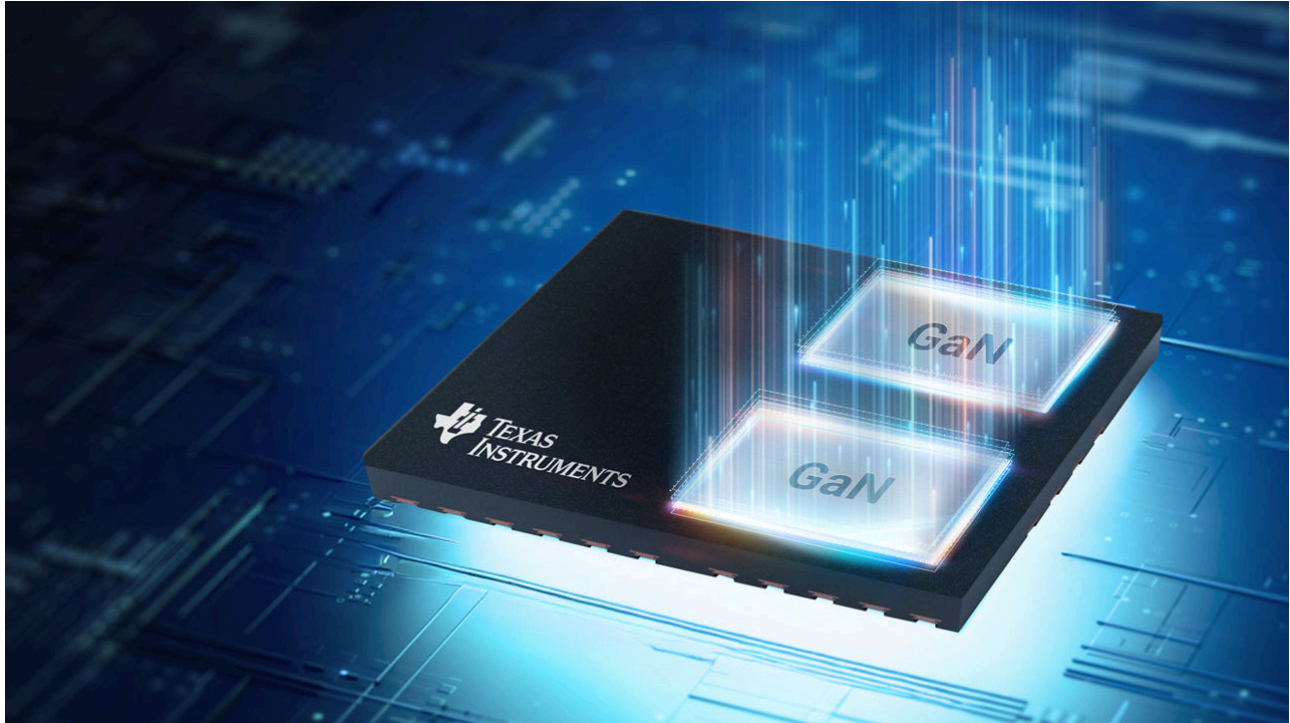


Technical Article

整合式 GaN 轉換器重新定義 高電流電源供應設計的四種方法



- GaN 整合可減少開關損耗、實現創新電路技術、元件整合及提升熱性能。
- 中電壓 GaN 整合式降壓與升壓轉換器可實現比矽替代方案小 50% 的體積，且無需犧牲效率。



追求更高功率密度的趨勢，持續影響高電流電源供應器的每個重大設計決策。數據中心和運算基礎架構的成長速度正逐漸制約傳統電源架構。從機器人到測試與量測設備，工程師正面臨相同的基本挑戰：在更少空間內提供更多功率，同時不犧牲效率。

多年來，矽基切換轉換器和離散式功率 FET 設計，擴展了中電壓、高電流應用中的可能性。但隨著切換頻率增加與體積縮小，矽 FET 的基本限制（更高的導通電阻、反向復原損耗與更多寄生電荷）也會成為設計目標的重大障礙。電力電子產業已投入超過 15 年投資、開發和驗證氮化鎵 (GaN) 技術，作為高電流電源供應設計的實證替代方案。

