

Modulo di potenza “intelligente” per la mobilità elettrica

Di questo nuovo modulo a tre canali da 1.200 V/450 A, che include il raffreddamento ad acqua e i gate driver, vengono esaminate le caratteristiche elettriche e termiche, l'area operativa di sicurezza (SOA) e le caratteristiche dei gate driver richieste per pilotare i MOSFET SiC in maniera sicura e affidabile

Pierre Delatte

- CTO
- CISSOID

Sempre più costruttori di automobili elettriche iniziano ad introdurre transistor MOSFET di potenza SiC negli inverter per motori elettrici di trazione. Spesso vengono utilizzati transistor discreti e package non convenzionali, mentre sul mercato ci sono pochi moduli di potenza SiC a 3 canali, completi di circuito per il pilotaggio del gate (gate driver) e sviluppati specificatamente per pilotare motori elettrici di trazione. Realizzare un inverter completo che ottimizzi tutte le specifiche può rivelarsi una sfida impegnativa dal punto di vista tecnico e richiede tempo. In questo articolo viene presentata una soluzione per questo tipo di applicazione: un modulo di potenza intelligente (IPM) che integra transistor MOSFET realizzato in carburo di silicio a commutazione rapida e include i driver di gate e la piastra per il raffreddamento a

liquido. Questo modulo si propone come una soluzione completa e ottimizzata per motori di trazione nei veicoli elettrici.

Modulo di potenza SiC a 3 canali e raffreddamento ad acqua

Il primo prodotto di questa piattaforma scalabile è CXT-PLA3SA12450 (Fig. 1), un modulo da 1.200 V/450 A a 3 canali con MOSFET SiC (saranno disponibili a breve anche versioni da 300 A e 600 A). Il modulo è caratterizzato da perdite di conduzione basse grazie a una $R_{ds(on)}$ di soli 3,25 m Ω , e da basse perdite di commutazione, con energie di accensione e spegnimento di rispettivamente 7,8 mJ e 8 mJ a 600 V/ 300 A (Tab. 1). Le perdite sono almeno 3 volte inferiori rispetto ai moduli di potenza IGBT di ultima generazione. Il modulo può essere raffreddato ad acqua attraverso una leggera piastra di dissipazione AlSiC con alette, con una resistenza termica di 0,15 °C/W tra giunzione e fluido. Questo modulo di potenza è in grado di operare con temperature di giunzione di 175 °C e sopporta tensioni di isolamento di 3.600 V (50 Hz, 1 min).

Robustezza termica & area operativa di sicurezza (SOA)

Il modulo è stato sviluppato per resistere in maniera affidabile a sollecitazioni termiche elevate: le giunzioni dei SiC MOSFET possono sostenere in continue temperature di 175 °C, mentre i driver di gate integrati sono in grado di operare costantemente a 125 °C. Questo permette al modulo di operare con alte densità di potenza anche a temperature ambiente elevate. In queste condizioni i circuiti intorno ai SiC MOSFET raggiungono di solito temperature molto alte (oltre 85 °C), che i driver di gate convenzionali non sono in grado di supportare. I driver

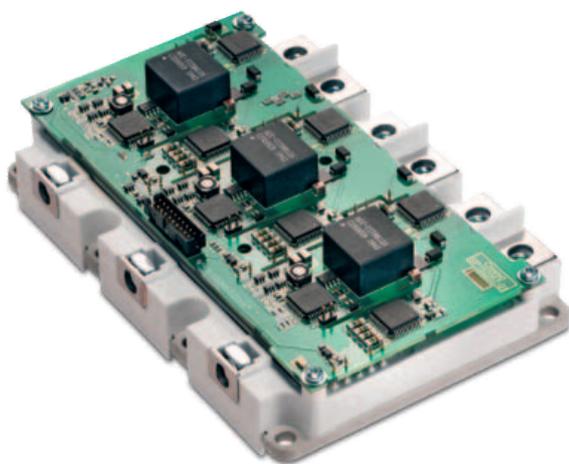


Fig. 1 – CXT-PLA3SA12450: modulo di potenza intelligente a 3 canali 1.200 V/450 A con MOSFET SiC

