

Ottimizzare la dissipazione termica nei convertitori Dc/Dc

Un'attenta scelta dei dispositivi e un buon progetto termico possono aiutare i tecnici a ottimizzare le prestazioni dei convertitori Dc/Dc miniaturizzati utilizzati nelle applicazioni portatili ottenendo il desiderato aumento della densità di potenza, ma salvaguardando al contempo l'affidabilità.

I consumatori desiderano prodotti estremamente piccoli e dotati di tante funzionalità, come i cellulari, i riproduttori multimediali e i navigatori Gps, obbligando i progettisti a utilizzare componenti sempre più piccoli in ogni nuova generazione di schede. La legge di Moore ha permesso ai costruttori di componenti di ridurre sostanzialmente le dimensioni dei chip aumentando contemporaneamente le prestazioni e il livello di integrazione. Generazioni successive di circuiti integrati analogici hanno anch'esse migliorato o eguagliato le prestazioni dei loro predecessori pur occupando uno spazio inferiore sulla scheda. Altrettanto, i costruttori di componenti di potenza stanno perseguendo l'obiettivo della miniaturizzazione, per offrire una maggiore capacità di gestione dell'energia occupando uno spazio inferiore, il che aiuta a ottenere una densità di potenza la più elevata possibile. Raggiungere l'obiettivo, però, impone ai progettisti di sistema una ferrea disciplina per superare le sfide poste dalla gestione del calore. L'energia persa durante le operazioni di conversione di potenza si trasforma in calore, per cui, la riduzione delle dimensioni dei componenti rispetto alla quantità di calore generato può portare a un aumento della temperatura di funzionamento, semplicemente

perché un die più piccolo ha meno possibilità di scambiare calore con l'esterno. Gli effetti indesiderati di un aumento delle temperature operative includono una scarsa affidabilità, un comportamento meno predicibile del componente e, nei casi peggiori, il rischio di una sua distruzione. In generale, a temperature di giunzione più elevate corrispondono tassi di guasto più alti. L'utilizzo di componenti di potenza estremamente miniaturizzati nelle moderne applicazioni portatili richiede grande attenzione sia a livello di singolo

componente, sia di scheda elettronica nel suo complesso, per minimizzare la quantità di calore generato all'interno del dispositivo e per garantirne la sua efficiente dissipazione.

PACKAGE INNOVATIVI

Per minimizzare la generazione di calore, i progettisti devono porre grande attenzione al rendimento della conversione di potenza. Per esempio, i convertitori a commutazione sono da preferire rispetto ai convertitori lineari per applicazioni di tipo generico,

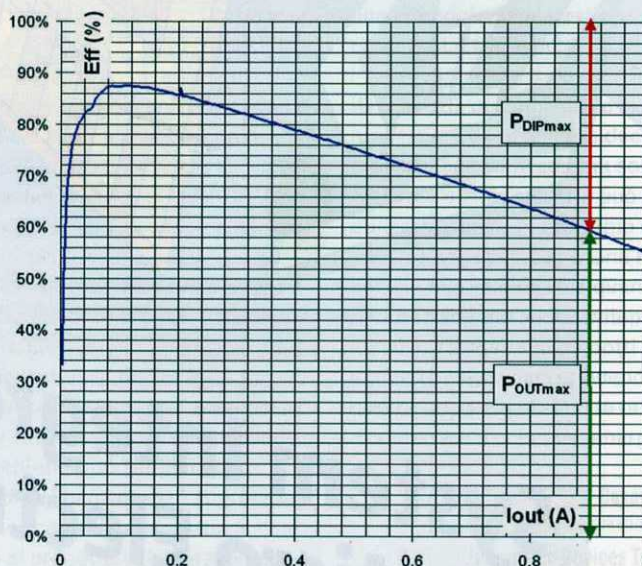


Fig. 1 - Rendimento del dispositivo NCP1529 (con $V_{in} = 2,7\text{ V}$, $V_{out} = 1,2\text{ V}$, $Temp = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$)

