

A RUOTA LIBERA

Mario Maggi (*)

La notevole riduzione della resistenza aerodinamica e dell'attrito meccanico ha permesso la realizzazione di particolari accumulatori energetici, rotanti nel vuoto

(*) AXU S.r.l. - Milano
www.digifiera.com/axu

Motore elettrico, volano, generatore in una sola macchina elettrica ad alta velocità

L'uomo ha sempre cercato d'immagazzinare energia per poterne disporre al momento opportuno. Nel settore elettrico, la forma d'accumulo più diffusa è certamente quella elettrochimica, che prevede una trasformazione chimica degli elettrodi durante la carica e la reazione inversa durante la scarica.

Questa tecnologia, pur essendo molto diffusa, non è esente da svantaggi, tra cui, in particolare, il naturale degrado col passare del tempo, che ne determina la messa fuori uso nel giro di pochi anni. Sui sistemi di una certa capacità pesano anche le stringenti esigenze di

manutenzione, necessarie per poter contare su una buona affidabilità, e la presenza del rischio che il degrado anche di un solo elemento possa mettere in crisi l'affidabilità di tutto il sistema.

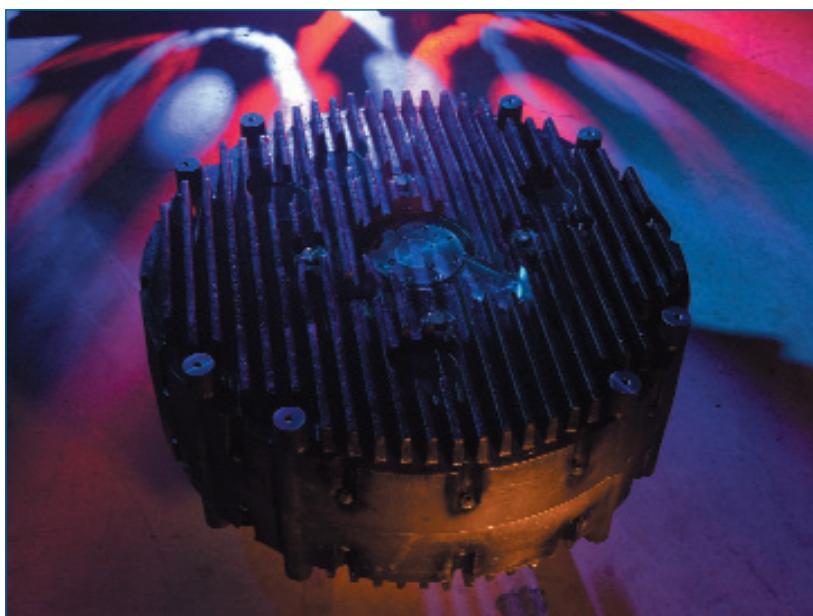
Da decenni vengono impiegati anche sistemi costituiti da motori/volani/generatori, che accumulano energia cinetica in un volano di grosse dimensioni e che possono cederla immediatamente sotto forma d'energia elettrica. Alcune macchine utensili importanti, per citare una delle applicazioni più diffuse, erano dotate di un volano che poteva erogare l'energia necessaria al completamento di un'operazione critica, anche in caso di mancanza della tensione di rete.

La ricerca tecnologica ha elaborato soluzioni nuove per l'accumulo d'energia elettrica: ultracondensatori, fuel cell, bobine superconduttive e sistemi "all-in-one", con volano integrato nella macchina elettrica.

Nei sistemi d'elevata potenza, però, la disponibilità di prodotti d'accumulo standardizzati offre solo la scelta tra le classiche batterie elettrochimiche ed i sistemi a volano.

Tra le soluzioni che impiegano energia accumulata in forma cinetica, sono disponibili sistemi costituiti da un motore, un volano ed un generatore, mentre altri hanno il motore ed il generatore integrati nella stessa macchina e solo il volano esterno. La prima soluzione è sempre ad asse orizzontale; la seconda può essere anche ad asse verticale, più razionale per il fissaggio del grosso volano.

Generalmente questi sistemi lavorano senza elettronica di potenza, quindi riescono a sfrut-



tare solo una parte dell'energia immagazzinata nel volano in quanto non hanno la possibilità di compensare la variazione di frequenza legata alla riduzione di velocità dello stesso durante la cessione d'energia.

