

Per la caratterizzazione delle prestazioni termiche dei moduli di potenza a struttura aperta sono necessari metodi innovativi

Prestazioni termiche dei moduli di potenza DC-DC a struttura aperta

Frank Liang, Bruno Montrasio
(Tyco Electronics Power Systems)

Nell'utilizzo dei moduli di alimentazione DC/DC sulle schede elettroniche grande importanza rivestono le prestazioni termiche degli stessi in funzione della temperatura di lavoro, della ventilazione e del carico, poiché il comportamento termico/elettrico del modulo varia col variare delle condizioni ambientali subendo un declassamento (derating) man mano che la temperatura ambiente di lavoro aumenta o la ventilazione forzata diminuisce. La temperatura di lavoro, il flusso d'aria e le conseguenti caratteristiche di declassamento termico del modulo di potenza sono dunque parametri di fondamentale importanza nel progetto della parte di alimentazione elettrica di una scheda o di un intero apparato,

poiché determinano sia la scelta del modulo di alimentazione da utilizzare sia, in parte, l'affidabilità ed il costo dell'apparato stesso.

Sino ad alcuni anni fa esistevano in commercio principalmente moduli di alimentazione incapsulati, in cui il circuito stampato ed i componenti del convertitore erano inglobati in resina e chiusi in un contenitore, prevalentemente metallico. Generalmente i componenti di potenza erano poi messi a diretto contatto con il contenitore metallico per migliorarne la dissipazione.

La temperatura misurata in un preciso punto del contenitore metallico (case), solitamente specificato nel datasheet del prodotto, veniva usata come riferimento per la valutazione

delle prestazioni termiche del modulo in fase di progetto.

Oggi sono disponibili nel mercato anche moduli di potenza a struttura aperta (open-frame) che, grazie alle nuove tecnologie e a nuovi componenti, hanno un'efficienza molto più elevata che permette di evitare l'utilizzo di resine e contenitori metallici per favorire la dissipazione. Così il metodo tradizionale che utilizzava la temperatura di case del modulo per la valutazione delle prestazioni termiche dei moduli incapsulati non è applicabile ai dispositivi a struttura aperta, poiché i componenti non si trovano più a diretto contatto termico tra loro. Date le caratteristiche termiche peculiari che presentano i moduli a struttura aperta, è necessario eseguire una analisi e

Tabella 1 - Esempio dei dati di dissipazione di potenza dei componenti in presenza di carichi diversi

Carico del modulo	20%	40%	60%	80%	100%
$P_{d,comp}$ (Watt)					
Dispositivi:					
FET#1	0.05	0.18	0.42	0.75	1.18
FET#2	0.03	0.12	0.30	0.51	0.80
IC#1	0.01	0.02	0.05	0.10	0.15
...

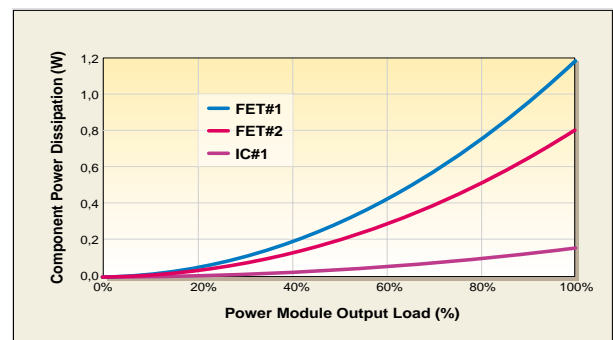


Fig. 1 - Esempio della curva di dissipazione di potenza dei componenti

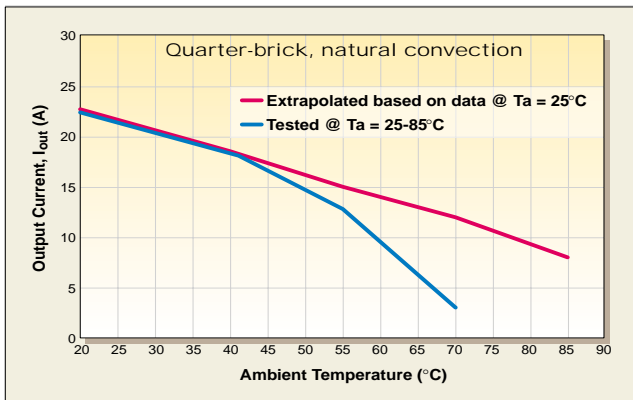


Fig. 2 - Esempio che mostra gli errori dovuti all'estrapolazione lineare da rilevazioni a temperatura ambiente



Fig. 3 - Esempio di un'immagine a raggi infrarossi ottenuta dalle rilevazioni termiche su un modulo di potenza

un processo di declassamento termico (thermal derating) differenti.