come i regolatori di tensione nel punto di carico. In questi casi, con i migliori dispositivi in commercio si possono raggiungere rendimenti di picco dell'ordine del 95%-97%. Per facilitare un'efficiente dissipazione del calore, sono stati recentemente proposti diversi package innovativi di piccole dimensioni. Si tratta di package ottimizzati per minimizzare la resistenza termica tra il die e l'involucro, dando la possibilità di rimuovere efficacemente il calore dal dispositivo stesso. Tra i più recenti package orientati alle applicazioni portatili, vi sono i tipi miniaturizzati senza piedini come μ Dfn o μ Csp, che incorporano una base metallica posta nella loro superficie inferiore. La base metallica viene saldata su una corrispondente piazzola sulla scheda per far condurre il calore direttamente dalla scheda stessa. Le dimensioni dei package possono essere di 2 x 2 mm o inferiori e i dispositivi in essi racchiusi possono erogare continuamente intensità massime di corrente dell'ordine di 1,5 A. Per garantire il funzionamento affidabile e la massima longevità anche con le correnti di uscita più elevate, i progettisti quando scelgono questi dispositivi debbono applicare i principi di una corretta progettazione termica, tenendo conto delle linee guida del costruttore, riguardanti aspetti come la disposizione dei componenti e delle piste sul circuito stampato.

CALCOLO DELLA DISSIPAZIONE DI POTENZA

La potenza dissipata da un convertitore a commutazione può essere espressa con l'eq. 1:

$$P_{DIP} = V_{OUT} \times I_{OUT} \left(\frac{1}{Eff} - 1 \right) \quad (\text{Eq. 1})$$

Supponendo che il regolatore generi una tensione di uscita fissa, la dissipazione di potenza è massima quando la corrente di uscita assume il valore massimo e il rendimento sia al suo valore peggiore; il che accade in condizioni di temperatura ambiente elevate e tensione di ingresso minima. Analizzando il progetto di un convertitore Dc/Dc si può calcolare la dissipazione di potenza necessaria nel caso peggiore e comprendere

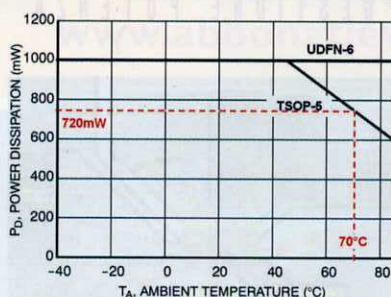


Fig. 2 - Caratteristiche di variazione della dissipazione della potenza del circuito integrato

dispositivo funziona con un rendimento del 60%. Sostituendo tali valori nell'eq. 1, si ottiene la seguente espressione valida per calcolare la dissipazione di potenza nel caso peggiore:

$$P_{DIPmax} = V_{OUT} \times I_{OUT} \left(\frac{1}{Eff} - 1 \right) = 1.2 \times 0.9 \times \left(\frac{1}{60\%} - 1 \right) = 720mW$$

come essa sia legata alla resistenza termica del package e alla massima temperatura ambiente ammissibile. Si consideri, per esempio, un convertitore Dc/Dc come il modello **NCP1529 di ON Semiconductor**. Disponibile in un package μ DFN6 da 2 x 2 x 0,5 mm con caratteristiche termiche migliorate, o in un package Tsop-5 da 3 x 1,5 x 1 mm, si tratta di un dispositivo progettato per essere utilizzato in prodotti alimentati a batteria. La gamma di tensione di ingresso tra 2,7 e 5,5V permette di alimentarlo con un batteria a cella singola di ioni di litio oppure da una batteria a tre celle alcalina/NiCd/NiMH. La tensione di uscita è regolabile tra 0,9 e 3,9V e la corrente massima erogabile è di 1,0 A. Inoltre, il circuito integrato ha al suo interno un circuito di spegnimento termico che protegge il dispositivo da danni catastrofici qualora la temperatura di giunzione superasse i limiti massimi consentiti. Se la temperatura raggiunge i 180 °C, il dispositivo di spegne, disattivando tutti i transistor di potenza e i circuiti di controllo. Il dispositivo si riavvierà poi in modalità dolce quando la temperatura ridiscende sotto i 140 °C. Naturalmente, un progetto applicativo ottimo dovrebbe minimizzare le probabilità di occorrenza della condizione di spegnimento, e uno dei primi passi nelle relative analisi è quello di comprendere chiaramente i meccanismi che regolano il rendimento energetico. Consideriamo un dispositivo di questo genere che alimenta un circuito integrato con una tensione interna di 1,2V che assorbe una corrente massima fino a 900 mA. La Fig. 1 mostra il rendimento del dispositivo NCP1529 in funzione della corrente di uscita con temperature ambiente di 85 °C, tensione di ingresso di 2,7V e tensione di uscita di 1,2V. Con una corrente di uscita di 0,9 A il

