

Sviluppo di un sistema di accumulo ibrido per applicazioni automotive a bassa tensione

Candidato: Antonio BAVIA Relatore: Dott. Fabio MANDRILE Correlatore: Salvatore MUSUMECI

Abstract—Lo scopo della tesi è la creazione di un algoritmo di controllo per gestire un sistema di accumulo ibrido batteria-supercondensatore semi attivo. A tal fine è stato implementato un modello PLECS del sistema e della logica di controllo utilizzati. I risultati ottenuti nell'ambiente di simulazione sono stati validati mediante dei test sperimentali.

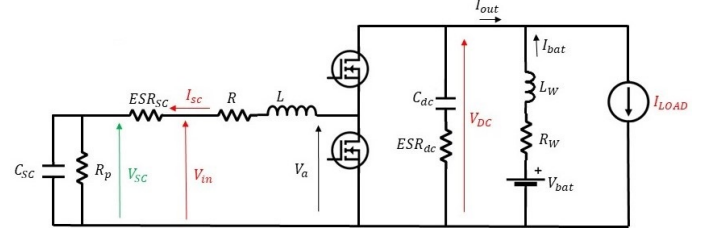


Figura 1: Battery-UC Semi-Active.

I. INTRODUZIONE

La varietà e quantità dei sistemi elettrici ausiliari, a bordo di un veicolo, può portare a un aumento dei picchi di potenza richiesta al sistema di accumulo, questo può provocare un sovrasfruttamento e degrado della batteria; una riduzione della durata e della vita utile; a una perdita di efficienza. La classica batteria può risultare inadatta pertanto è conveniente un' ibridazione del sistema di accumulo, associando differenti fonti energetiche insieme. In questa tesi viene utilizzato un accumulo formato da supercondensatori (SC o UC) e batterie, offrendo un buon compromesso tra le prestazioni desiderate di alta densità energetica e alta densità di potenza. Si propone inoltre la creazione di un algoritmo di controllo per tale sistema di accumulo; la configurazione del convertitore elettronico di potenza; la scelta del supercondensatore in base alle prestazioni desiderate e un' analisi dei risultati sperimentali ottenuti, confrontati con quelli attesi dalle simulazioni.

II. BATTERIA-SUPERCONDENSATORE SEMI-ACTIVE

La combinazione di un SC con una batteria può portare alla compensazione reciproca dei principali aspetti negativi di una fonte di accumulo, con quelli positivi dell'altra. Il SC può rispondere a operazioni di carica/scarica molto rapide con alta efficienza. La batteria invece può rispondere più lentamente ma con maggiore capacità energetica. I SC presentano bassa densità energetica; le batterie una minore densità di potenza. Per questo motivo è stato scelto di combinare queste due fonti di accumulo. In Fig.1 viene raffigurato lo schema circuitale utilizzato per interfacciare il SC alla batteria. Il carico elettrico è modellizzato come un generatore di corrente, mentre i componenti vengono raffigurati con i relativi modelli elettrici equivalenti.

III. ALGORITMO DI CONTROLLO

La potenza richiesta dal carico P_{LOAD} viene disaccoppiata attraverso un filtro passa basso con frequenza di taglio f_o . $P_{LOAD\,filt}$ è la potenza con bassa dinamica che fornirà la batteria, mentre P_{req} è quella con alta dinamica che fornirà il SC (Fig.2), da cui si calcola il riferimento $I_{SC\,ref}^*$ per la corrente I_{SC} . $P_{LOAD\,filt}$ è saturata per far sì che la batteria non fornisca correnti superiori ai suoi limiti tecnici.

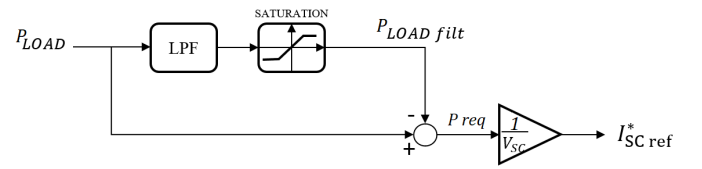


Figura 2: Generazione della corrente di riferimento.

L' algoritmo completo di controllo è presente in Fig.3 ed è stato implementato digitalmente su microcontrollore. La logica è basata su una macchina a stati, che presenta tre stati principali:

- **NOMINAL**: il SC fornisce la potenza richiesta attraverso un controllo di corrente in anello chiuso;
- **CHARGING**: il SC viene caricato attraverso un controllo di tensione in anello chiuso;
- **NO_SWITCH**: viene impostato quando non è necessaria alcuna azione pertanto il convertitore non modula più per evitare perdite di switching; oppure quando la tensione del SC è fuori dai limiti operativi ($V_{SC\,max}$ e $V_{SC\,min}$).

La variabile *counter* ha lo scopo di evitare cambiamenti di stato non necessari dovuti al transito temporaneo della potenza di riferimento P_{req} per lo zero. La variabile flag *Carica Completa* ha il compito di regolare un meccanismo a isteresi per la carica del SC. Il limite superiore di tale meccanismo è $V_{SC\,OFF}$, mentre l'inferiore $V_{SC\,ON}$.

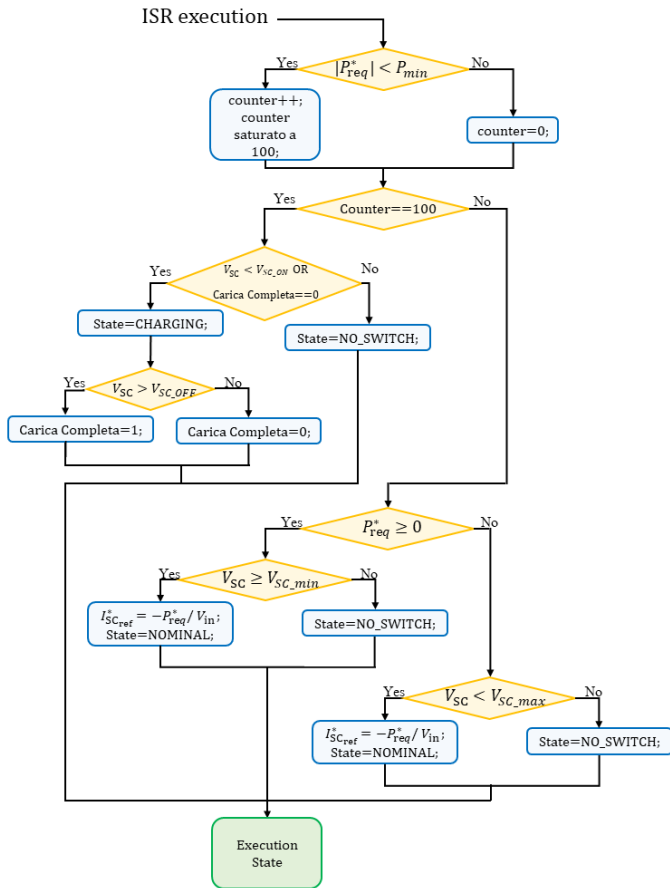


Figura 3: Algoritmo di controllo.

IV. RISULTATI SPERIMENTALI

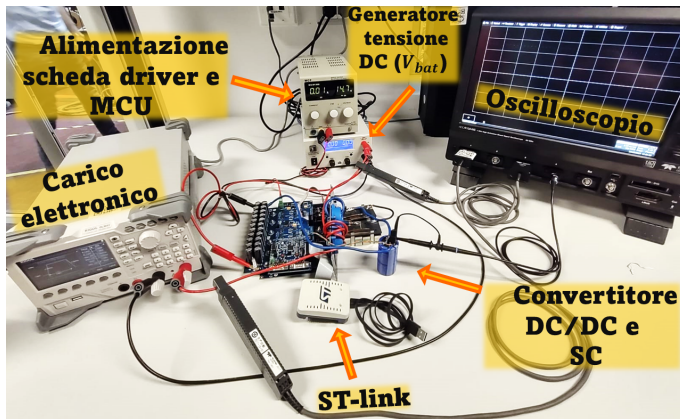
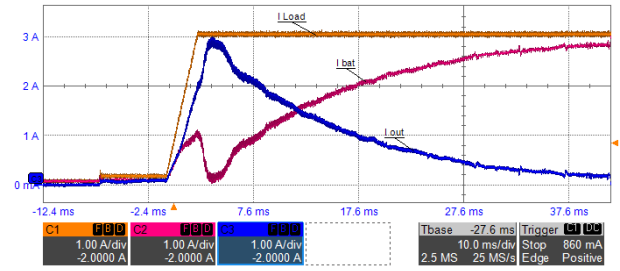
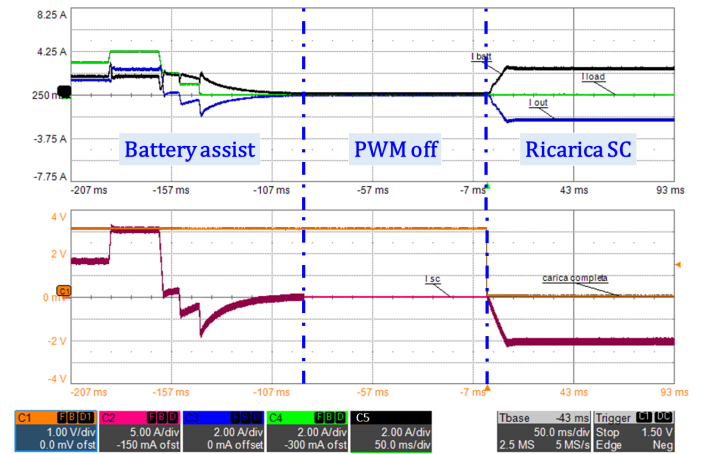


Figura 4: Banco prova.

Ho validato sperimentalmente l'algoritmo sul banco prova di Fig.4. Il banco è composta da un "STEVAl-CTM009V1 Evaluation Kit", che presenta un inverter trifase per bassa tensione a MOSFET, di cui è stata utilizzata una sola gamba controllata dal microcontrollore "STEVAl-CTM001V1C". Il SC scelto è il "BCAP0325 P270 S17". La batteria viene modellizzata con un generatore di tensione ($V_{DC} = 12V$), mentre la corrente di carico è imposta da un carico elettronico.

Figura 5: Risposte del sistema a una variazione di carico ($f_o = 10Hz$) (C1 I_{LOAD}; C2 I_{bat}; C3 I_{out}).

Nelle figure 5 e 6, sono rappresentate le correnti ottenute dai test sperimentali, in cui vengono evidenziati le varie fasi di funzionamento del sistema.

Figura 6: Risultati sperimentali: Cambiamento degli stati di macchina in base alla corrente di carico ($f_o = 10Hz$; C1 Carica_Completa; C2 I_{sc}; C3 I_{out}; C4 I_{LOAD}; C5 I_{bat}).

La corrente fornita dal SC I_{SC} è quella con alta dinamica. La batteria, che avrebbe dovuto fornire interamente la corrente di carico I_{LOAD} , contribuisce con un profilo di corrente (I_{bat}) con un transitorio più lento (Battery assist). Durante la fase PWM off, quando la potenza richiesta è minore della soglia minima di intervento P_{min} , la modulazione viene arrestata. Nella fase Ricarica SC, il controllo impone la ricarica del SC con corrente a bassa dinamica da parte della batteria.

V. CONCLUSIONI

Dalle prove sperimentali si evince che l'intero sistema si comporta secondo le previsioni, evidenziando da un punto di vista qualitativo, una riduzione nella dinamica di corrente a cui la batteria deve far fronte. In particolare i miei contributi personali per questo progetto sono stati:

- Indagine nella letteratura riguardo sistemi di accumulo ibrido e loro strategie di controllo;
- Scelta della topologia hardware e schema di controllo, incluso il dimensionamento del SC;
- Definizione del modello virtuale;
- Implementazione e validazione sperimentale dell'algoritmo di controllo.