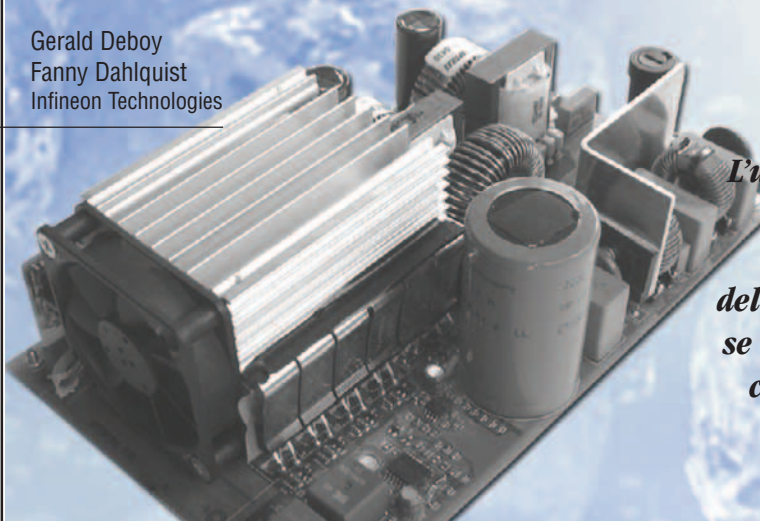


Un nuovo punto di riferimento per le configurazioni "hard switched" negli SMPS ad alta potenza

Gerald Deboy
Fanny Dahlquist
Infineon Technologies



L'utilizzo dei nuovi MOSFET CoolMOS CS in un sistema "hard switched" assicura un'efficienza maggiore del 91%: il risultato ottenuto è uguale, se non addirittura superiore, a quello conseguibile nei sistemi risonanti realizzati utilizzando MOSFET alternativi

In questo articolo si esamina l'utilizzo delle configurazioni "hard switched" come alternativa a quelle risonanti nelle applicazioni ad alta potenza. Le architetture del primo tipo garantiscono diversi vantaggi, ad esempio una minore complessità e una maggiore affidabilità, il che si traduce in tempi di sviluppo più rapidi e in contenimento dei costi.

Complici la costante riduzione del valore della resistenza on-state e la maggiore velocità dei transistori di commutazione, il gap di efficienza tra le topologie "hard switched" si va via via assottigliando.

Vengono inoltre esaminati gli alimentatori per server e sistemi di telecomunicazioni sulla base di un confronto tra due circuiti di riferimento da 1000 W,

che utilizzano un PFC attivo e un convertitore, ZVS full-bridge a scorrimento di fase oppure forward a due transistor interlacciati, come stadio di alimentazione. L'utilizzo dei nuovi MOSFET CoolMOS CS in un sistema "hard switched" assicura un'efficienza maggiore del 91%, misurata dall'alimentazione ai connettori di uscita. Il risultato ottenuto è uguale, se non addirittura superiore, a quello conseguibile nei sistemi risonanti utilizzando i migliori MOSFET alternativi. Esiste una costante pressione affinché la densità di potenza degli alimentatori per applicazioni di tipo informatico e nel campo delle telecomunicazioni venga incrementata: in altre parole è necessario ottenere una maggiore potenza con fattori di forma minori o uguali a quelli dei "vecchi" dispositivi.

Tipicamente vengono richiesti incrementi della potenza di uscita del 20-30%, a parità di alloggiamento e di fattore di forma. La gestione termica deve quindi essere controllata attraverso un miglioramento dell'efficienza. Questo comporta l'apporto di migliorie sia a livello di componenti passivi e a semiconduttore, sia di configurazione, in modo da poter sfruttare al massimo le capacità dei nuovi componenti a semiconduttori. Nel settore dei convertitori DC/DC isolati a bassa tensione si è fatto ricorso a configurazioni e tecniche che utilizzano componenti passivi e magnetici migliorati: talvolta questo tipo di approccio non è applicabile agli alti valori di potenza e tensione a causa delle limitazioni a livello di prestazione dei dispositivi a semiconduttori ad alta tensione rispetto

