# 應對下一代光學模組的電力傳輸需求

**Thomas Hoffman**
Marketing engineer, switching regulators

## 簡介

更高的資料速率並不意味著更大的電路板空間，尤其是在高速可插拔光學模組的領域。網路正從 400Gbps 和 800Gbps 向 1.6Tbps 及更高速率發展，而諸如四路小型雙密度模組和八路小型可插拔模組等標準化的外形尺寸仍然受到嚴格限制。隨著處理能力和電流需求的增長，電源管理元件必須在相同的固定尺寸內實現有效散熱。

光學模組的核心是數位訊號處理器 (DSP)，它以數兆位元組的速度將電訊號轉換為光訊號，反之亦然。現代 DSP 的核心電壓低於 1V，卻需要消耗大量電流，而且隨著每一代新款光學模組的推出，這些需求都在不斷增加，這使得在不增加損耗、發熱或電磁雜訊的情況下，在更小的空間內提供更高的電流正變得越來越困難。

其中一種方法——將磁性元件直接整合到電源封裝中——可以同時因應多項設計挑戰。採用整合磁性元件封裝技術的電源模組使用金屬模塑化合物作為封裝結構的一部分。因此，功率級已不再是事後才需考慮的因素：它已成為整個系統架構的一部分。

## 系統架構和電源需求

光學模組整合了多種功能，包括 DSP、時脈與資料恢復電路、變速箱、雷射驅動器、光二極體、跨阻抗放大器、電源管理與控制電子器件。其中，DSP 核心電源通常是要求最嚴苛的電源軌，其核心電壓範圍為 0.4V 至 1.0V，電流可達數十安培。這些負載由高電流（>10A，紅色圓圈）和低電流（2A/4A/6A，藍色圓圈）電源模組來滿足（**圖 1**）。

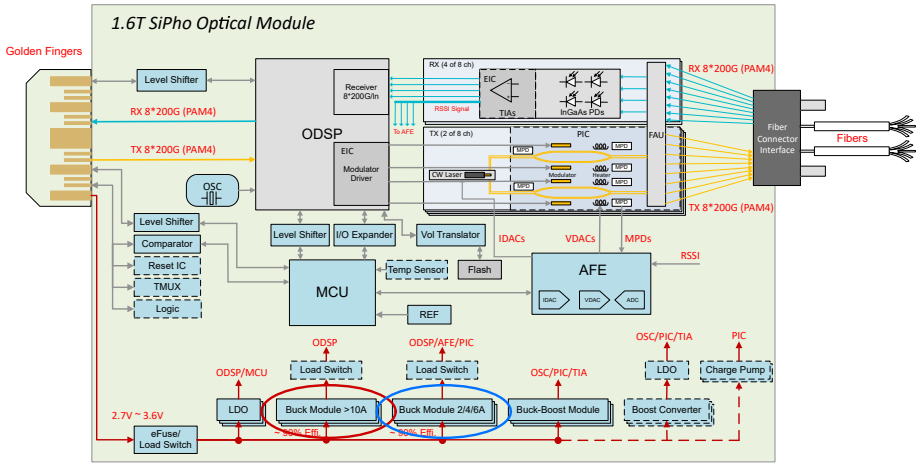



***圖 1.*** *1.6Tbps 光學模組系統原理圖*

在這些級別上，幾分之一瓦特的功率在較大的系統中可能可以忽略不計，但在緊湊的光學模組內部卻並非如此，因為這類模組通常僅有有限的氣流，並且會有多個發熱組件緊密地排列在一起。

降低功耗的方法之一是根據運作條件調整 DSP 供應電壓。有些系統使用在特性分析期間選定的固定電壓，而有些系統則支援動態電壓調整 (DVS)。當訊號品質不佳或溫度過高時，DSP 可能會以較高的電壓運作；而當條件允許時，其則會以較低的電壓運作。影響可能非常顯著：將 15A 核心電源軌從 0.9V 降低到 0.5V 可使負載功率降低 6W，在模組的總功率預算只有幾十瓦特的情況下，這將是一個相當大的降幅。

DVS 也意味著穩壓器可能需要的不只是簡單的電壓轉換。例如，$I^2C$ 介面允許系統控制器在運作期間調整輸出電壓或運作模式。然而，僅依靠控制靈活性並不能解決將功率級安裝在可用空間內的設計難題。

