

# Progettazione di convertitori AC/DC per sistemi di ricarica ultrafast delle batterie

Candidata: HELENA MIRANTE

Relatore: Prof. IUSTIN RADU BOJOI

## INTRODUZIONE

Chi guida un'auto elettrica preferirebbe ricaricare la batteria nel più breve tempo possibile. Ecco perché, negli ultimi anni, sta crescendo la domanda di sistemi di ricarica ultraveloce ("ultrafast"). I requisiti più importanti che devono rispettare sono: alto fattore di potenza, minima influenza sulla rete (basso THD), isolamento galvanico fra l'alimentazione e la batteria, possibilità di collegare modelli diversi di veicoli.

La soluzione ottimale è rappresentata in Fig.1.

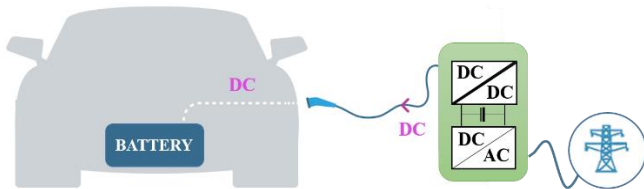


Figura 1 - EV connesso al sistema di carica ultrafast.

La batteria viene caricata dalla rete in bassa tensione da un convertitore off-board a due stadi: il primo AC/DC che innalza la tensione ed un secondo DC/DC che trasferisce potenza al minimo delle perdite.

## SCOPO DELLA TESI

Lo scopo della tesi è di progettare il convertitore lato rete AC/DC, studiare il comportamento termico e magnetico ed ottenere un layout di massima dell'hardware. In particolare: studio della topologia del raddrizzatore a tre livelli scelto, chiamato T-Type Rectifier; approfondimento sull'aumento dell'efficienza determinata dall'interleaving; dimensionamento dei componenti passivi e come l'interleaving incida sul loro design; scelta dei componenti attivi; analisi termica e magnetica.

## T-TYPE RECTIFIER

È un raddrizzatore attivo (AFE) monodirezionale che permette di lavorare a fattore di potenza quasi unitario, con bassa distorsione armonica di corrente in entrata e con potenza dissipata in conduzione molto bassa rispetto ad altri raddrizzatori simili. Come è mostrato in Fig.2, è un convertitore a tre livelli con sei MOSFET e sei diodi.

## INTERLEAVING

Per migliorare l'efficienza e le prestazioni del raddrizzatore attivo, sono state utilizzate due strutture connesse in parallelo scegliendo la soluzione "interleaving". È una pratica diffusa in media ed alta potenza poiché aumenta la densità di potenza gestita dal convertitore riducendo lo stress termico sui semiconduttori e la taglia degli elementi passivi.

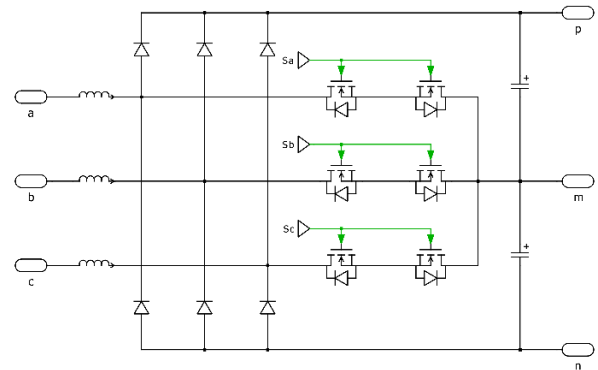


Figura 2 - Modello circuitale in PLECS del T-Type Rectifier.

L'interleaving si pratica aggiungendo una gamba in parallelo a quelle già preesistenti creando due sub-convertitori che hanno stessi segnali di comando, ma hanno i segnali portanti sfasati di un angolo chiamato  $\alpha_{PWM}$ . Il vantaggio principale dell'interleaving è rappresentato dalla cancellazione armonica di alcune componenti di corrente, ma ciò produce delle componenti armoniche di tensione di modo comune e differenziale che possono nuocere al raddrizzatore.

