

## Technical Article

## 8 W 以下的兩種簡單隔離式電源選項



Josh Mandelcorn

多種工業和汽車系統都使用隔離式偏壓電源供應器。針對隔離式偏壓電源使用返馳式或推拉轉換器的大多數現有方法 (請參閱德州儀器 [TI] 「[HEV/EV 的隔離式偏壓電源供應器架構與拓撲結構的取捨](#)」簡報, 以及「[具有 3 種 IGBT/SiC 偏壓電源解決方案的 HEV/EV 牽引逆變器功率級參考設計](#)」), 都需要投入大量設計心力, 並需仰賴低洩漏電感隔離變壓器。

在這篇用電訣竅中, 我想要介紹兩種方法, 可降低隔離式偏壓電源供應器的設計複雜性及雜訊耦合。其中一種方法適用於多個隔離輸出以及達 8 W 的整體輸出功率, 此方法使用電感器-電感器-電容器 (LLC) 拓撲結構, 以及如 TI [UCC25800-Q1](#) 等半橋驅動器。第二種方法則整合了隔離變壓器, 且適用於最高 1.5 W 和一個隔離輸出, 此方法使用單一積體電路 (IC), 例如 TI 的 [UCC14240-Q1](#)。該裝置包含電源及回饋隔離, 且僅需濾波器電容器及電阻分壓器即可完成設計。

隔離式電源的複雜性在於重大的成本資源、尺寸資源與設計資源負擔, 特別在低功率位準下更是如此。最常見的低功率拓撲結構是返馳式轉換器。傳統返馳式轉換器使用光耦合器, 以將輸出電壓從二次側回饋至一次側的控制器 IC。由於長期可靠性考量, 在高要求的汽車與工業環境中, 低成本光耦合器並非會考量的選項。即使採用閉迴路穩壓, 也只有其中一個返馳輸出會確實完全穩壓。雖然提供如 TI 的 [LM5180-Q1](#) 等具有一次側穩壓功能的返馳式轉換器, 可免除對光耦合器的需求, 但仍需要使用低洩漏變壓器, 且其雜訊和隔離挑戰也仍然存在。

就大多數轉換器拓撲結構而言, 低洩漏變壓器是在隔離層中有效率供電的關鍵。緊密耦合的繞組與交錯等可減少變壓器洩漏電感的方法, 通常會增加一次到二次電容。前述電容會從隔離式轉換器切換本身及隔離輸出所連接的電路散播雜訊, 例如牽引逆變器或車載充電器中的高壓側開關。這些開關可能每奈秒會出現超過 100 V 的上下擺幅。此外, 需要高 (數千伏特) 強化隔離和低洩漏電感的變壓器, 也會造成重大的成本和尺寸負擔。

我在此處會將重點放在約 8 W 以下的高隔離功率需求, 其中可用的一次側電源範圍為 12 V<sub>DC</sub> 到 24 V<sub>DC</sub>。若連接至 AC 電源或連接至 400-V 與 800-V 電池的電路需要電源, 則必須具有高隔離額定值 (3-kV 均方根 [RMS] 以上), 以滿足安全隔離需求。應用範例包括電動單車載充電器和牽引逆變器中的隔離式偏壓電源, 其一般需要約 +15 V 以快速開啟開關, 且需要約 -5 V 以快速關閉開關, 且回路連接至發射器或高功率開關來源。

### 可因應多重輸出和最高 8 W 的單一 IC : UCC25800-Q1

LLC 拓撲結構 (請參閱應用說明「[使用 UCC25800-Q1 開迴路 LLC 變壓器驅動器的隔離式開極驅動器偏壓電源設計](#)」) 可在無回饋情形下, 對隔離輸出電壓進行良好的負載調整。此拓撲結構實際上會運用變壓器的洩漏電感來提供軟性切換, 大幅減少主要開關的切換損耗。由於耦合電容可有效排除輸出穩壓的洩漏電感效應, 因此可使用高隔離變壓器, 且一次和二次位於分離的繞線支架上。如此可造成極低的耦合電容, 進而實現低系統雜訊, 以及可因應安全考量的高強化 (數千伏特) 隔離。軟性切換結合耦合電容器排除洩漏電感後, 即可將洩漏電感從敵人變成朋友。