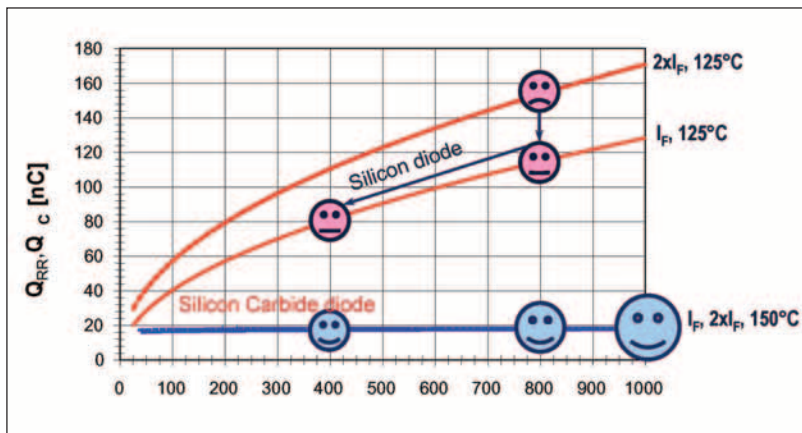


Fig. 1 - Carica inversa di ripristino di un diodo pin ultraveloce paragonato al diodo Schottky al carburo di silicio come funzione di velocità di commutazione, corrente diretta e temperatura

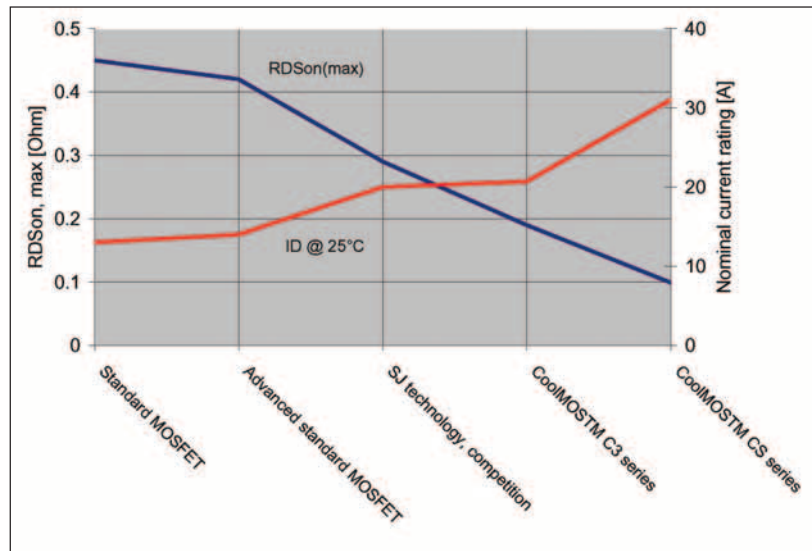
Fig. 2 - Progressi tecnologici su RDSon e capacità di conduzione nei MOSFET da 600 V

agli equivalenti a più bassa tensione. Tenendo in considerazione i recenti sviluppi dei MOSFET di potenza ad alta tensione a supergiunzione e dei diodi Schottky al carburo di silicio, verranno presi in considerazione vantaggi e svantaggi in termini di prestazioni, costo e affidabilità delle configurazioni "hard switched" e risonante.

Trend nei MOSFET e nei diodi di potenza ad alta tensione

Nelle applicazioni di tipo "hard switched", come quelle relative alla correzione del fattore di potenza attiva con convertitori boost, esistono severi vincoli in termini di gestione della corrente e di velocità di commutazione dei componenti attivi. In condizioni di bassa potenza di linea le perdite raggiungono il picco a causa del massimo assorbimento di corrente e delle alte perdite in fase di turn-off. Assorbimenti anche più alti potrebbero verificarsi durante l'accensione del sistema, fluttuazioni di tensione o fenomeni di dropout. In modalità corrente continua, il set-up per le applicazioni in alta potenza, la velocità di accensione e la carica inversa di ripristino per il diodo boost sono pertanto di vitale importanza.

Con i diodi Schottky al carburo di silicio il raddrizzamento della carica inversa di ripristino nulli è diventato realtà [1], per cui la notevole velocità di accensione dei moderni MOSFET di potenza può quindi essere usata per minimizzare le per-



dite di commutazione nella correzione del fattore di potenza (PFC) del sistema di alimentazione. Mentre nei raddrizzatori pin ultraveloci al silicio la carica inversa di ripristino è una funzione della velocità di commutazione, della corrente diretta e della temperatura, nei diodi Schottky al carburo di silicio si ha soltanto una carica di spostamento capacitiva, che è determinata dalla struttura del dispositivo, e quindi dipende soltanto dalle dimensioni del chip. La figura 1 mostra un confronto tra dispositivi a diodo con tensioni e correnti simili.

