

## COME AUMENTARE LA DURATA DEI CONDENSATORI IN ALLUMINIO

### IN QUESTO NUMERO

#### III Mercati/Attualità

- Il mercato dei componenti SiC
- Migliorare le batterie

#### IV Individuare la soluzione bidirezionale migliore per il test dell'alimentazione dei satelliti

#### X Convertitori DC-DC non isolati: prestazioni più spinte con la topologia Sepic-Fed Bcuk

#### XIII Come aumentare la durata dei condensatori in alluminio

#### XVI L'importanza dell'analisi delle prestazioni termiche dei moduli di potenza intelligenti

#### XVIII Prodotti

- Moduli di potenza DC/DC
- Regolatore switching
- Driver per Led

**NOW AVAILABLE**  
**FREE DOWNLOAD**

**DC/DC BOOK OF KNOWLEDGE**  
Practical tips for the User  
By Steve Roberts M.Sc. B.Sc.  
Technical Director, RECOM Power  
**RECOM**

[www.recom-electronic.com](http://www.recom-electronic.com)

RECOM  
MEDICAL GRADE DC/DC CONVERTER  
R66 Series  
2A0PP125V1

RECOM  
DC-DC  
RAC03 series

RECOM  
R-78xx series

# IL SEGRETO DI UNA CORRETTA ALIMENTAZIONE

PER LAMPADINE LED WATERPROOF



## RAFI

Distributore Italia

## MW MEAN WELL

PADOVA

MILANO

TORINO

FIRENZE

NAPOLI

ROMA

APPLICATIONS

STREET LIGHTING



STAGE LIGHTING



EMBEDDED LIGHTING



ARCHITECTURAL LIGHTING



INDOOR LIGHTING



DECORATIVE LIGHTING



POOL LIGHTING



Voi costruite le lampade più belle, progettate le soluzioni più innovative...  
noi vi diamo i migliori alimentatori che possiate trovare ma ad un prezzo  
molto interessante.

La **RAFI ELETTRONICA S.r.l.** insieme a **Mean Well** presentano la nuova  
gamma di alimentatori switching per illuminazione a led da 18 a 240 Watt, sei  
serie distinte, diversi modelli per svariate applicazioni, sia da INTERNO che da  
ESTERNO.

Possibilità di customizzazioni su specifiche del cliente, range di ingresso da AC  
90 a 264 VAC e tensioni di uscita fino a 48 VDC. Alta affidabilità e costi molto  
competitivi.

Grado di protezione IP64 / IP65 / IP67 con PFC (Power Function Control) attivo.

Per maggiori informazioni su questi ed altri prodotti non esitate a contattare la  
RAFI ELETTRONICA S.r.l.

## RAFI

**RAFI ELETTRONICA SRL**

PIAZZALE EUROPA 9

10044 PIANEZZA ( TO)

TEL . 011/96 63 113 - 011/99 43 000

FAX 011/99 43 640

SITO WEB : [www.rafisrl.com](http://www.rafisrl.com)

E-MAIL : [rafi@rafisrl.com](mailto:rafi@rafisrl.com)

### Il mercato dei componenti SiC

La tecnologia SiC si sta diffondendo in un elevato numero di segmenti industriali e, in base ai dati degli analisti, ha sinora riscosso un discreto successo per le applicazioni PFC e quelle ferroviarie.

In particolare queste ultime dimostrano come la tecnologia SiC possa giocare un ruolo fondamentale nei settori caratterizzati dalle alte tensioni, quelle superiori a 1,7 kV.

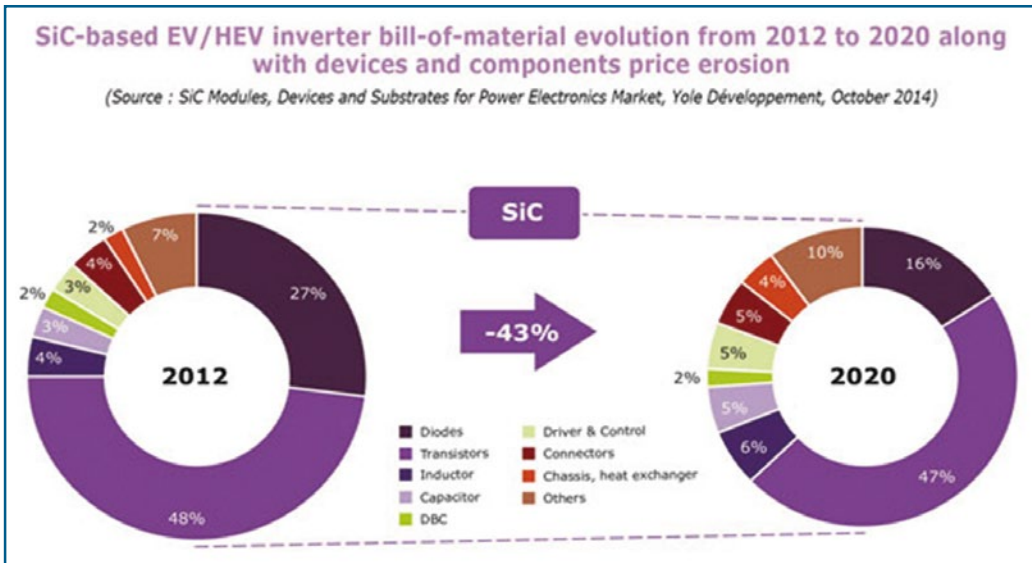
Le stime indicano, inoltre, che il segmento degli inverter fotovoltaici che implementano componenti SiC dovrebbe avere una crescita annuale di circa il 12%.

Gli analisti [Yole Développement](#), in un recente report, ritengono che le

applicazioni ad alta tensione siano proprio quelle dove la tecnologia SiC possa apportare valore aggiunto malgrado la differenza di prezzo che ancora sussiste rispetto alle tradizionali tecnologie basate sul silicio. Non va dimenticato comunque che si possono ottenere dei risparmi sui costi a livello di sistema grazie al fatto che i sistemi di raffreddamento necessari possono essere sensibilmente ridotti passando alla tecnologia SiC. Per altri segmenti, come quello dei componenti per tensioni di 600V, occorre considerare che ci sono altre tecnologie che stanno diventando competitive, come quella GaN.

Per quanto riguarda il segmento automotive, i SiC potrebbero avere un ruolo particolarmente importante per i veicoli elettrici, diventando il settore principale per questo tipo di componenti grazie ai vantaggi tecnologici che possono apportare. L'industria automobilistica però, sottolineano gli esperti, sembra essere ancora riluttante a adottare questo tipo di componenti su vasta scala a causa di diversi fattori, fra cui i costi, per cui si stima che la loro diffusione in questo segmento potrebbe arrivare nel 2018 oppure, secondo altri, nel 2020. Gli analisti precisano comunque che anche tenendo conto dello scenario più conservativo, nel 2020 il mercato dei SiC dovrebbe raggiungere i 400 milioni di dollari.

Dal punto di vista della capacità produttiva, attualmente il segmento mainstream vede la produzione basata su wafer con substrati n-type da 4". Il passaggio a wafer da 6" è infatti più lento del previsto a causa di alcune limitazioni in termini di qualità del prodotto, che ne condizionano ovviamente anche i prezzi. Il rapporto tra il prezzo di un wafer da 6" e uno da 4" con substrato n-type è infatti ancora di circa 2,5 volte, un valore troppo elevato per rendere competitivi i wafer da 6" per i produttori di dispositivi e quindi consentire una relativa riduzione dei costi dei prodotti finali. Gli analisti di Yole Développement ritengono però che il prezzo dei wafer n-Type da 6" dovrebbe scendere rapidamente nei prossimi due anni, per arrivare sotto la soglia di 1.000 dollari, e che la transizione in massa verso il formato dei 6" dovrebbe arrivare nel 2016-2017.



#### Evoluzione della BOM per inverter basati su SiC destinati al mercato EV/HEV (Fonte – SiC modules, devices and substrates for power electronics market, Yole Développement)

Per quanto riguarda i principali player di mercato, invece, [Cree](#) resta il leader seguito da aziende come per esempio [Dow Corning](#) e [SiCrystal](#). Le aziende asiatiche stanno comunque guadagnando lentamente quote di mercato, anche se i loro volumi sono ancora limitati rispetto ai principali player. La Cina, sottolineano gli analisti, ha investito notevolmente nella R&S e produzione di IGBT negli ultimi anni, anche se è ancora relativamente distante da Stati Uniti, Europa e Giappone.

Ci sono già comunque aziende cinesi che coprono l'intera catena del valore, dai materiali ai dispositivi.

### Migliorare le batterie

Gli studi di R. Edwin Garca, professore associato di ingegneria dei materiali alla [Purdue University](#), focalizzati sulle dendriti, le complesse strutture ramificate che si formano all'interno delle batterie, e non solo, hanno implicazioni pratiche molto importanti. Le dendriti che si formano infatti sugli elettrodi dell'anodo possono continuare a crescere con notevoli complicazioni per le batterie come per esempio corto circuiti interni e guasti o anche incendi. Limitare quindi lo sviluppo delle dendriti permetterebbe di ridurre sensibilmente gli accorgimenti necessari alla ricarica delle batterie, accorciando anche i tempi di ricarica.

I risultati della ricerca sono stati pubblicati nel *Journal of Power Sources* lo scorso primo febbraio 2015. I ricercatori hanno sviluppato un modello che dovrebbe aiutare i produttori di batterie a progettare dei separatori migliori all'interno delle batterie.

## Individuare la soluzione bidirezionale migliore per il test dell'alimentazione dei satelliti

I satelliti – oggetti creati dall'uomo per orbitare attorno alla Terra – sono impiegati in una grande varietà di applicazioni, dalla trasmissione di segnali televisivi e di comunicazioni telefoniche alle previsioni meteorologiche e ai servizi di navigazione. Sebbene possano differire per il loro utilizzo, tutti i satelliti condividono una necessità comune: il bisogno di una fonte di alimentazione

**Ed Brorein e Carlo Canziani**  
[Keysight Technologies](#)

I satelliti traggono l'alimentazione dal sole attraverso pannelli fotovoltaici. Tuttavia, questa fonte di energia non è costante, il satellite ruota e spesso i pannelli solari si trovano in ombra. Per compensare le variazioni dell'irraggiamento solare i pannelli solari sono affiancati da batterie che vengono caricate e scaricate così da garantire un'alimentazione costante ai sistemi elettronici di bordo.

Il ruolo di controllare il flusso di potenza dai pannelli solari alle batterie e di distribuire una sorgente di alimentazione stabilizzata al satellite compete all'unità di controllo e distribuzione dell'alimentazione (PCDU, Power Control and Distribution Unit). Il compito di assicurare che l'unità di controllo e le batterie del satellite funzionino secondo le aspettative è dei responsabili del collaudo; non si tratta di un compito facile. Sebbene vi siano tre strade per affrontare questa sfida, ciascuna presenta degli svantaggi, rendendole tutte non ideali. Fortunatamente i progressi della tecnologia offrono oggi una strada alternativa, che promette di soddisfare tutte le richieste fondamentali nei test dell'alimentazione dei satelliti.