## PROGETTAZIONE ELEMENTI PASSIVI

Il design degli elementi passivi è influenzato dall'angolo  $\alpha_{PWM}$ , dalla scelta del controllo PWM, dalle condizioni di esercizio, cioè dall'indice di modulazione, ed infine anche dal fattore di potenza del raddrizzatore. Quindi per dimensionare e progettare correttamente gli induttori ed i condensatori, si analizzano le seguenti quantità al fine di trovare un compromesso fra di esse:

- Ripple di flusso picco-picco sull'induttore  $\Delta\Psi_{pp}$ ,
- Ripple di flusso efficace sull'induttore  $\Delta\Psi_{rms}$ ,
- Valore efficace della corrente in output sul Voltage DC-link  $I_{C,rms}$ ,
- Ripple di carica picco-picco sul Voltage DC-link  $\Delta Q_{pp}$ .

Per valutare il caso peggiore di dimensionamento ("Worst Case Design"), sono state condotte le simulazioni con il modello circuitale facendo variare l'angolo di interleaving  $\alpha_{PWM}$ .

Di seguito sono presentati i grafici del ripple di flusso sull'induttanza di boost e del ripple di carica nel DC-link estrapolati da MATLAB.

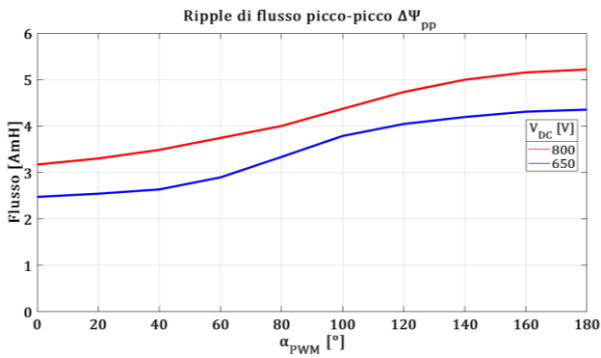


Figura 3 - Variazione di  $\Delta\Psi_{pp}$  in funzione di  $\alpha_{PWM}$ .

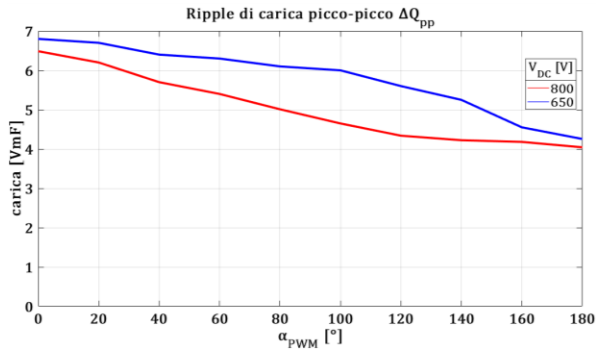


Figura 4 - Variazione di  $\Delta Q_{pp}$  in funzione di  $\alpha_{PWM}$ .

Dopo questa analisi si è deciso di imporre  $\alpha_{PWM} = 0^\circ$  privilegiando il valore che minimizza il ripple di flusso.

I componenti passivi scelti sono: Condensatore in Al elettrolitico Vishay 259 PHM-SI (Fig.5a) e induttore customizzato con core EE 6527 (Fig.5b).

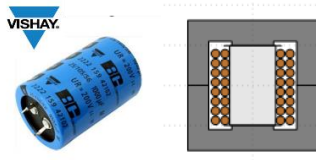


Figura 5 - a) Condensatore elettrolitico; b) Induttore di boost.

## DESIGN ELEMENTI ATTIVI

Per il dimensionamento e la scelta degli elementi attivi, sono state prese in considerazione le correnti massime e le tensioni massime da sostenere. I componenti attivi scelti sono: Si MOSFET Vishay SiHG018N60E (Fig.6a) e Si diodo Vishay VS-E5PH6012L-N3 (Fig.6b).

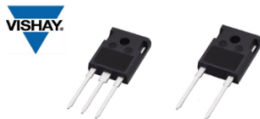


Figura 6 - a) Si MOSFET; b) Si diodo.