Notevoli progressi a livello di prestazioni sono stati fatti nel campo dei MOSFET di potenza, come i CoolMOS, grazie all'introduzione del principio della supergiunzione (SJ) [2]. Con la

serie CoolMOS CS, l'RDSon è stata ridotta a un valore inferiore a 100 mOhm per i MOSFET da 600 V ospitati in package TO220. La capacità di conduzione è stata continuamente migliorata grazie alla riduzione di RDSon, possibile in virtù dei notevoli incrementi della densità di cella dei MOS.

La figura 2 mostra un confronto tra differenti dispositivi con la minore RDSon ottenibile in un package TO220, con tecnologie MOSFET standard e a supergiunzione.

Considerazioni analoghe sono applicabili alla velocità di commutazione. Rispetto ai MOSFET standard, con tempo di salita e tempo di discesa compresi in un intervallo tra i 20 e i 50 ns, le prestazioni odierne, al di sotto dei 5 ns,

permettono una riduzione delle perdite di turn-on e turn-off di circa un ordine di grandezza. La figura 3 mostra i rispettivi progressi tecnologici confrontati alla bassissima RDSon per componenti ospitati in un package TO220.

Architetture di tipo risonante e "hard-switched"

Nelle configurazioni risonanti, come la commutazione full-bridge zero-voltage a scorrimento di fase (ZVS), è possibile realizzare l'innesco del MOSFET a zero volt e ottenere una totale interruzione del flusso di corrente attraverso la zona attiva del dispositivo prima dell'aumento della tensione drain-source. L'energia immagazzinata nella capacità di uscita, che verrebbe dissipata in calore durante l'accensione di tipo "hard-switched", viene riguadagnata grazie alla risonanza. L'eliminazione virtuale delle perdite di turn-on e di turn-off e di quelle associate alla capacità di uscita fanno della configurazione risonante l'attuale punto di riferimento in termini di efficienza.

Tuttavia, il prezzo da pagare per un'efficienza più alta è una maggiore complessità di sistema, che prevede l'uso di schemi di controllo avanzati, ingom-

	Phase-shift ZVS	ITTF
Max load efficiency	++	+
Low load efficiency	-	++
Output ripple	Low	Low
Control scheme complexity	--	+
Resonance inductor necessary	Yes	No
MOSFET internal body diode operation	Yes	No

Tabella 1 - Configurazioni ZVS a scorrimento di fase e ITTF: importanti fattori influenzano le prestazioni e il costo del sistema

branti e costosi induttori risonanti e richiede una notevole affidabilità sul diodo integrato del MOSFET in caso di condizioni operative anormali. Mentre la risonanza riduce la sollecitazione dovuta a dv/dt sul primario e quella imputabile a di/dt sul secondario del trasformatore, il funzionamento a tensione nulla prevede un utilizzo attivo del diodo integrato del MOSFET di potenza. I MOSFET con un veloce tempo di recupero del diodo integrato sono quindi utilizzati nelle applicazioni ad alta affidabilità. Inoltre è noto anche il calo di efficienza del sistema ZVS in condizioni di basso carico, cosa che deve essere presa in considerazione durante il progetto e la scelta del MOSFET di potenza.

Nel caso sia necessaria un'alta efficienza

utile domandarsi se esistono alternative agli ZVS full-bridge in applicazioni ad alta potenza. La configurazione forward a due transistor è ben nota ai progettisti di alimentatori a bassa potenza, fino a circa 400 W. Ma fino ad oggi le prestazioni dei MOSFET di potenza ad alta tensione non sono state sufficienti a far fronte alle richieste di efficienza per ampliarne il campo di applicazione a livelli di potenza più alti. Questa configurazione è semplice, efficiente e si distingue per il fatto che stadio di uscita e ripple sulla tensione sono identici a quelli del bridge ZVS.

Ulteriori vantaggi derivano dal fatto che non è necessario nessun induttore risonante e che, anche per condizioni di basso carico, l'efficienza è elevata e il sistema di controllo semplice.

Al fine di valutare le potenzialità di una soluzione ITTF (Interleaved Two Transistor Forward) per elevati livelli di potenza sfruttando semiconduttori di potenza avanzati, è stato realizzato un design di riferimento a 1000 W. Per poter effettuare un confronto a livello di prestazioni, è stato progettato anche un design a 1000 W a scorrimento di fase: per entrambe le configurazioni lo stadio PFC è identico.