此方法需要穩壓輸入 DC 電壓進行供電, 以避免二次側穩壓的需求。透過雙開關半橋 (以因應此處所需的低功率位準), 將二分之一輸入電壓的方波施加至變壓器一次側。就汽車應用而言, 通常會有 12 V 或 24 V 的穩壓 DC 電壓以因應其他目的。若需要前置穩壓器, 簡單的單端一次電感器轉換器就能提供穩壓 15-V 或 24-V 輸入電源。此前置穩壓器的設計負擔, 通常遠小於需抑制低洩漏返馳式變壓器造成之系統雜訊的挑戰。

UCC25800-Q1 的已發表設計範例包括「[適用於牽引逆變器應用的預先穩壓隔離驅動器偏壓電源參考設計](#)」: 四個輸出、30 V 時總共 6 W (如圖 1 和圖 2 所示), 以及「[適用於牽引逆變器應用的隔離式 IGBT 與 SiC 驅動器偏壓電源參考設計](#)」, 其於 24 V 時具有 +16 V / -5 V 且最大為 6.6-W。在隔離式開極雙極電晶體 (IGBT) 和碳化矽 (SiC) 驅動器參考設計中使用的變壓器, 其一次到二次電容的典型值僅有 1.3-pF, 相較之下, 類似功率的返馳式變壓器的典型值則為 20-pF。這種電容減少 10 倍以上的情況, 代表在系統中散播的雜訊至少會減少 20-dB。唯一的一次和二次介面是變壓器。