Questo numero è importante per aiutarci a ottimizzare le prestazioni termiche dell'applicazione.

CORRELAZIONE TRA POTENZA E TEMPERATURA

La resistenza termica ($R_{\theta JA}$) è il termine usato per descrivere la capacità del package di trasferire calore dalla giunzione di silicio all'ambiente circostante. Più bassa è la resistenza termica, meglio si comporta il dispositivo nel trasferire grandi quantità di calore. Il valore della resistenza termica $R_{\theta JA}$ è espresso in termini di °C/W, e quindi guida i progettisti nel correlare la potenza elettrica (dissipata) in watt alla temperatura in gradi centigradi. Le schede tecniche dei più recenti dispositivi di potenza tendono a sottolineare valori di $R_{\theta JA}$ molto bassi, ma i progettisti di sistemi devono porre grande attenzione alla disposizione dei componenti sulla scheda a al progetto termico del circuito stampato se vogliono ottenere le prestazioni che si aspettano. La scheda tecnica del dispositivo NCP1529 indica il valore di $R_{\theta JA}$ per il solo dispositivo (220 °C/W in contenitore μ Dfn-6) e quando viene usato con la disposizione dei componenti sulla scheda suggerita (40 °C/W). Il numero mostra chiaramente che la progettazione del circuito stampato ha un'influenza notevole sulla resistenza termica. Infatti, seguendo le raccomandazioni del costruttore, la resistenza termica $R_{\theta JA}$ reale può essere ridotta di un fattore cinque. Conoscendo i valori di $R_{\theta JA}$ e $P_{DIP(max)}$ è possibile calcolare la temperatura ambiente massima ammessa durante il funzionamento con la seguente espressione:

$$T_{Amax} = T_{Jmax} - (R_{\theta JA} \times P_{DIPmax})$$

Dove T_{Jmax} è la massima temperatura di giunzione ammessa (150 °C per il dispositivo NCP1529). Ricordando che il dispositivo NCP1529 è disponibile nei package Tsop-5 e μ Dfn-6, si può rapidamente valutare come le due alternative influenzano gli scenari applicativi in questo contesto.

La Tab. 1 sintetizza la dissipazione di potenza, la resistenza termica del contenitore e la massima temperatura ambiente di funzionamento per ciascun caso e mostra come la scelta del package sia fondamentale per garantire che il convertitore possa

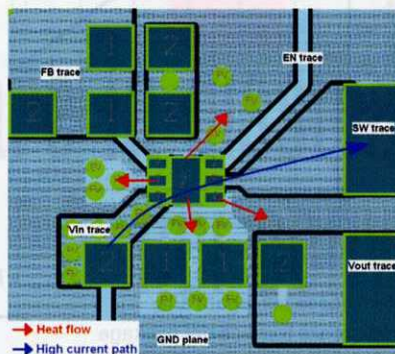


Fig. 3 - Disposizione dei componenti sulla scheda raccomandata per il dispositivo NCP1529 UDFN-6

Contenitore	Tsop-5	μ Dfn-6
P_{DIPmax}	720 mW	720 mW
$R_{\theta JA}$	110°C/W	40°C/W
T_{Amax}	70,8°C	121,2°C

Tab. 1 - Conversione tra i domini elettrico e termico

funzionare bene fino alla temperatura ambiente prevista. Un altro modo per valutare gli effetti delle caratteristiche termiche del package è di osservare le curve caratteristiche di variazione delle prestazioni (derating).