L'obiettivo è confrontare le prestazioni delle due configurazioni utilizzando gli attuali diodi Schottky al carburo di silicio (SiC) nel PFC e i MOSFET CoolMOS a supergiunzione come switch attivi negli stadi PFC e PWM. Nella tabella 1 vengono riportate le caratteristiche principali delle configurazioni ZVS a scorrimento di fase e ITTF.

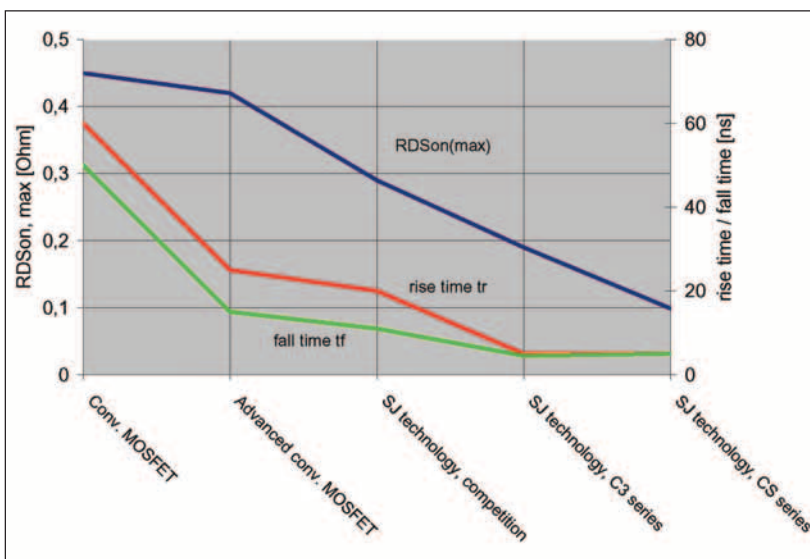


Fig. 3 - Progressi tecnologici su RDSon e velocità di commutazione nei MOSFET da 600 V

