

Architettura avanzata per i moduli in applicazioni di media potenza

Uwe Scheuermann
Manager Product Reliability
SEMİKRON

L'elettronica di potenza può favorire l'aumento dell'efficienza energetica e il conseguimento di un risparmio energetico considerevole, specialmente nel mercato delle applicazioni di media potenza. Il modulo di potenza intelligente 600V IGBT, MiniSKiiP IPM semplifica l'uso dell'elettronica di potenza grazie alla sua elevata densità di integrazione e alla semplicità di assemblaggio

Per applicazioni di bassa potenza, cioè per motori con potenza in uscita inferiore a 2kW, i moduli integrati hanno guadagnato un'ampia fetta di mercato nell'ultimo decennio, proponendosi come una valida alternativa alle soluzioni discrete. In questa gamma di potenza, il termine generico IPM (Modulo di Potenza Intelligente) si riferisce principalmente a circuiti inverter trifasi con driver integrati che vengono saldati sopra un telaio in bronzo e confezionati usando processi di stampaggio per trasferimento.

Per applicazioni di potenza maggiore deve essere aumentata la capacità di dispersione del calore, caratteristica difficile da raggiungere, comunque, in questi tipi di confezione.

Gli IPM sviluppati specificatamente per applicazioni di potenza maggiore sono basati su driver applicati su schede circuitali convenzionali (PCB) integrate all'interno di moduli classici; questi moduli richiedono, in ogni caso, una tecnologia di connessione interna complessa e inoltre devono risolvere il problema di refrigerare in modo adeguato i componenti dell'azionamento.

Per applicazioni di media potenza, ad esempio per motori con uscita 2kW-15kW, i moduli CIB (Convertitore-Invertitore-Freno) si sono guadagnati una solida posizione di mercato negli ultimi anni.

I moduli CIB sono soluzioni efficienti che combinano tutti gli interruttori di potenza con esigenze di raffreddamento elevato in un singolo modulo. I moduli MiniSKiiP hanno riscosso un notevole successo nell'applicazione CIB poiché abbinano semplicità di assemblaggio con una tecnologia di packaging avanzata.

In questo articolo si esamineranno brevemente le caratteristiche di questa tecnologia di packaging prima di procedere alla spiegazione del concetto che sta alla base dell'integrazione del driver, fattore che rende MiniSKiiP IPM un modulo di potenza intelligente avanzato per soluzioni di media potenza.