基本上，GaN 電源 FET 可提供比矽同類裝置更好的電氣特性，並提供深度整合。將功率 FET、閘極驅動器、控制器和被動元件整合在單一精巧封裝中，以矽方法無法匹配的方式達到最高的效率和功率密度。TI 中電壓 GaN 多晶片模組 (MCM) 積體電路 (IC) 中，[LMG708B0](#) 80V 降壓轉換器與 [LMG5126](#) 42V 升壓轉換器的元件封裝尺寸比矽解決方案小 50%，且無需犧牲效率，即可滿足高電流應用的設計需求，通常電流 $\geq 20A$ 。

若要滿足高電流 DC/DC 轉換器設計的需求，必須了解可實施四項 GaN 重要進展的權衡點與技術：

1. 減少切換功率損耗
2. 採用創新電路技術
3. 支援元件整合
4. 提升封裝熱性能

我們簡單檢視 GaN 支援的每項進展。

1. 減少切換功率損耗可實現更高的頻率和更小的被動元件

與矽功率裝置相比，增強模式 GaN 功率 FET 的寬能隙 (WBG) 特性和側面結構，可提供更低的汲極至源極導通電阻 $R_{DS(on)}$ ，以及更低的寄生電荷（開極電荷 $[Q_G]$ 、開極汲極電荷 $[Q_{GD}]$ 和輸出電荷 $[Q_{OSS}]$ ）。因此， $R_{DS(on)} \times Q_G$ 與 $R_{DS(on)} \times Q_{OSS}$ 品質因數也會大幅增加。

GaN FET 也可消除本體二極體和相關反向回復電荷 $[Q_{RR}]$ ，移除頻率比例反向回復損耗，同時減少切換節點電壓振鈴及相關電磁干擾 (EMI)。預測時序 GaN 特定開極驅動器可產生約 4ns 的失效時間，進一步將切換通訊期間的功耗降到最低。

除了較低的導通損失外，GaN 式轉換器提升的切換能力和減少的寄生也等於降低總功耗，讓您提升切換頻率、縮減磁性與電容被動元件，並減少或消除散熱。如此可縮小整體系統體積，同時兼顧效率。圖 1 確認高電流 DC/DC 降壓與升壓轉換器設計的效率性能。

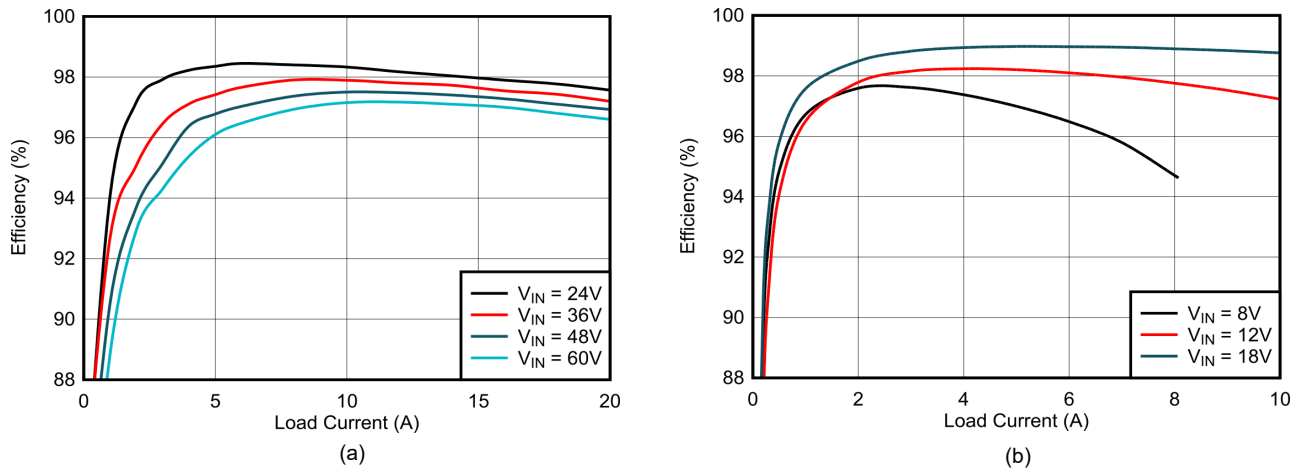


圖 1. GaN 降壓轉換器效率， $V_{OUT} = 12V$ (a)；GaN 升壓轉換器效率， $V_{OUT} = 24V$ (b)

