TECNICHE PER IL MIGLIORAMENTO DELLA ROBUSTEZZA E DELLA TOLLERANZA AI GUASTI DI SISTEMI ELETTROMECCANICI

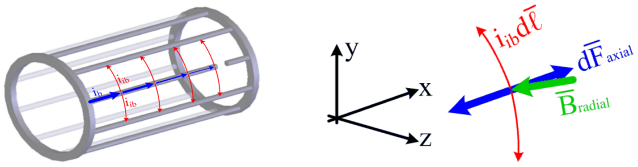
Carlo Concari, Carla Tassoni

Università degli Studi di Parma
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
Via G.P. Usberti 181/A, I–43100 PARMA

Lo studio riguarda diversi aspetti della tolleranza ai guasti e del funzionamento robusto di sistemi elettromeccanici.

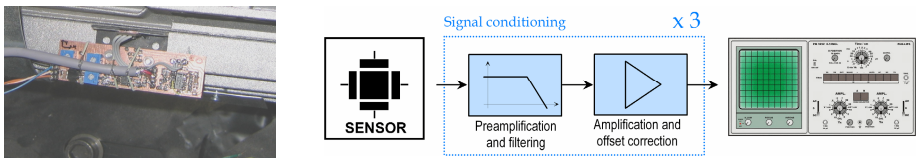
L'individuazione di guasti incipienti nei sistemi elettromeccanici permette di pianificare gli interventi di manutenzione mentre le apparecchiature sono ancora in grado di funzionare, eventualmente in modalità ridotta. La ricerca di guasti a partire dalla misura delle sole grandezze elettriche è molto attraente dal punto di vista dell'economicità e della bassa invasività (spesso le grandezze elettriche sono già monitorate per altri scopi); tuttavia le informazioni ottenute sono interpretabili solo disponendo di modelli elettrici che tengano conto dei vari fenomeni anche non elettrici.

In particolare ci si è occupati dello sviluppo di modelli di guasto che permettano di sfruttare, oltre alle misure di tipo elettrico (tensioni, correnti), la presenza di sensori magnetici (flusso disperso) o meccanici (vibrazioni) allo scopo di migliorare la sensibilità e l'accuratezza delle tecniche di diagnosi di sistemi elettromeccanici [1]. Studiando nelle macchine ad induzione la disposizione spaziale delle correnti che, nel caso di guasto del circuito elettrico, possono fluire al di fuori di esso, si sono messe in evidenza forze assiali non presenti nella macchina ideale. La Fig. 1 mostra il percorso di correnti di guasto tangenziali (correnti interbariche) in un motore a gabbia. Mediante un accelerometro MEMS tridimensionale (Fig. 2) è possibile separare l'effetto delle forze sui vari assi cartesiani migliorando la comprensione dei meccanismi di guasto in atto.



(a) (b)

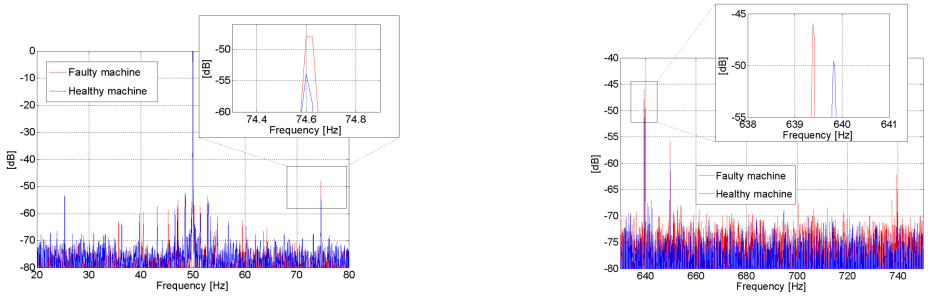
Fig. 1. Correnti di guasto tangenziali in un motore a gabbia (a) e conseguente sviluppo di forze assiali (b).



(a) (b)

Fig. 2. Accelerometro tridimensionale (a) e catena di elaborazione dei segnali in uscita dall'accelerometro (b).