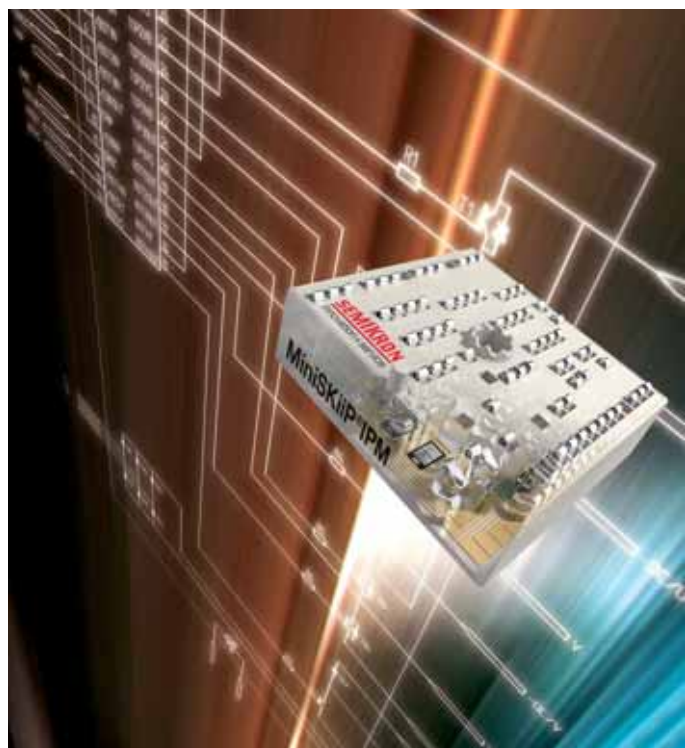
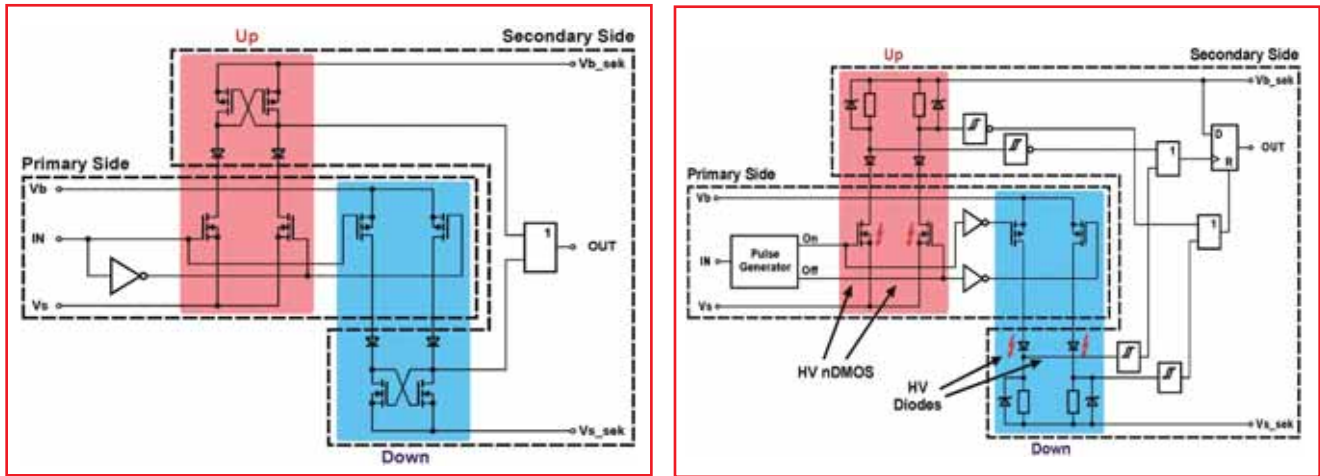


Fig. 1 - 600 V MiniSKiiP CIB IPM



Moduli senza baseplate

La tecnologia convenzionale usata nei moduli di potenza è basata su solide basi di rame che fungono da piastre base per tutti i componenti del modulo. Queste piastre base, che normalmente hanno uno spessore di 2-3mm, presentano un certo numero di problemi [1]: causato da coefficienti di espansione termica differenti della piastra base e del substrato ceramico di potenza – substrato composito fatto di rame/ceramica/rame detto DBC (Direct Copper Bonded) – tensioni notevoli si manifestano a livello della saldatura, che causano una forte curvatura in tutto il sistema. La curvatura produce depressioni a livello di assemblaggio, che ha un'importante funzione termica all'interno del modulo. Anche se una forma adeguata della piastra base potrebbe aiutare a ridurre queste depressioni, dovute alle proprietà viscoplastiche della lega per saldatura, si verificherà, comunque, nel tempo, un rilassamento che ne modificherà la curvatura.

Per questa ragione, non potrà essere definita una forma di piastra base ottimale nel tempo in ogni punto.

Più di 10 anni fa, queste considerazioni portarono allo sviluppo di soluzioni di confezionamento senza piastra base. In queste soluzioni sia lo strato saldante che il baseplate non compaiono più nel percorso termico verso il dissipatore. Se

si usa un sistema di pressione adatto per permettere un piccolo gioco fra la base del substrato e il dissipatore di calore, gli svantaggi causati dalla mancanza di dispersione termica nella piastra base possono essere compensati virtualmente dalla riduzione dello spessore dello strato di pasta termica.

