

ANALISI E SINTESI DEL CAMPO MAGNETICO IN LEVITATORI A SUPERCONDUTTORE

Paolo Di Barba, Maria Evelina Mognaschi, Antonio Savini

Dipartimento di Ingegneria Elettrica
Via Ferrata 1, 27100 Pavia

Viene presa in considerazione una classe di cuscinetti magnetici, il cui funzionamento è basato su un elemento superconduttore ad alta temperatura critica (Fig. 1). Si suppone che il superconduttore operi nello stato di flusso intrappolato, ovvero conservi memoria della distribuzione interna di linee di flusso nella posizione di attivazione, quando ha avuto luogo la transizione da stato normale a superconduttivo. Si suppone, inoltre, che il campo interno al conduttore non cambi quando il conduttore viene spostato dalla posizione di attivazione alla posizione operativa, rispetto al magnete di eccitazione.

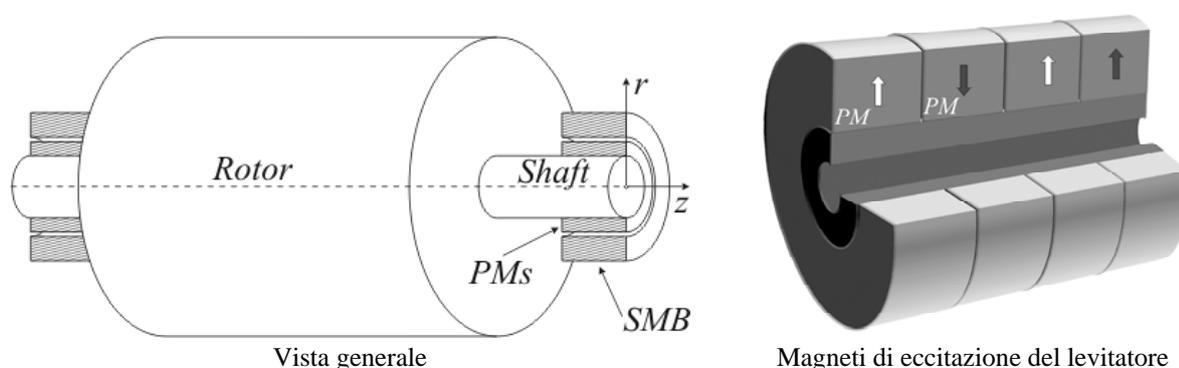


Fig. 1: Dispositivo rotante con cuscinetti a superconduttore

Considerando la sezione longitudinale di Fig.1, il dispositivo di levitazione è rappresentato in Fig. 2. Esso è costituito da un campione di superconduttore, eccitato da tre magneti permanenti in NdFeB con magnetizzazione nella direzione Y. Dimensioni tipiche sono 50 mm per l'altezza e 80 mm per la larghezza.

Dal punto di vista modellistico, la regione di campo è un dominio duplicemente connesso, ottenuto rimuovendo il superconduttore e sostituendolo con una distribuzione di corrente superficiale (teorema di sostituzione). Quest'ultima viene identificata per mezzo di tre simulazioni agli elementi finiti, variando stato e posizione del superconduttore Ω_s . In particolare vengono risolti i tre seguenti problemi: 1) Ω_s è modellizzato come un materiale con permeabilità $\mu_r=1$ in posizione di attivazione 2) Ω_s è modellizzato come un diamagnetico perfetto, in posizione operativa 3) Ω_s è modellizzato come un diamagnetico perfetto, in posizione di attivazione. Viene poi utilizzato il principio di sovrapposizione [1] per identificare la distribuzione di corrente lungo il bordo del superconduttore.

Il secondo metodo usato per l'analisi di campo di base sulle trasformazioni conformi di Schwarz e Christoffel applicate a un dominio duplicemente connesso, ottenuto rimuovendo il superconduttore per calcolare i campi relativi ai tre problemi precedenti. Modellizzando i magneti di eccitazione con fogli di corrente si può considerare il mezzo omogeneo. Dopo aver calcolato il campo sul bordo del superconduttore in posizione di attivazione (fase 1) applicando la legge di Biot e Savart, la regione esterna e i fogli di corrente sono trasformati nel semipiano superiore del piano complesso, mentre l'asse reale rappresenta il bordo del superconduttore. Quindi, per eseguire i conti dei passi 2 e 3, è sufficiente applicare la legge di Biot e Savart nel semipiano superiore, dopo aver imposto le condizioni omogenee di Neumann sull'asse reale. In questo modo, possono essere eseguiti calcoli veloci, con errori accettabili rispetto ai risultati più raffinati ottenuti con gli elementi finiti. La flessibilità e l'accuratezza della mappatura si basano su procedure numeriche consolidate [2].

