

整合式隔離偏壓模組如何提升功率密度與可靠性

Mark Allen Esquillo

Marketing Manager, High-Voltage Power

Carter Pollan

Applications Engineer, High-Voltage Power

簡介

隔離式偏壓電源是牽引逆變器、太陽能逆變器和數據中心電源供應系統等高性能電源電子裝置中的關鍵構建區塊，但它們需要在功率密度與開發時間之間進行取捨。隔離式 DC/DC 設計需仰賴離散式變壓器和切換元件，因此通常會帶來在滿足功率密度、可靠性和上市時間需求方面的挑戰。

採用 TI IsoShield™ 封裝技術的隔離式偏壓電源模組將切換場效電晶體 (FET)、控制電路和平板隔離變壓器整合在精巧的封裝中，以因應這些挑戰。在本文中，我將介紹這些模組如何減少電路板面積，同時提高對電氣和環境干擾的抗擾度，同時簡化現代高電壓系統的設計。

提高功率密度如何縮減解決方案尺寸，同時滿足 EMI 要求

隔離式偏壓電源供應器的設計通常涉及平衡多種限制：電路板空間、熱性能和電氣隔離。在電動車牽引系統或數據中心電源架構等應用中，您必須在高電壓域（通常為 $\geq 800V$ ）與低電壓控制電路之間提供隔離功能。

傳統設計採用離散式返馳轉換器拓撲結構實作隔離式偏壓電源。在這些實作形式中，變壓器通常是印刷電路板 (PCB) 上最大的元件，會限制可達到的功率密度並提高解決方案高度。

採用 IsoShield 技術的隔離式偏壓電源模組可因應高功率密度，透過直接在封裝內部整合平板變壓器（如圖 1 中所示），並使用搭載專利接合連接的多晶片解決方案，打造非常精巧的隔離模組，進而滿足系統設計中最佳化的尺寸要求。

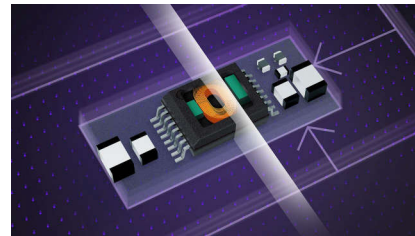


圖 1. 隔離式電源模組，含整合式平板變壓器

中電壓 **UCC34141-Q1** 與低電壓 **UCC33420-Q1** 提供約 1.5W 的隔離輸出功率，前者採用 5.85mm x 7.50mm x 2.65mm 小型積體電路 (SOIC) 封裝，後者採用 4mm x 5mm x 1mm 的超小尺寸、無引線 (WSON) 封裝。

透過整合變壓器和切換元件，這些電源模組與離散式返馳實作相比，可縮減約 70% 的偏壓電源解決方案面積，且相較於先前的整合式變壓器解決方案，可縮減 >35% 的解決方案面積。這些縮減可轉化為功率密度提升 >300%。

除了減少封裝面積外，垂直高度也顯著降低。移除離散式變壓器——傳統設計中最高的元件——可實現低至 1mm 的模組高度，對空間有限的應用來說尤其實用。圖 2 展示從離散式返馳轉換器實作（左側）轉換為完全整合解決方案（右側）時，解決方案面積的減少。

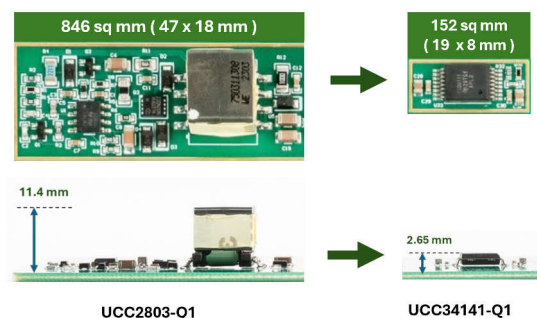


圖 2. 離散式解決方案與完全整合隔離模組的俯視圖和側視圖比較

熱性能與電磁干擾 (EMI) 通常是高密度解決方案的疑慮。然而，與先前的模組相比，最佳化的封裝與內部佈局只需使用最少濾波 (圖 3)，即可提升散熱效率 30%，同時符合國際無線電干擾特別委員會 (CISPR) 25 和 CISPR 32 標準。



圖 3. CISPR 25 輻射發射資料 ($P_{out} = 1W$)

為標準隔離式偏壓電源設計 EMI 解決方案並非易事。在昂貴的濾波元件與離散式實作獨特的濾波需求之間取得平衡，需要經驗、時間與測試。整合式解決方案的實質意義濾波需求更標準化。TI 透過開發應用說明來利用此事實，其中說明如何實作將通過 CISPR 標準的 EMI 解決方案。

圖 4 中顯示的佈局搭配解決方案和小型濾波器尺寸，符合 CISPR 25 5 類要求。結合幾項佈局技術後，只需要幾個額外的物料清單元件即可通過 CISPR 25 5 類。在此範例中，我們使用高亮顯示的電容器、電感器和鐵氧體磁珠。