Di contro, il volume ridotto del modulo senza piastra base apporta evidenti vantaggi per sistemi con inverter in applicazioni basate sul movimento.

Contatti a molla

L'assemblaggio facile dei moduli è una caratteristica largamente apportata dalla tecnologia usata per la connessione dei moduli. Nei moduli MiniSKiiP, è utilizzata la tecnologia del contatto a molla per i contatti di potenza e di segnale. Per gli utenti questo implica notevoli benefici: non è richiesto alcun dispositivo di assemblaggio aggiuntivo per connettere il modulo al PCB; il PCB è posizionato semplicemente fra il modulo e lo coperchio di pressione; il contatto termico, come tutte le connessioni elettriche è creato in un singolo passaggio quando il modulo è montato sul dissipatore. Un secondo beneficio è il fatto che sia possibile lo smontaggio in qualsiasi momento – caratteristica che aumenta ulteriormente la semplicità di manutenzione di questa tecnologia. A differenza delle connessioni saldate con

Fig. 2 - Schema elettrico di spostatore di livello bipolare per interruttori BOT (a) e TOP (b)

la tecnologia foro passante, la tecnologia del contatto a molla semplifica sostanzialmente il layout del PCB.

L'uso di contatti a molla costituisce anche un vantaggio per la progettazione del modulo. Infatti, l'implementazione di contatti a molla migliora la flessibilità del progetto, consentendo che i contatti siano posizionati in modo relativamente libero sul DBC. Questo permette all'ingegnere di sviluppare di posizionare i contatti in modo da consentire al modulo CIB le migliori proprietà dinamiche. Il numero di connessioni interne può essere ridotto, aumentando l'affidabilità generale. Come spiegato sopra, la tecnologia del contatto a molla permette una configurazione flessibile dei moduli. Con configurazioni diverse delle molle sui perni dell'housing del modulo, possono essere facilmente realizzate diverse variazioni all'interno della stessa famiglia di moduli.

Nel MiniSKiiP IPM le posizioni dei contatti a molla possono essere adattate in modo tale che tutti i contatti di potenza e di segnale necessari possano essere inseriti (Fig. 1). Una guarnizione che è

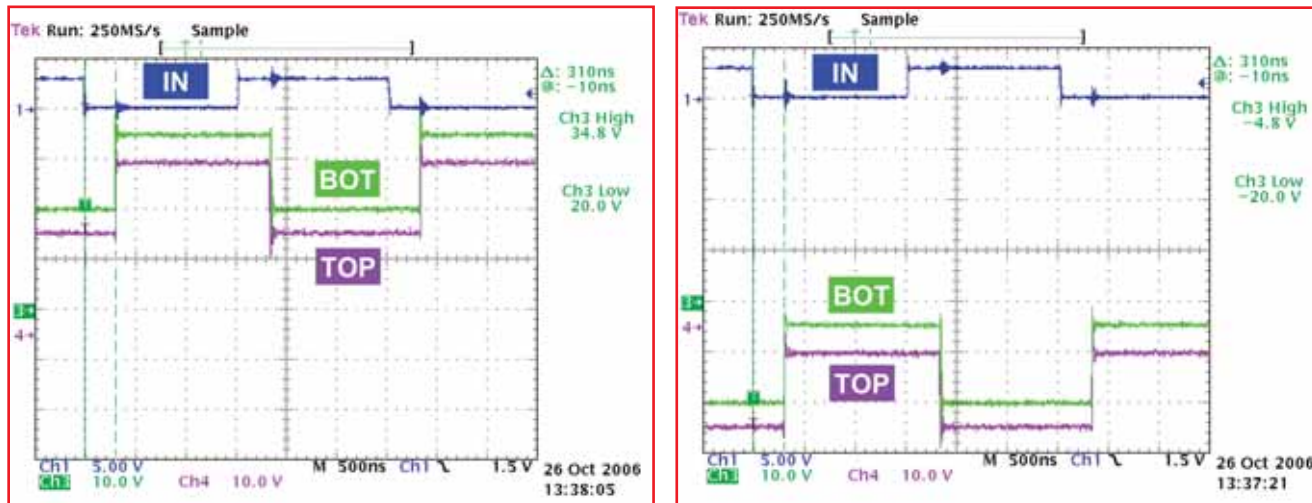


Fig. 3 - Curva caratteristica a 600V del driver SOI per lo spostamento tensione di riferimento di +20V (a) e -20V (b)

