

優化可攜式產品設計中大輸出電流 DC-DC 轉換的熱耗散

作者: Bertrand Renaud/ 安森美半導體低壓電源管理應用工程師

精心選擇元件和良好的熱設計，能幫助工程師優化應用於行動設備的超小型 DC-DC 轉換器設計，達至功率密度增加，同時還保障可靠性。

電源元件的小型化

最終用戶需要提供豐富功能的超小型裝置，如手機、可攜式媒體播放器(PMP)或全球衛星定位系統(GPS)裝置等，促使設計人員在啓動每個新的電路板設計時，使用更小的元件。就數字積體電路(IC)而言，貫徹摩爾定律使元件製造商能夠顯著減小晶片尺寸，同時還提高性能和整合度。類比 IC 的新一代產品也提供與它們前一代產品相當或更高的性能，而 PCB 佔位面積更小。電源半導體製造商也致力於小型化，以更小的佔位面積提供更大的功率處理能力，進一步幫助提供盡可能高的功率密度。

然而，達到此目標為系統設計人員帶來了更嚴格的熱管理挑戰。電源轉換期間損耗的能量即為熱量，而減小元件的尺寸(與產生的熱量有關)會導致工作溫度升高。原因很簡單，裸片越小，發散熱量的能力就越低。可能帶來的不利後果包括低可靠性、不可預測的元件功能表現，極端情況下導致元件損毀。一般來說，結溫度越高，導致失效率越高。

在現代可攜設備中成功使用超小型電源元件，要求同時在元件級和電路板級將元件內的發熱量降至最低，並確保有效散熱。

封裝創新

為了將產生的熱量減到最低，元件設計人員首要是注重高電源轉換能效。例如，對於負載點(PoL)穩壓器等通用應用而言，開關轉換器就應比線性轉換器好。最好的開關轉換器可以提供 95% 到 97% 的峰值效能。

要有效地散熱，近年來湧現了多種小外形因數的創新電源封裝。此類封裝經過了優化，將裸片和外殼之間的熱電阻降至最低，使熱量能夠高效地從元件中移除。

用於可攜應用的最新封裝中，諸如 μ DFN 或 μ CSP 的超小型無鉛型封裝在底部整合了裸露金屬焊盤。焊盤向下焊接，將熱直接傳導到 PCB 上。封裝尺寸可以是 2 mm x 2 mm 或更小，此類封裝的元件能提供最高至 1.5 A 的連續電流。

在設計中採用此類元件時，為了確保以盡可能最大的輸出電流可靠地工作並將使用壽命延至最長，工程師需要運用正確的熱設計準則，在電路板佈線等方面考慮製造商的建議。

計算功率耗散

可以用下面的方程式 1 去計算開關轉換器的功率耗散：

$$P_{DP} = V_{OUT} \times I_{OUT} \left(\frac{1}{Eff} - 1 \right) \quad (\text{方程式 1})$$

假定穩壓器產生固定輸出電壓，輸出電流最大和能效最低時功耗最大；這在環境溫度高和輸出

A 類比與電源技術 Analog & Power

電壓最低時會出現。

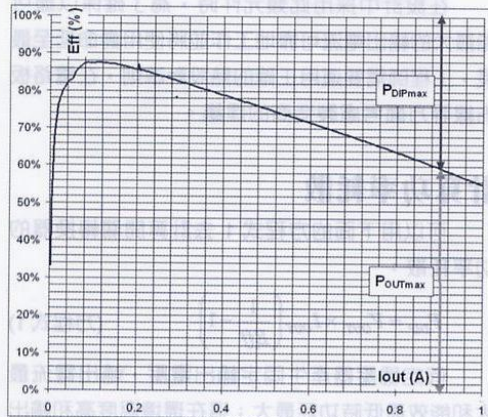
分析 DC-DC 轉換器的設計可以看到如何計算最壞情況下需要的功耗，並知道功耗與封裝熱電阻和允許的最高環境工作溫度之間的相關性。

