

SISTEMA DI ACCUMULO DELL'ENERGIA PER VEICOLO IBRIDO A COMBUSTIBILE CRIOGENICO MEDIANTE MAGNETE SUPERCONDUTTORE

Antonio Morandi, Luca Trevisani, Francesco Negrini, Massimo Fabbri, Pier Luigi Ribani

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

In un veicolo a trazione ibrida la funzione principale del sistema di accumulo dell'energia è quella di erogare potenza al motore/generatore elettrico nei momenti di accelerazione e assorbirla da questo durante le decelerazioni. Un tale sistema di accumulo deve essere in grado di caricarsi e scaricarsi in tempi rapidi e con elevata efficienza. La quasi totalità dei veicoli ibridi attualmente commercializzati utilizza come sistema di accumulo un pacco batterie. Le batterie presentano problemi tecnici quali surriscaldamento, degradazione del rendimento durante l'esercizio e durata di vita limitata nonché problemi di sicurezza quando sono sottoposte a ripetuti cicli di carica e scarica veloce. Le soluzioni alternative attualmente allo studio sono costituite essenzialmente dagli ultracondensatori e dai volani. Gli ultracondensatori presentano una energia specifica per unità di massa ancora insufficiente ed inoltre sono scarsamente affidabili quando sottoposti a forti sollecitazioni e vibrazioni. I volani invece presentano rilevanti problemi di sicurezza in caso di incidente. Un ulteriore sistema di accumulo dell'energia che presenta caratteristiche tecniche favorevoli per l'applicazione a bordo di veicoli ibridi è costituito da uno SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage), ossia un avvolgimento superconduttore percorso da corrente all'interno del quale l'energia è immagazzinata in forma magnetica. Uno SMES offre elevata potenza per unità di massa, basse perdite e la possibilità di sostenere migliaia di cicli di carica/scarica veloce, ma ha lo svantaggio di richiedere, per il suo funzionamento, il raffreddamento a temperatura inferiore alla temperatura critica del superconduttore utilizzato. Ciò rende necessario un opportuno sistema criogenico di contenimento e refrigerazione. La potenza termica di refrigerazione si può ottenere con sistema a ciclo chiuso (cryocooler), oppure mediante evaporazione di un opportuno liquido criogenico (tipicamente azoto, neon oppure elio). Nel caso di applicazione a bordo di un veicolo entrambe le soluzioni risultano impraticabili, la prima a causa del peso e dell'ingombro rilevanti del cryocooler e della necessità di alimentarlo continuamente (anche durante le soste) e la seconda a causa dei rifornimenti periodici di liquido criogenico che richiederebbero l'esistenza di un'apposita infrastruttura.

Recentemente sta aumentando l'interesse per l'utilizzo nel settore dei trasporti di combustibili alternativi quali l'idrogeno e il metano. Ciò è dovuto in particolare alle caratteristiche di basso costo (metano), possibilità di essere prodotto da fonti energetiche rinnovabili (idrogeno) o biomasse (metano, idrogeno), contenuto di carbonio basso (metano) o nullo (idrogeno). Lo stoccaggio di tali combustibili a bordo di un veicolo può essere effettuato in forma liquida a temperature criogeniche (20 K per l'idrogeno, 111 K per il metano). Questa soluzione consente elevate densità di stoccaggio e richiede, al posto di bombole ad alta pressione, la realizzazione di un serbatoio con superisolamento termico per limitare gli ingressi termici dall'ambiente. Un tale serbatoio, oltre che per la sua funzione primaria, può essere utilizzato per l'alloggiamento di un magnete superconduttore, aprendo così la strada all'accumulo mediante SMES nel settore dei veicoli ibridi. Presso il Laboratorio di Ingegneria Magneto-