premuta sulla parte superiore del PCB durante l'assemblaggio circonda gruppi di molle allo stesso potenziale, così come l'intera area di contatto, aumentando in tal modo il grado di protezione dalle contaminazioni ambientali.

La capacità di una molla MiniSKiiP è 20A per corrente continua ed è limitata dalla legge di Joule sul riscaldamento elettrico. In un MiniSKiiP IPM i contatti potenza sono tutti formati da 3 molle in parallelo, che permettono una corrente continua effettiva di 60A.

Mentre i vantaggi dei contatti a molla sono attualmente ampiamente riconosciuti, esistono alcune riserve riguardo l'affidabilità a lungo termine in condizioni estreme che non sono comuni nelle applicazioni di elettronica di potenza. Queste riserve sono alimentate da esperienze negative con connettori a spina che possono causare problemi con piccole correnti e tensioni.

I contatti a molla usati nei moduli MiniSKiiP, di contro, sono molto diversi dai connettori a presa commerciali standard e forniscono una forza di contatto

di gran lunga maggiore nel raccordo. Con i contatti a presa standard, la forza di contatto è limitata perché un contatto troppo alto implica la necessità di aumentare la forza per inserire e disinserire il connettore. La pressione di contatto tipica nei connettori a presa è di circa 10N/mm².

Con i contatti a molla MiniSKiiP le condizioni sono molto diverse in quanto la forza di contatto proviene dalla vite che preme il modulo sopra il dissipatore di calore durante l'assemblaggio. Durante questo assemblaggio, una pressione di circa 20-100N/mm² è stabilita alle interfacce di contatto delle molle.

La tipica connessione a vite fra una connessione di potenza in un modulo tradizionale e una barra DC raggiunge una pressione di circa 50N/mm². Un contatto a molla è per questo più simile a una connessione a molla che a un connettore a presa convenzionale [2].

Per forze di contatto fra 4 e 6N per molla, come nel caso del MiniSKiiP, è usato l'argento come rivestimento preferibile del contatto. Studi estesi a lungo termine hanno confermato che questa superficie di contatto ha un alto grado di affidabilità ed è adatta per PCB con una superficie in SnPb, così come per la rispondenza alla direttiva RoHS Sn, con livello di aria calda (HAL) Sn e le super-

fici in Ni/Au-flash (ENIG). L'unica finitura di superficie PCB sconsigliata per i contatti a molla è il rivestimento con composti organici (OSP).

Driver SOI

Un MiniSKiiP con un circuito integrato ad alta tensione (HVIC) è conosciuto come modulo CIB IPM. I principali vantaggi di tali moduli sono densità di integrazione migliorata e facilità d'uso.

La piattaforma HVIC qui usata è una tecnologia di fusione SOI 600V. I vantaggi della tecnologia SOI sul concetto giunzione pn-isolata sono le ridotte perdite di corrente inversa.

Inoltre, l'isolamento dielettrico di tutti i componenti attivi garantisce immunità dall'effetto latch-up che, nei pn-isolati HVIC, può portare a malfunzionamenti e alla fine danneggiare l'inverter. Infine, la tecnologia SOI permette al HVIC di essere usato fino alla massima temperatura operativa di 200 °C, che rende questa tecnologia adatta alle future richieste di temperatura operativa nei moduli di potenza.

