

# ANALISI COMPARATIVA DEL COMPORTAMENTO ALLE ALTE FREQUENZE DI BOBINE CON NUCLEO FERROMAGNETICO LAMINATO ED IN ARIA

U. Reggiani, G. Grandi, G. Sancineto

Dipartimento di Ingegneria Elettrica, DIE – Università di Bologna  
Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

Gli induttori di filtro e di livellamento sono a tutt'oggi di larghissimo impiego nelle applicazioni dell'elettronica di potenza. In particolare, nelle apparecchiature che utilizzano convertitori controllati con tecnica *switching*, l'inquinamento armonico assume una particolare importanza. In questi casi, la scelta e la caratterizzazione degli induttori di filtro costituisce un interessante ed al tempo stesso problematico argomento di studio.

Nel campo delle potenze medio-alte, le due tipologie di induttori maggiormente impiegate sono quelle con bobina in aria e con bobina avvolta su nucleo ferromagnetico laminato.

A pari valore di induttanza (a bassa frequenza), l'induttore in nucleo ferromagnetico laminato presenta minori dimensioni, minori perdite nell'avvolgimento ma consistenti perdite nel nucleo ed un comportamento non lineare dovuto alle caratteristiche del materiale ferromagnetico. D'altra parte, la presenza del nucleo costituisce, a frequenze non molto elevate, un percorso preferenziale per le linee di campo magnetico, determinando quindi un minore flusso disperso, il quale potrebbe essere causa di disturbi verso altre parti del sistema. Per evidenziare le differenze di comportamento tra induttore in aria ed induttore in nucleo laminato, si sono considerati induttori delle due tipologie aventi lo stesso avvolgimento. In questo modo è possibile esaminare l'influenza del nucleo sul comportamento in frequenza dell'induttore, assumendo che gli effetti parassiti nell'avvolgimento (addensamento di corrente e capacità parassite) siano praticamente gli stessi. Il confronto tra le due tipologie di induttore si basa sull'analisi dei parametri di induttanza totale, resistenza totale c.a. e fattore di qualità. I valori calcolati di induttanza e resistenza totale, diversamente da quelli misurati, non dipendono dalle capacità parassite. Pertanto, il confronto tra i risultati teorici e quelli sperimentali consente di individuare il *range* di frequenze in cui è possibile trascurare gli effetti capacitivi.

## INDUTTANZA

Il confronto tra le due tipologie di induttori in termini di induttanza totale si riferisce ai valori normalizzati rispetto alla corrispondente induttanza in c.c.. In questo modo può essere evidenziato il comportamento in alta frequenza del parametro d'interesse.

In Fig. 1 sono riportati gli andamenti dell'induttanza totale calcolata  $L_{ac}$  e dell'induttanza equivalente serie misurata, definita come  $X_s/(2\pi f)$ , in funzione della frequenza, entrambe normalizzate rispetto al valore  $L_{dc}$ .

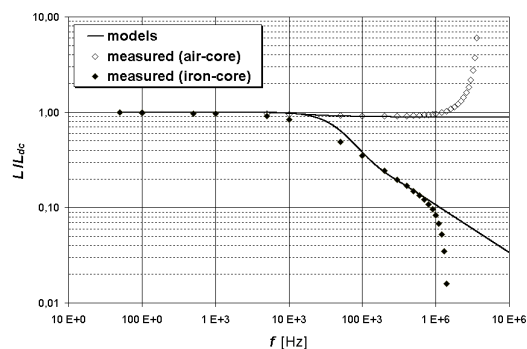


Fig. 1. Induttanza misurata e calcolata (p.u.)

Come si evince dagli andamenti riportati in Fig. 1, l'induttanza, a causa delle correnti parassite nell'avvolgimento e nel nucleo, decresce in modo non significativo fino ad alcune decine di kHz. Si può osservare che l'effetto della capacità parassita totale è evidente per entrambi i tipi di induttore al disopra di 1 MHz.