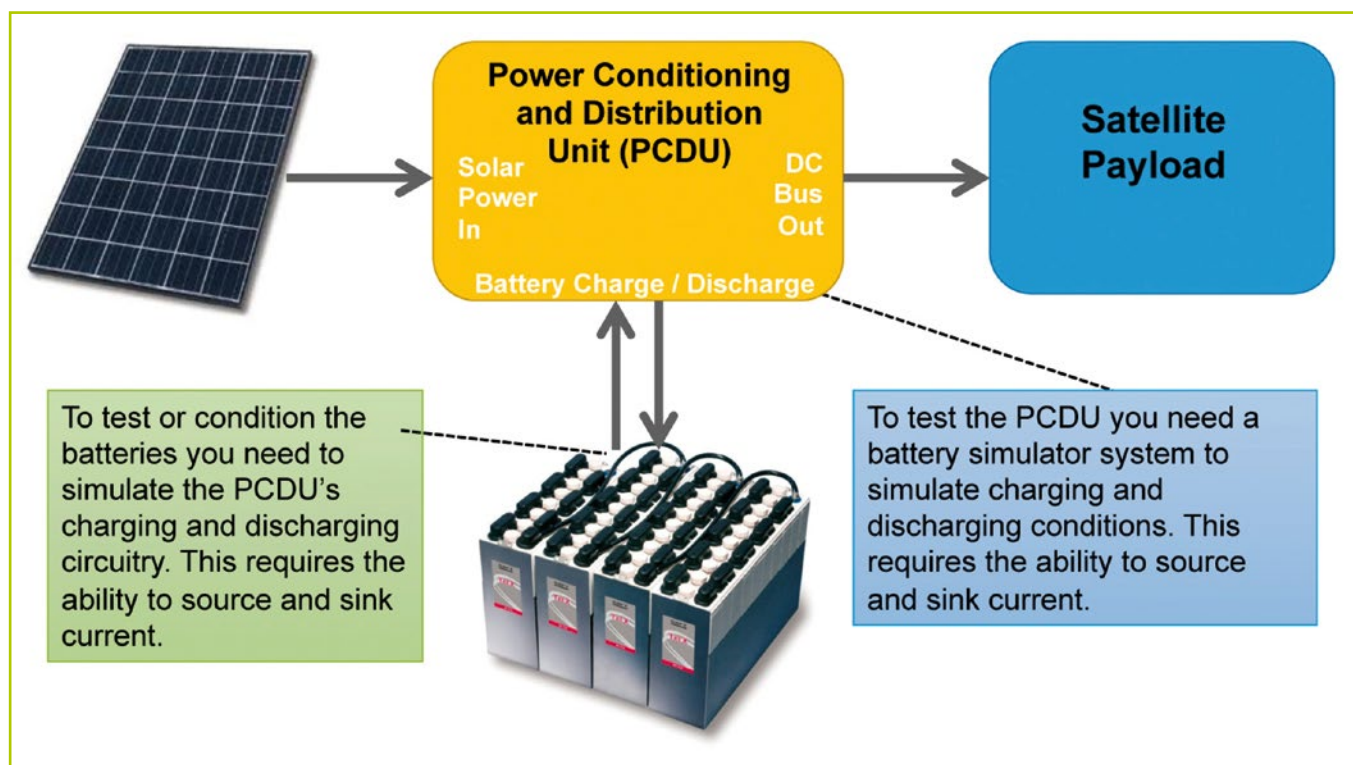
### Comprendere i requisiti di collaudo

Durante il test di un'unità di controllo dell'alimentazione o delle batterie del satellite è necessario soddisfare una serie di requisiti, tra i quali quello forse più importante

è la verifica che l'alimentatore sia in grado di erogare (source) e assorbire (sink) potenza. Questo aspetto è critico in quanto sia le batterie sia la loro elettronica di gestione nell'unità di controllo necessitano di test dei flussi di potenza bidirezionali. Ad esempio per il collaudo delle batterie è necessario erogare potenza durante la fase di carica delle batterie e assorbire potenza durante la scarica. Per verificare l'unità di controllo PCDU è cruciale poter simulare la carica e la scarica delle batterie.

Un'altra richiesta per il test dell'alimentazione del satellite in fase di collaudo o di condizionamento delle batterie è la possibilità di erogare in modo costante sia una tensione (CV constant voltage) sia una corrente (CC constant current). Per collaudare l'unità di controllo, il simulatore di batteria deve poter passare dalla condizione di erogazione a quella di assorbimento con continuità senza brusche variazioni di tensione o di corrente.

Anche l'abilità dell'apparato di test di gestire varie impedenze di carico è critica, così come lo sono le caratteristiche di protezione, l'impostazione dei limiti di corrente e tensione e il loro rapido intervento in caso di superamento. In particolare la protezione del dispositivo in prova rappresenta un aspetto critico, tra questi è fondamentale ricordare che le batterie Li-Ion possono esplodere oppure gli apparati di volo di un satellite sono normalmente mol-



**Fig. 1 – Diagramma a blocchi semplificato del flusso di potenza di un satellite. Le frecce bidirezionali indicano la necessità di una soluzione di test bidirezionale che possa sia erogare che assorbire potenza**

to costosi e unici quindi difficilmente sostituibili. Una soluzione che possa erogare e assorbire energia, in grado di regolare accuratamente tensione e corrente e con protezioni in grado di reagire velocemente aiuta a minimizzare i rischi di danni importanti.

Infine, la soluzione di test deve essere in grado di garantire livelli prestazionali accettabili (ad esempio in termini di rumore di uscita e accuratezza del livello di uscita) così da soddisfare le specifiche di collaudo del dispositivo in prova. Anche le dimensioni e il peso dell'apparato di test devono essere compatibili con quelli dei sistemi di collaudo standard così da essere facilmente installabili nelle sale di test dei satelliti.

#### Tipologia di prove per l'alimentazione dei satelliti

Esistono tre tipi di sistemi bidirezionali di test per satelliti capaci di erogare e assorbire potenza: la prima soluzione, senza sovrapposizione tra erogazione e assorbimento ma con zona morta; la seconda con sovrapposizione e la terza bidirezionale integrata. Ogni opzione

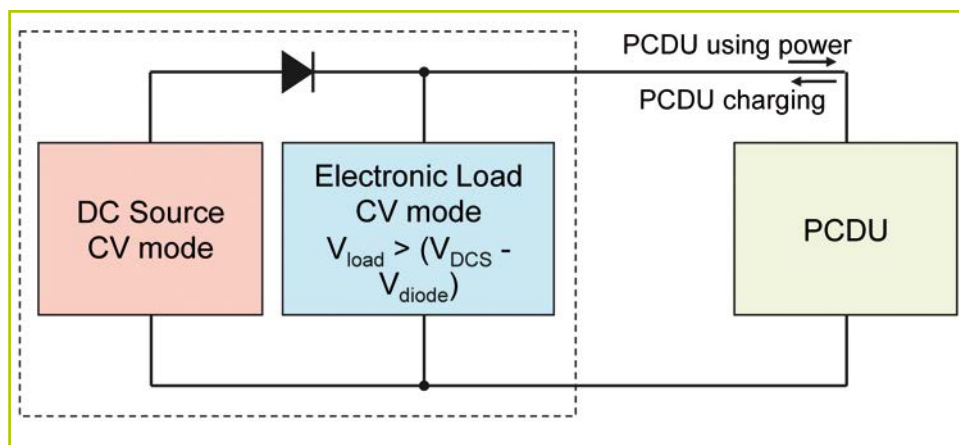
presenta pregi e difetti che saranno illustrati di seguito. La soluzione bidirezionale senza sovrapposizione tra erogazione e assorbimento e con zona morta combina una sorgente di tensione e un carico elettronico, come mostrato in figura 2. Un diodo viene normalmente installato tra le due per evitare che la corrente dal dispositivo in prova scorra verso la sorgente di tensione.

Questa soluzione garantisce un'uscita stabile, può gestire le correnti di un carico dinamico e copre un ampio intervallo di potenze.

Questo apparato lavora principalmente in tensione, essendo così più adeguato per il test delle unità di controllo (PCDU). Lo svantaggio principale è che, a causa delle transizioni del carico elettronico dentro e fuori dalla modalità a tensione costante, il funzionamento non è fluido e dà luogo a indesiderate discontinuità.

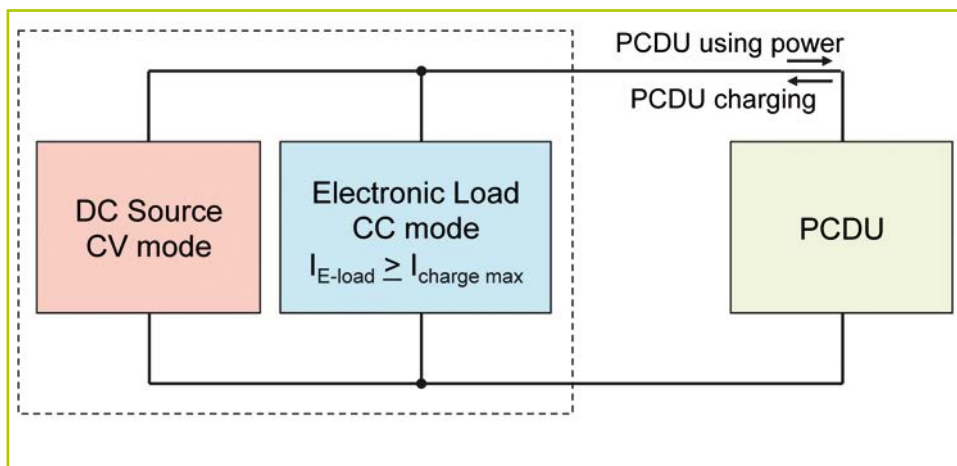
Inoltre, l'apparato risulta complesso da utilizzare, costringendo l'operatore a programmare e controllare costantemente due strumenti separati: la sorgente DC e il carico elettronico. Inoltre, generalmente è necessario im-

**L'impiego di una soluzione integrata bidirezionale, come la serie Advanced Power System, offre una serie di vantaggi fondamentali rispetto alle soluzioni con e senza sovrapposizione**