fluidodinamica e Superconduttività Applicata (LIMSA) dell'Università di Bologna è stato ideato e brevettato un sistema di accumulo basato su uno SMES raffreddato mediante combustibile criogenico [1]. La temperatura del combustibile deve essere tale da garantire il funzionamento del materiale superconduttore utilizzato. Allo stato attuale della tecnologia dei superconduttori lo scenario di riferimento è quello dei veicoli che utilizzano idrogeno stoccato in forma liquida alla temperatura di 20 K. Questo livello di temperatura consente la realizzazione dello SMES con superconduttore in MgB_2 (temperatura critica di 39 K, attualmente disponibile a basso costo), oppure con materiali HTS quali YBCO e BSCCO per maggiori prestazioni. Inoltre in prospettiva, qualora il progresso della tecnologia portasse allo sviluppo di un superconduttore a più alta temperatura critica, il contesto di riferimento comprenderebbe anche i veicoli a metano stoccato in forma liquida a 111 K. Infatti sono già noti, nella forma di campioni di laboratorio, superconduttori la cui temperatura critica è superiore a quella del metano liquido (es. Hg-1223, operante fino a 138 K).

Un prototipo del dispositivo SMES di capacità ridotta (50-70 kJ, contro i 300-400 kJ previsti per una tipica applicazione automobilistica) con superconduttore in MgB_2 è in fase di progettazione e realizzazione presso il LIMSA. La progettazione e realizzazione del prototipo hanno lo scopo di individuare la geometria ottimale dello SMES (tale da minimizzare il campo disperso, gli ingombri e la quantità di superconduttore), e successivamente di verificare sperimentalmente aspetti funzionali quali l'interfacciamento con il motore/generatore elettrico e la valutazione delle perdite AC nelle condizioni di funzionamento previste. In Fig. 1 è mostrato lo schema dell'apparato sperimentale che si intende realizzare in cui è presente un azionamento trifase che simula il carico meccanico nelle fasi di accelerazione e decelerazione del veicolo ibrido; lo SMES è collegato tramite convertitore ad un motore/generatore a magneti permanenti per fornire o assorbire potenza secondo i comandi della centralina di controllo. La Fig. 2 mostra, a titolo di esempio, una possibile realizzazione dell'avvolgimento SC (costituito da 6 solenoidi disposti a formare un toroide) e la relativa mappa dell'intensità del campo di induzione magnetica [2].

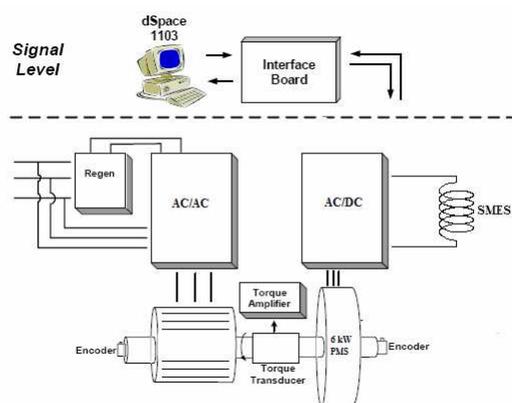


Fig. 1. Schema dell'apparato sperimentale

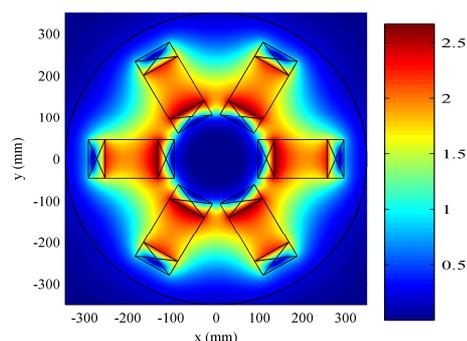


Fig 2. Geometria dello SMES e mappa di campo

- [1] L. Trevisani, A. Morandi, F. Negrini, P. L. Ribani, M. Fabbri. *Sistema di accumulo di energia elettrica e veicolo ibrido comprendente tale sistema*. Brevetto registrato BO 2007 A 516.
- [2] L. Trevisani, A. Morandi, F. Negrini, P. L. Ribani, M. Fabbri. *Sistema di accumulo dell'energia per veicolo ibrido con SMES raffreddato mediante combustibile criogenico*. Atti della Giornata di Studio EST 2007, Bologna, 8 Ottobre 2007