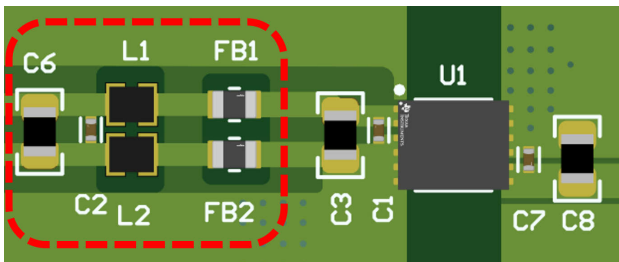


圖 4. 小型解決方案和濾波器尺寸符合 CISPR 25 5 類要求

有數種佈局技術可進一步減少濾波元件的數量。將高頻濾波電容器 C1 和 C7 置於非常靠近 IC 的位置，可降低高頻雜訊。移除濾波電感器和鐵氧體磁珠下方的任何銅，可透過寄生元件的洩漏降到最低，而延伸印刷電路板底層的接地面則可建立法拉第籠。

增強的系統耐用性和可靠性

高功率系統在電氣雜訊和物理條件惡劣的環境中運作。儘管有快速切換轉換、強大磁場與機械振動，偏壓電源供應器仍必須維持穩定運作。採用 IsoShield 技術的整合式偏壓電源模組透過數種抗擾度機制因應這些挑戰。

CMTI

在現代功率級中的快速切換轉換，特別是使用寬能隙裝置的切換轉換，可能會產生超過每奈秒數百伏特的電壓轉換速率。具有大寄生電容的隔離層可能會在隔離層中耦合這些干擾。

採用 IsoShield 技術的模組可將一次與二次繞組間的寄生電容降到至低於 3pF，進而實現約 250V/ns 的共模瞬態抗擾度 (CMTI)，並允許在牽引逆變器或馬達驅動等高電壓轉換速率環境中穩定運作。

與離散式隔離偏壓電源相比，使用整合式解決方案可大幅降低 CMTI 測試的風險，因為工程師已完成裝置級和系統級測試。使用離散式解決方案時，CMTI 結果會因應用而異，而整合式解決方案則會產生更一致的結果。

輻射抗擾性

附近切換節點產生的高頻電磁場會干擾控制電子裝置。採用 IsoShield 技術的整合式模組可在廣泛的頻率範圍中承受強大的 EMI，展現在 10MHz 至 1GHz 頻率下，在超過 100V/m 的電磁場中持續運作。這些模組符合 CISPR 25 的要求，並超越國際電子電機委員會 61000-4-3 定義的限制，無需額外的屏蔽或複雜濾波。

磁場抗擾度

高電流導體（例如牽引逆變器中的匯流排）會產生強大磁場，可能會因離散式變壓器電源的外部磁性結構而影響其電源。採用 IsoShield 技術的模組可在超過 100mT 的磁場中運作，即使位於高電流電源路徑或大型磁性結構（例如醫學影像系統中的大型磁性結構）附近，也能確保穩定的性能。

抗振性

機械振動是汽車與工業環境中的常見挑戰。大型離散式變壓器可在焊接接頭和 PCB 焊盤上造成機械應力，進而可能導致可靠性問題。與離散式變壓器實作相比，整合偏壓電

源模組的外形緊湊且小巧，可將焊接連接處的機械扭矩減少 90% 以上，大幅提升抗振能力。

加速設計週期

選擇和設計變壓器是隔離式電源供應器開發中最具挑戰性的層面之一。您必須平衡眾多設計參數，包括繞組配置與佈線、洩漏電感與耦合、寄生電容、熱特性及機械封裝。自訂變壓器開發可能會增加顯著的設計複雜性，並延長產品開發的時間表。

整合式偏壓電源模組透過在單一裝置中結合變壓器、切換 FET，並支援被動元件，可省去許多任務。此整合可減少元件數量並簡化系統設計。就伺服器電源供應器和備用電池單元而言，如此降低設計複雜性會大幅縮短上市時間。

結論

隨著電動車、人工智慧驅動數據中心和再生能源系統等應用中的功率需求持續增加，在日益受限的體積內提供更高性能的壓力也日益加劇。設計人員不再針對單一參數進行最佳化，而是必須同時平衡功率密度、效率、可靠性與開發速度。

以 IsoShield 技術為基礎的整合式隔離偏壓電源模組，從根本上改變了此設計典範。透過將變壓器、開關元件和隔離層嵌入在精巧、最佳化的封裝中，這些解決方案可消除許多與離散式實作相關的傳統取捨，大幅縮減解決方案尺寸與複雜性，並提升電氣抗擾度、熱性能與可靠性。

同樣重要的是，這種高度整合可實現更快、更可預測的設計週期。工程師可重複使用大部分現有架構，同時減少對自訂磁性元件和廣泛驗證的需求，進而在不影響性能的情況下加快上市時間。

作者簡介

Mark Allen Esquillo 是高電壓電源業務的行銷經理，涵蓋高度差異化的隔離式開極驅動器和偏壓解決方案。他在產品開發、市場行銷、系統/應用工程和營運方面擁有超過 30 年的經驗。Mark Allen 持有日本 Nippon Engineering

University 的機電工程學士學位，以及菲律賓 Mapúa Institute of Technology 的電機工程學士學位。

Carter Pollan 是德州儀器的應用工程師，支援汽車與工業系統中的整合式隔離偏壓與隔離式開極驅動器應用。他在楊百翰大學取得電機工程學士學位。

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。

IsoShield™ is a trademark of Texas Instruments.
所有商標均為其各自所有者的財產。

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