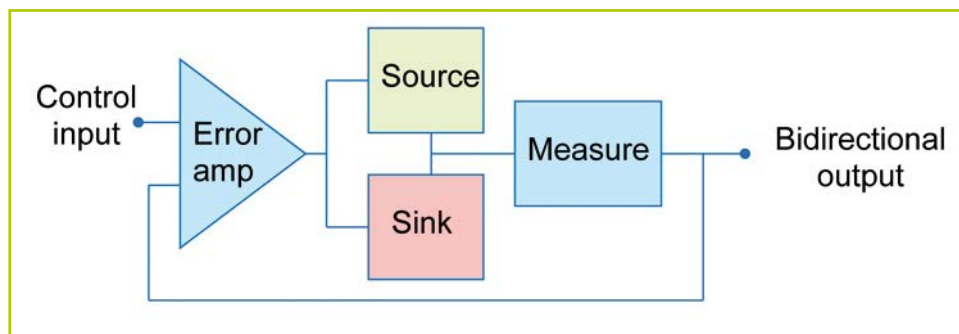


**Fig. 2** – La soluzione senza sovrapposizione tra erogazione e assorbimenti con banda morta è mostrata in alto a sinistra, mentre la soluzione bidirezionale con sovrapposizione è illustrata in basso a destra. Entrambe sono adatte al test delle unità di controllo

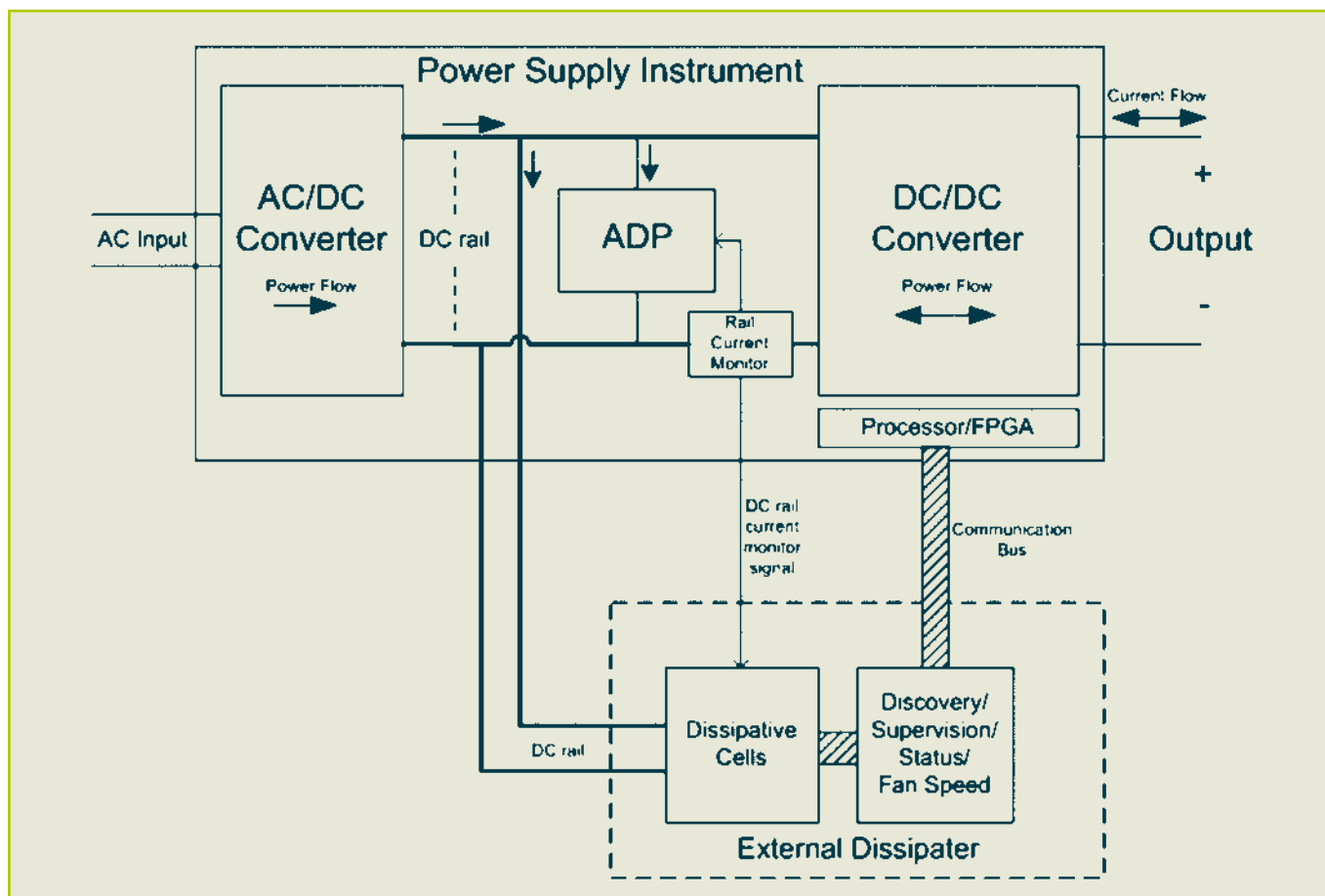
piegare uno strumento esterno come un multimetro digitale o un amperometro così da assicurare misure accurate, evitando le discontinuità dovute all'utilizzo di due sistemi di misura dei due strumenti presenti su sorgente di tensione e su carico elettronico. Analogamente alla soluzione senza sovrapposizione, quella con sovrapposizione impiega un carico elettronico e una sorgente di tensione continua. Tuttavia, la sorgente ha una potenza molto maggiore (corrente più elevata) e il carico elettronico è impiegato in modalità a corrente costante, impostata a un valore fisso almeno pari alla massima corrente erogata dall'unità di controllo in fase di carica (Fig. 2). Grazie a questa architettura, una soluzione di questo tipo non presenta discontinuità nel funzionamento (è priva di una zona morta) e può mantenere una tensione costante quando la corrente del dispositivo in prova cambia di direzione (carica/scarica). Sebbene questo apparato offra una tensione sufficiente-



mente priva di transistori e garantisca una risposta priva di zone morte, le sue dimensioni rappresentano un grosso difetto. La sorgente DC qui impiegata deve gestire oltre il doppio della potenza del dispositivo in prova, necessitando quindi di un alimentatore più ingombrante. Oltretutto, dato che in questo caso il carico elettronico dissipa sempre potenza, l'impatto del consumo energetico dell'apparato è maggiore. Non è inoltre da trascurare l'ulteriore calore dissipato all'interno della sala di prova e il conseguente maggiore dimensionamento dell'impianto di aria condizionata. Eseguire delle misure di corrente accurate è poi difficile, in quanto la corrente è la differenza tra quella del carico e quella del generatore. Di conseguenza le incertezze di misura dei due strumenti si combinano. Inoltre, circuiti di controlli dedicati possono essere necessari per assicurare un funzionamento stabile e prevedibile.



**Fig. 3** – Configurazione di un singolo strumento con una soluzione di test bidirezionale integrata



**Fig. 4 – Schema a blocchi di un alimentatore switching bidirezionale ottenuto dalla combinazione di un convertitore DC-DC bidirezionale, di un programmatore ADP e di un dissipatore esterno**

Sebbene non illustrato, il test delle batterie richiede una modifica della soluzione bidirezionale senza sovrapposizione, laddove il carico e la sorgente operino indipendentemente in modalità a corrente costante con limiti sull'escursione della tensione per limitare la carica e la scarica. Qui le protezioni di sicurezza sono di primaria importanza. Un hardware di protezione personalizzato è necessario in aggiunta alle protezioni interne dei carichi elettronici e dei generatori DC.

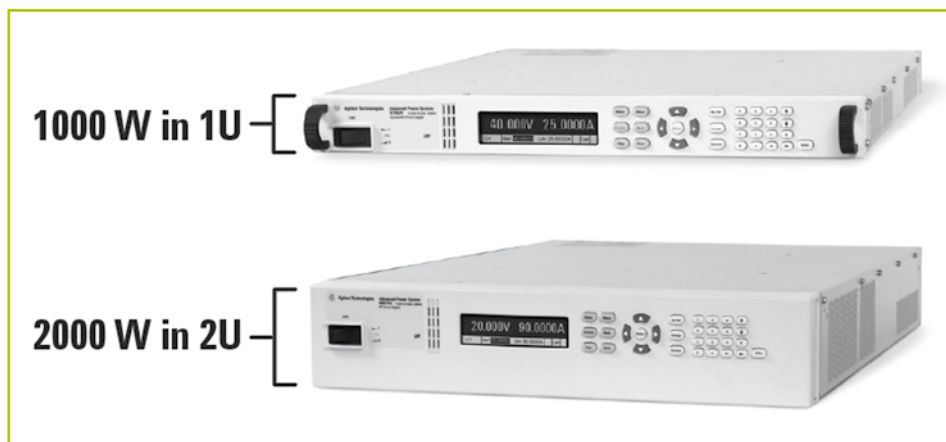
L'ultima opzione, la soluzione bidirezionale integrata, offre un funzionamento a due quadranti. Questo significa che sia l'erogazione di potenza sia l'operazione di assorbimento sono controllate da un singolo anello di regolazione (Fig. 3). Di conseguenza, questa soluzione offre un funzionamento senza discontinuità durante la transizione tra erogazione e assorbimento, insieme ad alte prestazioni durante entrambe le fasi; il tutto senza bisogno di dissipare grandi quantità di potenza.

Un altro fondamentale vantaggio è che questa soluzione può essere impiegata sia per il test delle batterie sia per il test delle unità di controllo dei satelliti PCDU, con

adeguate regolazioni di tensioni e correnti. Uno svantaggio importante è rappresentato dalla difficoltà di trovare una soluzione bidirezionale integrata, che operi nell'intervallo di potenze richiesto (cioè livelli di potenza superiori al kW). Gli alimentatori lineari offrono un'architettura che supporta il funzionamento a due quadranti, ma che diventa troppo ingombrante ai livelli di potenza richiesti in questa applicazione. D'altra parte, l'architettura degli alimentatori switching offre un ingombro minore, a parità di potenza, ma non supporta facilmente il funzionamento a due quadranti.

#### Superare gli svantaggi

In generale, l'approccio più comune per il test dell'alimentazione dei satelliti è l'impiego di strumenti separati per erogare e assorbire potenza, come nel caso delle soluzioni con e senza sovrapposizione, essendo questi strumenti commercialmente disponibili. Gli svantaggi di queste soluzioni possono essere superati impiegando una soluzione bidirezionale integrata. Tuttavia, la sfida diventa individuarla. Per fortuna la combinazione di diverse



**Fig. 5 – La famiglia di sistemi di alimentazione APS di Keysight Technologies comprende modelli da 1 e 2 kW, con la possibilità di essere collegati in parallelo fino a raggiungere una potenza complessiva di oltre 10 kW. Questa famiglia include due fasce di prestazioni: la serie N6900 di alimentatori DC è progettata per applicazioni ATE in cui le prestazioni sono critiche, mentre la serie di alimentatori dinamici N7900 è progettata per le esigenze delle applicazioni in cui sono richieste alimentazioni dinamiche e caratterizzazioni di correnti e tensioni dinamiche.**

nuove tecnologie rende oggi questa ricerca più semplice. Queste tecnologie comprendono un convertitore DC-DC bidirezionale, un circuito di scarica automatico e programmabile (ADP, Automatic Down-Programmer) e un dissipatore esterno (ED, External Dissipater) brevettati. Il convertitore DC-DC impiega tecnologie di raddrizzamento sincrono per poter gestire flussi di potenza bidirezionali.