## 為什麼需要關注電感器

在傳統的降壓型 DC/DC 轉換器中，穩壓器積體電路 (IC) 和功率電感器是獨立的元件。電感器通常是功率級中最大的元件之一。它會佔用電路板空間並增加高度，因此需要小心放置。此外，切換節點和電感器之間的連接也承載著快速、大電流的波形。在較大的印刷電路板 (PCB) 上，管理由此產生的損耗和電磁干擾 (EMI) 發射並不困難，但在光學模組內部，這卻是一個很大的挑戰。

在光學模組內部，每一平方公釐都至關重要。多條供應軌可能已經在與高速訊號佈線及敏感的類比電路爭奪空間。將電感器整合到電源模組中可以減少外部元件的數量，但物理實作才是最重要的。傳統的整合式模組可能會將電感器放置在矽的旁邊或上方，這可能在尺寸、封裝高度或散熱方面帶來妥協。

將磁性元件直接整合到封裝中可以提高這種整合度。採用 TI 的 MagPack™ 技術的電源模組使用金屬模具材料作為半導體晶片和切換電路周圍封裝結構的一部分。對系統設計師而言，將切換節點整合在封裝內部可省去選擇和佈線外部電感器的需要，從而簡化了整個電源模組的設計。

6A **TPSM82866C** 模組的尺寸為 2.3mm x 3mm x 1mm，可提供高達 6A 的連續輸出電流。這套完整解決方案僅需佔用 6.9$mm^2$ 的 PCB 空間，每 1$mm^2$ 可實現近 1A 的電流——與前幾代產品相比，解決方案尺寸縮小了 50%。

為了滿足光學模組日益增長的功率和散熱需求，TI 的下一代 50A 電源模組顯著提高了電流能力。雖然 30A **TPSM8287B30** 的電流密度達到 450mA/$mm^2$，可滿足各種需求，但 **TPSM8287C50** 在類似的尺寸下可提供 50A 的電流 (590mA/$mm^2$)（**图 2**）。這使得設計師能夠在不顯著擴大功率級尺寸的情況下，將總電流輸送量提高 30%，從而滿足 1.6Tbps 及更高規格的電流密度要求。

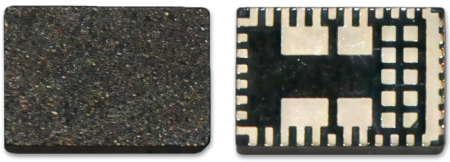


***图 2.*** *TI 的 TPSM8287C50 電源模組尺寸僅為 4.5mm x 6.7mm x 2.85mm，可提供高達 50A 的連續輸出電流*

## 小尺寸僅在可散熱的情況下有用

將更多電流集中到較小的區域會提高熱密度。只有當效率和散熱性能能夠跟上尺寸縮小的步伐時，緊湊型轉換器才能發揮作用。將磁性元件與矽一起最佳化整合封裝，有助於減少 DC 與 AC 損耗，而且封裝本身還可以幫助將熱量從晶粒中散發出去。

這兩個優點對於光學模組來說都非常重要。DSP、雷射和類比電路本身就會增加熱負荷，而固定的外形尺寸限制了散熱選擇。如果功率級運轉溫度過高，你的選擇相當有限：降低性能、改善機械散熱路徑，或接受在高溫下運作裕度降低。

單憑額定電流並不能判斷轉換器是否能在光學模組中良好運作。設計師還需要考慮實際工作點的效率、溫升和安全操作區 (SOA)。問題不在於轉換器能否供應電流，而是它能否在模組的實際熱環境下供應電流。**图 3** 顯示了 TI 30A TPSM8287B30 電源模組在 5.0V 輸入電壓下的 SOA 曲線。