#### PERDITE JOULE

Le perdite sono analizzate in termini di resistenza equivalente serie complessiva. Gli andamenti della resistenza totale c.a. calcolata  $R_{ac}$  e quello della resistenza equivalente serie misurate  $R_s$ , normalizzati rispetto al valore  $R_{dc}$ , sono riportati in Fig. 2, per i due tipi di induttore. La resistenza è ovviamente molto maggiore nel caso di induttore con nucleo laminato.

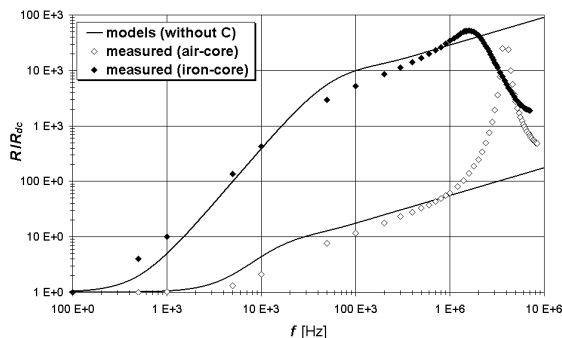


Fig. 2. Resistenza calcolata e misurata (p.u.).

#### FATTORE DI QUALITÀ

Il valore calcolato del fattore di qualità, definito come  $Q = \omega L_{ac} / R_{ac}$ , e quello misurato, definito come  $Q_s = X_s / R_s$ , sono riportati in funzione della frequenza in Fig. 3, per entrambi gli induttori. Il fattore di qualità è più alto nel caso di induttore con nucleo laminato solo per frequenze fino ad alcuni kHz.

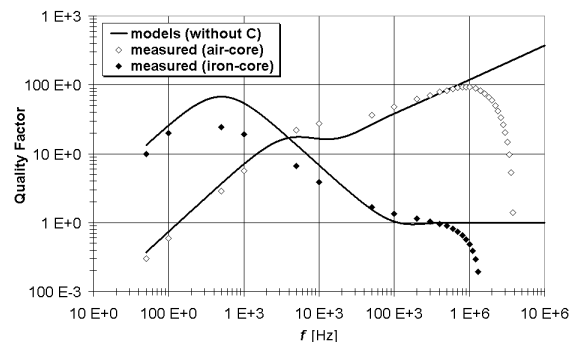


Fig. 3. Fattore di qualità calcolato e misurato.

#### CONCLUSIONI

Nell'ambito di questa attività di ricerca sono stati sviluppati modelli che descrivono il comportamento in alta frequenza di induttori in aria e di induttori in nucleo ferromagnetico laminato.

L'impiego dell'induttore in nucleo ferromagnetico laminato è da preferire a quello dell'induttore in aria fino a frequenze di pochi kHz data la contenuta diminuzione dell'induttanza ed il più alto valore del fattore di qualità. Inoltre, in questo range di frequenze, il nucleo ferromagnetico rappresenta una via preferenziale per le linee di campo riducendo l'accoppiamento magnetico con altre parti suscettibili del sistema.

La presenza del nucleo non influenza sensibilmente il comportamento dell'induttore al di sopra della frequenza di risonanza, in quanto esso dipende essenzialmente solo dalle caratteristiche dell'avvolgimento.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] U. Reggiani, G. Grandi, A. Massarini, M.K. Kazimierczuk: "High-Frequency Small-Signal Model of Ferrite Core Inductors", IEEE Trans. on Industrial Application, 35, No. 5, 1999
- [2] U. Reggiani, G. Grandi, G. Sancineto, M.K. Kazimierczuk, A. Massarini: "High Frequency Behavior of Laminated Iron-Core Inductors for Filtering Applications", IEEE-APEC Conference, New Orleans, Louisiana (USA), February 6-10, 2000
- [3] U. Reggiani, G. Grandi, G. Sancineto, G. Serra: "Comparison Between Air-Core and Laminated Iron-Core Inductors in Filtering Applications for Switching Converters," accettato per la pubblicazione, IEEE-CIEP Conference, October 15-19, 2000 Acapulco, Gro., MEXICO.