei componenti reattivi ha determinato un aumento della frequenza di commutazione (*switching*) fin oltre parecchie centinaia di kilohertz. L'aumento della frequenza consente infatti l'uso di induttori, condensatori e trasformatori di dimensioni e costo minori. Per ottenere tale obiettivo è importante raggiungere una elevata efficienza operativa anche alle alte frequenze. E' necessario inoltre porre attenzione alla realizzazione circuitale dei convertitori di potenza, con particolare riferimento ai parametri parassiti dei componenti utilizzati. Infatti, il comportamento dei componenti elettrici ed elettronici nel campo delle alte frequenze risulta in generale diverso da quello caratteristico alle basse frequenze ed i loro modelli ideali risultano inadeguati. L'impiego di induttori è particolarmente diffuso nelle applicazioni ad alta frequenza, soprattutto per la realizzazione di filtri armonici.

Scopo della ricerca è l'individuazione di un modello circuitale a parametri concentrati per induttori avvolti su nucleo ferromagnetico, che tenga conto dei parametri parassiti e che permetta di descriverne il comportamento nel campo delle alte frequenze. Alcune espressioni della resistenza ed induttanza di dispersione dell'avvolgimento dell'induttore, in funzione della frequenza, sono state originariamente derivate da Dowell [1] e modificate in questo studio per tenere conto dei parametri geometrici dell'avvolgimento. La resistenza equivalente e l'induttanza complessiva dell'induttore sono determinate attraverso lo studio della diffusione del campo elettromagnetico nel nucleo. In particolare, sono stati esaminati i casi di induttori con nucleo massiccio [2] e laminato. Gli andamenti, in funzione della frequenza, dei parametri elettrici calcolati con il modello circuitale rappresentato in figura 1 e quelli rilevati sperimentalmente risultano essere in buon accordo fino a frequenze superiori a quella di risonanza dell'induttore. Nelle figure 2-a e 2-b sono confrontati i risultati sperimentali e i valori calcolati con il modello per un induttore con nucleo in ferrite. Le figure 3-a e 3-b si riferiscono al caso del nucleo laminato. Il modello proposto può essere utilizzato per la simulazione nel dominio della frequenza e per il dimensionamento degli induttori per applicazioni ad alta frequenza.

Un possibile sviluppo della ricerca può consistere nell'individuazione di una rete circuitale a parametri concentrati indipendenti dalla frequenza, che rappresenti il comportamento dell'induttore in un ampio intervallo di frequenza. Questo modello consentirebbe la simulazione dell'induttore nel dominio del tempo senza dovere ricorrere a complesse integrazioni numeriche. Modelli circuitali più raffinati possono essere sviluppati per considerare anche la non linearità del materiale ferromagnetico.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] P. J. Dowell, "Effects of eddy currents in transformer windings", *Proc. IEE*, Vol.113, No. 8, August 1966, pp. 1287-1394
- [2] U. Reggiani, G. Grandi, A. Massarini, M. Kazimierczuk, G. Sancineto, "High-Frequency Small-Signal Model of Ferrite Core Inductors", accettato per la pubblicazione su *IEEE Transactions on Magnetics*.