Le curve pubblicate per il dispositivo NCP1529 sono mostrate nella Fig. 2, dove si osservano le massime temperature ambiente di soglia in funzione della dissipazione di potenza per i contenitori μ Dfn-6 e Tsop-5. Al di sotto dei 70°C, sia il package Tsop-5 che μ Dfn-6 sono in grado di dissipare 720 mW, e quindi possono soddisfare le condizioni nel caso peggiore previsto per questa applicazione.

Comunque, le migliori capacità di dissipazione della potenza offerte dal package μ Dfn-6 permettono di sopportare temperature ambiente massime superiori rispetto a un equivalente progetto di convertitore basato sulla variante Tsop-5. Il vantaggio in termini di prestazioni offerto dal package μ Dfn-6 può essere spiegato dalla sua struttura migliorata dal punto di vista termico, grazie alla presenza di una base metallica che riduce notevolmente la resistenza termica tra il die e il circuito stampato sul quale viene montato il componente.

LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE TERMICA

In ogni calcolo, il valore di T_A considera la migliore resistenza termica ottenibile, ossia quella raggiunta utilizzando la disposizione di piste e componenti sulla scheda come suggerito dal costruttore. Come citato in precedenza, la disposizione dei componenti sulla scheda influenza profondamente le prestazioni termiche del dispositivo e, di conseguenza, dell'intero sistema. I progettisti che usano un circuito integrato di conversione Dc/Dc dovrebbero consultare la documentazione del componente prescelto per essere sicuri di ottenere le prestazioni attese una volta che il progetto diventa un sistema hardware reale. Le prestazioni termiche possono essere ottimizzate usando soluzioni come fori di collegamento dedicati alla dissipazione termica, piste più larghe per le tracce più importanti, collegamenti termici verso il piano di massa o di alimentazione o utilizzare materiali ad elevate prestazioni termiche per il circuito stampato, come substrati di metallo isolati. Le linee guida per la disposizione dei componenti riferiti al modello NCP1529 raccomandano l'allargamento delle tracce dell'alimentazione d'ingresso V_{IN} e

l'aggiunta di diversi fori di collegamento per creare più connessioni termiche verso il piano di potenza. Inoltre, viene suggerito di collegare il piedino di massa del regolatore allo strato superiore del circuito stampato. Lo strato superiore, lo strato inferiore e tutti i piani di massa dovrebbero essere interconnessi con dei fori liberi per aumentare le dimensioni effettive del dissipatore, e questi dovrebbero essere posti il più vicino possibile, o idealmente al di sotto, della base metallica quando si utilizza il contenitore μ Dfn-6. La base metallica del package μ Dfn-6 deve essere saldata direttamente al dissipatore principale del circuito stampato. Il progettista dovrà anche tenere in conto degli effetti della disposizione dei componenti sulle prestazioni elettriche del convertitore. Una disposizione ottima per gli effetti termici dovrà complementare altre caratteristiche come la presenza di tracce ampie per sopportare elevate intensità di corrente e piani di potenza e di massa separati, che aiutano a massimizzare l'immunità al rumore e a garantire la stabilità del regolatore. La Fig. 3 mostra la disposizione dei componenti raccomandata quando si utilizza il dispositivo NCP1529 in package μ Dfn-6. La freccia rossa indica il flusso di energia termica dal contenitore verso l'ambiente. Per realizzare convertitori Dc/Dc ad alte prestazioni che soddisfano limitazioni di spazio imposte nei moderni prodotti portatili, i progettisti devono porre grande attenzione alle condizioni di funzionamento, alla potenza, alle prestazioni dei componenti e alla progettazione termica. I package a basso profilo di ultima generazione con caratteristiche termiche migliorate permettono di dissipare maggiormente la potenza rispetto ai classici contenitori. Il loro utilizzo, unito alle migliori prassi di progettazione termica a livello di circuito stampato, danno la possibilità di realizzare convertitori per sistemi portatili ad alta densità di corrente di dimensioni compatte.

Bertrand Renaud
Application Engineer
ON Semiconductor
www.onsemi.com