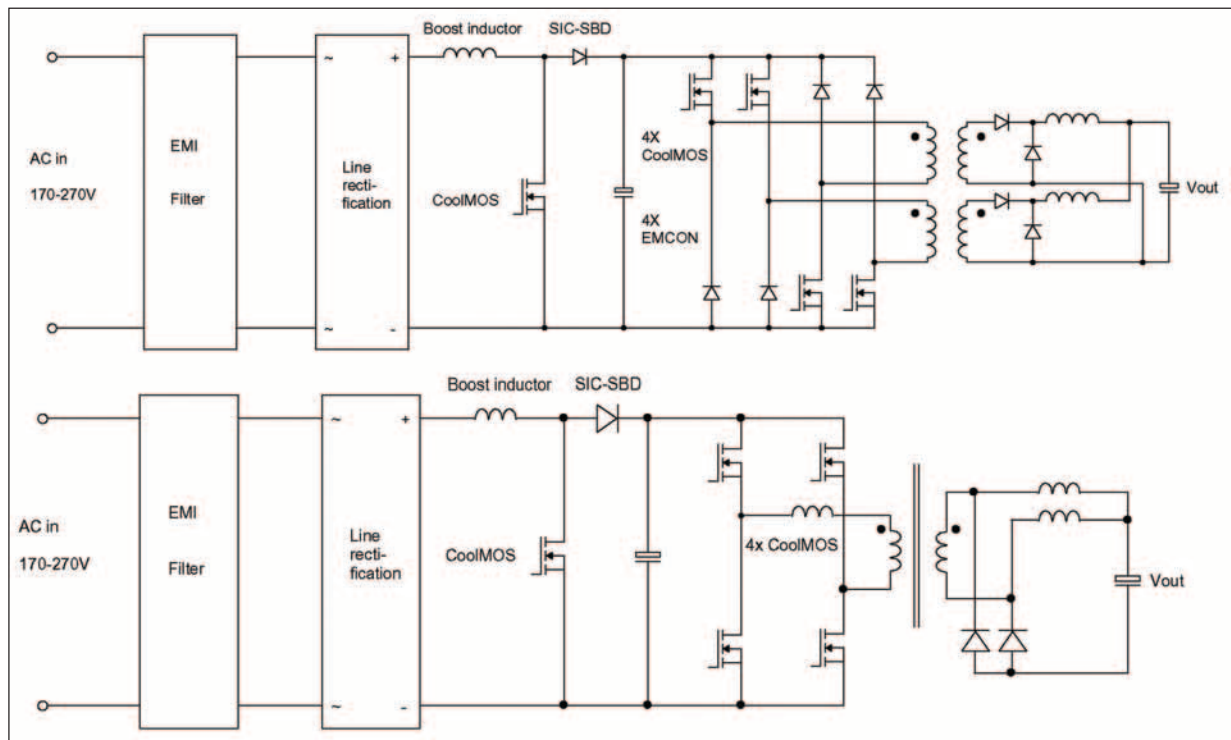


Fig. 4 - Diagramma circuitale delle configurazioni ZVS a scorrimento di fase e forward a due transistor interlacciati

Progetto e risultati sperimentali

Il confronto tra la configurazione risonante e quella "hard switched" si basa su due progetti di riferimento che utilizzano uno ZVS full-bridge a scorrimento di fase e un convertitore forward a due transistor interlacciati (ITTF) come stadio di alimentazione principale. Entrambi i circuiti fanno uso di un fattore di correzione della potenza attiva, funzionano in corrente continua, con un diodo Schottky al carburo di silicio come elemento di

boost. Per far sì che il contributo dello stadio PFC non influenzi troppo l'efficienza del sistema, è stato deciso di scegliere condizioni di elevata tensione di linea (170 - 265 V) come range di tensione di ingresso. Sia lo stadio PFC che lo stadio di alimentazione funzionano a 130 kHz. Entrambi i circuiti forniscono 1000 W su 48 V in uscita. Mentre lo stadio ZVS si distingue per il ridotto ripple sulla tensione di uscita a causa del raddoppio della frequenza intrinseco, quello ITTF raggiunge questo risultato tra-

mite due stadi sfasati di 180°. Per un miglior utilizzo dei raddrizzatori e per agevolare il confronto con il circuito ZVS, sono state utilizzate in uscita due bobine di arresto indipendenti nella configurazione ITTF. Il ripple sulla tensione, le bobine di arresto in uscita e i semiconduttori utilizzati sono quindi uguali per entrambi i circuiti. La figure 4 e 5 mostrano i diagrammi circuitali e le immagini delle schede. Si noti che sono stati utilizzati approcci identici per il design e il layout.

Le misure dell'efficienza di sistema (dal connettore di alimentazione ai connettori di uscita a 48 V) ottenuta utilizzando i nuovi CoolMOS CS Server mostrano, a pieno carico, un vantaggio dell'1,2% per la configurazione ZVS a scorrimento di fase, un dato significativo in considerazione del fatto che generalmente l'efficienza supera il 90%. D'altro canto i confronti tra le precedenti generazioni di dispositivi a supergiunzione, CoolMOS C3, e i dispositivi concorrenti mostrano chiaramente che la configurazione

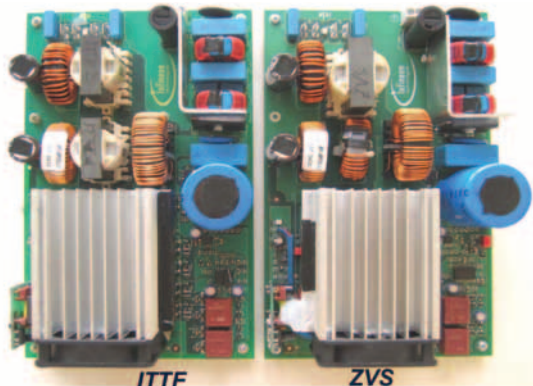


Fig. 5 - Immagini delle schede ZVS e ITTF

	Input power [W]	Efficiency ZVS bridge	Efficiency ITTF
SJ technology, CS series	1046	0.924	0.912
SJ technology, C3 series	1068	0.911	0.906
SJ technology, Competition	1070	0.909	0.902
Conv. MOSFET	1070	0.909	0.901

Tabella 2 - Misura dell'efficienza di sistema del circuito ZVS a scorrimento di fase e del convertitore forward a due transistor interallacciati a pieno carico e condizioni di elevata tensione di linea; confronto tra la precedente generazione e i dispositivi concorrenti basati su package TO220

ITTF, utilizzando i CoolMOS CS, supera il livello di efficienza raggiungibile con i componenti disponibili attualmente. Tutti i confronti sono effettuati con identiche condizioni di pilotaggio di gate e a parità di package. I risultati sono riportati nella tabella 2.