Aggiungere la bidirezionalità di conversione DC-DC a un alimentatore switching consente di scaricare l'energia immagazzinata all'uscita tra i due stadi di conversione dell'alimentatore. Il programmatore brevettato ADP consente di eseguire una sotto-programmazione (applica un circuito di scarica) sul bus DC. In pratica, legge e assorbe la corrente nel caso in cui la tensione del bus DC inizi a salire. Il dissipatore brevettato, esterno all'alimentatore, espande la capacità di monitorare e assorbire la corrente dell'ADP. Grazie al dissipatore esterno l'alimentatore è in grado di raggiungere il completo funzionamento bidirezionale a due quadranti fino al livello della sua corrente massima. Combinate insieme, queste tecnologie consentono di realizzare una soluzione bidirezionale integrata basata sull'architettura di un alimentatore switching controllato da un singolo anello di regolazione (Fig. 4). Un ottimo esempio di questi apparati sono le famiglie di alimentatori di sistema Advanced Power System N6900 e N7900 (Fig. 5).

Questi apparati integrati bidirezionali soddisfano le richieste del collaudo dell'alimentazione dei satelliti,

offrendo al contempo elevata precisione e accuratezza, in un'architettura di alimentatore switching da banco.

L'impiego di una soluzione integrata bidirezionale, come la serie Advanced Power System, offre una serie di vantaggi fondamentali rispetto alle soluzioni con e senza sovrapposizione. Innanzitutto l'alimentatore utilizza un singolo anello di regolazione per controllare sia l'erogazione sia l'assorbimento. Di conseguenza, le stesse specifiche e prestazioni sono offerte indipendentemente dallo stato di erogazione o assorbimento di potenza. Inoltre, la transizione tra le due modalità è fluida e priva di discontinuità e non consuma elevate potenze. Anche la complessità hardware e software di questo apparato è semplificata, dato che consiste

in un unico strumento da collegare al dispositivo in prova. Inoltre, non c'è alcun bisogno di aggiungere hardware personalizzato dedicato al controllo. L'integrazione della soluzione permette un'ulteriore passo in avanti nella simulazione di batterie. Infatti, gli alimentatori APS possono simulare la resistenza interna di batteria così da ottenere un comportamento molto simile alla realtà con variazioni di tensione proporzionali alla corrente di carica e scarica. Infine, essendo APS basato sull'architettura di un alimentatore switching, le dimensioni e il peso dell'hardware sono molto contenute. Sebbene sia chiaro che una soluzione bidirezionale è necessaria per collaudare adeguatamente le batterie e l'unità di controllo di un satellite, la scelta di quale apparato usare è complicata dal fatto che ogni approccio presenta alcuni svantaggi. Oggi, le soluzioni con e senza sovrapposizione sono le più diffuse, ma una soluzione bidirezionale integrata rappresenta una soluzione molto più vantaggiosa ma difficilmente individuabile. Ecco dove entra in gioco lo sviluppo di un convertitore DC-DC e tecnologie Advanced Down Programming e External Dissipater brevettate. Queste tecnologie hanno consentito la creazione di una soluzione bidirezionale integrata in un'architettura di alimentatore switching. Questa soluzione soddisfa tutte le richieste per il collaudo dell'alimentazione dei satelliti, senza alcuno svantaggio proprio delle altre opzioni, diventando un'ottima opzione per gli ingegneri incaricati di eseguire il test delle batterie e delle unità di controllo dei satelliti.



Does the  
work of many.  
Takes the  
space of few.



Make every inch of precious rack space count thanks to the Keysight N8900 Autoranging Series. Choose from 5, 10, and 15 kW models that can be easily paralleled to create 'one' power supply with >100 kW of power. Now that's a powerful promise.

#### Keysight N8900 Series Autoranging DC Power Supplies

Autoranging output does the job of many power supplies

Up to 15 kW in 3U maximizes rack space

Parallel multiple units for >100 kW of power

28 models: up to 1500 V, up to 510 A

To find the right high-power supply for your needs,  
get your Power Products Selection Guide at  
[www.keysight.com/find/N8900Autoranging](http://www.keysight.com/find/N8900Autoranging)

Numero Verde: 800 599 100



Unlocking Measurement Insights

© Keysight Technologies, Inc. 2014

Agilent's Electronic Measurement Group has become **Keysight Technologies**.

## Convertitori Dc-DC non isolati: prestazioni più spinte con la topologia SEPIC-Fed Buck

La nuova topologia di potenza Solus sviluppata da CUI permette di superare parecchie limitazioni proprie degli attuali convertitori PoL, in particolare per quel che riguarda efficienza e risposta ai fenomeni transitori

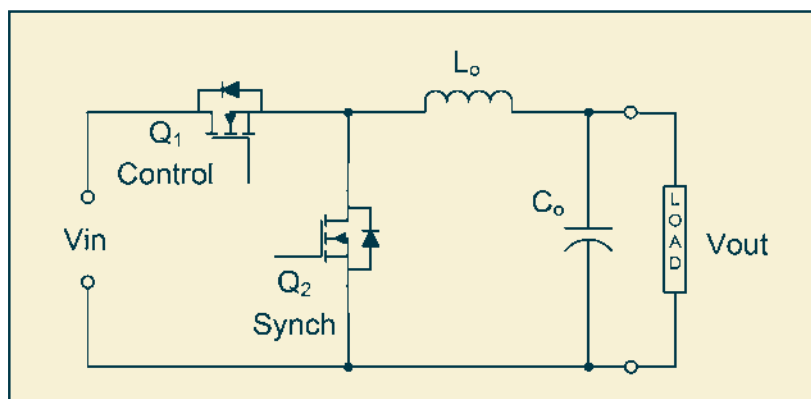
**Fariborz Musavi**  
 Director of engineering  
 CUI

Un convertitore PoL (Point-of-Load) è un convertitore DC-DC step-down progettato per fornire una tensione costante al carico DC-DC in modo (quasi) indipendente dalle correnti di carico. Questo tipo di convertitore è andato via via diffondendosi in un'ampia gamma di applicazioni, dal networking alle telecomunicazioni, dalla comunicazione dati all'elaborazione, oltre che in ambito aerospaziale.

Sempre più spesso si ricorre a convertitori PoL per alimentare circuiti ASIC, FPGA e altri dispositivi che integrano nuclei di elaborazione ad alte prestazioni. Tenendo conto del fatto che la potenza dinamica assorbita dal processore è proporzionale alla frequenza di quest'ultimo e al quadrato della tensione del processore, le tendenze attuali prevedono l'uso di valori di tensioni del core più bassi in modo da ridurre le perdite di potenza e garantire una velocità di elaborazione più elevata.

È dunque ovvio che la portata di corrente per questi convertitori aumenta a parità di potenza. Ciò ha parecchie implicazioni per il circuito di alimentazione, compresa la necessità di intradare basse tensioni e correnti elevate sulla scheda a circuito stampato.

Ciò comporta cadute di tensione di una certa entità, maggior consumo di potenza e presenza di piste di ampie dimensioni sulla scheda PCB, tutti effetti che possono



**Fig. 1 – Schema circuitale di un convertitore buck sincrono**

avere effetti negativi sulla regolazione dell'uscita. Ponendo i convertitori PoL (Point-of-Load) in prossimità del carico, è possibile eliminare i lunghi cablaggi tra l'alimentatore e il carico presenti nei tradizionali sistemi di alimentazione. In questo modo è possibile fornire una tensione precisa pur nel rispetto dei requisiti attuali che prevedono basse tensioni e alte correnti. Poiché i convertitori di potenza sono posizionati fisicamente in prossimità del circuito di carico, è possibile minimizzare le perdite di distribuzione in DC e ridurre le induttanze distribuite, con conseguente miglioramento della risposta dinamica. In sintesi, questi sistemi richiedono correnti di valore elevato con più tensioni di alimentazione di valore ridotto e devono rispettare vincoli severi per quanto riguarda la regolazione in presenza di correnti dinamiche caratterizzate da escursioni ampie e variabili rapidamente.

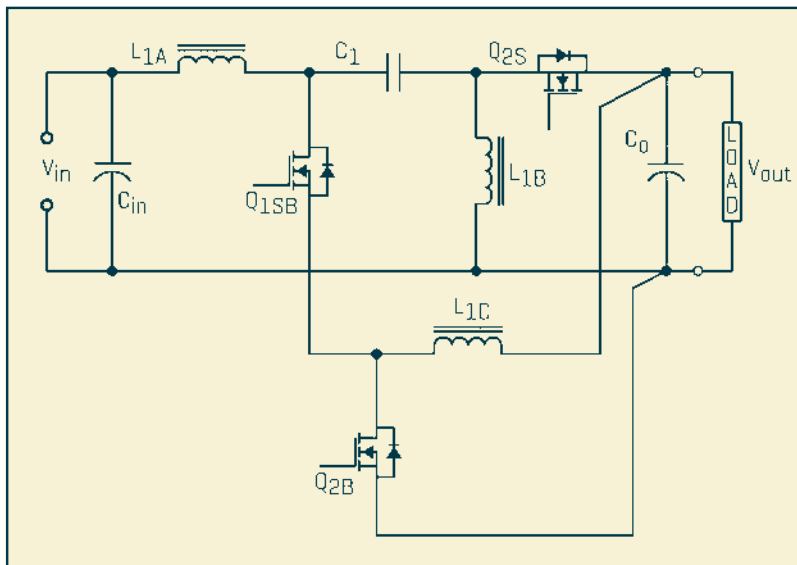


Fig. 2 – Schema di un convertitore SEPIC-fed buck

**Limiti delle topologie POL esistenti**

La topologia più comune utilizzata nelle applicazioni PoL è il convertitore buck sincrono. In questo caso l'utilizzo di un MOSFET low-side al posto di un diodo contribuisce a ridurre in modo significativo le perdite, con conseguente miglioramento dell'efficienza di conversione rispetto a un convertitore buck tradizionale. Lo schema di un convertitore buck sincrono è riportato in figura 1.

Questa topologia richiede un circuito di pilotaggio del MOSFET più complesso per controllare entrambi i commutatori. Inoltre, è necessario assicurarsi che entrambi i MOSFET non siano accesi (turn-on) contemporaneamente, in quanto si potrebbe creare un corto circuito diretto dalla tensione di ingresso ( $V_{in}$ ) a massa con conseguenze potenzialmente catastrofiche. Questo tipo di corto circuito è anche noto come conduzione incrociata (cross-conduction) o shoot-through. L'impiego di un MOSFET al posto di un diodo di ricircolo (catch o free-wheeling diode), oltre a ridurre le perdite per conduzione, consente un flusso bidirezionale della corrente dell'induttore. In presenza di carichi di valore ridotto, il convertitore buck sincrono continua dunque a funzionare in modalità CCM (Continuous Conduction Mode), mentre un convertitore buck tradizionale entra in modalità DCM (Discontinuous Conduction Mode). Un convertitore buck sincrono può dunque garantire un'elevata efficienza per correnti di uscita a valore elevato, ma è tutt'altro che efficiente per bassi valori di potenza di uscita.

Ciò significa che il miglioramento dell'efficienza per carichi di valore ridotto e per correnti di uscita elevate, una priorità per le apparecchiature di rete della prossima generazione, rimane un problema irrisolto.

La necessità di fornire una corrente dinamica di notevole

intensità, con una tensione regolata in maniera molto precisa, permette di evidenziare un'altra limitazione delle topologie esistenti. Nel caso si utilizzi un convertitore buck, transistori di carico di notevole entità danno origine a significative variazioni della tensione di uscita.

Poiché la velocità di variazione della corrente dell'induttore non è pari a quella della corrente di carico, il condensatore di uscita deve fornire la corrente necessaria per alimentare il carico durante i transistori di quest'ultimo. La tensione di uscita, quindi, varierà rispetto al valore nominale stabilito, a causa della scarica del condensatore. Viceversa, un transistoro di carico veloce di tipo "step-down" produrrà una sovraelongazione (overshoot) di tensione, imputabile alla carica del condensatore.

A causa del funzionamento sincrono a frequenza costante, il controllore non può reagire immediatamente per accendere il commutatore di controllo a seguito di una variazione a gradino della corrente di carico. Il controllore deve quindi attendere il successivo impulso di clock prima che il commutatore di controllo sia nuovamente acceso. L'ampiezza di banda finita del compensatore lineare – progettata in modo da essere una frazione della frequenza di commutazione allo scopo di garantire la stabilità del sistema – impedisce alla tensione di controllo di aumentare con una velocità sufficiente. A causa di questi due fattori combinati, l'integrale della scarica del condensatore è maggiore rispetto al caso ideale.

Poiché l'ampiezza di banda del compensatore è progettata in funzione della frequenza di commutazione, una soluzione ovvia per affrontare le problematiche appena sopra delineate è incrementare la frequenza di commutazione del con-

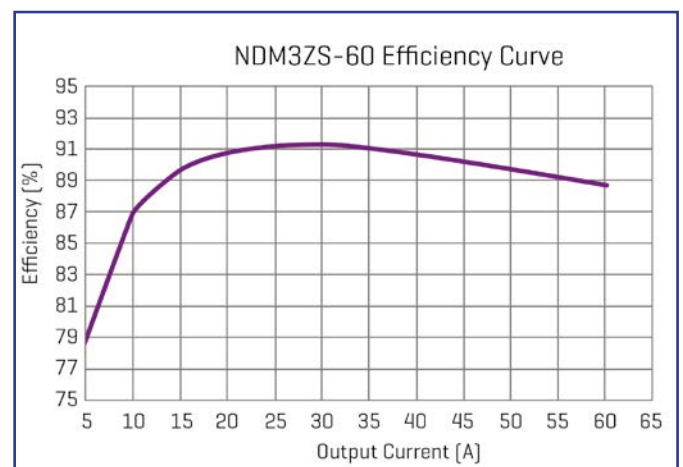


Fig. 3 – Andamento dell'efficienza in funzione della corrente di uscita di un convertitore SEPIC-fed buck da 60A con ingresso a 12V e uscita a 1V

vertitore. Come già affermato, le perdite di un convertitore buck legate alla frequenza (perdite del gate del MOSFET, perdite di commutazione, perdite del nucleo dell'induttore) provocano una significativa diminuzione dell'efficienza del convertitore. Le limitazioni fisiche dei dispositivi a semiconduttore e la loro portata in corrente rivestono un ruolo importante nella definizione dei convertitori PoL. Per realizzare convertitori PoL in grado di fornire correnti più elevate, i progettisti possono adottare due strategie: disporre più MOSFET in parallelo o utilizzare un convertitore a più fasi. In entrambi i casi, dimensioni e costo del componente aumentano in maniera significativa.

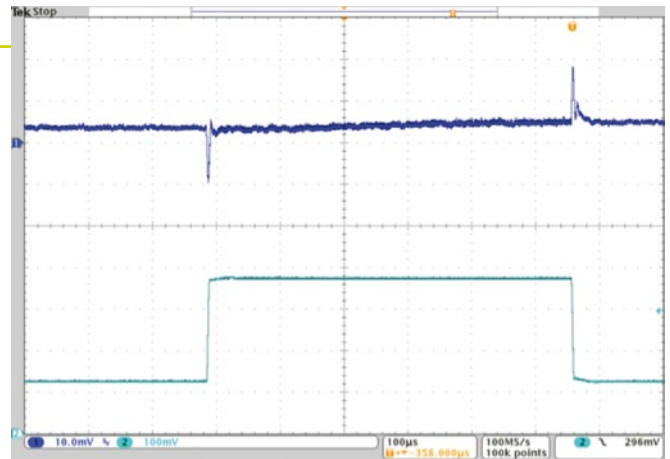
## Topologia SEPIC-Fed Buck

Per affrontare in modo efficace le problematiche esposte, CUI ha sviluppato una nuova topologia di potenza proprietaria denominata Solus; essa abbina un convertitore SEPIC (Single-Ended Primary-Inductor Converter) con un convertitore buck, per dar vita alla topologia SEPIC-fed buck. Questa topologia brevettata permette di superare parecchie limitazioni proprie dei convertitori PoL al momento disponibili, in particolare per quel che riguarda efficienza e risposta ai fenomeni transitori. Lo schema di un convertitore SEPIC-fed buck è riportato in figura 2.

Un aspetto importante di questa topologia è la capacità di ridurre le perdite di potenza. L'aumento di efficienza è ottenuto tramite la riduzione delle perdite di commutazione e di conduzione in parecchi punti critici all'interno del convertitore. Nel momento in cui aumentano le frequenze di commutazione, tali migliorie assumono un'importanza ancora più rilevante. Maggiore è la frequenza di commutazione, più elevate sono la densità di potenza e l'ampiezza di banda del compensatore lineare, con conseguente miglioramento della risposta ai transitori e diminuzione dei costi. Ipotizzando di utilizzare i medesimi dispositivi di commutazione per un convertitore buck tradizionale, un progetto basato sulla topologia Solus permette di ridurre le perdite di commutazione in misura superiore al 90%. In figura 3 è riportato il grafico dell'efficienza in funzione della corrente di uscita relativo a un convertitore PoL non isolato da 60A con tensione di ingresso di 12V e tensione di uscita di 1V. Il grafico evidenzia che il picco dell'efficienza (91,28%) si verifica in corrispondenza di una corrente pari a 30A.

Nella figura 4 è riportata la risposta ai transitori (sempre con tensione di ingresso di 12V e tensione di uscita di 1V) in corrispondenza di una variazione a gradino del carico di 30A (da 15 a 45A) con slew rate di 10 A/ $\mu$ s. La variazione di tensioni picco-picco è pari a 32 mV, i condensatori bulk utilizzati nella scheda sono di tipo PoSCAP (10 da 470  $\mu$ F) e non è richiesto alcun condensatore ceramico.

Un convertitore Solus può dunque operare a frequenze di commutazione più elevate, senza penalizzazioni eccessive



**Fig. 4 – Risposta ai transitori (ingresso di 12V e uscita di 1V) in corrispondenza di una variazione a gradino del carico di 30A con uno slew rate di 10 A/ $\mu$ s. Ch1 (Blu): Vout, 10 mV/div. e Ch2 (Verde): Iout, 10 A/div.**

in termini di efficienza, permettendo di ottenere la densità di potenza stabilita con livelli di efficienza ragionevoli. Poiché questa topologia è caratterizzata da una curva di efficienza molto piatta e può operare in modo molto efficiente su un ampio intervallo di tensione, i progettisti possono ridurre sensibilmente il numero dei condensatori bulk necessari, con conseguenze favorevoli il costo complessivo dell'alimentatore. Poiché la corrente di ingresso di un convertitore SEPIC-fed buck è praticamente continua con una ondulazione (ripple) di lieve entità, il valore della capacità dei convertitori di ingresso può essere ridotta fino al 95%. Anche le interferenze EMI provocate dall'ondulazione della corrente di ingresso risultano inferiori. Ciò è dovuto alla presenza di un induttore nella sezione di ingresso del convertitore, che contribuisce anche a ridurre la possibilità che si verifichi un guasto in presenza di fenomeni di shoot-through. La topologia Solus è basata su un elemento magnetico, un commutatore di controllo e due interruttori di commutazione controllati in maniera ottimale mediante una modulazione Pwm (Pulse-Width Modulation). Il componente magnetico è formato da quattro induttori accoppiati in maniera induttiva, avvolti intorno al medesimo nucleo. Si tratta di una topologia molto semplice, come quella di un convertitore buck tradizionale.

I requisiti dei moderni sistemi, che richiedono correnti di valore sempre maggiore con più tensioni di alimentazioni di valore ridotto, regolazione precisa della tensione in presenza di correnti dinamiche di notevole entità (anche maggiori di 100A) che variano rapidamente, hanno evidenziato i limiti delle attuali topologie di conversione.

Dal canto loro i convertitori PoL ad alte prestazioni devono essere caratterizzati da elevata densità di potenza, alta efficienza, per consentire la realizzazione di sistemi in grado di soddisfare le sempre più severe normative ambientali, rapida risposta ai transitori e bassi valori di interferenza EMI. La topologia SEPIC fed buck, sviluppata da CUI, è la prima a integrare tutte le caratteristiche necessarie per soddisfare questi nuovi requisiti.

# Come aumentare la durata dei condensatori in alluminio

Alcune semplici regole per calcolare gli effetti delle condizioni operative sui condensatori utilizzati negli alimentatori

**Marcin Chelminski**  
**Central applications engineer**  
**Future Electronics – Polonia**

Un condensatore in alluminio è un componente molto comune negli alimentatori, in quanto si tratta del tipo di condensatore più adatto per svolgere funzioni quali immagazzinamento di energia e filtraggio a bassa e alta frequenza. Per espletare tali compiti sono necessari gli alti valori di capacità e di potenza nominale che un condensatore in alluminio è in grado di offrire a un prezzo ragionevole.

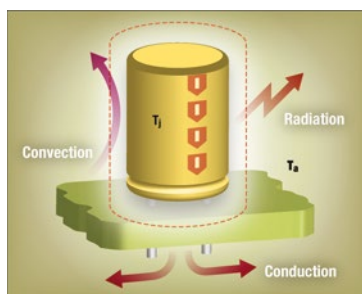
Per contro, i condensatori in alluminio sono spesso i componenti più soggetti a guasti, per cui la vita operativa di un condensatore in alluminio tenderà a determinare quella dell'intero alimentatore. Ciò significa che il progettista deve porre molta attenzione nel calcolo dei parametri di un condensatore in alluminio, al fine di scegliere il componente più adatto ai propri scopi. Nella scelta del condensatore è anche necessario ricercare il miglior compromesso tra costi e prestazioni: insieme ai componenti magnetici, i condensatori in alluminio sono spesso i dispositivi passivi più costosi di un alimentatore. Il compito di un progettista di sistemi di potenza è selezionare un componente che garantisca una vita operativa prevista adeguata, senza per questo sovra-specificare il dispositivo e senza incorrere in spese inutili.