Il modulo HVIC lavora a tensioni fra 12V e 17V e controlla 3 interruttori TOP e 3 interruttori BOT con interblocco appaiato per evitare accensioni simultanee e un quarto interruttore BOT per l'uso in un circuito brake-chopper o

PFC. Gli input sono compatibili con la logica TTL o 3.3V CMOS e il segnale di fase esecutiva fra input e output è di circa 300ns. Una funzione di gestione degli errori processa gli errori interni (sottotensione) e gli errori esterni (e.g. riscontro di sovracorrente) e assicura che tutti gli interruttori CIB vengano spenti.

Una caratteristica fondamentale del driver SOI è, comunque, il concetto di spostamento di livello avanzato che è largamente immune alle variazioni nella tensione applicata all'azionamento. In un inverter, flessioni di corrente si verificano durante la commutazione della corrente di carico che, insieme con l'induttanza parassita presente nel sistema, genera tensioni fra l'emettitore di poten-

di tensione dipendente dal carico tra la tensione di riferimento del driver e l'emettitore IGBT che può causare problemi simili.

Negli IPM a bassa potenza queste fluttuazioni di tensione parassita sono normalmente molto basse; in ogni caso, aumentano all'aumentare della potenza, nel senso che, quando la corrente aumenta, l'impatto di questo effetto diventa più grave.

Per questa ragione è stata sviluppata un concetto avanzato di level shifter che permette la compensazione di variazioni di tensione in entrambe le polarità per gli interruttori BOT e TOP.

Il concetto principale che sta alla base del level shifter a livello BOT è rappresentato in figura 2a. Due spostatori di

spostatore di livello TOP o BOT viene utilizzato per la conversione dei segnali, mentre l'altro spostatore di livello è disattivato dai diodi di bloccaggio. Sul lato secondario, è sufficiente un semplice circuito OR.

La realizzazione dello spostatore di livello per l'interruttore TOP (Fig. 2b) è più complicata, in quanto non c'è alcun transistor MOS disponibile per una tensione di inversa di 600V. Per questa ragione è utilizzata la conversione dei segnali a impulso su nDMOS ad alta tensione e diodi a elevata tensione inversa.

La conversione degli impulsi permette la riduzione delle correnti trasversali e quindi le perdite di commutazione.

Questo concetto avanzato per spostatori di livello bipolari nei controlli TOP e BOT rende il driver immune alle variazioni nel potenziale di riferimento, che sono limitate grazie alla capacità di blocco degli interruttori di spostamento di livello. Le funzioni degli spostatori di livello nel caso di cambi di tensione statica sono dimostrate dalle caratteristiche dei segnali nelle figure 3a e 3b per un cambio di tensione di +20V e -20V,

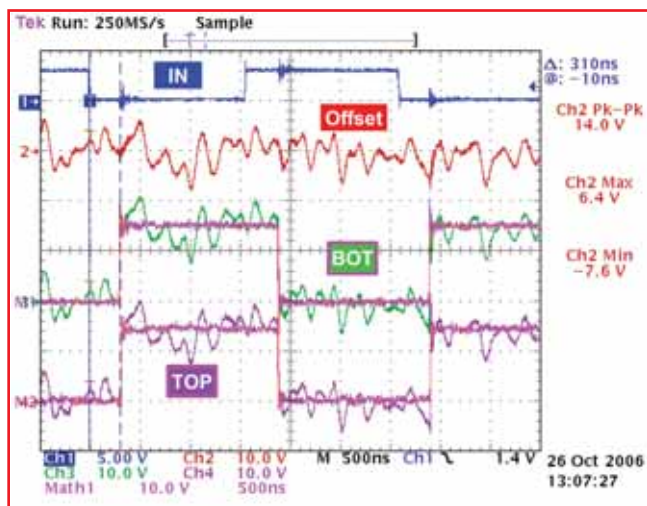
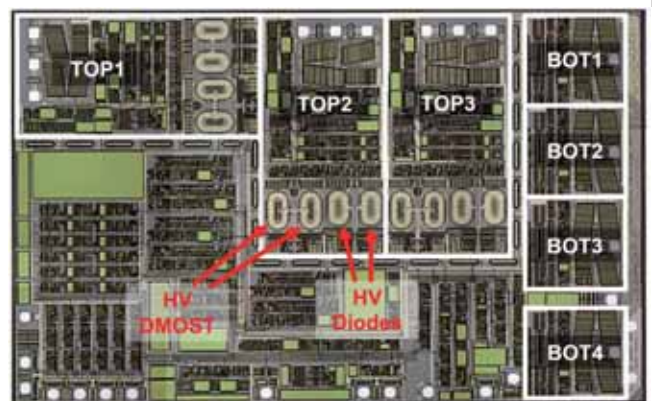