Un aspetto fondamentale da tener presente è rappresentato dal fatto che all'interno del convertitore il componente che limita termicamente le prestazioni del modulo varia a seconda delle condizioni di funzionamento. Per esempio, in condizioni di flusso d'aria ridotto e di basso carico il componente che limita termicamente il funzionamento può essere costituito dal nucleo del trasformatore, mentre in presenza di carichi più elevati la limitazione sarà dovuta ai MOSFET di potenza utilizzati nel circuito di raddrizzamento sincrono nello stadio d'uscita dell'alimentatore.

L'analisi della dissipazione di potenza $P_{d,comp}$ e della resistenza termica giunzione-case R_{jc} per ogni componente critico del convertitore assume quindi grande importanza nel processo di valutazione e calcolo del declassa-

mento termico, poiché entrambi i valori determinano la temperatura di giunzione effettiva che limita le prestazioni termiche del modulo.

In molti casi la dissipazione di potenza effettiva di un componente è funzione della corrente di carico del modulo. La massima dissipazione di potenza specificata nei Datasheet non è sempre la dissipazione effettiva e non può essere utilizzata per la caratterizzazione termica. Piuttosto, le dissipazioni termiche a diversi livelli di corrente in uscita vengono calcolate direttamente dal tecnico progettista (Tabella 1) per creare una curva di dissipazione in funzione della corrente in uscita del modulo per ognuno dei componenti principali del convertitore (Fig. 1).

I test caratterizzanti il comportamento termico dei singoli componenti e del modulo devono essere condotti sull'intero range di temperature

ambiente utilizzando una galleria del vento a circuito chiuso con flusso d'aria a riscaldamento uniforme e con temperature che variano da temperatura "ambiente" (25°C) a 90°C e velocità dell'aria da 0,25 a 4m/s. Questo è un fattore determinante per evitare errori di estrapolazione e declassamento (Fig. 2).

Per l'individuazione delle zone e dei componenti soggetti al maggior riscaldamento e per la valutazione dinamica delle caratteristiche termiche di un modulo di potenza in diverse condizioni di funzionamento viene utilizzata una telecamera a raggi infrarossi.

Le immagini a raggi infrarossi - come quella illustrata in Fig. 3 - individuano i componenti critici da analizzare successivamente con l'ausilio di termocoppie (Fig. 3). A seconda del modulo da testare, è necessario sottoporre a rilevazione mediante termocoppia da dieci a venti componenti. Per i nuclei

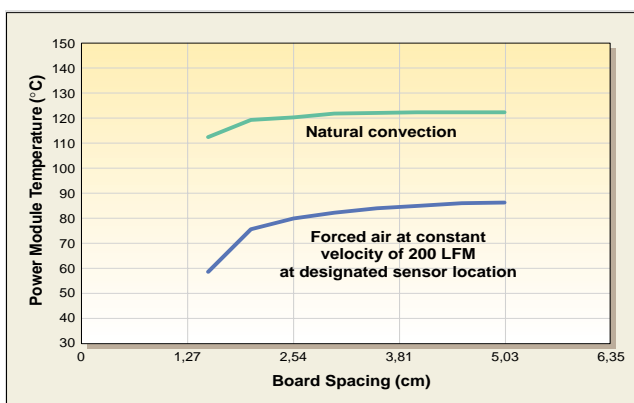


Fig. 4 - Esempio dell'effetto relativo allo spazio tra le diverse schede del sistema

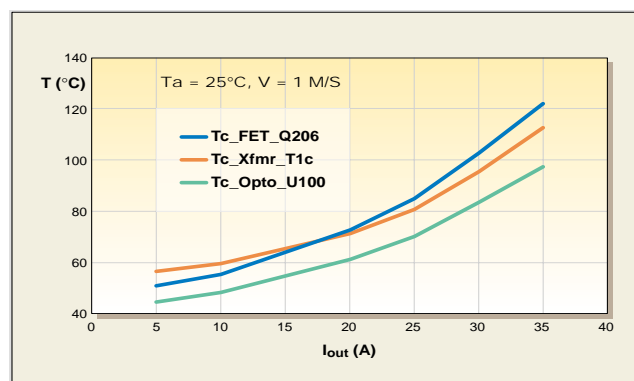


Fig. 5 - Esempio della curva caratteristica non lineare della temperatura del componente in funzione della corrente in uscita