以安森美半導體的 NCP1529 DC-DC 轉換器為例，此元件採用增強熱性能的 2 mm x 2 mm x 0.5 mm μ DFN6 封裝或 3 mm x 1.5 mm x 1 mm TSOP5 封裝，特為電池供電裝置而設。NCP1529 的輸入電壓範圍為 2.7V 至 5.5V，可為採用單個鋰離子電池或三個城 / 鎳鎘 / 鎳氫電池供電，輸出電壓可在 0.9V 至 3.9V 之間調節，最大輸出電流為 1.0A。此外，此 IC 具有內部熱關閉電路，防止在結溫超過最高值時元件受到災難性損壞。如果溫度達到 180°C，此元件會關閉，所有功率電晶體和控制電路也都關閉。在溫度降低到低於 140°C 時，此元件會以軟啟動模式重新啟動。

誠然，最佳的應用設計應當減低發生關閉情況的潛在機率，要確保如此的首要步驟之一是清晰理解工作能效。

我們可以考慮這樣的一款元件：提供 1.2 V IC 核心電壓，消耗最大 900 mA 的電流。圖 1 顯示的是 NCP1529 在 85°C 環境溫度、輸入電壓 2.7 V、輸出電壓 1.2 V 時的不同輸出電流的能效。輸出電流為 0.9 A 時，此元件的工作能效為 60%。

圖 1：Vin=2.7 V、Vout=1.2 V、溫度為 85°C 時的 NCP1529 能效



將此些值代入方程式 1，得到下述功耗最壞情況的表達式：

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

此數字對於幫助優化應用的熱性能很重要。

功率與溫度的相關性

熱電阻 ($R_{\theta JA}$) 此術語用於描述封裝將熱量從結點傳遞到外界環境中的能力。熱電阻越低，元件就能夠越好地傳遞大量熱量。 $R_{\theta JA}$ 的表達單位為 °C/W，因此為工程師提供了一個工具，可得到瓦 (W) 計算的電氣功率 (耗散) 與以攝氏度 (°C) 為單位的溫度相互關係。

最新電源元件的數據表往往宣稱它們的 $R_{\theta JA}$ 值極低，但系統設計人員如果期望在最終產品中達到預期的性能，必須密切注意電路板佈線和 PCB 的熱設計。NCP1529 的數據表顯示了此元件單獨的 $R_{\theta JA}$ (μ DFN-6 封裝，220°C/W)，以及它用於建議的電路板佈線時的 $R_{\theta JA}$ (40°C/W)。這些數字顯示 PCB 設計對熱電阻有顯著影響。事實上，遵從製造商的建議能夠將實際 $R_{\theta JA}$ 降低 5 倍。

知道了 $R_{\theta JA}$ 和 $P_{DIP(max)}$ ，就可以使用下面的方程式計算出應用能夠承受的最大環境溫度：

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

T_{Jmax} 是能夠承受的最大結溫 (當 NCP1529 在 150°C)。

要注意的是 NCP1529 同時提供 TSOP-5 和 μ DFN-6 封裝，我們可以快速地確定每種封裝選擇對工作性能的影響。表 1 歸納了各種封裝的功率耗散、封裝熱電阻和計算出的最大環境溫度。

此表顯示，如果轉換器要在預計最高的環境溫度下令人滿意

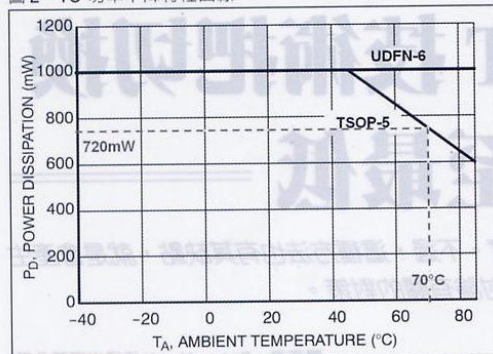
地工作，封裝選擇是考慮重點之一。

表 1：電氣域與熱域之間的數據轉換

封裝	TSOP-5	UDFN-6
P_{DIPmax}	720 mW	720 mW
$R_{\theta JA}$	110°C/W	40°C/W
T_{Amax}	70.8°C	121.2°C