Un'azienda americana, l'Active Power Inc., ha realizzato un sistema d'accumulo razionale ed innovativo, denominato commercialmente CleanSource, che ha fruttato all'ideatore ed attuale presidente della Società, Joseph F. Pinkerton, il primo premio della Ernst & Young come miglior imprenditore del 2001 negli Stati Uniti.

L'idea è elegante e semplice. La realizzazione ha richiesto, invece, molti anni di studi, ricerche ed importanti investimenti. Ben conoscendo le difficoltà di allineamento di 4 o 6 cuscinetti, come richiesto nei sistemi a volano convenzionali, il progettista ha pensato d'integrare in un solo pezzo le funzioni di rotore del motore, volano e rotore del generatore, il tutto, quindi, con solo 2 cuscinetti.

Ha fatto, poi, la scelta d'usare un materiale comune, l'acciaio, senza costosi materiali compositi e senza magneti permanenti. Inoltre, ha ridotto al minimo il carico sui cuscinetti sostenendo quasi completamente il rotore con cuscinetti magnetici, una soluzione che offre anche un significativo vantaggio in termini di riduzione d'attrito e di rumorosità. Il tutto è contenuto in un robusto contenitore di forma cilindrica piatta, ad asse verticale, nel quale viene mantenuto un determinato grado di vuoto al fine di ridurre gli attriti aerodinamici del rotore e limitare la generazione di rumore.

Il rotore non ha avvolgimenti elettrici, né parti a contatto strisciante, quindi non richiede alcun raffreddamento. Sia durante le fasi d'avviamento e di fermata, sia durante il normale funzionamento a regime, non esiste scorrimento tra il campo rotante di statore e quello di rotore: non si formano, quindi, correnti parassite significative, come in un motore brushless.

Queste scelte – il funzionamento nel vuoto, il rotore monoblocco, i cuscinetti magnetici – hanno permesso d'aumentare la velocità di normale funzionamento a 7.700 giri/minuto. Il rotore ha una massa di circa 300 chilogrammi, è estremamente rigido e bilanciato e, di conseguenza, non genera vibrazioni significative.

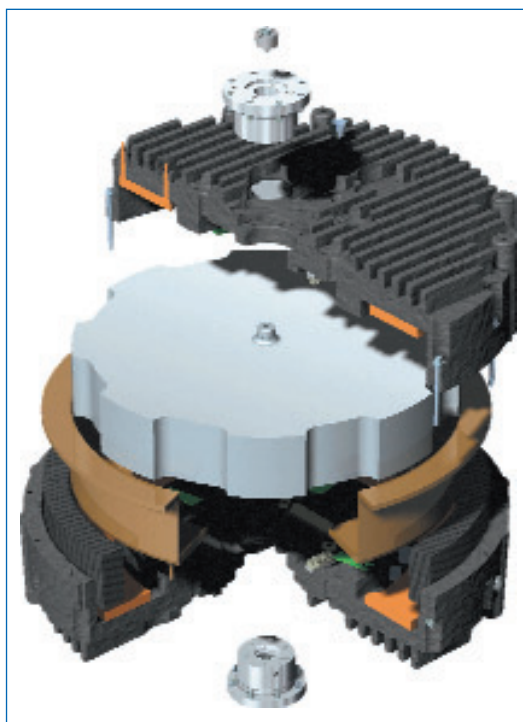
Il gruppo nel contenitore sotto vuoto ha un'elevata robustezza strutturale e può sopportare anche lievi scosse di terremoto senza



fermarsi; nel caso d'eventi eccezionali, è prevista una procedura di fermata d'emergenza senza danni all'esterno.

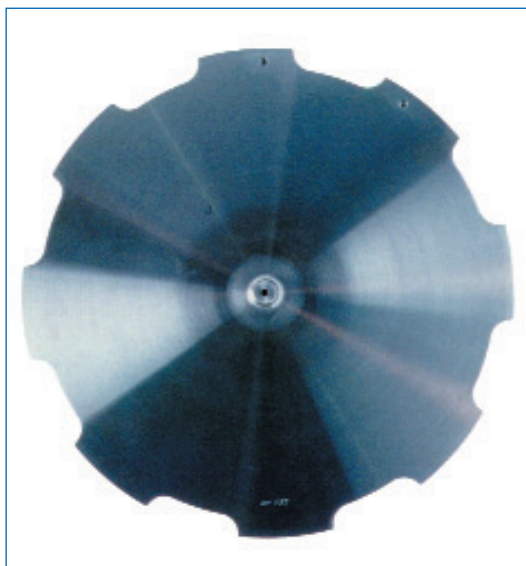
Durante le fasi di richiesta di potenza al volano, la generazione avviene ad alta frequenza variabile, che viene trasformata, tramite un convertitore a frequenza variabile retroazionato da un sensore di posizione del rotore, in una tensione continua, che costituisce la fonte d'energia disponibile a tensione stabile. Sarà il convertitore stesso, con gli opportuni trasduttori di rilevamento, a mantenere la tensione generata ad un valore fisso, indipendentemente dalla velocità del rotore.