Fig. 4a - Curva caratteristica a 600V del driver SOI per variazioni di tensione di riferimento dinamiche indotte da un segnale di rumore

za del IGBT e la tensione di riferimento del driver. Queste tensioni possono avere entrambe le polarità. A seconda della polarità, la tensione fra porta ed emettitore è aumentata o ridotta. Questo determina un cambiamento nelle proprietà di commutazione e, in condizioni sfavorevoli, può causare un'accensione o uno spegnimento indesiderati dell'interruttore e, nel peggiore dei casi, può anche danneggiare l'inverter. Inoltre, l'uso di shunt per monitorare la corrente, genera uno spostamento

Fig. 4b - Vista dell'azionamento indicante gli stadi di uscita



livello, uno TOP e uno BOT sono azionati su due canali di trasmissione differenti. Gli spostatori di livello sono livelli CMOS statici convenzionali con aggiunta di diodi da ciascuna parte. A seconda che la polarità dell'interruttore di tensione sia sul primo o sul secondo lato, lo

rispettivamente. Sono anche facilmente compensate le variazioni di tensione dinamica, come mostrato in figura 4a. Qui, la caratteristica dei segnali del drive sul lato secondario è virtualmente ideale, a dispetto del fatto che un segnale di disturbo è stato introdotto fra la

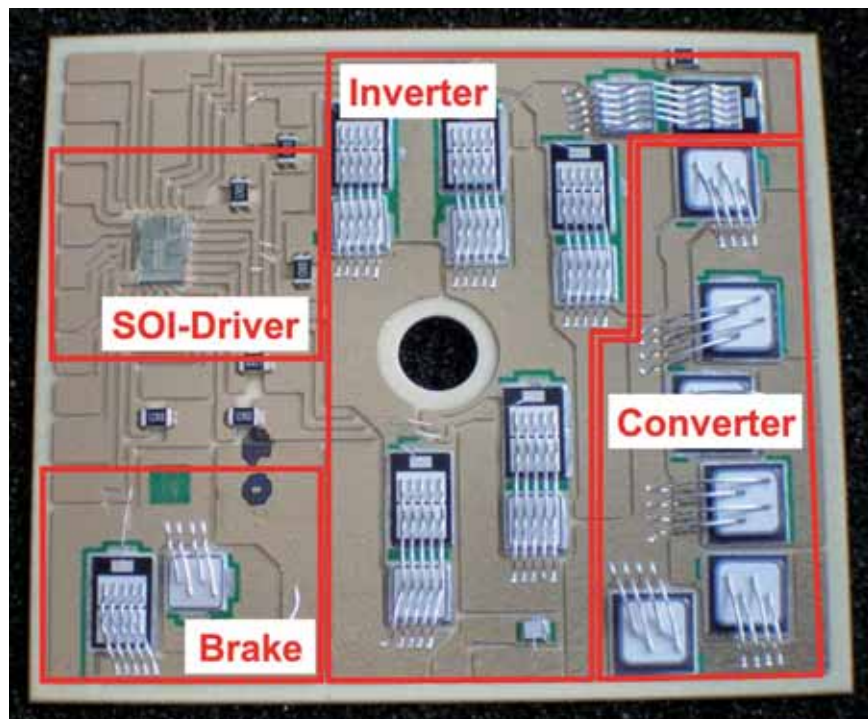


Fig. 5 - DBC del MiniSKiiP CIB IPM con driver SOI integrato

tensione dell'emettitore e la tensione di riferimento del driver.