另一種評估

圖 2：IC 功率下降特性曲線



封装热特性对应用性能影响的方法是审视功率下降曲线。图 2 显示了 NCP1529 公开发布的曲线，详述 μ DFN-6 和 TSOP-5 封装最高环境温度阈值与功耗之间的关系。

环境温度低于 70°C 时，TSOP-5 和 μ DFN-6 封装都可以耗散 720 mW 功率，因此能满足此应用的最坏情况要求。然而， μ DFN-6 封装的功耗能力更强，与采用 TSOP-5 封装的同等转换器设计相比，能够承受更高的最大温度。

μ DFN-6 封装的性能优势能够归结于其增强的热结构，裸露的金属焊盘显著降低了裸片到应用 PCB 的热电阻。

热设计指引

在每次计算中， T_A 值都假定是尽可能最佳的熱电阻，亦即使用建议的电路板布线时提供的熱电阻。如前所述，电路板布线元件熱性能以及相应的应用有极大影响。使用任何 DC-DC 转换器的设计人员应当查询所选元件的文件，确保设计应用在硬體上能提供预期的性能。

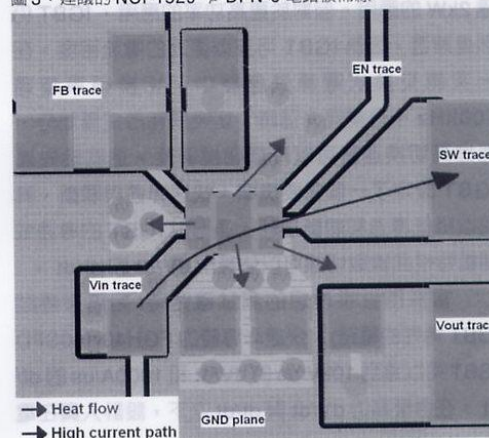
熱性能可以以下特性来优化，如散熱通孔 (via)、將關鍵走線 (trace) 寬度拓至最寬、使用對接地層或電源層 (power plane) 的熱連接，或是指定熱性能增强的 PCB 材料，如絕緣金屬基板。NCP1529 的熱佈線指引建議將 V_{IN} 走線加寬，並增加幾個通孔以加多對電源層的熱連接。此外，建議

將此穩壓器的接地接腳連接至 PCB 頂層。頂層、底層及所有接地層應當使用空餘 (free) 通孔來連接，從而增加散熱器的有效尺寸，而且此些通孔應當佈設得越近越好，或者在使用 μ DFN-6 封装時最好位於裸露焊盤底下。 μ DFN-6 裸露焊盤必須恰當焊接至 PCB 主散熱器。

當然，設計人員也必須牢記电路板布线對轉換器電氣性能的影響。优化的熱佈線應當與幫助盡量提升將穩壓的噪聲免疫性和環路穩定性的功能相輔相成，如為大電流通道設置寬走線，以及單獨的電源層和接地層等。

圖 3 顯示了使用 μ DFN-6 封装的 NCP1529 時建議的焊盤佈線，顧及到電氣和熱設計。紅色箭頭表示熱能由封装流向外界環境。

圖 3：建議的 NCP1529 μ DFN-6 电路板佈線



結論

設計人員要在當今可攜產品精密的空間限制下應用高性能 DC-DC 轉換器，必須密切注意工作情況、功耗、元件性能和熱設計等。與老牌的功率封装相比，具有增強熱功能的最新小型封装技術能提供更佳的热耗散。可攜系統設計人員使用這些最新小型封装，再結合板級的最佳熱設計，就能夠得到緊湊可靠的大電流設計。CTA