Parametro	Condizioni	Nominale	Max.
Tensione drain - source			1200V
Corrente continua di drain	$V_{GS}=15V, T_C=25^{\circ}C, T_J<175^{\circ}C$		450A
	$V_{GS}=15V, T_C=90^{\circ}C, T_J<175^{\circ}C$		330A
Resistenza statica drain-source - Rds (on)	$V_{GS}=15V, I_D=300A, T_J=25^{\circ}C$	3.25m Ω	4m Ω
	$V_{GS}=15V, I_D=300A, T_J=175^{\circ}C$	5.25m Ω	
Energia di accensione	$V_{GS}=600V; V_{GS}=-3/15V;$	7.8mJ	
Energia di spegnimento	$I_{DS}=300A; L=50\mu H$	8mJ	
Isolazione	AC @50Hz (per 1mn), da piastre base ai terminali di potenza		3600VAC
Resistenza termica giunzione-fluido (junction-fluid)	Su ciascun MOSFET; portata flusso 10 litri/min; 50% glicole etilenico, 50% acqua, temperatura del flusso in entrata 75°C	0.15°C/W	
Resistenza termica giunzione-case (junction - case)	Su ciascun MOSFET	0.13°C/W	
Temperatura di giunzione massima in operazione (Tj max)			175°C
Dimensione piastra di raffreddamento (W x L)		104mm (W) 154mm (L)	

Tabella 1 – Caratteristiche di CXT-PLA3SA12450, modulo intelligente di potenza (IPM) a 3 canali SiC MOSFET 1.200 V/450 A

di gate che operano a 125 °C, come quelli utilizzati da questo modulo, rappresentano dunque un indubbio vantaggio in termini di prestazioni e affidabilità. Il modulo può essere raffreddato ad acqua attraverso una leggera piastra di dissipazione AlSiC ad alette, con una resistenza termica di 0.15 °C/W tra giunzione e fluido su ciascun SiC MOSFET con una portata del flusso di 10 litri/min (50% glicole etilenico, 50% acqua) e temperatura in entrata di 75 °C. La figura 2 descrive il profilo del valore massimo ammesso per la corrente continua di drain in funzione della temperatura di case del CXT-PLA3SA12450. Questo valore dipende dalla resistenza drain-source Rds (on) @ Tj max, dalla resistenza termica e dalla temperatura di giunzione massima permessa Tj max. La corrente massima continua di drain è una caratteristica che si usa spesso e volentieri per comparare i moduli di potenza, ma una figura di merito più realistica e forse più utile è il valore RMS (root mean square) della corrente di un canale in funzione della frequenza di commutazione, come rappresentato in figura 3 per il modulo CXT-PLA3SA12450. Questa corrente (Arms) è calcolata per una tensione di alimentazione continua (VDC) di 600V, temperatura di case (Tc) di 90 °C, temperatura di giunzione (Tj) di 175 °C e duty

cycle (D) del 50%. La corrente RMS di un canale è un parametro molto utile per capire se un modulo sia utilizzabile in una particolare applicazione. Come abbiamo accennato in precedenza, la corrente in questo modulo è scalabile. La figura 3 mostra anche i valori estrapolati per correnti di 600 A (CXT-PLA-3SA12600, modulo disponibile a breve).

Driver di gate SiC a 3 canali

Il driver di gate integrato su CXT-PLA-3SA12450 è lo stesso usato per CMT-TIT8243 [1, 2] e CMT-TIT0697,[3] due board che contengono solamente i driver di gate per un canale singolo (half-bridge) e ottimizzate per pilotare rispettivamente i moduli di potenza a 62 mm 1.200 V/ 300 A SiC MOSFET e i moduli ad alta velocità di commutazione XM3 1.200V /450 A SiC MOSFET. Il driver di gate a 3 canali usato sul modulo CXT-PLA3SA12450 è ulteriormente ottimizzato e più compatto grazie a trasformatori più piccoli e distanze di creepage inferiori. Questo driver di gate include anche una funzione di monitoraggio della tensione di bus DC. I driver di gate usati sulle schede CMT-TIT8243 e CMT-TIT0697 (Fig. 4) sono stati sviluppati per operare a temperature ambiente massime di 125 °C. Tutti i componenti sono stati se-