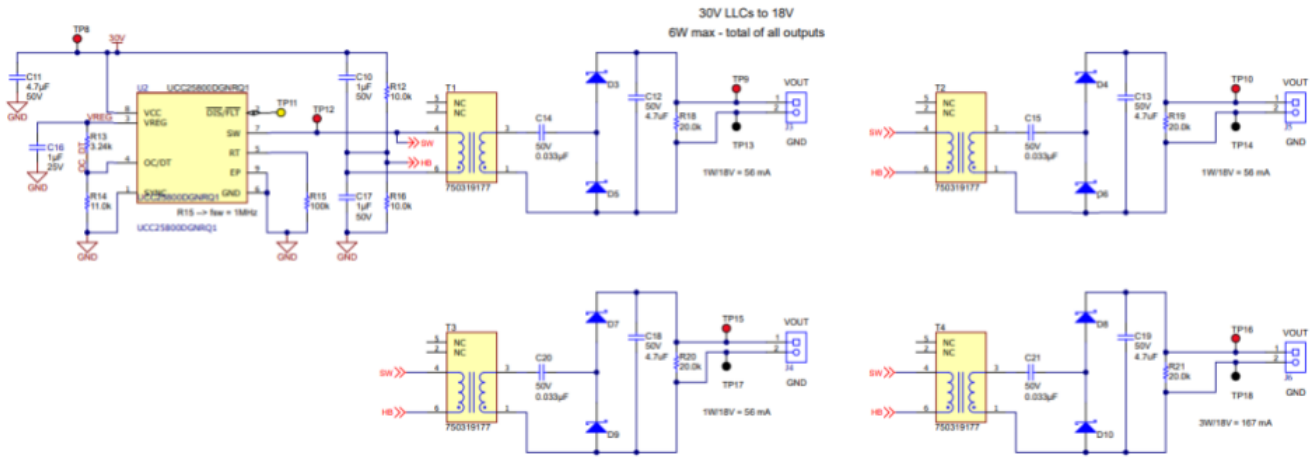


图 1. 來自前置穩壓參考設計電路圖—隔離式四輸出轉換器。來源：德州儀器

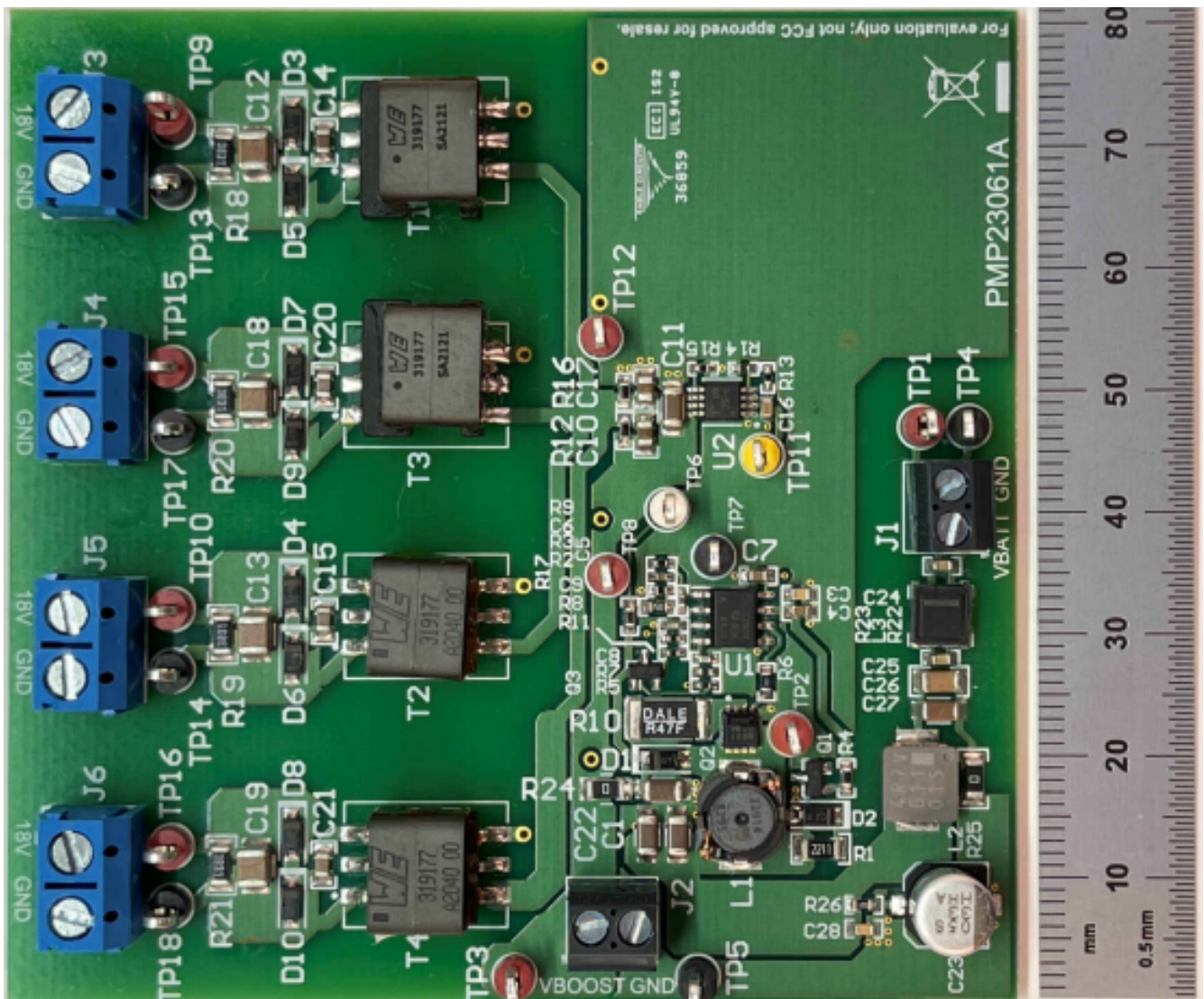


图 2. 預先穩壓參考設計組裝電路板，包括 6 V<sub>IN</sub> 起的升壓電路。來源：德州儀器

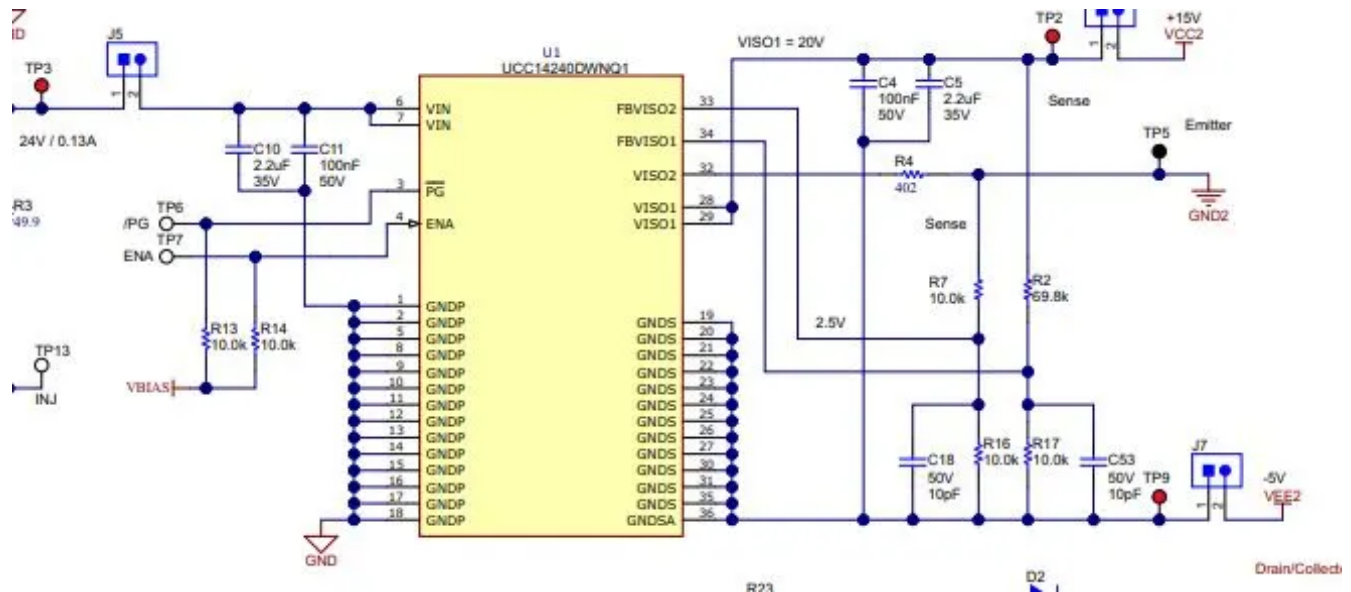
對於為最大負載的 10% 至 100% 的負載，四個輸出的輸出穩壓範圍從 16.25 V 至 17.27 V 不等。

**當您需要低於 2 W 的隔離式電源時，可採用更簡單的方法：UCC14240-Q1**

另一個更加簡單的方法是自給隔離式轉換器 IC，其整合變壓器及二次到一次回饋，且只需輸入/輸出電容器及電壓分壓器即可設定正負輸出。功率級包含一次側全橋，以及一次到二次電容極低（約為 3.5 pF）的隔離式變壓器，可減少系統雜訊耦合，並且也包含全橋式輸出整流器。