

SIMULAZIONE NUMERICA DEI SISTEMI PER LA LEVITAZIONE MAGNETICA CHE UTILIZZANO SUPERCONDUTTORI AD ALTA TEMPERATURA CRITICA

P.L. Ribani, F. Negrini, A. Cristofolini, M. Fabbri

DIE, Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

I sistemi per l'accumulo della energia che utilizzano volani presentano, tra gli altri, l'inconveniente di assorbire continuamente la potenza necessaria per vincere l'attrito meccanico presente nei cuscinetti. Tale attrito può essere significativamente ridotto facendo uso di cuscinetti magnetici superconduttivi costituiti da pastiglie di materiale superconduttore ad alta temperatura critica (YBCO) e magneti permanenti. Le pastiglie di superconduttore sono poste su di una corona circolare nella carcassa fissa del dispositivo ed i magneti permanenti su una analoga corona circolare sul volano. Numerosi sono gli studi e le realizzazioni sperimentali di tale dispositivo che vengono descritte nella letteratura e che indicano la sua competitività rispetto ai sistemi con batterie nei sistemi per il miglioramento della qualità della energia elettrica [1].

La ricerca, iniziata presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica della Università di Bologna nel 1996 ha come obiettivo la simulazione numerica del dispositivo sopra descritto. Il primo passo di tale attività è stata la simulazione del sistema assialsimmetrico costituito da un magnete permanente cilindrico e da un cilindro di YBCO coassiali. Il magnete permanente è libero di muoversi nella sola direzione assiale sotto l'azione della forza peso, di eventuali sollecitazioni meccaniche esterne e della forza di levitazione dovuta alle correnti di schermo che hanno origine nel superconduttore. Le equazioni che descrivono il sistema sono costituite dalla equazione del moto del magnete permanente, la cui magnetizzazione viene supposta costante, e dalle equazioni che descrivono la corrente nel superconduttore. Queste ultime vengono trattate con l'introduzione del potenziale vettore di corrente \mathbf{T} e la seguente relazione costitutiva tra il campo elettrico e la densità di corrente ("flux-flow and flux-creep model") :

$$\mathbf{E} = f(|\mathbf{J}|) \frac{\mathbf{J}}{|\mathbf{J}|} ; f(|\mathbf{J}|) = \begin{cases} \frac{E_c}{\sinh\left(\frac{U_0}{k\theta}\right)} \sinh\left(\frac{U_0}{k\theta} \frac{|\mathbf{J}|}{J_c}\right) & \text{if } 0 \leq |\mathbf{J}| \leq J_t \\ E_t + \rho_f (|\mathbf{J}| - J_t) & \text{if } J_t < |\mathbf{J}| \end{cases} ; J_c = J_{c0} \frac{B_0}{|B_z| + B_0}$$

J_c è la densità di corrente critica, E_c è il corrispondente valore del campo elettrico, U_0 è il potenziale di pinning, k è la costante di Boltzmann, θ è la temperatura e ρ_f è la resistività nel regime del "flux-flow". E_t e J_t vengono calcolati in modo da ottenere la derivabilità della curva di E in funzione di J . Le equazioni cui si perviene ed il metodo agli elementi finiti adottato per la loro soluzione numerica sono descritti nella bibliografia [3] e [4].

Il modello adottato è stato validato, nell'ambito di una collaborazione con la Divisione Superconduttività del CISE di Milano, utilizzando i dati sperimentali ottenuti in quel laboratorio [2], relativi alla forza di levitazione in funzione della distanza ("gap") tra il magnete permanente ed il superconduttore, sia quando il superconduttore viene raffreddato in assenza di campo magnetico ("zero field cooling", fig. 1) sia quando viene raffreddato in presenza di campo magnetico ("field cooling", fig. 2).

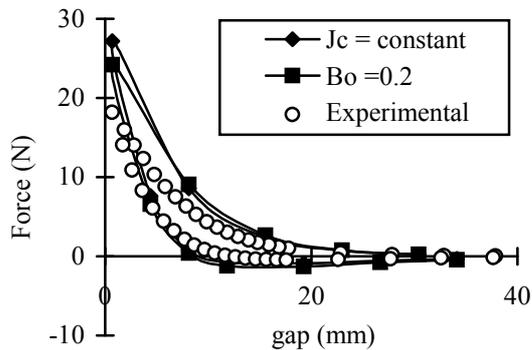


Figura 1 Forza di levitazione vs. gap, (zero field cooling)

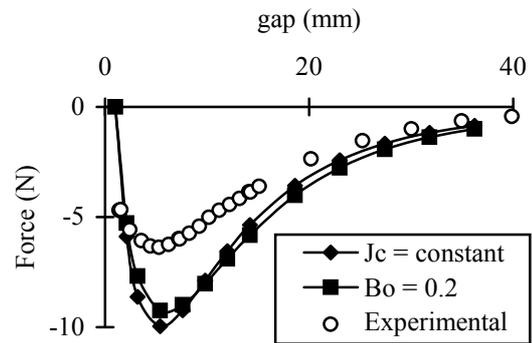


Figura 2 Forza di levitazione vs. gap, (field cooling)

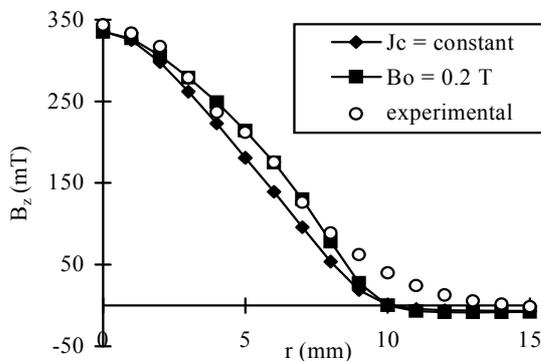


Figura 3 Induzione magnetica ad una distanza di 0.7 mm dalla superficie del superconduttore, dopo raffreddamento in presenza di un campo uniforme di 0.6T

Non essendo disponibile mediante una misura diretta, il valore della densità di corrente critica in assenza di campo J_{c0} , è stato ricavato in modo da verificare al meglio i dati sperimentali del campo magnetico intrappolato sulla superficie del superconduttore nel caso di “zero field cooling” (fig. 3).

L’attività di ricerca prevede l’estensione del modello di calcolo al caso non più assial-simmetrico in cui viene studiata la levitazione su una pastiglia di YBCO di un magnete permanente che si muova con una velocità assegnata in una direzione normale all’asse del cilindro superconduttore.

Bibliografia

1. T.S. Luhman, M. Strasik, A.C. Day, D.F. Garrigus, T.D. Martin, K.E. McCrary, H.G. Ahlstrom, “Superconducting Bearings and Flywheel Batteries for Power Quality Applications”, Proc. EUCAS’95, Inst. Phys. Conf. Ser. No 148, 1995.
2. E. Varesi, L. Borghi, S. Zannella, “Numerical evaluation of magnetic levitation force for magnet-superconductor axial symmetry systems”, ILNUOVO CIMENTO, Vol.19 D, N. 8-9, Agosto Settembre 1997.
3. P.L. Ribani, A. Cristofolini, M. Fabbri, P. La Cascia, F. Negrini, “Modelling of high temperature superconducting bearings”, ILNUOVO CIMENTO, Vol.19 D, N. 8-9, Agosto Settembre 1997.
4. F. Negrini, P.L. Ribani, E. Varesi, S. Zannella, “Numerical modelling of high temperature superconducting bearings”, Proc. EUCAS’95, Inst. Phys. Conf. Ser. No 58, 1997.