lezionati accuratamente per garantire il funzionamento continuo e affidabile a queste temperature. Il chipset si affida alla tecnologia ad alta temperatura di **CISSOID**. [4, 5] Il trasformatore di potenza è un modulo ottimizzato per operare ad alte temperature e per ottenere capacità parassite basse (tipicamente 10 pF), il che minimizza

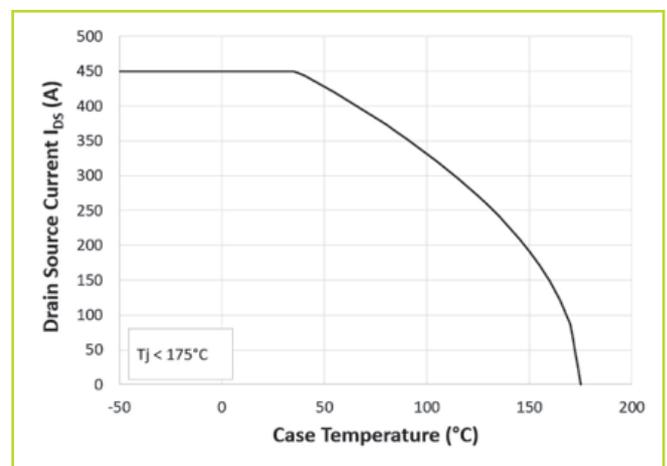


Fig. 2 – CXT-PLA3SA12450: corrente massima continua di drain in funzione della temperatura di case Tc

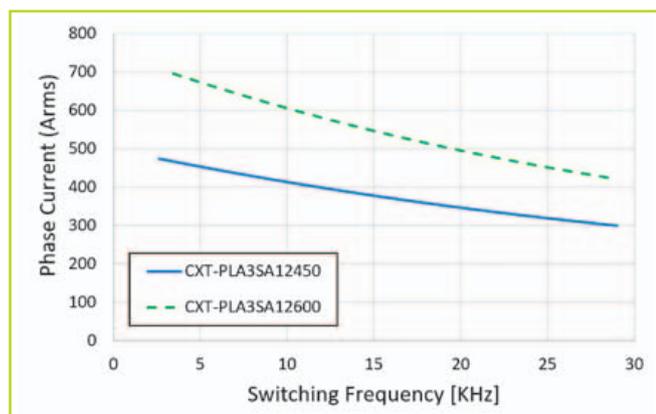


Fig. 3 – Corrente di un canale (Arms) in funzione della frequenza di commutazione (condizioni: $V_{DC}=600\text{ V}$, $T_c=90\text{ }^\circ\text{C}$, $T_j<175\text{ }^\circ\text{C}$, $D=50\%$) per i moduli di potenza SiC MOSFET 1.200 V/450 A (CXT-PLA3SA12450) e 1.200 V/600 A (CXT-PLA3SA12600, valori estrapolati, modulo disponibile a breve)

le correnti di modo comune quando dV/dt (cambiamento della velocità della tensione) è alto. Il driver di gate di CXT-PLA3SA12450 è in grado di supportare correnti più alte di 450 A. La carica di gate è di 910 nC. A frequenze di commutazione di 25 KHz, la corrente di gate è di 22.75 mA in media, il che è nettamente inferiore alla corrente massima di 95 mA che il driver di gate può fornire. È quindi possibile incrementare la carica di gate e la corrente fornita dal modulo in modo semplice e senza necessità di fare cambiamenti alla board che ospita il driver di gate. Il driver di gate include una resistenza di gate che limita il dV/dt a 10-20 KV/ μs , ben al di sotto del dV/dt massimo permesso di 50 KV/ μs , offrendo quindi un ampio margine di sicurezza.