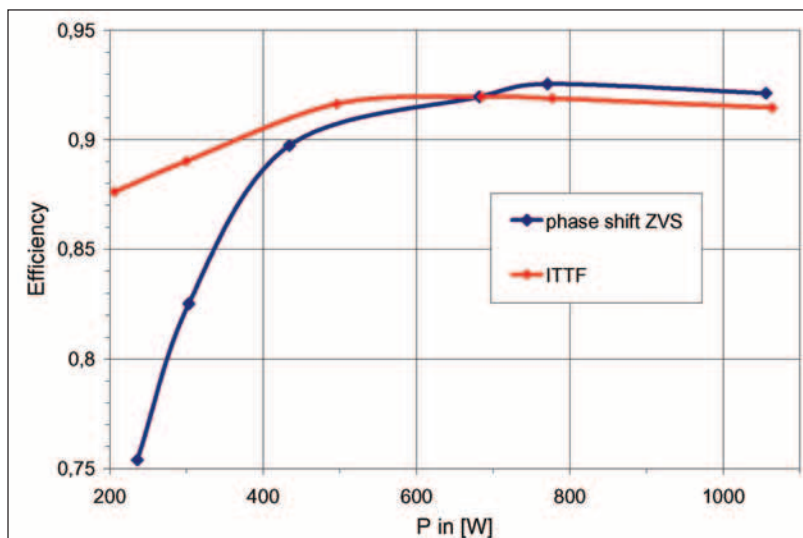
Un'ulteriore serie di misure è stata effettuata per calcolare l'efficienza di sistema in funzione del carico. La figura 6 mostra che l'ITTF di tipo "hard switch" garantisce una maggiore efficienza in condizioni di carico parziale, rispetto alla configurazione ZVS risonante. A 1/3 del carico l'ITTF ha un'efficienza migliore del 7%. Mentre lo ZVS perde le sue caratteristiche di risonanza e diventa di tipo "hard switching", l'ITTF trae beneficio da una riduzione della corrente sul carico.

Siccome molte apparecchiature, come ad esempio gli alimentatori per server o telecomunicazioni, funzionano frequentemente in condizioni di carico parziale, l'efficienza di sistema al di sotto del pieno carico assume una maggiore rilevanza rispetto ad altri fattori. I sistemi di tipo "hard switch" si propongono come una valida alternativa alle soluzioni di tipo risonante, anche per livelli di potenza superiori a 1000 W, in quanto maggiore affidabilità a fronte di una riduzione della complessità.

Con il nuovo CoolMOS CS Infineon Technologies è riuscita a dimostrare che l'efficienza di un sistema 1000 W ITTF di tipo "hard switch" raggiunge lo stesso livello (91%), in condizioni di massimo carico, di un corrispondente sistema 1000 W ZVS full-bridge realizza-

to sfruttando componenti alternativi. I valori dell'efficienza sono misurati dall'alimentazione ai connettori di uscita a 48 V. La minore complessità nello schema di controllo, il ridotto numero di componenti e la maggiore affidabilità imputabile all'assenza del diodo integrato del MOSFET, si traduce in una riduzione del costo totale di sistema per watt. Inoltre, l'ITTF evidenzia notevoli vantaggi in condizioni di carico parziale, grazie a un aumento dell'efficienza del 7% a 1/3 del carico, in confronto al sistema ZVS. La configurazione ITTF trae vantaggio dai progressi compiuti dai nuovi commutatori CoolMOS e dai diodi Schottky a carburo di silicio thinQ!, in termini di velocità di commutazione, capacità, potenza di pilotaggio di gate e carica inversa di ripristino del diodo nulla. L

Fig. 6 - Misura dell'efficienza di sistema in funzione del carico del circuito ZVS a scorrimento di fase e del convertitore forward a due transistor interallacciati, in condizioni di elevata tensione di linea



Bibliografia

- [1] H. Kapels, R. Rupp, L. Lorenz, I. Zverev, "SiC Schottky diodes: A Milestone in hard switching applications", Proceeding of PCIM 2001, Nuremberg, Germany, 2001
- [2] T. Fujihira: "Theory of Semiconductor Superjunction Devices", Jpn.J.Appl.Phys., Vol. 36, pp. 6254-6262, 1997

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare il Dr. Tobias Reimann e l'Ing. Marko Scherf della ISLE GmbH Germany per l'aiuto fornito nel progetto del circuito dimostrativo.

Infineon Technologies
readerservice.it n. 6