選擇 13 MHz 的切換頻率可實現前述偏低的一次到二次電容，並可在汽車應用的任何重要頻帶中，妥善排除其自身的切換雜訊。IC 內部回饋讓輸入電壓可與額定電壓差異超過 ±10%，且仍可提供介於 1.3% 額定輸出內的良好穩壓正負電壓。此 IC 展現了拓撲結構複雜性非設計負擔，因為其完全包含在 IC 內部。

UCC14240-Q1 可在 21 V<sub>IN</sub> 至 27 V<sub>IN</sub> 下運作，並適用於牽引逆變器、車載充電器與馬達控制中 IGBT 和 SiC 金屬氧化半導體場效電晶體的開極驅動應用，其開啟裝置的典型正電壓為 +15 V，且關閉裝置的典型負電壓則為 -5V。不過，在總和 18-V 至 25-V 內也可使用其他組合的正負電壓。

图 3、图 4 和图 5 以圖示顯示屬於「SPI 可編程開極驅動器和偏壓電源參考設計」一部分的自給高隔離範例，且具備規劃的 3,000-V<sub>RMS</sub>。U1 是實際的 DC/DC 隔離式電源供應器，U3 是智慧型隔離式開極驅動器，而具有 Q1 與 L1 的 U2 是汽車電池至 DC 轉換器。請注意 8-mm 一次到二次隔離波谷。