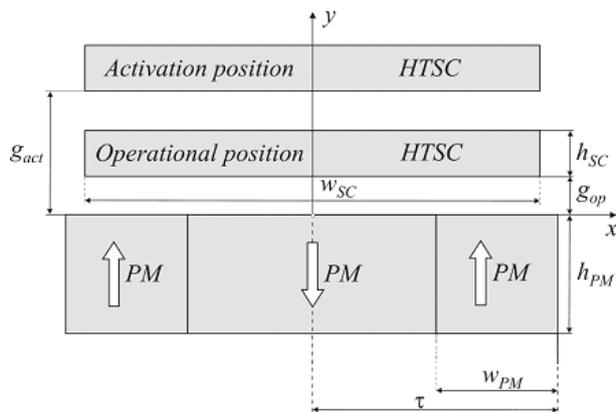


Fig. 2. Geometria del superconduttore con magneti permanenti NdFeB magnetizzati in direzione Y

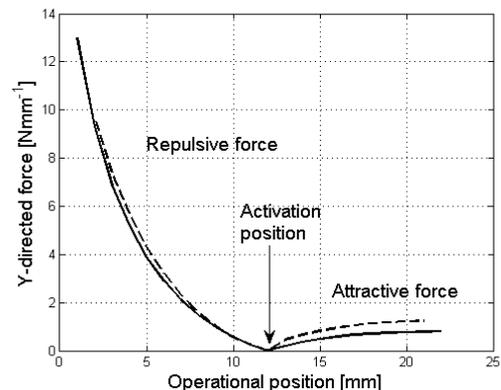


Fig. 3. Curva forza-spostamento: linea tratteggiata – applicando il teorema di sostituzione, linea continua – applicando la trasformata di Schwarz-Christoffel

In Fig. 3 sono mostrati i risultati dell'analisi di campo basata sul modello a flusso intrappolato [3], secondo i due metodi precedentemente descritti. In particolare, la forza di levitazione in direzione Y, agente sul superconduttore in varie posizioni operative, è stata valutata mediante il tensore degli sforzi di Maxwell. Essa risulta repulsiva o attrattiva a seconda che la posizione operativa sia inferiore o superiore alla posizione di attivazione, rispettivamente.

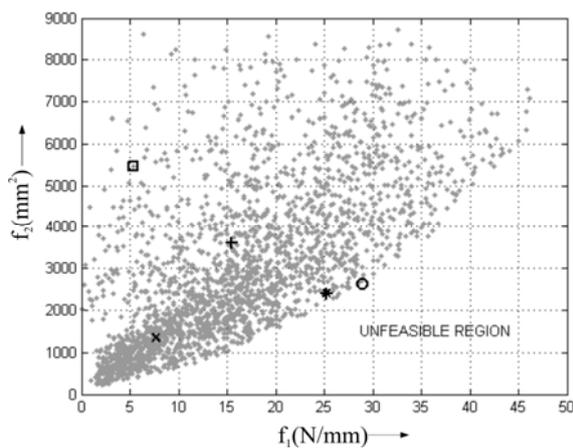


Fig. 4. Campionamento dello spazio obiettivo con l'evidenza del fronte di Pareto e alcuni risultati di ottimizzazione (quadrato: soluzione iniziale, croce: somma pesata - deterministico, circonferenza: somma pesata - evolutivo, + min-max deterministico, * min-max evolutivo).

Per quanto riguarda la sintesi del campo, agendo sulla geometria di magneti e superconduttore, si sono considerati due obiettivi: la forza di levitazione in direzione Y (funzione f_1), da massimizzare, e l'area dei magneti (funzione f_2), da minimizzare. In Fig. 4 sono mostrati i risultati di alcune ottimizzazioni multiobiettivo del dispositivo [4].

Partendo dalla stessa soluzione iniziale, sono stati applicati un algoritmo deterministico e un algoritmo evolutivo, secondo due formulazioni (min-max e somma pesata). Entrambi hanno portato a un miglioramento del dispositivo di partenza, in particolare, l'algoritmo stocastico ha individuato due soluzioni sul fronte di Pareto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] H. May, R. Palka, E. Portabella, and W.R. Candors, "Evaluation of the magnetic field – high temperature superconductor interactions", COMPEL, vol.23, no.1, pp.286-304, 2004
- [2] T.A. Driscoll, and L.N. Trefethen, *Schwarz-Christoffel Mapping*, Cambridge University Press, 2002
- [3] E. Costamagna, P. Di Barba, M.E. Mognaschi, A. Savini, "Fast algorithms for the design of complex shape devices in electromechanics", in: E. Napieralska and S. Wiak (Ed.s), "Computational Methods for the Innovative Design of Electrical Devices", Studies in Computational Intelligence, Springer, 2010, pp. 65-96.
- [4] P. Di Barba, H. May, M.E. Mognaschi, R. Palka, A. Savini, "Multiobjective design optimization of an excitation arrangement used in superconducting magnetic bearings", International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics IJAEM, Vol. 30, No. 3-4, 2009, pp. 127-134.