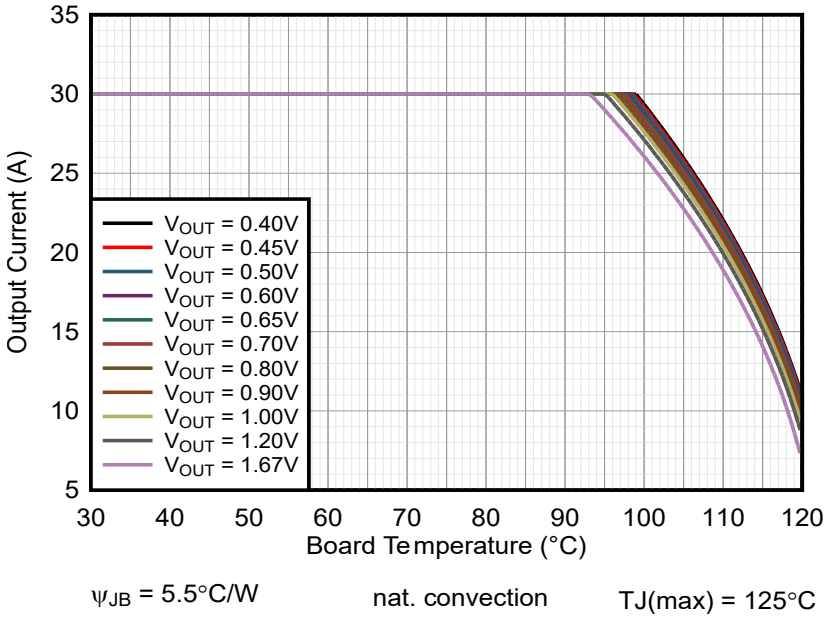



***图 3.*** *TPSM8287B30 功率模組在 $V_{IN}$ = 5.0V 時的 SOA 曲線*

## 同時考慮 EMI

這種高密度不僅會造成散熱問題，還會帶來潛在的 EMI 問題。光學模組將高電流切換式電源供應器放置在靠近敏感的發射和接收電路的位置。在離散式降壓轉換器中，切換節點與外部電感器之間的路徑是雜訊的主要來源；在高電流和切換頻率下，即使是很小的迴路面積也會產生顯著的不必要輻射發射。雖然增加屏蔽、濾波或將電源供應器遠離敏感電路可以緩解這種情況，但每種方法都會佔用額外的電路板空間或增加元件數量。

整合式磁性封裝透過將晶粒、電感器和切換節點封裝在單一屏蔽式封裝內來解決這些 EMI 挑戰，從而大幅減少內部切換迴路面積。**图 4** 證明，在 30MHz 至 1GHz 的範圍內，採用 MagPack 技術之 6A 電源模組的輻射發射水平遠低於 CISPR（國際無線電干擾特別委員會）32 A 類和 B 類 (3m) 標準的限制。