La figura 4b mostra la foto del layout di un driver SOI indicante i singoli canali. Si possono notare anche i transistori DMOS e i diodi a elevata tensione inversa per gli shift level bipolari degli interruttori TOP.

MiniSKiiP IPM con driver SOI integrato

L'HVIC è montato direttamente sul DBC del modulo di potenza CIB.

In questo modo, il percorso di segnale è breve e possono essere mantenute proprietà parassite basse nei percorsi del driver (Fig. 5).

Il DBC comprende strati di rame di 0.2 mm di spessore con strati ceramici di

Al_2O_3 di spessore 0.38 mm su entrambi i lati. Le tracce di conduzione e le scanalature isolanti di 0.4mm ciascuna sono necessarie per distribuire i segnali di controllo del driver.

Il primo passo nel processo di assemblaggio è quello di saldare i componenti di potenza e il sensore di temperatura. Le resistenze di gate degli HVIC e SMD vengono poi integrate usando un adesivo con proprietà conduttive. I contatti superiori dei componenti di potenza sono connessi usando bondaggi da 300 μ m in alluminio, mentre il driver è collegato a bondaggi da 50 μ m in alluminio. Il circuito è quindi rivestito con un involucro di silicone morbido e il substrato è inserito nel case, in cui sono già state assemblate le molle.

L'assemblaggio dei moduli è completo una volta il silicone è stato polimerizzato. Un vantaggio significativo del montaggio diretto del driver sul DBC è una buona dispersione di calore. Infatti, una resistenza termica di circa 4K/W può essere ottenuta con un chip del driver di

circa 4.9mm x 3.1mm. In un case SOP28, di contro, la resistenza termica di un microcircuito avente all'incirca le stesse dimensioni è approssimativamente 75K/W. La bassa resistenza termica permette una potenza di gran lunga maggiore nello stadio di uscita del driver. Mentre i primi prototipi presentavano una corrente in uscita di 500mA per una tensione in uscita di 15V, la corrente in uscita della prossima generazione può essere raddoppiata, permettendo un miglior controllo del chip in applicazioni di media potenza. In definitiva il nuovo 600V-SOI HVIC è un driver a 7 canali per il controllo degli interruttori di potenza per applicazioni di media potenza. Grazie alla sua concezione avanzata con spostatori di livello bipolari, il nuovo driver fornisce un controllo affidabile e immune da interferenze. La possibilità di integrazione di questo azionamento in ogni modulo di potenza con un sistema di montaggio semplice, fa sì che il CIB IPM si proponga come nuovo standard per le applicazioni di media potenza.

Bibliografia

- [1] U.Scheuermann, P.Beckedahl: *The Road to the Next Generation Power Module - 100% Solder Free Design*, Proc. CIPS 2008, ETG-Fachbericht 111, 111-120, Nürnberg, 2008.
- [2] F.Lang, U.Scheuermann: *Reliability of Spring Pressure Contacts under Environmental Stress*, *Microelectronics Reliability* 47 (2007), 1761-1766.
- [3] B.Vogler, M.Roßberg, R.Herzer, L.Reußer, T.Wurm: *600V Converter/Inverter/Brake (CIB) - Module with integrated SOI Gate Driver IC for Medium-Power Applications*, Proc. CIPS 2008, ETG-Fachbericht 111, 261-265, Nürnberg, 2008.

SEMIKRON
readerservice.it n. 24