Funzioni di protezione del driver di gate

Le funzioni di protezione del driver di gate sono essenziali per una operazione sicura del modulo di potenza. Questo è particolarmente vero quando si devono pilotare transistori SiC molto veloci. Il driver di gate di CXT-PLA3SA12450 offre le seguenti funzioni di protezione.

- **Blocco di tensione minima (undervoltage lockout - UVLO):** il driver di gate di CXT-PLA3SA12450 effettua il monitoraggio delle tensioni primarie e secondarie e riporta un errore quando le tensioni cadono sotto un valore prestabilito.

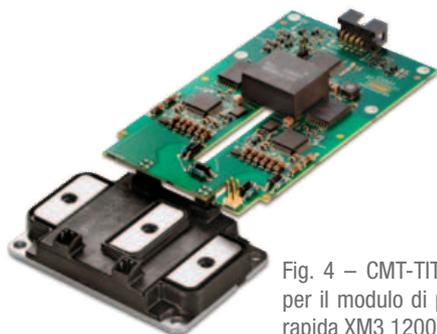


Fig. 4 – CMT-TIT0697 Gate Driver Board per il modulo di potenza a commutazione rapida XM3 1200V/450A SiC MOSFET

- **Circuito per prevenire la sovrapposizione (anti-overlap):** non permette l'accensione contemporanea dei transistor low-side e high-side in un ramo di half bridge, evitandone il cortocircuito.

- **Prevenzione del cortocircuito sul circuito di drive secondario:** limitazione su base ciclica della corrente nel convertitore isolato DC-DC per proteggere il driver di gate da cortocircuiti (per esempio cortocircuito gate-source).

- **Filtro di glitch:** sopprime i glitch dei segnali PWM in entrata che potrebbero essere causati da correnti di modo comune.

- **Active Miller Clamping (AMC):** implementa il bypass della resistenza di gate negativa dopo l'accensione per proteggere il MOSFET di potenza da una accensione parassita.

- **Rilevatore di desaturazione (desaturation detection):** durante l'accensione, subito dopo il tempo di soppressione, questo circuito controlla se la tensione drain-source del MOSFET di potenza sia sotto un limite prestabilito.

- **Spegnimento graduale (soft shut-down):** quando viene rilevato un errore, il MOSFET di potenza viene spento in modo graduale per minimizzare gli overshoot causati da alti valori di dI/dt . In questo articolo è stato presentato un nuovo modulo intelligente di potenza (IPM) 1200V/450A SiC MOSFET a 3 canali. Il modulo ottimizza contemporaneamente il design elettrico, meccanico e termico dei SiC MOSFET di potenza, collocando il driver di gate nella loro immediata prossimità. Questa piattaforma è scalabile e riduce il tempo di sviluppo per costruttori e OEM di veicoli elettrici e per produttori di motori per trazione elettrica che desiderano adottare in maniera rapida e semplice inverter con SiC MOSFET che permettono di realizzare motori elettrici più efficienti e compatti. ■

Riferimenti

- [1] CMT-TIT8243: 1200V High Temperature (125°C) Half-Bridge SiC MOSFET Gate Driver Datasheet: <http://www.cisoid.com/files/files/products/titan/CMT-TIT8243.pdf>
- [2] P. Delatte "A High Temperature Gate Driver for Half Bridge SiC MOSFET 62mm Power Modules", Bodo's Power Systems, p54, September 2019
- [3] CMT-TIT0697: 1200V High Temperature (125°C) Half-Bridge SiC MOSFET Gate Driver Datasheet: <http://www.cisoid.com/files/files/products/titan/CMT-TIT0697.pdf>
- [4] High Temperature Gate Driver Primary Side IC Datasheet: DC-DC Controller & Isolated Signal Transceivers: <http://www.cisoid.com/files/files/products/titan/CMT-HADES2P-High-temperature-Isolated-Gate-driver-Primary-side.pdf>
- [5] High Temperature Gate Driver -Secondary Side IC Datasheet: Driver & Protection Functions: <http://www.cisoid.com/files/files/products/titan/CMT-HADES2S-High-temperature-Gate-Driver-Secondary-side.pdf>