

STUDIO TEORICO E SPERIMENTALE SU SISTEMI SMES A FORZE BILANCIATE

M. Fabbri, F. Venturi, P.L. Ribani, A. Morandi, E. Mattarelli, F. Negrini

Dipartimento di Ingegneria Elettrica - Università di Bologna
Viale Risorgimento, 2 - 40 136 Bologna

Gli SMES (*Superconductive Magnetic Energy Storage systems*) sono sistemi di stoccaggio dell'energia mediante il campo magnetico generato un avvolgimento attraversato da corrente continua. Tale avvolgimento deve essere composto da materiale superconduttivo (SC) per ridurre le perdite. Per ridurre il costo del dispositivo è necessario minimizzare la quantità di materiale impiegato e gli sforzi cui è sottoposto per ridurre, o possibilmente eliminare, il sistema meccanico di contenimento. Inoltre, essendo i SC ad alta temperatura critica (HTS) materiali ceramici (e quindi fragili), limitare le forze è essenziale per potere realizzare avvolgimenti di grandi dimensioni.

Gli SMES-TFC (Toroidal Field Coil), costituiti da bobine circolari disposte su un toro a sezione circolare, sono soggetti ad una forza centripeta (diretta verso l'asse del sistema). La configurazione TFC, seppure di semplice realizzazione, non consente quindi di limitare le forze esercitate sugli avvolgimenti, al crescere dell'energia immagazzinata [1]. Per risolvere questa difficoltà sono state proposte le configurazioni FBC (Force Balanced Coil) e SBC (Stress Balanced Coil), ottenute avvolgendo bobine elicoidali su un toro a sezione circolare in modo che la forza radiale o la tensione (meccanica) sugli avvolgimenti fosse in media nulla. Tuttavia, gli avvolgimenti elicoidali così ottenuti sono di difficile e costosa realizzazione [2]. Per ottenere una configurazione equilibrata con bobine circolari si è quindi studiata la configurazione TTC (Tilted Toroidal Coil), ottenuta dalla configurazione TFC mediante rotazione delle bobine circolari attorno a due assi ortogonali indipendenti (radiale ed assiale). Infatti, si è osservato che, mentre nella configurazione TFC (vedi Fig. 1.a) gli avvolgimenti sono soggetti ad una forza centripeta, dopo una rotazione di 90° attorno all'asse radiale (vedi Fig. 1.b) o attorno all'asse verticale (vedi Fig. 1.c) gli avvolgimenti sono soggetti ad una forza centrifuga. Esiste quindi la possibilità, ruotando opportunamente le bobine di bilanciare la forza radiale.

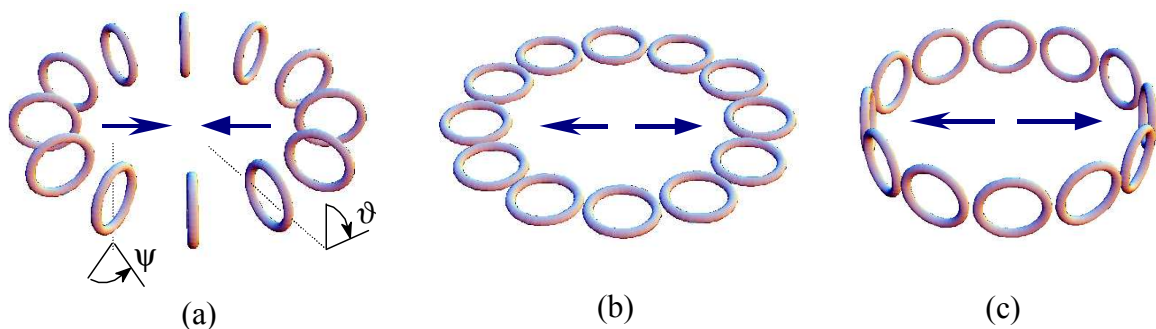


Fig. 1. – Il bilanciamento della forza radiale: a) la configurazione TFC; b) rotazione attorno all'asse radiale ($\vartheta = 90^\circ$); c) rotazione attorno all'asse verticale ($\psi = 90^\circ$).

L'equazione di bilanciamento ($\partial L/\partial T$) = 0, dove L indica l'autoinduttanza del sistema e T il raggio maggiore della configurazione, è stata risolta numericamente. I risultati ottenuti mostrano l'esistenza di un insieme continuo di configurazioni bilanciate con alcune limitazioni sui parametri del sistema (numero di bobine, rapporto tra raggio minore e raggio maggiore del toro, sezione dei conduttori, ecc.). Un esempio di configurazione TTC bilanciata è illustrato in Fig. 2.

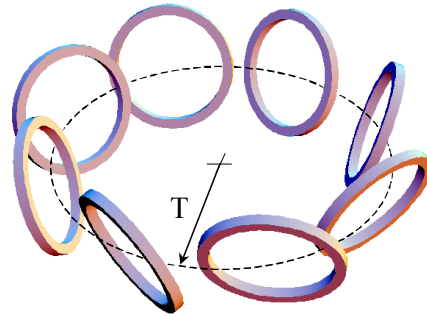


Fig. 2. - Esempio di configurazione TTC bilanciata.

Al fine di verificare la correttezza dei risultati teorici, è stato realizzato un apparato sperimentale (vedi Fig. 3). Per semplificare l'esperimento, si è posto $\vartheta = 0^\circ$ ed il raggio delle bobine pari a 4.75 cm, mentre si sono variati T e ψ . Misurando l'induttanza della configurazione variando T con un passo di 5 mm e ψ con un passo di 5° , è stato possibile determinare le configurazioni bilanciate in intervalli di 1 cm. La Fig. 4 mostra il buon accordo tra la curva di equilibrio calcolata e gli intervalli di misura.



Fig. 3. - Apparato Sperimentale.

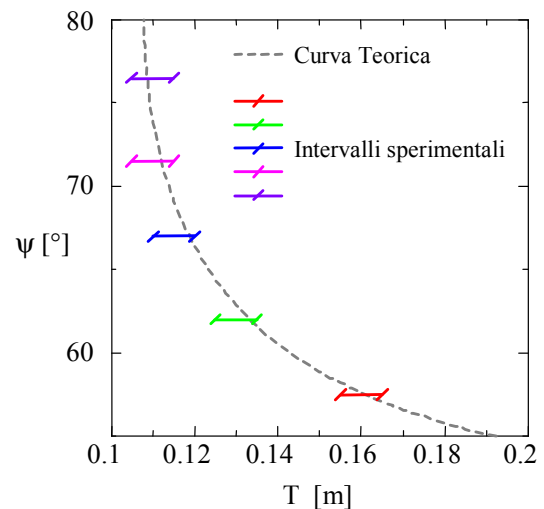


Fig. 4. - Confronto tra la curva di equilibrio teorica ed intervalli sperimentali.

- [1] J. Kondoh, I. Ishii, H. Yamaguchi, A. Murata, K. Otani, K. Sakuta, N. Higuchi, S. Sekine, M. Kamimoto, "Electrical energy storage systems for energy networks", *Energy Conversion & Management*, Vol. 41, n. 17, November 2000, pp. 1863-1874.
- [2] S. Nomura, T. Osaki, J. Kondoh, H. Tsutsui, S. Tsuji-iio, Y. Sato, R. Shimada, "Force-Balanced Coil for Large Scale SMES", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol. 9, n. 2, June 1999, pp. 354-357.