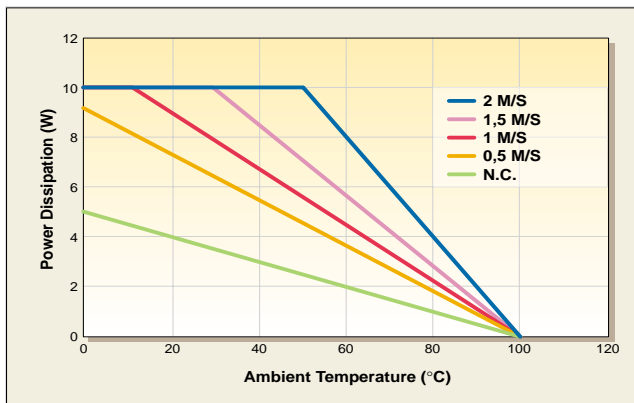


Fig. 6 - Esempio di un grafico di declassamento tradizionale

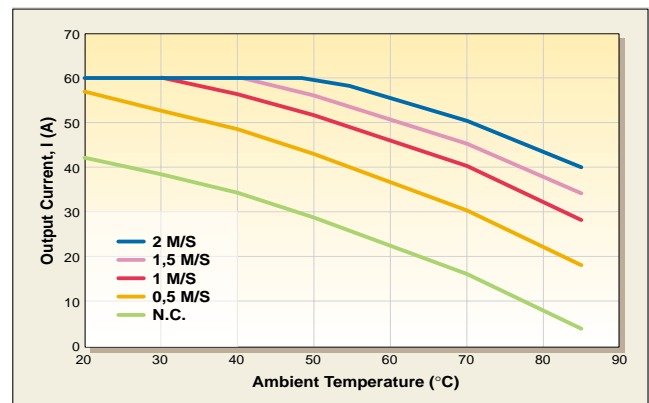


Fig. 7 - Esempio di un grafico di declassamento relativo ad un modulo a struttura aperta

dei trasformatori, per alcuni dispositivi sia attivi che passivi e per il circuito stampato, le termocoppie sono fissate sulla parte più calda del corpo in base alle immagini a raggi infrarossi. Per i dispositivi a semiconduttore incapsulati (diodi, MOSFET, etc.), il punto di fissaggio dipende dalla procedura con la quale il costruttore determina la resistenza termica giunzione-case, R_{jc} , ed è necessario fissare le termocoppie seguendo la stessa modalità.

Altri fattori come l'orientamento del modulo, la posizione del sensore del flusso d'aria e lo spazio (interasse) tra le diverse schede del sistema sottoposte al test, rivestono un ruolo fondamentale nell'ambito delle prestazioni termiche. Da alcuni test effettuati pare che uno spazio più ridotto tra le schede generi un minore surriscaldamento del modulo di potenza sia in condizioni di convezione naturale sia con ventilazione forzata, come illustrato in Fig. 4.

Come già detto, le temperature dei singoli componenti in moduli a struttura aperta variano notevolmente ed anche il componente che limita termicamente le prestazioni del convertitore tende ad essere diverso con il variare dell'orientamento del modulo rispetto al flusso della ventilazione. Il tradizionale test a doppio orientamento (longitudinale e trasversale) adottato per i moduli incapsulati non è più sufficiente per ottenere una rappresentazione esaustiva delle prestazioni termiche del modulo a struttura aper-

ta. È necessario pertanto eseguire il test utilizzando tutti e quattro gli orientamenti nello spazio possibili.

Nei moduli a struttura aperta, a causa della notevole variazione delle temperature dei componenti a seconda delle condizioni di funzionamento, occorre quindi analizzare e raccogliere i dati a diversi livelli di corrente d'uscita a determinate condizioni di temperatura ambiente e di flusso d'aria per ogni singolo componente.

Successivamente, per una valutazione termica più accurata, si procederà all'analisi dei dati di comportamento termico in funzione della corrente in uscita relativi ai componenti più critici del convertitore (Fig. 5).

Declassamento termico

La temperatura di giunzione effettiva di un dispositivo a semiconduttore dipende dal livello di potenza a cui lavora e dall'ambiente di funzionamento.