2. 採用創新電路技術來實現可擴展性並提升輕負載效率

多相可堆疊拓撲提供將電流調整至更高的能力，並可實現切相以獲得更高輕負載效率，進而提升高電流應用的設計靈活性。為此，LMG708B0 GaN 降壓轉換器具有智慧型多相時脈同步功能，可透過相位間的菊鍊連線傳達頻率與相位資訊。產生交錯可減少輸入漣波電流與 EMI 濾波器大小。

圖 2 展示在 30mm x 25mm 單面佈局上的 $48V_{IN}$ 至 $5V_{OUT}$ 、40A、500kHz 雙相設計，與傳統矽基設計相比，將實作尺寸減半。

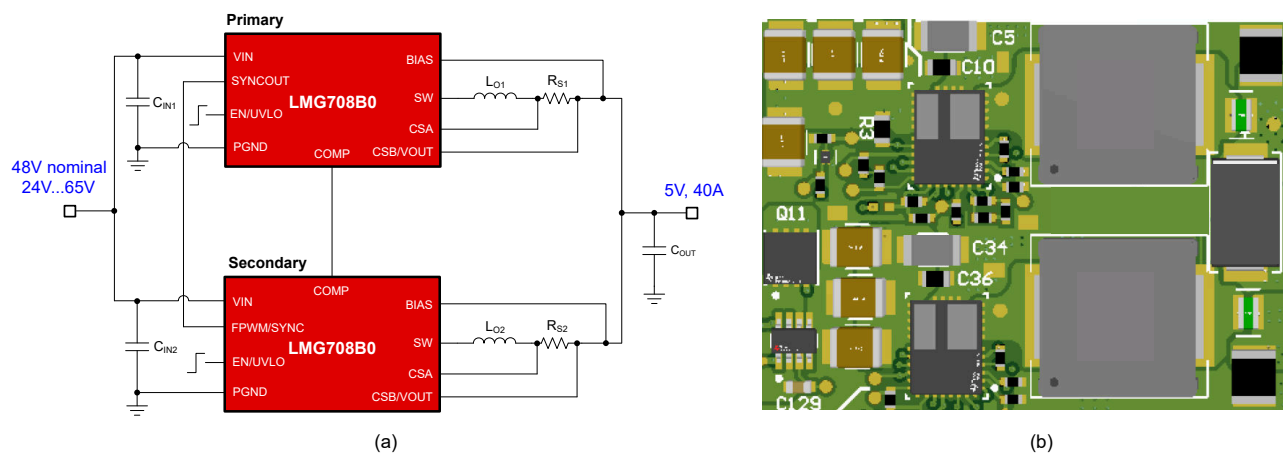


圖 2. 簡化二相降壓轉換器電路圖 (a)，高密度佈局 (b)

3. 支援整合主動元件與被動元件

傳統中電壓 (12V 至 80V) 高電流 (> 20A) 降壓和升壓穩壓器通常需要四個或更多離散式電源元件，包括高低壓側 FET、開極驅動器、靴帶式電路和控制器。如圖 3 中所示，TI 的 MCM 整合方法使用包含四個晶片 (兩個 GaN FET、一個控制器和一個引導溝槽電容器) 的倒裝晶片可繞線型引線架 (FCRLF) 封裝技術，將設計整合為 4.5mm x 6mm x 0.8mm 的 22 針腳封裝。FCRLF 封裝架構可將 FET 電源端子與底層 PCB 焊盤之間的寄生電感降到最低，直接提升切換性能。