Parallelamente ci si è dedicati al miglioramento delle tecniche di analisi di guasto basate sulla misura e analisi delle sole grandezze elettriche. E' stato trattato uno dei guasti più diffusi nei sistemi rotanti, l'eccentricità sia statica che dinamica, che causa vibrazioni e stress meccanico. E' stato sviluppato un modello circuitale basato sull'interazione di componenti del campo magnetico nel passaggio statore-rotore. Tale modello ha permesso di quantificare analiticamente l'eccentricità a partire dallo studio di particolari componenti spettrali della corrente (Fig. 3) [2].



(a) (b)

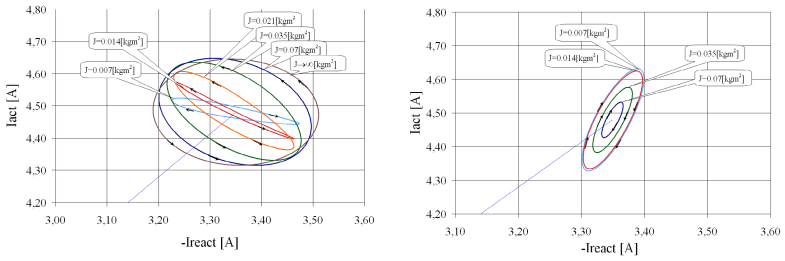
Fig. 3. Risultati sperimentali riguardanti lo studio di linee spettrali associate a guasti meccanici di eccentricità.

Sono stati inoltre sviluppati modelli analitici che permettono di separare, in sistemi di riferimento rotanti, le vibrazioni dovute a sbilanciamenti meccanici da quelle dovute ad asimmetrie o guasti di tipo elettrico. Tale separazione avviene mediante la scomposizione del "current space vector" nelle componenti attiva e reattiva e lo studio dei luoghi geometrici (ellissi), con dimensioni assiali funzioni dell'inerzia del sistema, descritti da queste componenti su un piano cartesiano [3].

La Fig. 4 mostra il confronto fra i luoghi dovuti ad asimmetrie elettriche e quelli conseguenti a sbilanciamenti meccanici; la principale differenza risiede nella diversa orientazione delle ellissi. Il modello sviluppato e riportato in [3] è in grado di giustificare analiticamente questa differenza, che matematicamente si traduce in relazioni analitiche tra gli angoli di fase delle componenti attiva e reattiva del "current space vector".

Un altro studio ha riguardato possibili segnali che un convertitore di frequenza può applicare ad un attuatore ad induzione per identificare i parametri del modello usato per il controllo. Una particolare sequenza di impulsi, che realizza un campo magnetico pulsato ad orientamento variabile, ha portato alla acquisizione della eventuale variazione dei parametri con l'angolo di orientamento. Dall'entità di tale variazione il modello permette di diagnosticare le condizioni dell'attuatore [4].

Si cita infine lo sviluppo di un algoritmo per la riduzione delle vibrazioni durante la sequenza di avviamento di attuatori BLDC [5].



(a) (b)

Fig. 4. Luoghi tracciati dal "current space vector" in un riferimento rotante in caso di guasti elettrici (a) e di sbilanciamenti meccanici (b).

Bibliografia

[1] C. Concari, G. Franceschini, C. Tassoni, "Differential Diagnosis Based on Multivariable Monitoring to Assess I. M. Rotor Conditions", *IEEE Trans. on Ind. El.*, vol. 55, no. 12, Dec. 2008, pp. 4156–4166.

[2] C. Concari, G. Franceschini, C. Tassoni, "Towards Practical Quantification of Induction Drives Mixed Eccentricity", in *Proc. ECCE 2009*, San Jose, CA, USA, 20-24 Sept. 2009, pp. 2334–2339.

[3] C. Concari, C. Tassoni, A. Toscani, "A New Method to Discern Mechanical Unbalances from Rotor Faults in Induction Machines", sottoposto per l'accettazione a *ICEM 2010 – XIX International Conference on Electrical Machines*, Roma, Sept. 2010.

[4] C. Concari, G. Franceschini, C. Tassoni, "Self-Commissioning Procedures to Detect Parameters in Healthy and Faulty Induction Drives", in *Proc. IEEE-SDEMPED '09*, Cargese, France, Aug. 2009, pp. 1–6.

[5] C. Concari, G. Franceschini, A. Toscani, "Vibrationless alignment algorithm for incremental encoder based BLDC drives", in *Proc. ECCE 2009*, San Jose, CA, USA, 20-24 Sept. 2009, pp. 2334–2339.