Una delle più interessanti applicazioni del volano ad alta velocità è stata realizzata dalla Caterpillar. Con il marchio commerciale CatUPS, l'azienda propone gruppi di continuità particolarmente validi per garantire il funzionamento di un impianto per il tempo necessario all'avviamento di un gruppo elettrogeno



Nucleo del gruppo Clean-Source 2

Il rotore a poli salienti non ha magneti permanenti ed è realizzato in un monoblocco d'acciaio



Lo stesso convertitore svolge anche la funzione d'alimentatore del volano, per la ricarica. Per effettuare la prima carica, cioè per avviare il volano, è sufficiente collegare la tensione continua della linea al raddrizzatore dell'impianto collegato.

Secondo le esigenze dell'impianto elettrico, la carica potrà avvenire in tempi brevi o lunghi, in funzione della disponibilità di corrente sulla linea DC.



Linea di montaggio dei volani nella fabbrica di Austin

In pratica, si può paragonare il sistema ad un motore brushless da 250 kW, completo di driver e sensori, alimentato in DC, senza albero uscente.

CARATTERISTICHE TECNICHE

Il sistema CleanSource2 è un sistema d'accumulo d'energia su volano che sfrutta la massa volanica del rotore della stessa macchina elettrica utilizzata per la conversione d'energia. In questo modo, l'energia immagazzinata è immediatamente convertibile in potenza utile quando necessario.

È configurato con due terminali con tensione continua e costituisce una valida alternativa, o un sistema complementare, per un gruppo di batterie elettrochimiche, come quelle usate con sistemi UPS trifasi. Esattamente come avviene in una batteria, il gruppo riceve la ricarica e la potenza esuberante dai due terminali della linea DC e fornisce sulla stessa linea la potenza necessaria quando la tensione scende sotto un livello di soglia programmata.

Il cuore del CleanSource2 è un sistema integrato, costituito da una macchina elettrica, del diametro di poco più di 800 mm ed alta meno di 400 mm, ad asse verticale, capace d'accumulare energia fino a 3,2 MJ e, quindi, di erogare, ad esempio, 250 kW. Il rotore è costituito da un pezzo unico di acciaio forgiato, rotante in un robusto contenitore nel quale è stato fatto il vuoto. La funzione del motore, del generatore e del volano vengono così realizzate dallo stesso rotore; lo statore serve come motore per trasformare l'energia elettrica in meccanica e come generatore per la trasformazione inversa. Non vengono impiegati magneti permanenti e non ci sono avvolgimenti né magneti permanenti sul rotore, eliminando totalmente la necessità delle spazzole.

La maggior parte del peso del rotore è supportata da cuscinetti magnetici, integrati nell'avvolgimento di campo del generatore/motore. Questo permette di limitare e distribuire in modo ottimale il carico dei cuscinetti meccanici, allungandone così notevolmente la vita. Applicando tensione al gruppo, il controller inizia a richiedere energia per accelerare il rotore. Quando il volano raggiunge la velocità corrispondente al massimo carico, si pone in una modalità di "stand-by" assimilabile a quelle delle batterie (carica di mantenimento), nella quale viene richiesta solo una mo-

CHI È ACTIVE POWER

Importante società nel settore dei sistemi integrati per l'accumulo d'energia cinetica, Active Power è stata fondata nel 1996, derivata dalla Magnetic Bearings Technologies, Inc., che era nata nel 1992.

La Società progetta, costruisce, vende ed assiste la famiglia di sistemi denominati CleanSource, fonti d'energia per l'emergenza caratterizzate da elevata affidabilità e da alta densità di potenza in poco spazio.

Fondata da Joseph Pinkerton, che riveste la carica di Presidente, Active Power ha una capacità produttiva di migliaia di gruppi ogni anno ed è stata caratterizzata negli ultimi anni da uno sviluppo estremamente rapido.

desta quantità d'energia per mantenere una velocità costante.