L'affidabilità di un condensatore elettrolitico in alluminio è solitamente definita dalla sua aspettativa di vita durante l'uso pratico. Tra i fattori che influenzano in misura minore la vita di un condensatore elettrolitico in alluminio si possono annoverare umidità, vibrazioni e calore trasferito attraverso i pattern (ovvero i disegni delle piste) della scheda PCB (Printed Circuit Board). Temperatura ambiente, corrente di rip-

ple e tensione applicata sono invece i fattori che influenzano in maniera sensibile la vita utile del condensatore.

I criteri applicativi fondamentali da rispettare nel caso dei condensatori elettrolitici in alluminio prevedono che temperature di funzionamento, ripple current e tensione rimangano sempre al di sotto dei valori massimi consentiti specificati.

Questi criteri base non forniscono sufficienti informazioni tali da consentire al progettista di alimentatori di ottimizzare il prodotto in termini di vita operativa. Per conseguire tale scopo il progettista deve stimare gli effetti sulla vita operativa delle variazioni delle condizioni di funzionamento all'interno dei limiti massimi consentiti. Lo scopo di questo articolo è fornire, attraverso una dimostrazione delle modalità da seguire per valutare l'effetto delle variazioni delle condizioni operative, una guida che permetta ai progettisti di allungare la vita dei condensatori in alluminio, indipendentemente dalla particolare applicazione considerata. Come si vedrà, i condensatori di ultima generazione ideati per l'uso negli alimentatori che sfruttano le più recenti evoluzioni nel campo della progettazione e dei materiali, possono assicurare una durata fino a 15 anni in un'ampia gamma di condizioni operative, evitando il ricorso ai più costosi condensatori ad altissima affidabilità.



**Fig. 1- Le tre modalità secondo le quali il calore fuoriesce da un condensatore di un alimentatore [Fonte: Vishay, Engineering Solutions document 'Aluminum capacitors in power supplies', pagina 9]**

## Modalità di guasto dei condensatori in alluminio

I condensatori in alluminio espletano una pluralità di funzioni, a seconda del loro posizionamento all'interno di un circuito. In qualità di buffer di ingresso di un convertitore AC-DC, un condensatore in alluminio fornisce l'energia quando la tensione di rete in ingresso è troppo bassa, oppure immagazzina energia quando questa tensione è troppo alta. Usato come buffer di uscita, il condensatore esegue operazioni di filtraggio e agisce come assorbitore di corrente (current sink) per un induttore.

Durante il funzionamento questi condensatori possono guastarsi secondo varie modalità, che

vengono riassunte di seguito:

- i guasti di natura catastrofica si verificano quando il condensatore si rompe a causa di un corto circuito o di un circuito aperto;
- la degradazione si verifica quando il condensatore continua a funzionare ma le sue prestazioni sono peggiorate in una certa misura. Per esempio, la capacità del dispositivo potrebbe diminuire nel tempo. La variazione del valore della capacità è accettabile o meno a seconda dei requisiti della particolare applicazione considerata. Se tale variazione non è accettabile, il dispositivo cessa di funzionare.

Un corto circuito tra gli elettrodi può essere provocato da eventi di natura meccanica quali ad esempio urti, vibrazioni o sollecitazioni sui terminali. Esso può anche essere causato da fattori di natura elettrica, come ad esempio l'applicazione di una corrente o di una tensione di tipo impulsivo che superano il valore massimo nominale.

Numerose sono le cause di un circuito aperto. Per esempio se il condensatore è sottoposto a una forza troppo elevata durante il montaggio, il collegamento tra il conduttore e la linguetta potrebbe risultare attorcigliato oppure deformato. Le alte temperature sono anch'esse dannose, sia che si tratti del funzionamento a una temperatura superiore al di sopra del valore massimo nominale, oppure dell'esposizione a un calore eccessivo trasmesso attraverso le piste della scheda che vaporizza l'elettrolita del condensatore. In maniera del tutto analoga, l'esposizione del condensatore a una corrente di ripple eccessiva provoca un aumento della temperatura interna, con conseguente essiccazione dell'elettrolita.

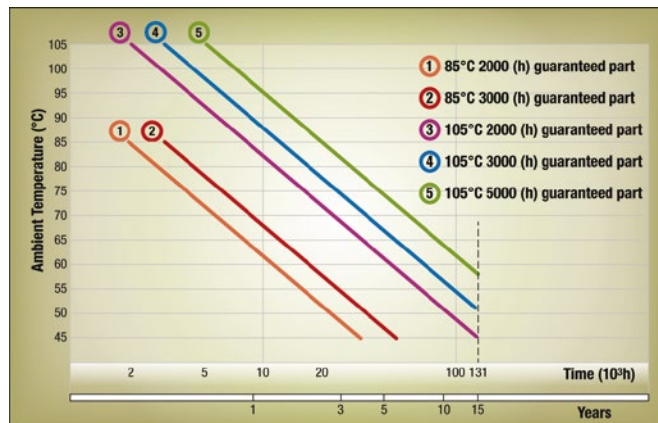
Una riduzione della capacità e un incremento delle perdite di potenza provocate da un alto valore della ESR (Equivalent Series Resistance – resistenza in serie equivalente) si verificano nei seguenti casi:

- una tensione inversa è applicata su base continuativa;
- il condensatore è soggetto a un numero molto elevato di cicli di carica/scarica;
- la corrente applicata supera il valore massimo della corrente di ondulazione nominale.

### Ottimizzazione in base alle condizioni operative

I limiti dei test di vita utile (load life test) standard applicati ai condensatori in alluminio (alla tensione nominale e alla temperatura nominale massima) misurano il tempo che intercorre fino al momento in cui il condensatore sperimenta una riduzione della capacità del 20 o 30% rispetto al suo valore iniziale, un incremento del 200 o del 300% della tangente di perdita (ovvero una misura delle perdite di potenza ascrivibili al dielettrico) o un incremento del 200% della corrente di perdita, a seconda di quale condizione si verifica per prima.

Questi limiti standard forniscono un metodo rapido, anche se abbastanza approssimativo, per confrontare le prestazioni di dispositivi concorrenti. Essi comunque non rispecchiano necessariamente i requisiti di ogni applicazione. Quindi, per ottimizzare



**Fig. 2 – Esempio di calcolo della durata prevista di numerosi condensatori condotto su un ampio intervallo di temperature ambiente**

il compromesso tra durata e costo e individuare il condensatore più adatto per un particolare alimentatore, il progettista deve calcolare l'aspettativa di vita dei condensatori in fase di valutazione nelle condizioni operative previste per l'applicazione considerata. Prima di fare ciò, è utile verificare in che modo sarebbe possibile modificare le condizioni operative dell'alimentatore in modo da minimizzare i rischi per ciascuno dei condensatori elettrolitici presenti sulla scheda. Le caratteristiche elettriche dei condensatori elettrolitici in alluminio sono più sensibili alla temperatura rispetto a quelle di altre tipologie di condensatori. Ciò è dovuto all'elettrolita liquido presente nei condensatori in alluminio le cui proprietà (come conduttività e viscosità) sono fortemente influenzate dalla temperatura.

Al fine di ridurre l'esposizione alle alte temperature del dispositivo, il progettista deve comprendere il flusso dell'energia termica attraverso di esso (Fig. 1). All'interno della linea tratteggiata, tutti i materiali si trovano alla temperatura di giunzione del dispositivo ( $T_j$ ), mentre all'esterno la temperatura è quella ambiente ( $T_a$ ). Il calore generato all'interno della linea tratteggiata è trasportato all'esterno per convezione, radiazione e conduzione.

Se il progettista riuscisse a implementare un mezzo per migliorare la fuoriuscita del flusso di calore dal condensatore, sarebbe possibile aumentare l'aspettativa di vita dello stesso. In base alla teoria di Arrhenius, la vita utile di un condensatore in alluminio raddoppia in corrispondenza di ogni diminuzione di 10 °C della temperatura ambiente. Tale diminuzione influenza direttamente il calcolo della durata fatto dal progettista nei casi in cui il calore prodotto dalle perdite di tipo resistivo (per esempio nei circuiti di temporizzazione) risulti trascurabile. Di seguito è riportata la relazione che lega durata e temperatura ambiente:

$$L = L_0 \cdot 2^{\frac{T_{max} - T_a}{10}}$$

dove

L = vita stimata [ore]

$L_0$  = vita alla temperatura nominale [ore]

$T_{max}$  = temperatura nominale [°C]  
 $T_a$  = temperatura ambiente [°C]

Nella figura 2 è riportato un esempio di calcolo dell'aspettativa di vita che sfrutta la relazione appena sopra delineata.

Questa equazione deve essere opportunamente modificata nel caso dei condensatori in alluminio presenti negli alimentatori, perché in questo caso le perdite di tipo resistivo assumono una notevole importanza. L'effetto della corrente di ondulatione sulle stime della durata può essere calcolato mediante la seguente espressione:

$$L = L_0 \cdot 2^{\frac{T_{max}-T_a}{10}} \cdot 2^{\left(\frac{\Delta T_{j0}}{10-(0.25 \cdot \Delta T_{j0})} - \frac{\Delta T_j}{10-(0.25 \cdot \Delta T_j)}\right)}$$

Dove:

$\Delta T_{j0}$  = aumento di temperatura provocato dalla corrente di ondulatione nominale [°C]. Si tratta della massima differenza di temperatura tra il core e il contenitore esterno del condensatore. Questo valore varierà in funzione del materiale utilizzato per la realizzazione del dispositivo. Poiché non esiste un metodo semplice per calcolare questo valore, i produttori forniscono queste informazioni su richiesta. Ogni serie di condensatori, e talvolta anche contenitori di differenti dimensioni all'interno di una medesima famiglia, sarà caratterizzata da valori differenti di  $\Delta T_{j0}$ .