Pertanto sommare un numero fisso indipendente da tali variabili alla temperatura del case del componente, per ottenere il valore della temperatura di giunzione, rischia di introdurre una notevole imprecisione del risultato finale. Lo scopo principale del nuovo metodo di calcolo del declassamento termico di un modulo di potenza open-frame è ottenere valutazioni accurate delle temperature di giunzione effettive, T_j dei componenti principali in varie condizioni. Il primo passo è determinare la curva non lineare di ogni componente critico con l'ausilio

dei dati rilevati della termocoppia, una curva per ogni differente velocità del flusso d'aria. Ciò fornisce il rapporto tra la dissipazione di potenza del componente $P_{d,comp}$ e la corrente in uscita del modulo I_{out} relativa ad ogni componente critico.

La differenza di temperatura tra la giunzione e il case del componente può essere calcolata e rappresentata come una funzione della dissipazione utilizzando la formula:

$$\rho T_{jc} = P_{d,comp} \times R_{jc}$$

in cui R_{jc} è la resistenza termica giunzione-case. Combinando la curva relativa alla dissipazione di potenza presentata è facile ottenere DT_{jc} in quanto funzione della corrente in uscita.

Tale operazione fornisce il dato della temperatura di giunzione effettiva T_j relativo ad ogni componente critico, in base alla misurazione della temperatura del case T_c .

In seguito è necessario applicare gli esatti limiti di temperatura ad ogni componente critico a partire dal primo che raggiunge la temperatura limite. Ciò determinerà la massima corrente in uscita erogabile dal modulo in quella particolare condizione ambientale di funzionamento.

Per una valutazione termica esaustiva è opportuno ripetere queste fasi per tutte le condizioni di funzionamento che comprendono il flusso d'aria, la temperatura ambiente, l'orientamento del modulo e lo spazio tra le diverse schede del sistema. È importante

comprendere che la differenza tra T_j e T_c non è una costante o una funzione lineare della corrente in uscita. Essa dipende, piuttosto, dal package del componente e dalle condizioni di funzionamento (corrente in uscita e flusso d'aria).

Ad esempio, per un MOSFET in contenitore standard SO-8 tale differenza ($\rho T = T_j - T_c$) può essere trascurabile, pari a 1°C o 2°C, in condizioni di convezione naturale e corrente in uscita estremamente bassa, dove la dissipazione è ridotta, ma può assumere valori considerevoli, da 15°C a 20°C, con convezione forzata e corrente in uscita elevata.

Poiché la temperatura di giunzione T_j riveste un ruolo di grande importanza nella determinazione delle prestazioni e dell'affidabilità del modulo di alimentazione è fondamentale calcolare T_j in base alla dissipazione di potenza effettiva e alla temperatura del case del componente T_c . In nessun caso è possibile ipotizzare un ρT_{jc} trascurabile (pari a 1°C o 2°C) per tutte le condizioni di funzionamento.

Presentazione dei dati


Solitamente, i grafici relativi al declassamento termico del modulo di potenza venivano illustrati come rapporto tra dissipazione di potenza e temperatura ambiente (Fig. 6).

Tuttavia, per coloro che utilizzano i moduli di potenza, la corrente in uscita o la potenza in uscita rappresentano concetti più familiari rispetto alla dissipazione, pertanto l'attuale tendenza è quella di usare la corrente in uscita nel grafico di declassamento dei moduli a tensione d'uscita singola (Fig. 7) e la potenza in uscita in quello dei moduli a tensione d'uscita multipla.

La linea delle curve rappresenta un'ulteriore differenza. Con il metodo di declassamento tradizionale, i test venivano condotti a temperatura ambiente (25°C) e i dati venivano estrapolati in modo lineare a temperature ambiente più elevate. Le curve di declassamento erano in realtà linee diritte e convergenti tutte a 100°C o 105°C, valori che rappresentano il limite di declassamento, cioè la mas-

sima temperatura di case del modulo oltre la quale il corretto funzionamento dello stesso non viene più garantito.

Con il nuovo metodo di declassamento, i test vengono eseguiti sull'intero range delle temperature ambiente e non si rende necessaria l'estrapolazione dei dati in quanto le prestazioni termiche vengono considerate in base alle reali temperature di giunzione dei singoli componenti.

Questo consente ai progettisti di sistema di disporre di dati più attinenti alla realtà e quindi di poter far lavorare i moduli di alimentazione alla massima efficienza senza dover utilizzare nel progetto margini eccessivi di salvaguardia a protezione da sovra temperature o correre il rischio di surriscaldamento. Ciò a vantaggio delle prestazioni complessive e dei costi del sistema. 

Tyco Electronics
readerservice.it n.25