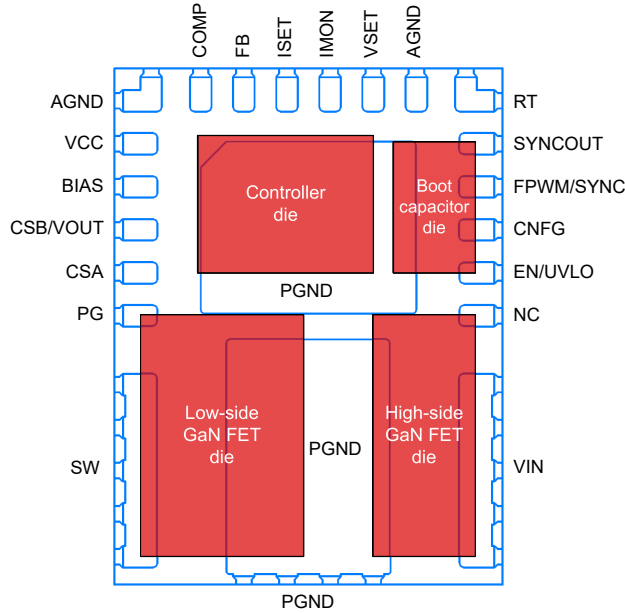


圖 3. 元件整合可提升功率密度

整合也縮減電力和開極迴路切換區域，產生較低的 EMI 特性。所產生的電感寄生減少可提供更乾淨的切換波形且無振鈴，這對於 GaN 切換性能不可或缺的高電壓轉換速率電壓和電流至關重要。這些整合優勢讓您能夠針對效率與尺寸相關的性能指標，將設計最佳化。

4. 提升封裝熱性能

LMG708B0 和 LMG5126 GaN 轉換器的 FCRLF 封裝技術支援具雙熱流路徑的熱增強型封裝。兩個 GaN FET 晶粒的背面暴露在封裝頂部，形成頂端和底端熱焊盤，透過安裝在裝置上方的散熱器支援選用的雙面冷卻 (請參閱圖 4)) 。

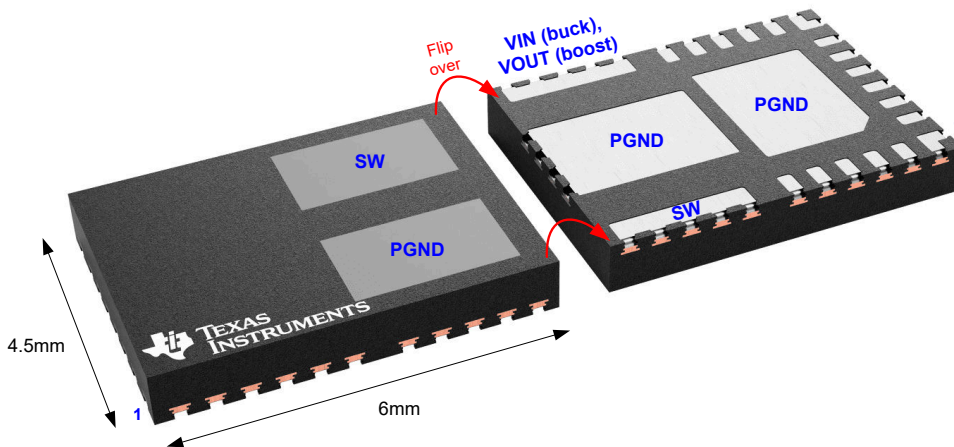


圖 4. 熱增強型封裝頂部視圖和底部視圖

如果不使用散熱器，大多數熱量會流經底側熱墊 (PGND) 和熔斷的導熱片 (VIN 或 VOUT、SW)，進入多層電路板和周圍環境。在採用散熱器配置時，熱會從 IC 傳送到電路板，同時透過暴露的頂側熱墊 (SW、PGND)，並朝封裝外殼的相反方向流動，傳遞至外接的散熱器，以進行頂端冷卻。