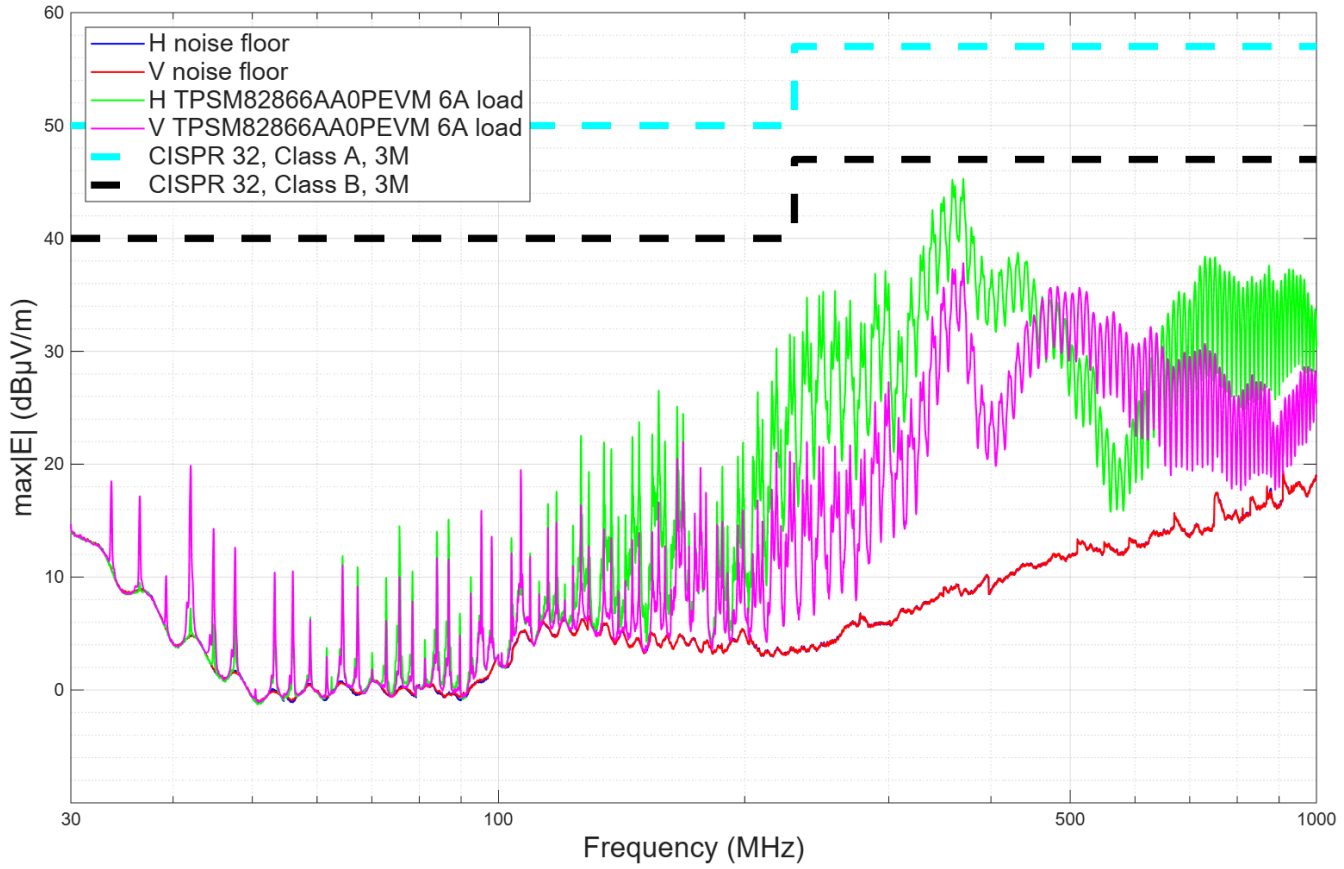



***圖 4.*** *採用 MagPack 技術之 6A 電源模組在 30MHz 至 1GHz 頻率範圍內的輻射 EMI 性能測試結果，表明該產品符合 CISPR32 A 類和 B 類限制*

降低發射水平固然有用，但這些輻射發射所帶來的佈局靈活性可能也同樣重要。如果穩壓器可以更靠近 DSP，則電源和負載之間的高電流路徑就會縮短，從而降低電阻壓降和寄生阻抗。當核心電壓低於 1V 時，這兩個因素對於維持穩壓準確度而言就會變得越來越重要。EMI 會影響佈局，佈局會影響電源完整性，而這兩者都會影響模組其餘部分剩餘的電路板面積——這告訴我們不能孤立地看待設計約束。

## 結論

隨著光學模組向更高資料速率發展，電力傳輸與模組的機械、散熱和電氣設計之間的關聯性也在日益增強。整合磁性封裝（例如 MagPack 技術）有助於因應這些挑戰，它能夠縮小功率級的體積、縮短切換路徑，並提升散熱和 EMI 性能。

然而，整合磁性封裝並不能取代全面的設計和驗證。電流容量、切換頻率、補償、控制策略、被動元件和 PCB 佈局仍需要仔細地進行最佳化。設計師必須在最終封裝內驗證熱性能和 EMI 性能，而不能僅依賴評估板上測得的結果。

隨著新一代光學模組資料速率的提高，主要的限制因素可能不再是 DSP 或光學元件，而是如何在有限的空間和散熱預算內，以安靜高效的方式為它們提供足夠的功率。

## 作者簡介

Thomas Hoffman 是一位專注於資料中心和資料通訊模組的行銷工程師。他在電子行業擁有超過 30 年的經驗，涵蓋硬體設計、產品定義和產品推廣。Thomas 擁有德國伍珀塔爾綜合大學 (BUGH) 的電機工程碩士學位。

## 其他資源

- 閱讀應用簡介《**在精巧型降壓電源模組中實現高熱性能**》和應用說明《**了解 SOA 曲線以在高輸出電流和溫度下運作**》。
- 以下技術文章涵蓋了 MagPack 技術：《**MagPack 技術：全新電源模組的四大優勢，助您以更少空間封裝更多功率**》及《**電源模組封裝類型及其優勢**》。
- 觀看影片《**TI 的電源模組採用 MagPack 封裝技術來改善 EMI 性能**》及《**密度加倍：以 MagPack 技術重塑電源模組**》。

**重要聲明：**本文所述德州儀器及其子公司相關產品與服務經根據 TI 標準銷售條款及條件。建議客戶在開出訂單前先取得 TI 產品及服務的最新完整資訊。TI 不負責應用協助、客戶的應用或產品設計、軟體效能或侵害專利等問題。其他任何公司產品或服務的相關發佈資訊不構成 TI 認可、保證或同意等表示。

MagPack™ is a trademark of Texas Instruments.
所有商标均为其各自所有者的财产。

© 2026 Texas Instruments Incorporated

# 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