$\Delta T_j$  = aumento di temperatura imputabile dalla corrente di ondulatione effettiva [°C], espressa come:

$$\Delta T_j = \Delta T_{j0} \cdot \left(\frac{I_{100kHz}}{I_0}\right)^2$$

Dove

$I_{100kHz}$  = Corrente di ondulatione effettiva a 100 kHz

$I_0$  = Corrente di ondulatione nominale a 100 kHz

Si tenga presente che se  $\Delta T_{j0} > 20$  il progettista dovrebbe contattare il rappresentante del costruttore per ulteriori delucidazioni. Una stima della durata calcolata utilizzando l'equazione sopra riportata, prevede un margine di errore; non si tratta infatti di un valore garantito dal produttore. Di conseguenza i produttori di condensatori in alluminio raccomandano ai progettisti di prevedere un ampio margine di sicurezza tra il valore calcolato e la durata in esercizio prevista. Quindi, anche se i calcoli prevedono un'aspettativa di vita superiore a 15 anni, i produttori consigliano di limitare le aspettative della durata in esercizio a 15 anni. Nella tabella 1 è riportato un esempio di calcolo relativo a NRZJ182M35V12.5X35, un dispositivo della serie NRZJ di condensatori in alluminio prodotti da NIC Components. Queste le informazioni fornite

**Tabella 1 - Calcolo della durata per il condensatore NRZJ182M35V12 prodotto da NIC Components**

$I_{100kHz}$ [A]	$\Delta T_j$ [°C]	Aspettativa di vita a 95 °C	
		ore	anni
2.5	2.6	29752	3.4
3	3.7	27120	3.1
3.5	5.1	24121	2.8
4	6.6	20825	2.4
4.12	<b>7.0</b>	<b>20000</b>	<b>2.3</b>
4.5	8.4	17327	2.0

dal datasheet:

$T_{max} = 105$  °C  
 $L_0 = 10000$  hours  
 $I_0 = 4.12A$

Il calcolo è stato utilizzato per stimare la durata operativa del dispositivo alla temperatura ambiente di 95°C. Il valore di  $\Delta T_{j0}$  è specificato dal produttore a 7 °C.

## Condensatori "ad hoc" garantiscono migliori prestazioni

Un confronto della durata di un condensatore elettrolitico in alluminio, come ad esempio uno dei componenti la serie NRZJ, espressamente ideato per applicazioni negli alimentatori, e quella di un condensatore general purpose, evidenzierà una sostanziale differenza quando i due componenti sono utilizzati in un convertitore AC-DC o DC-DC. I condensatori ideati per l'uso negli alimentatori sono realizzati da produttori quali [Nichicon](#), [Vishay](#) e [NIC Components](#) (si faccia riferimento alla Tab. 2). Queste aziende sviluppano condensatori miniaturizzati in grado di operare in un intervallo di temperature esteso e caratterizzati da vita utile molto lunga, capacità di supportare elevate correnti di ripple e bassa impedenza. Alcuni di questi sono conformi allo standard AEC-Q200 per l'uso in applicazioni automobilistiche. Tra i prodotti al momento disponibili si possono ricordare quelli di Nichicon (serie PS, CS, PH, PX, PW e PA), NIC Components (serie NRZJ e NRE-JL) e Vishay (serie 150 RMI e 136 RVT). Un confronto relativo alla durata aiuta il progettista a individuare il dispositivo più adatto per la particolare applicazione considerata. Nel caso non si riesca a reperire un dispositivo che offra la combinazione richiesta tra prezzo e prestazioni, il progettista può prendere in esame le opzioni di raffreddamento, al fine di aumentare la vita di un condensatore più economico con prestazioni inferiori. Il metodo più semplice per raffreddare un condensatore è montarlo nello spazio libero. La circolazione naturale dell'aria attorno al condensatore fornirà un raffreddamento sufficiente nella maggior parte delle applicazioni.

Se ciò non fosse sufficiente, un dissipatore di calore permetterà di incrementare il flusso di calore che fuoriesce dal dispositivo. Il tipo di dissipatore più diffuso è un estruso di alluminio attaccato

all'estremità chiusa del condensatore. Come indicato in precedenza, qualunque sia il condensatore utilizzato in un alimentatore, il progettista può garantire che il dispositivo sia in grado di operare per tutta la durata nominale prevista regolando temperatura, corrente di ondulatione e tensione applicata in modo che i loro valori rimangano all'interno dei limiti specificati dal costruttore.

**Tabella 2 - Confronto tra condensatori in alluminio con capacità di 3.300 µF di differenti produttori qualificati per operate con una tensione di 35V**

	PW (Nichicon)	NRE-JL (NIC Components)	150 RMI (Vishay)
Intervallo di temperatura [°C]	Da -55 a 105	Da -40 a 105	Da -55 a 105
Ripple current (105, 100 kHz) [mArms]	3680	3450	3000
Vita utile a 105 °C [hours]	8000	10000	10000
Impedenza a 20 °C a 100 kHz [Ω]	0.015	0.019	0.019
Impedenza a -10 °C a 100 kHz [Ω]	0.03	0.056	0.044
Dimensione del package [mm]	18 x 35.5	16 x 31.5	18 x 31

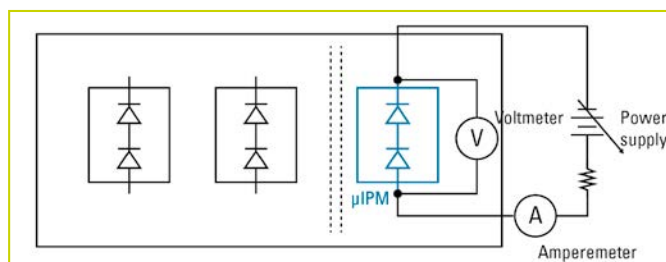
## L'importanza dell'analisi delle prestazioni termiche dei moduli di potenza intelligenti

Un nuovo studio delle prestazioni termiche dei moduli di potenza intelligenti – utilizzati soprattutto per il pilotaggio dei motori a bassa potenza – in varie condizioni operative aiuta i progettisti a stimare temperatura di lavoro, potenze, costi, ingombri e a progettare accuratamente i circuiti stampati per un'affidabilità ottimale

**Stefano Ruzza & Marco Palma**  
**Motion IC Group Europe**  
**[International Rectifier](#)**

Le board di controllo per motori tipicamente impiegati negli elettrodomestici e negli azionamenti industriali di limitata potenza vengono progettati utilizzando un modulo di potenza intelligente, che contiene i circuiti integrati di pilotaggio realizzati in tecnologia ad alta tensione HVIC (High Voltage Integrated Circuit), i power switch (Mosfet o IGBT) configurati a mezzo ponte, ponte a H o ponte trifase. Il modulo si collega direttamente tra il motore e il controllore che esegue gli algoritmi di controllo del motore, rimpiazzando così una trentina o più di componenti discreti a seconda delle configurazioni. Essendo componenti integrati, questi moduli non solo semplificano il progetto, riducono i costi dei componenti e lo spazio necessario sulla scheda, ma incrementano anche l'affidabilità e aiutano a ridurre le interferenze elettromagnetiche (EMI).

Nella maggior parte delle applicazioni si prevede che il modulo lavori senza dissipatore. In tal modo si riduce ulteriormente il numero e il costo dei componenti necessari, semplificando allo stesso tempo l'assemblaggio. Tuttavia, un accurato progetto termico diventa necessario per assicurare che il modulo possa mantenere una temperatura di regime adeguata anche nelle condizioni di massimo carico, in modo da consentire al sistema di rispettare gli obiettivi minimi di affidabilità. I moduli  $\mu$ IPM di International Rectifier sono pensati e realizzati proprio nell'ottica di non prevedere l'utilizzo di un dissipatore e sono ampiamente utilizzati in applicazioni a inverter per sistemi di condizionamento, ventole, pompe, compressori e azionamenti a velocità variabile fino a potenze di 150-250W. Que-



**Fig. 1 – Schema semplificato del circuito per il test di iniezione della corrente**

sti moduli sono incapsulati in package PQFN di dimensioni 12 per 12 mm, 8 per 9 mm, 7 per 8 mm, espressamente progettati per dissipare il calore attraverso le ampie aree di contatto elettrico saldate sul circuito stampato. Le dimensioni e lo spessore delle piste di rame sulla scheda hanno un effetto fondamentale sulla quantità di calore che può essere dissipata nell'ambiente e, conseguentemente, sulla temperatura di regime del modulo. Il sottodimensionamento di queste piste può compromettere l'affidabilità, mentre il sovradimensionamento porta a una soluzione più ingombrante e costosa del necessario.

Grazie all'ideazione di un esperimento che permette di misurare la temperatura di regime di un modulo  $\mu$ IPM a vari livelli di potenza e con vari tipi di circuiti stampati, IR ha ricavato un insieme di curve che riportano la temperatura raggiunta dal modulo in funzione della potenza dissipata all'interno dello stesso; questo dato rappresenta un riferimento accurato e fondamentale per la progettazione dei sistemi di controllo motori. L'impiego di queste curve può aiutare a ottimizzare il progetto termico, la temperatura operativa e la massima potenza dissipabile dal modulo soddisfacendo allo stesso tempo tutti i vincoli di costo, dimensioni e affidabilità di ogni particolare applicazione.

**Tabella 1 – Gli esperimenti sono stati condotti con piste di rame sul circuito stampato di spessore pari a 1 oz (che corrisponde a 35  $\mu$ m) o 2 oz (70  $\mu$ m) e tre diverse aree**

Area della pista sulla scheda	Spessore del rame sulla scheda
60mm x 22mm	1oz -> 35 $\mu$ m
	2oz -> 70 $\mu$ m
40mm x 22mm	1oz -> 35 $\mu$ m
	2oz -> 70 $\mu$ m
15mm x 17mm	1oz -> 35 $\mu$ m
	2oz -> 70 $\mu$ m



## Come ricavare la temperatura del modulo al variare della potenza

### Configurazione sperimentale

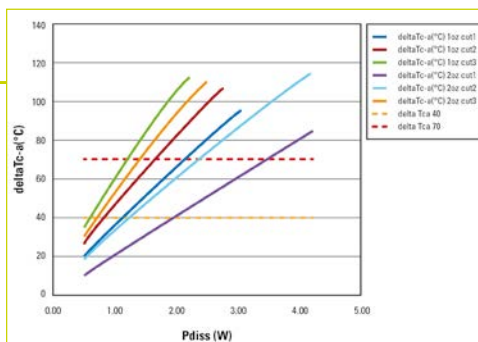
Collegando il modulo in modo da iniettare una corrente nota nei body diodi dei due MOSFET che costituiscono un ramo dell'inverter e, variando il valore della corrente, è possibile esaminare la relazione tra area e spessore delle piste del circuito stampato, temperatura operativa del modulo e la dissipazione di potenza. La caduta di tensione ai capi dei due diodi è equivalente alla caduta di tensione ai capi del modulo. Misurando dunque questa tensione è possibile calcolare la dissipazione di potenza del modulo. Il diagramma circuitale di figura 1 mostra una versione semplificata della configurazione di prova. Uno dei vantaggi di adottare questo approccio è la sua semplicità. Questo esperimento è facile da preparare e da eseguire. Inoltre, effetti indesiderati come capacità e induttanze parassite, picchi di corrente e di tensione e il rumore vengono eliminati. Dato che l'obiettivo dell'esperimento è quello di produrre e misurare variazioni di temperatura in risposta a variazioni della potenza dissipata, il metodo di iniezione di una corrente continua e l'assenza di questi effetti indesiderati non influenza l'accuratezza dei risultati.