## ANALISI DELLE PRESTAZIONI

Dalle simulazioni su PLECS in regime termico, condotte con il modello in Fig.7, (in cui il riquadro blu rappresenta il dissipatore) è risultata una temperatura di esercizio riportata in Fig.8.

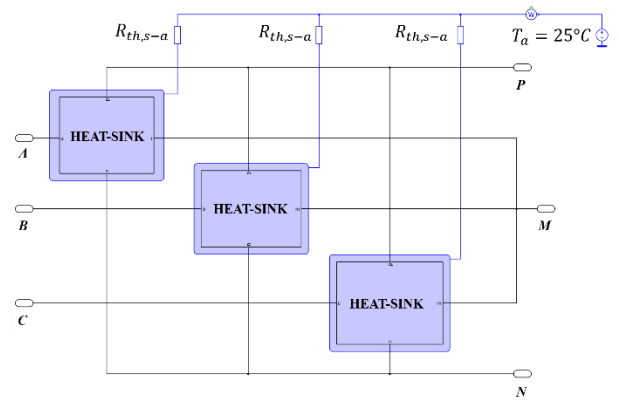


Figura 7 - Circuito termico in PLECS.

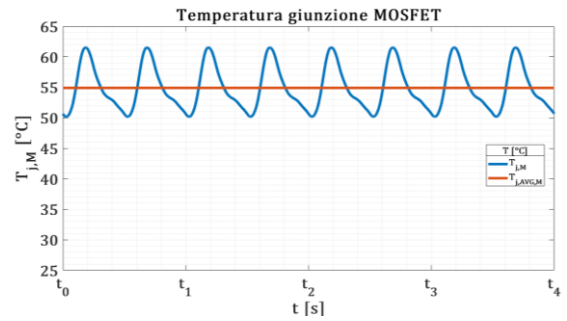


Figura 8 - Temperatura di giunzione in un MOSFET in condizioni nominali di progetto a regime.

Dalle simulazioni con il modello magnetico dell'induttore (Fig.9), è stato dimostrato che il nucleo non lavora in condizioni di saturazione in condizioni nominali di progetto. L'andamento della FMM non saturata è riportato in Fig.10.

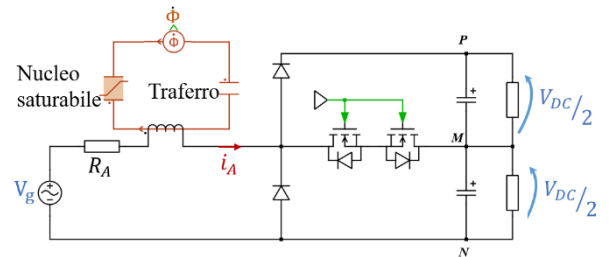


Figura 9 - Modello magnetico equivalente di una gamba del raddrizzatore in PLECS.

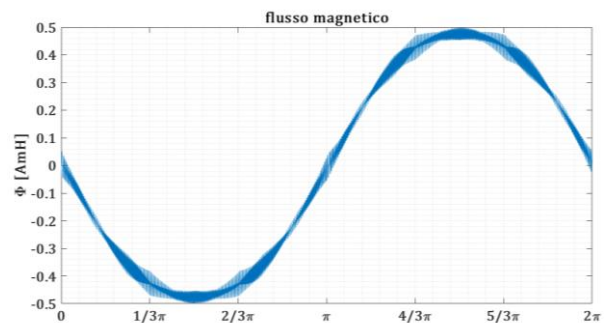


Figura 10 - Andamento del flusso di induzione magnetica.

## CONCLUSIONI

La tesi si è incentrata sulla progettazione dello stadio AC/DC e sulle simulazioni elettrica, termica e magnetica e sull'ottimizzazione del design degli elementi passivi. Il raddrizzatore T-Type progettato presenta, in condizioni nominali, un'efficienza del 98.85%, un fattore di potenza  $PF=0.9995$  ed un coefficiente di distorsione armonica della corrente in entrata  $THD \approx 3\%$ .