Fino a quando il rotore si mantiene al di sopra della sua velocità minima di scarica (all'incirca intorno alla metà della velocità massima di pieno carico), è in grado di supportare la linea DC nel caso di un'interruzione della rete d'alimentazione. Ogni volta che il controllore rileva che la tensione sulla linea DC è scesa sotto un valore minimo prefissato, viene impiegato il controllo di campo ad anello chiuso per portare la tensione ad un livello tale per cui il convertitore bidirezionale possa mantenere costante la tensione sulla linea DC, indipendentemente dalla velocità del rotore.

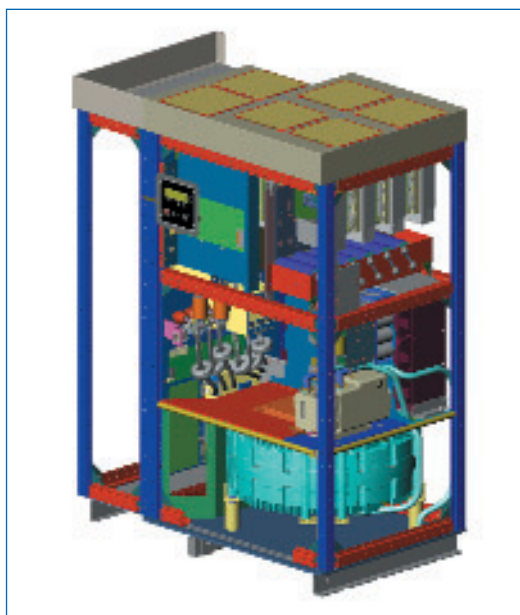
Appena viene ripristinata la tensione dalla rete o da un generatore d'emergenza, tramite il raddrizzatore del sistema protetto, la tensione viene riportata al suo valore nominale ed il volano riprende gradualmente la sua velocità. Pensato per una facile collocazione, il sistema è realizzato in un quadro con apertura anteriore, che non richiede accesso laterale o posteriore, e può, quindi, essere installato anche in configurazione multipla, con più quadri in parallelo per realizzare un'elevata capacità, anche di decine di MJ. Per la buona silenziosità e per la totale assenza d'emissioni inquinanti, l'installazione del gruppo può avvenire anche in centri di calcolo od in locali ospedalieri, senza necessità di disporre di ambienti dedicati.

Non ci sono problemi per il funzionamento a bassa temperatura, infatti, può funzionare an-



Il sistema standard contiene uno o due volani

che a temperature di $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$: questa caratteristica può essere apprezzata da chi ha necessità di sopperire alle scarse prestazioni delle batterie collocate in ambienti necessariamente freddi.



Il volano, in basso, e le parti elettroniche di potenza e di controllo, in alto



Area di collaudo finale dei sistemi completi

La pompa che mantiene il vuoto è contenuta nel quadro, funziona solo ad intermittenza e richiede una minima manutenzione; un sensore di pressione rileva eventuali anomalie nel sistema di decompressione e genera un allarme.

Tutto il sistema è monitorato da un display LCD ed è comandabile da una tastiera. Vengono raccolti oltre 25 parametri tre volte al secondo ed è previsto il telecontrollo via modem, rete o linea seriale RS 232.

È stato sviluppato dal costruttore un software, chiamato CSView, che è in grado di verificare ogni dettaglio del funzionamento, registrando

Linea di montaggio dei volani



anche eventi durante i transitori e le mancanze di tensione. La memoria del sistema riesce ad immagazzinare fino a 4.000 eventi di sistema: questa caratteristica permette d'effettuare un'approfondita analisi dell'applicazione, per individuare eventuali problemi di qualità dell'energia.

Rispetto ad un sistema a batterie di pari potenza istantanea, questa soluzione risulta molto più efficiente. Per un sistema da 250 kW, ogni quadro consuma solo 2,5 kW durante il normale funzionamento, molto meno di quanto chiesto per la carica di mantenimento di una batteria al piombo della stessa potenza. Nel confronto con un sistema a batterie, devono essere tenuti in considerazione anche i minori costi di manutenzione, di spazio occupato, di smaltimento dopo l'esaurimento e di sostituzione delle batterie.

Ma la caratteristica che differenzia in modo determinante il sistema dalle batterie è il notevole aumento dell'affidabilità e della disponibilità a fronte di richieste improvvise d'energia, anche molto frequenti, senza alcun degrado nel tempo.