Le prestazioni termiche sono state valutate con sei diverse dimensioni e spessori delle piste metalliche sul circuito stampato, come illustrato in tabella 1.

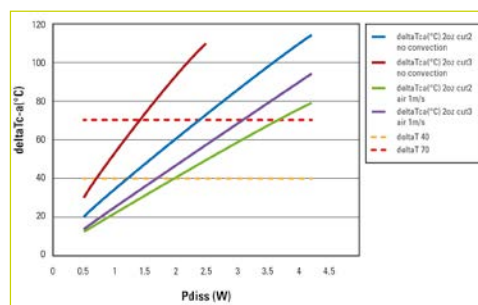
### Risultati

Per ogni geometria analizzata sono state ricavate sperimentalmente le relazioni tra la potenza dissipata e la temperatura di lavoro, variando la corrente iniettata nei diodi di substrato dell'inverter e misurando la corrente di test e la tensione ai capi del modulo insieme alla temperatura del package (case) e alla temperatura ambiente. Il grafico di figura 2 mostra l'andamento della differenza di temperatura misurata tra il case e l'ambiente ( $\Delta T_{c-a}$ ) al variare della potenza dissipata. Dato che il package PQFN è caratterizzato da una resistenza termica tra giunzione e case ( $R_{THj-c}$ ) molto bassa, pari a circa  $2,2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ , possiamo assumere che la temperatura del contenitore sia uguale alla temperatura di giunzione ( $T_c = T_j$ ) a regime.

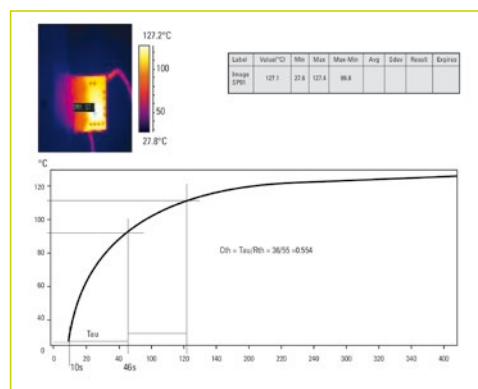
Le due linee orizzontali a  $\Delta T_{c-a} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  mostrano come questo grafico possa essere impiegato per prevedere le dimensioni della metallizzazione richiesta per sostenere una data dissipazione di potenza, mantenendo al contempo una temperatura di regime desiderata. In alternativa, il grafico può essere usato per prevedere la temperatura del case per una certa geometria del circuito stampato.



**Fig. 2 - Differenza di temperatura tra case e ambiente in funzione della potenza dissipata per le geometrie di test delle piste metalliche considerate**



**Fig. 3 - Effetto dovuto alla flusso d'aria in applicazioni di controllo per ventole**



**Fig. 4 - La risposta termica del sistema all'accensione ha una costante di tempo di molti minuti**

Se il modulo è impiegato come parte di un sistema di controllo di una ventola, la rotazione della ventola stessa può produrre un effetto di raffreddamento sulla superficie del modulo. Anche questo effetto deve essere preso in considerazione durante la fase di progetto termico del sistema. Per quantificare le prestazioni in questo tipo di applicazione, la scheda di test è stata posta in un contenitore chiuso con un flusso d'aria forzato compreso tra  $0,8 \text{ m/s}$  e  $1,2 \text{ m/s}$  sulla superficie del modulo. La velocità del flusso d'aria è stata misurata con un anemometro. La figura 3 confronta le prestazioni di due geometrie di metallizzazione delle schede con e senza il flusso d'aria dovuto alla ventola.

### Capacità termica

Spesso è desiderabile essere in grado di predire le prestazioni termiche del sistema durante il periodo tra l'accensione e il raggiungimento della temperatura di regime. Al fine di analizzare le prestazioni di transitorio termico, il sistema può essere modellizzato come la serie di una resistenza termica e di una capacità termica. Si può così calcolare la costante di tempo termica del sistema, in modo da prevedere la temperatura in ogni istante del transistorio. Nel caso della scheda con l'area di metallo minore, è stata applicata una variazione a gradino della corrente iniettata e l'andamento della temperatura è stato registrato contemporaneamente fino a raggiungimento della condizione di regime. Dato che i valori di  $R_{TH}$  sono noti per la temperatura iniziale e finale, misurando la costante di tempo ( $\tau$ ) è possibile ricavare il valore della capacità termica  $C_{th}$ . La figura 4 mostra la costante di tempo termica del sistema completo, dall'applicazione dello gradino di corrente fino a regime.

I moduli di potenza intelligenti, largamente impiegati nel pilotaggio dei motori a bassa potenza, utilizzano package avanzati che combinano un'elevata efficienza termica con dimensioni molto compatte. Essendo tipicamente pensati per l'utilizzo senza dissipatore, per questi moduli la dissipazione termica garantita dalle piste sul circuito stampato è un aspetto fondamentale che influisce sia sulla massima potenza dissipabile sia sull'affidabilità. La modellizzazione delle prestazioni termiche a regime e della capacità termica a partire dai dati sperimentali ricavati da un circuito di pilotaggio di un motore ha permesso di generare un insieme di grafici per varie geometrie di metallizzazione delle schede, che può essere impiegato per prevedere accuratamente il comportamento del sistema, consentendo ai progettisti di offrire al mercato soluzioni ancora più economiche e affidabili.

## IGBT con basse perdite di potenza

**Infineon** ha presentato una nuova classe di IGBT con basse perdite di potenza, ottimizzati per frequenze di commutazione che vanno da 50 Hz a 20 kHz. Tipiche applicazioni sono in sistemi Uninterruptible Power Supply (UPS) nonché negli inverter per sistemi fotovoltaici e saldatura. La nuova famiglia L5

si basa sulla tecnologia Trenchstop 5 a wafer sottili, con perdite ridotte grazie all'ottimizzazione del package. Con un tipico  $V_{ce(sat)}$  di 1.05V @ 25 °C, i dispositivi presentano nuovi livelli di efficienza, fino allo 0,1% di miglioramento in una topologia NPC 1 o fino al 0,3% in una topologia NPC 2 in comparazione con il predecessore IGBT Trenchstop della famiglia L5.

La nuova famiglia L5 IGBT viene rilasciata in un package TO-247 a 3pin e per le applicazioni che richiedono più efficienza; Infineon offre anche la L5 nell'innovativo package TO-247 a 4pin.

## Diodi Schottky SiC

**Cree** ha ampliato il portafoglio di diodi Schottky SiC del settore con l'aggiunta di quattro nuovi dispositivi a 650V. I nuovi diodi garantiscono alta efficienza con maggiore affidabilità, semplicità e basso costo. Tra le principali caratteristiche: funzionamento ad alta frequenza con basso EMI, comportamento di commutazione indipendente dalla temperatura e ridotti requisiti per la dissipazione di calore.

I nuovi diodi 650V 6A C3D06065E, 8A C3D08065E e 10A C3D10065E

Cree Z-Rec sono forniti in package 252-2 TO (DPAK) e sono qualificati AEC-Q101 per l'utilizzo in sistemi di alimentazione di veicoli ibridi ed elettrici. Il quarto diodo, 650V C3D06065I con package TO-220 e isolamento a 2,5kV, facilita il design nei sistemi HVAC, PFC e alimentatori switching.

## Moduli di potenza DC/DC

È siglata PKB5000W la nuova serie di moduli di potenza DC/DC di **Ericsson** in formato eighth-brick (58,4 x 22,9 x 9,91 mm). La gamma di tensioni in ingresso è particolarmente ampia e va da 18 a 75V in continua mentre l'efficienza tipica è del 91,5% (a 12V e pieno carico). Per l'uscita, invece, i valori nominali per la tensione sono di 3,3V, 5V oppure 12V con una corrente massima di 30A e 120W.

Queste caratteristiche li rendono utilizzabili anche per applicazioni nel settore telecom, dove le tensioni sono solitamente di 24V o 48V.

Tra i diversi sistemi di protezione presenti sono compresi quelli contro le sovratensioni in uscita, lo shutdown per le sottotensioni in ingresso, contro i cortocircuiti e l'eccessiva temperatura.



## Regolatore switching

**Linear Technology** ha presentato un regolatore switching sincrono stepdown da 5A con tensione di ingresso di 42V, dotato dell'architettura Silent Switcher. L'efficienza è del 95% a 2 MHz, mentre gli switch interni possono erogare fino a 5A in modalità continua e fino a 7A di picco con tensioni fino a 0,97V.

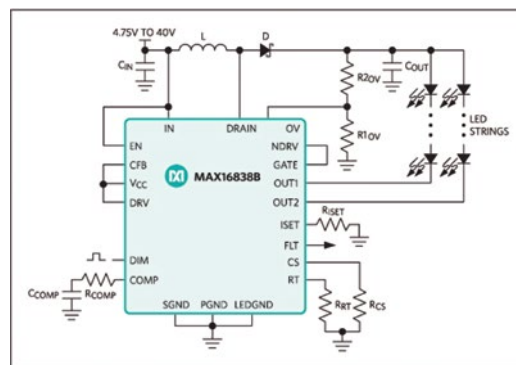
Il funzionamento Burst Mode di LT8640 permette di avere una corrente di riposo sotto i 2,5 µA in condizioni di standby senza carico. Questa caratteristica, insieme alle emissioni particolarmente ridotte, diventa interessante per applicazioni come quelle dei sistemi automotive che restano sempre attivi e che richiedono una maggiore durata della batteria.



## Driver per LED

MAX16838B di **Maxim Integrated** è un driver dual channel per LED che integra sia il regolatore switching boost DC/DC sia due current sinks a 150 mA collegabili anche in parallelo per avere una corrente di 300 mA su un singolo canale.

Questo driver accetta tensioni di ingresso da 4,75V a 40V e permette di alimentare LED HB per display LCD di piccolo e medio formato in applicazioni automotive. La corrente è regolabile da 20 mA a 150 mA usando una resistenza esterna. Il controller DC/DC interno, inoltre, supporta la topologia SEPIC e opera con frequenza regolabile nella gamma compresa tra i 200 kHz e i 2 MHz.



## Fusibili fast-acting

**Rutronik** ha annunciato la disponibilità della serie 487 di fusibili fast-acting a 420 AC e DC di Littlefuse. Il fusibile ad azione rapida con correnti nominali di 16A, in un corpo ceramico compatto di 5x20 mm, assicura il miglior coordinamento tra un alimentatore e un pannello interruttore durante i guasti di cortocircuito e sovracorrente. Le caratteristiche a 420 VAC del fusibile, lo rendono ideale per le applicazioni ad alta energia, quali inverter e alimentatori trifasi. Grazie alle sue caratteristiche di 420 VDC, rappresentano una scelta ottimale per rete elettrica DC ad alta tensione in datacenter, telecomunicazioni, ed edifici commerciali intelligenti.

