

Integrated Semi Isolated On Board Charger Advanced Modeling and Validation

Candidato:
Leonardo Longega

Supervisore:
Gianmario Pellegrino

Correlatore:
Paolo Pescetto

Abstract- La mobilità elettrica è tra gli elementi chiave per la transizione energetica. L'integrazione dei componenti permette di abbattere i costi di produzione e ridurre l'ingombro. Viene studiato un OBC integrato con l'azionamento di un motore esafase in cui si utilizza il motore elettrico con la sola aggiunta di un ponte a diodi. E' stata sviluppata una modellistica teorica del convertitore, validata tramite test sperimentali. A valle dei test è stato possibile perfezionare il modello PLECS dell'ISI-OBC, il quale ha permesso di eseguire una campagna di simulazioni per testare il charger in ogni possibile punto di funzionamento, valutare strategie di controllo alternative e stimarne l'effetto della taratura sulla potenza di ricarica e sul rendimento. Viene infine proposto un nuovo metodo di controllo della corrente di ricarica, operante sia in modalità CC che CV.

I Introduzione e scopo della tesi

A partire dal progetto FITGEN, è stato ideato un OBC integrato che permette di riutilizzare il motore elettrico esafase e gli inverter di trazione riconfigurati all'interno del caricabatteria in una nuova topologia. Il veicolo considerato prevede di utilizzare per la trazione un motore elettrico 6-fase(doppio 3-fase) in cui i due set 3-fase vengono alimentati da due inverter. Per la configurazione di ricarica un inverter viene utilizzato come AFE lato rete e l'altro inverter, condividendo il dc-link, viene utilizzato per eccitare la macchina in un set 3-fase. Il motore viene fatto funzionare da trasformatore per cui il secondo set 3-fase è collegato a un ponte a diodi che raddrizza la corrente e attraverso un filtro LC fluisce in batteria, come mostrato in Fig. 1. In questo lavoro è stato analizzato il convertitore per comprendere al meglio come farlo funzionare e come controllarlo. La strategia di controllo da cui si è partiti prevede un controllo a isteresi su uno degli assi della macchina.

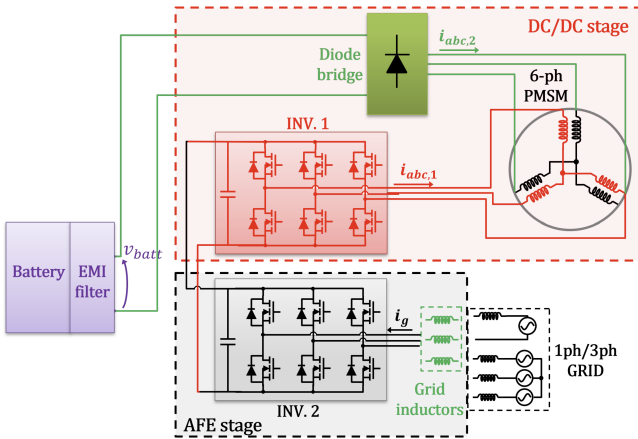


Fig. 1: Topologia dell'iOBC

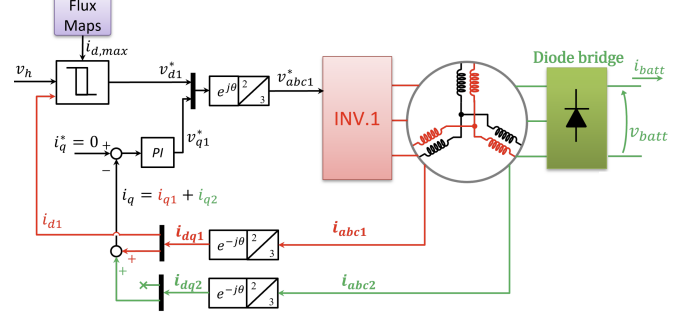


Fig. 2: Schema di controllo dello stadio DC/DC

La tensione viene invertita ogni qualvolta la corrente supera una certa soglia prefissata, mentre la corrente in quadratura viene forzata a zero tramite un regolatore PI. Nell'esempio in Fig. 2, l'asse d viene controllato a isteresi, mentre l'asse q tramite anello di corrente. Questo permette di eccitare la macchina lungo la direzione dei PM, evitando di produrre coppia. In alternativa, lo stesso tipo di controllo può essere effettuato con eccitazione in asse q, oppure in coordinate $\alpha-\beta$.

All'interno della tesi è stata sviluppata una modellistica teorica del caricabatterie per comprenderne il funzionamento teorico, validato da simulazioni PLECS basate su un modello approssimato dell'ISI-OBC. E' stata quindi condotta una campagna di test sperimentali per testare lo stadio DC/DC del convertitore che è l'elemento innovativo dell'OBC. Dai dati raccolti è stato calibrato e migliorato il modello PLECS. E' stata condotta un'analisi parametrica utilizzando il modello per comprendere al meglio l'influenza dei parametri. E' stato apportato il calcolo delle perdite nel ferro per ottenere potenze e rendimenti più significativi. Avendo compreso meglio il funzionamento del convertitore è stato possibile proporre una strategia di controllo innovativa per la regolazione della corrente di batteria.

II Modello analitico e validazione sperimentale

Il modello teorico, seguito da delle simulazioni sono serviti per capire come servirsi dei parametri di controllo per svolgere le prove sperimentali. Sono state effettuati dei test con controllo di tensione in asse alpha per confrontare i risultati con quelli che ci si aspettava da considerazioni teoriche. Sono quindi stati testati diversi punti di lavoro sia con eccitazione ad isteresi in asse alpha che in asse d per verificare la sensibilità della taratura dei parametri di controllo, misurare la potenza di ricarica e il rendimento.

E' stata misurata l'induttanza di dispersione per calibrare il modello PLECS. In base ai dati raccolti è stato quindi possibile perfezionare il modello PLECS del DC/DC. Infine, una volta perfezionato il modello PLECS, le forme d'onda sperimentali di corrente e tensione sono state confrontate con quelle simulate, ottenendo una buona accuratezza. Nelle Figure 3 e 4 sono mostrate le forme d'onda

di corrente per una tensione di dc-link di 100V, di batteria di 70V e con tensione in asse d di 60V.

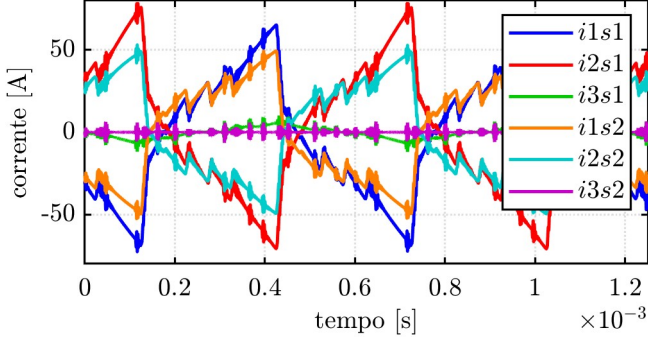


Fig. 3: Forme d'onda della corrente sperimentali

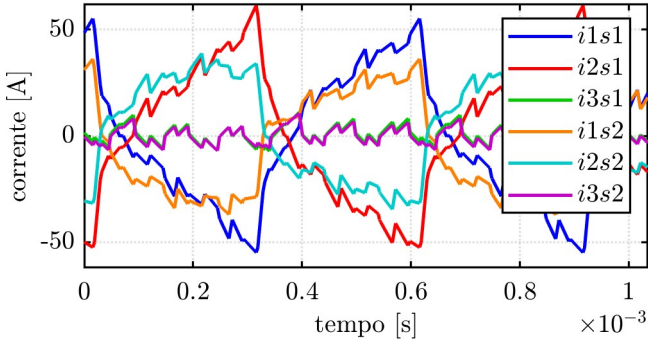


Fig. 4: Forme d'onda della corrente da simulazione

III Campagna di simulazioni

Una volta perfezionato il modello PLECS, è stata eseguita una serie di simulazioni per ottimizzare il funzionamento del charger e per permettere una taratura accurata dei parametri di controllo. Inoltre, sono state apportate una serie di migliorie all'algoritmo di controllo, fra cui l'aggiunta di un termine in feed-forward per aumentare la dinamica dell'anello di corrente.

III.A Analisi parametrica

Poichè i parametri che influenzano la ricarica sono numerosi, testare il convertitore sperimentalmente considerandoli tutti avrebbe comportato un numero eccessivo di test. Vengono quindi lanciate tramite uno Script numerose simulazioni al variare delle tensioni di dc-link e di batteria, della posizione di rotore e della tensione e corrente controllata a isteresi. Un esempio dei risultati ottenuti delle potenze in ingresso allo stadio DC/DC del modello PLECS, a cui sommate le perdite nel ferro, con tensione di batteria di 400V sono mostrati in Figura 5.

III.B Calcolo delle perdite nel ferro

Dai dati sperimentali, è stato possibile calcolare le perdite nel ferro in ogni punto di lavoro testato. E' stata quindi realizzata una mappa di perdite al variare del modulo della corrente massima rilevata e la sua frequenza. Questi parametri permettono, con delle approssimazioni, di rappresentare l'induzione magnetica massima e la sua frequenza. Sebbene le P_{fe} non siano modellizzate in PLECS, tale mappa permette di stimarle a valle della

simulazione, e di aggiungerle alla potenza in ingresso. Si ottiene così una stima realistica del rendimento al variare delle condizioni operative e della taratura del controllo, come mostrato in Fig. 6.

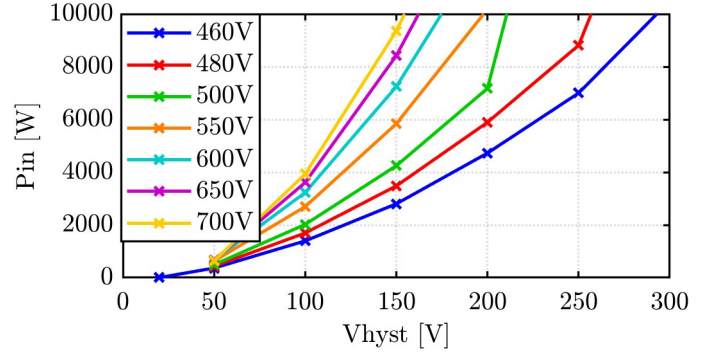


Fig. 5: Potenze in ingresso e uscita del motore elettrico dello stadio DC/DC da modello PLECS

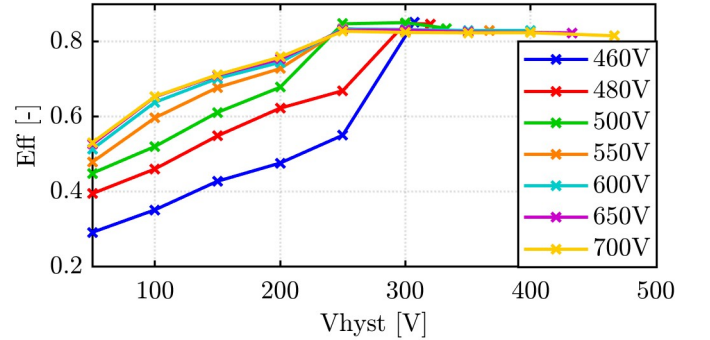


Fig. 6: Rendimento dello stadio DC/DC da modello PLECS considerando le perdite nel ferro

III.C Nuova tecnica di controllo proposta della corrente di batteria

Avendo studiato il funzionamento dello stadio DC/DC è stato possibile scrivere delle funzioni di trasferimento del sistema che hanno permesso di ottenere un anello di controllo, mostrato in Figura 7, per regolare la corrente di batteria. Tale controllo è stato testato sia in modalità CC che CV, fornendo i risultati attesi in termini di dinamica e accuratezza della regolazione della corrente di batteria.

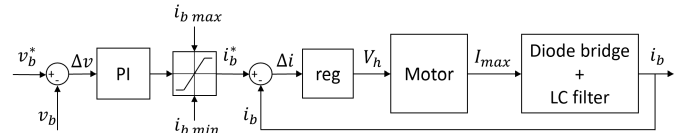


Fig. 7: Schema di controllo della corrente di batteria

IV Conclusioni

In questa tesi è stato studiato nel dettaglio il funzionamento dell'ISI-OBC tramite analisi teoriche, simulazioni PLECS accurate e validazione sperimentale. Ciò ha permesso di determinare una strategia di controllo ottimale, una procedura analitica per tararne i parametri e la valutazione della potenza trasferita e del rendimento atteso al variare delle condizioni operative.