如圖 5 中所示，這建立平行接點至環境熱電阻路徑，從而降低有效熱電阻，進而降低給定 IC 功耗的操作溫度，或針對定義的外殼溫度設定點提供更高的電流能力。

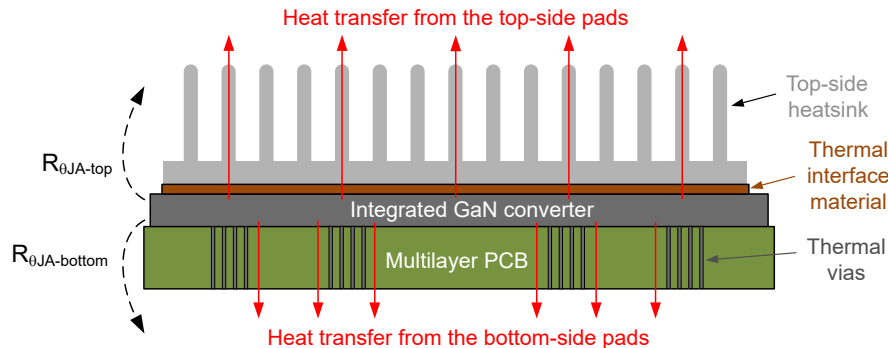


圖 5. 適用於較低熱阻抗的雙熱流路徑圖示

結論

透過減少切換損耗、採用創新電路技術、提升元件整合並提升封裝熱性能，整合式 GaN 轉換器可協助您克服矽基設計無法解決的功率密度障礙。整合式 GaN 轉換器可在 12V 至 80V 的 DC/DC 轉換環境中以更高的頻率及更高功率密度運作，體積比矽基替代方案小 50%，可提供卓越效率。

其他資源

- 使用 [20A 單相](#) 和 [40A 雙相](#) 配置的 LMG708B0 降壓轉換器評估模組 (EVM) 以及 LMG5126 [15A 升壓轉換器 EVM](#) 評估 GaN 性能。
- 探索 48V_{IN}、960W、具有整合式 GaN [參考設計](#) 的四相降壓轉換器，以及 3V 至 42V 同步 GaN 升壓轉換器 [參考設計](#)。
- 下載 [LMG708B0](#) 和 [LMG5126](#) 轉換器的快速入門計算機工具。

作者簡介

Timothy Hegarty 是德州儀器切換穩壓器事業部的資深技術人員。憑藉超過 25 年的電源管理工程經驗，他撰寫了許多會議論文、文章、研討會、白皮書和應用說明。他目前重點放在具備廣泛輸入電壓範圍的高密度、低 EMI 切換穩壓器技術，適用於汽車、工業和資料中心應用。

註冊商標

所有商標均為其各自所有者的財產。

重要聲明與免責聲明

TI 以「現狀」及所含一切錯誤提供技術與可靠數據 (包含產品規格書)、設計資源 (包含參考設計)、應用或其他設計建議、網頁工具、安全資訊和其他資源，且不承擔所有明示或默示保證，包括但不限於適銷性或用於特定用途之適用性的任何默示保證，或不侵害第三方智慧財產的任何默示保證。

所述資源可供專業開發人員應用 TI 產品進行設計使用。您應自行負責 (1) 選擇適合您應用的 TI 產品，(2) 設計、驗證與測試您的應用，與 (3) 確保應用符合適用標準，以及任何其他安全、安保、法規或其他要求。

這些資源得進行修改且無需通知。TI 對您使用所述資源的授權僅限於開發資源所涉及 TI 產品的相關應用。除此之外不得複製或展示所述資源，也不提供其它 TI 或任何第三方的智慧財產權授權許可。如因使用所述資源而產生任何索賠、賠償、成本、損失及債務等，TI 對此概不負責，並且您須賠償由此對 TI 及其代表造成的損害。

TI 的產品均受 [TI 的銷售條款](#)、[TI 的通用品質指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他適用條款，或連同這類 TI 產品提供之適用條款所約束。TI 提供此等資源並不會擴大或以其他方式改變 TI 對於 TI 產品的適用保證或保證免責聲明。除非 TI 明確將某產品指定為自訂或客戶指定型號，否則 TI 產品均為標準、類比、通用裝置。

TI 反對並拒絕您可能提出的任何附加或不同條款。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

上次更新 10/2025

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you fully indemnify TI and its representatives against any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#), [TI's General Quality Guidelines](#), or other applicable terms available either on [ti.com](#) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products. Unless TI explicitly designates a product as custom or customer-specified, TI products are standard, catalog, general purpose devices.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may propose.

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025