**图 3. 來自汽車「配備整合式變壓器的 SPI 可編程開極驅動器和偏壓電源參考設計」電路圖 - 隔離式 +15-V/-5-V 轉換器。來源：德州儀器**



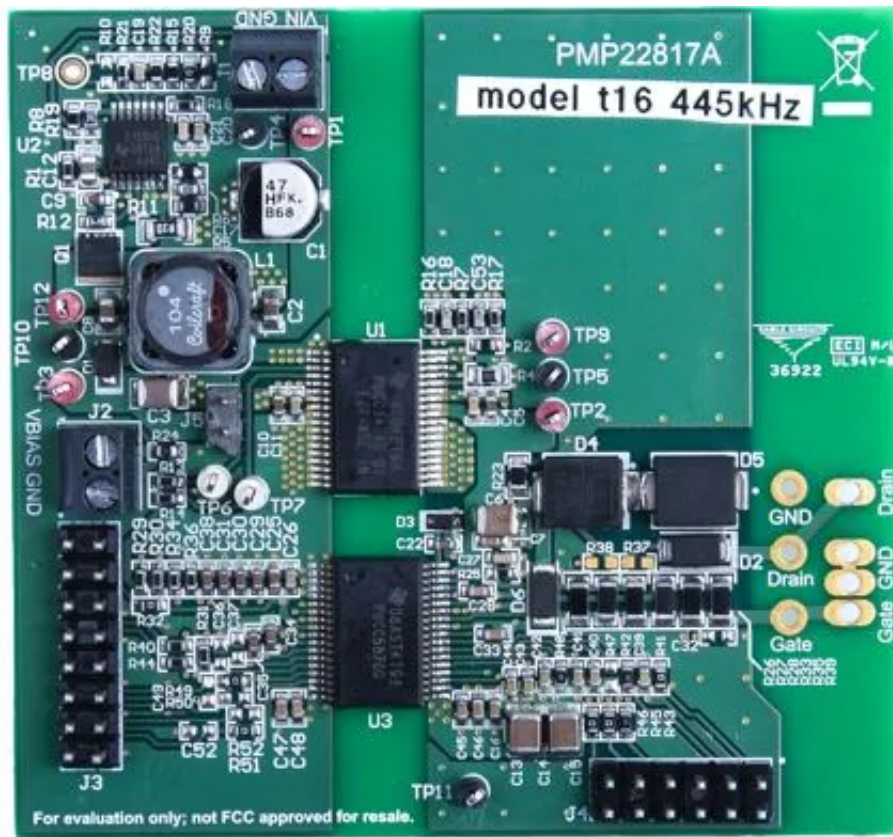


图 4. 汽車 SPI 可編程參考設計的組裝電路板。來源：德州儀器

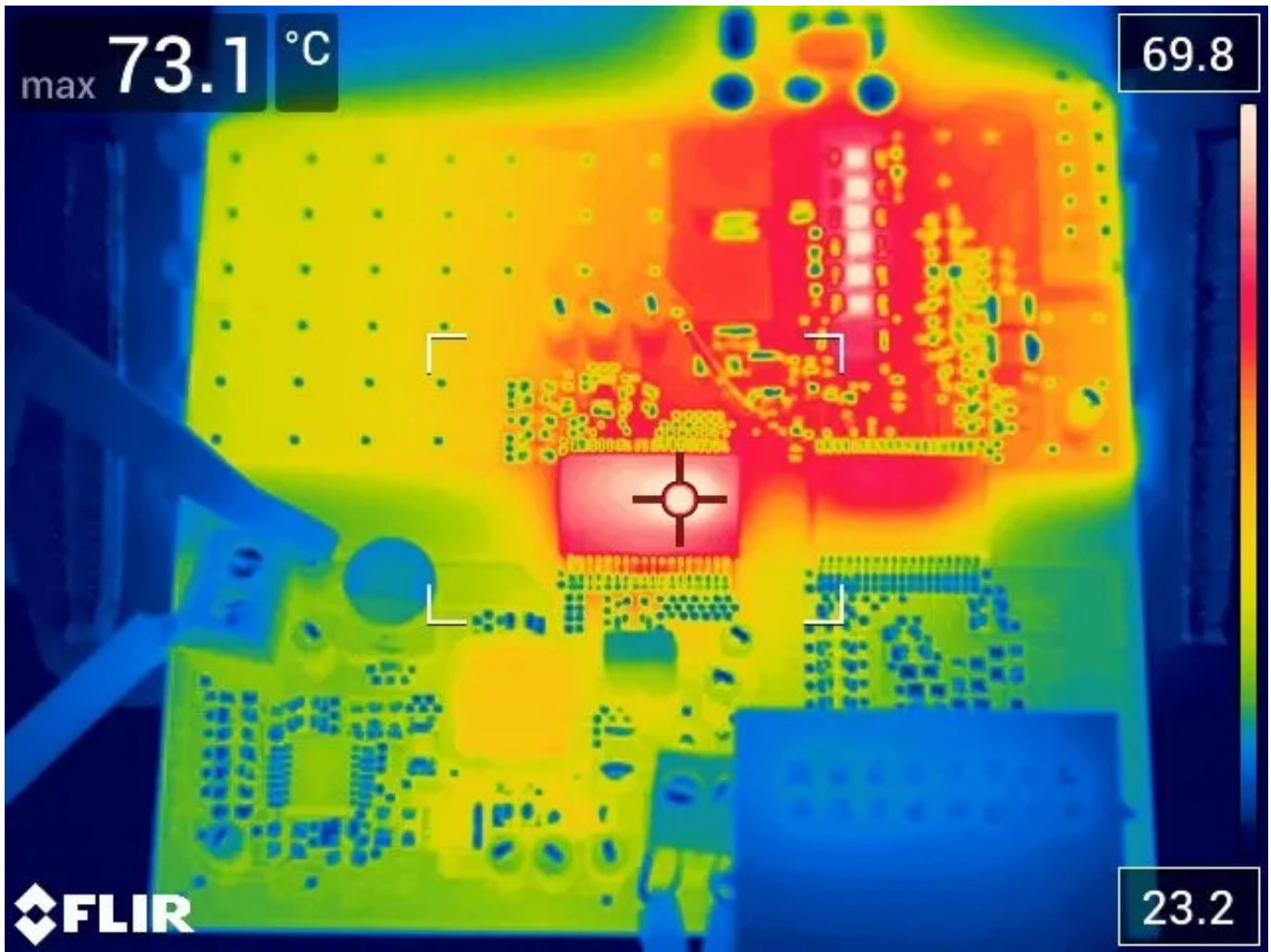


图 5. 具有 1.6-W 负载的汽车 SPI 可编程参考设计热能图。来源：德州仪器

對於向高功率轉換器和電池充電器中的開極驅動器提供隔離式電源而言，這兩種方法可大幅降低其設計挑戰程度，此外還可帶來減少系統層級射頻雜訊的額外優勢。第一種方法可實現由單一 IC 控制的多個隔離輸出。利用第二種方法，則可讓僅配備濾波器電容器及分壓器電阻的單一 IC 提供完整的隔離式電源解決方案。

#### 相關內容

- 用電訣竅 #112：用於故障測試的板載設備
- 用電訣竅 #111：為何協作、行動機器人必須具備電流感測功能
- 用電訣竅 #110：寄生如何產生非預期的 EMI 濾波器共振
- 用電訣竅 #109：伺服器電源設計的五大趨勢
- 建置隔離式電源供應器會產生許多挑戰
- 隔離式電源轉換：說明二次側控制的理由

先前發佈在 [EDN.com](https://www.edn.com) 上。

## 重要聲明與免責聲明

TI 均以「原樣」提供技術性及可靠性數據（包括數據表）、設計資源（包括參考設計）、應用或其他設計建議、網絡工具、安全訊息和其他資源，不保證其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的擔保，包括但不限於對適銷性、適合某特定用途或不侵犯任何第三方知識產權的暗示擔保。

所述資源可供專業開發人員應用 TI 產品進行設計使用。您將對以下行為獨自承擔全部責任：(1) 針對您的應用選擇合適的 TI 產品；(2) 設計、驗證並測試您的應用；(3) 確保您的應用滿足相應標準以及任何其他安全、安保或其他要求。

所述資源如有變更，恕不另行通知。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 或任何第三方的知識產權授權許可。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](#) 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 提供所述資源並不擴展或以其他方式更改 TI 針對 TI 產品所發布的可適用的擔保範圍或擔保免責聲明。

TI 不接受您可能提出的任何附加或不同條款。

郵寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), 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 will 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](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.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.

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

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated