

Technical Article

為下一波 AI 運算成長做好準備：功率傳輸的權衡考量



預計 IT 機架功率將在未來兩到三年內消耗 1MW。由於 AI 伺服器實現更高功率密度的需求，因此從 48V 或 54V 匯流排轉換至 800 VDC 的較高電壓 DC 匯流排。轉向 800 VDC 在系統層級實現高效率與高功率密度能源轉換方面帶來挑戰，同時也提供了重新檢視 IT 伺服器機架內電源傳輸架構的契機。

遷移到 800 VDC 將改變電力輸送架構，如圖 1 所示。IT 托盤的輸入電壓現為 800 VDC，這需要採用更高電壓等級的熱插拔電路，以控制電流突波並確保與高電壓匯流排的安全連接。配電板上設置的高轉換比中間匯流排轉換器 (IBC) 可將 800 VDC 轉換為較低的中間匯流排電壓。此系統中的隔離層 (具強化型隔離) 可將高電壓系統與低電壓系統分離。其餘電源架構的外觀與感受類似於 48VDC 人工智慧 (AI) 運算托盤，但可能有幾種變化。一個選項是 800V 至 50V IBC，接著是 50V 至 12.5V 或 6.25V IBC。

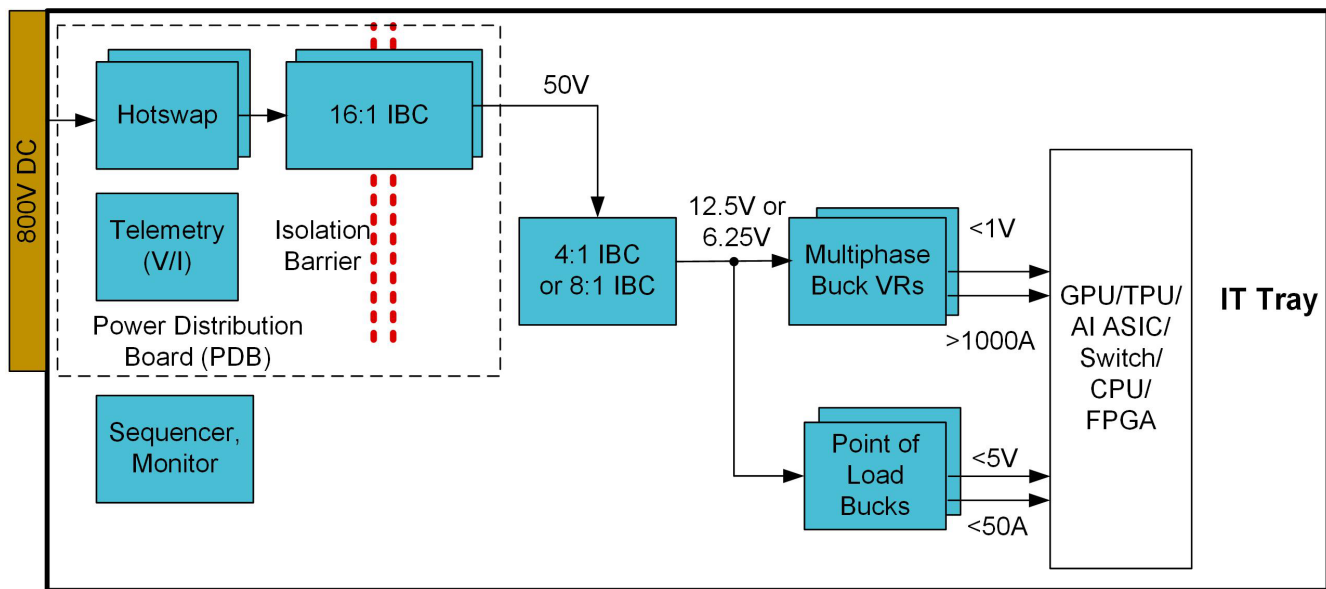


圖 1. 800 VDC 系統中的 IT 電源托盤架構範例

在概述高階電源架構後，讓我們來檢視電力輸送目標和設計優缺點。數據中心營運商的一個目標是實現高端到端能源轉換效率。如此可降低資料中心運作費用，減少因功率損耗 (以及相關的暖氣、通風和空調負擔) 產生的熱能，並將重點放在預期負載下：AI 加速器或處理器及其他支援電路。其他重要目標包括小尺寸 (電源元件的電路板空間有限)、高可靠性，以及滿足多相位電壓穩壓器與負載點降壓轉換器暫態響應等效能需求。

其中一種方法是只將更高電壓的 IBC 加入現有的 48V 電源架構。圖 2 顯示這種三級轉換架構。此方法的優點是可重複使用大多數現有的 48V 電源架構設計。我們來考慮一個具備 16:1 電壓轉換比 (即輸出為 48V) 的高電壓中間匯流排轉換器 (IBC)。若假設 16:1 比率的 IBC 峰值效率為 98%，4:1 IBC 的峰值效率同樣為 98% (50V 降至 12.5V)，而多相電壓調節器 (從 12.5V 至核心) 效率為 92%，則從 800 VDC 至核心的整體峰值轉換效率約為 88%。

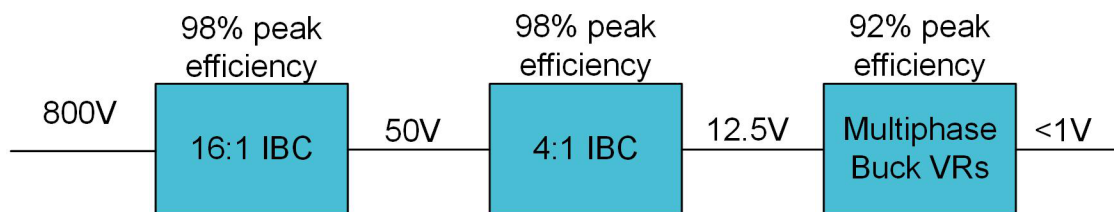


圖 2. 三級轉換架構

一個重要的問題是為中間總線電壓選擇什麼。另一種與圖 2 類似的架構，是將 50V 至 12.5V 的 IBC (4:1 比率) 替換為 50V 至 6.25V 的 IBC (8:1 比率)。4 對 1 IBC (現在為 8 對 1) 的效率會稍微降低 (約為 97.5% 峰值)，但 6.25V 輸入電壓穩壓器級的效率可能會將效率提高至可能 92.5% 峰值。整體峰值效率可能相近，約為 88%。低輸入電壓的穩壓器具備可在更高頻率下切換的優勢，從而可減少體積、提升瞬態響應性能，並支援背側安裝 (垂直電力傳輸，VPD)。

您可能會問自己為何需要三個轉換級，以及是否能將電力輸送架構簡化為兩個階段：高效率、高轉換比 IBC 和高性能電壓穩壓器。我們來看看該架構，如圖 3 所示。

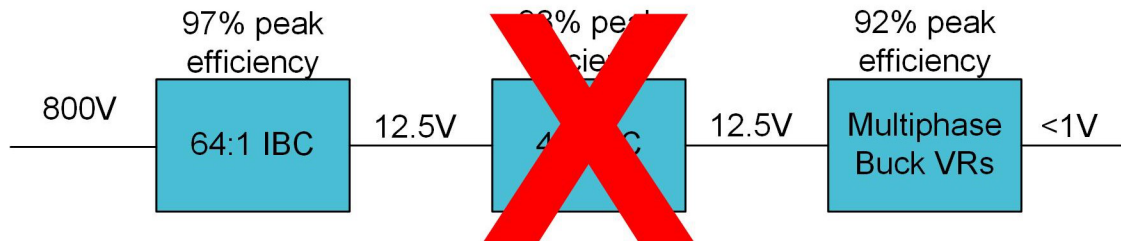


圖 3. 具有 64 到 1 IBC 的雙階段轉換架構

透過移除 4 對 1 IBC，64 對 1 IBC 可以直接輸出 12.5V，且其假設的峰值效率為 97%。從 800V 向下至核心軌的整體峰值效率則約為 89%。這種簡化的分析也不考慮從 64 至 1 IBC 輸出到電壓穩壓器輸入的印刷電路板損耗。但如果可以將損耗維持在 1%，整體效率保持不變。這種方法可節省尺寸並將成本降到最低，因為不再需要 4 對 1 IBC。圖 4 說明了這種潛在的架構。

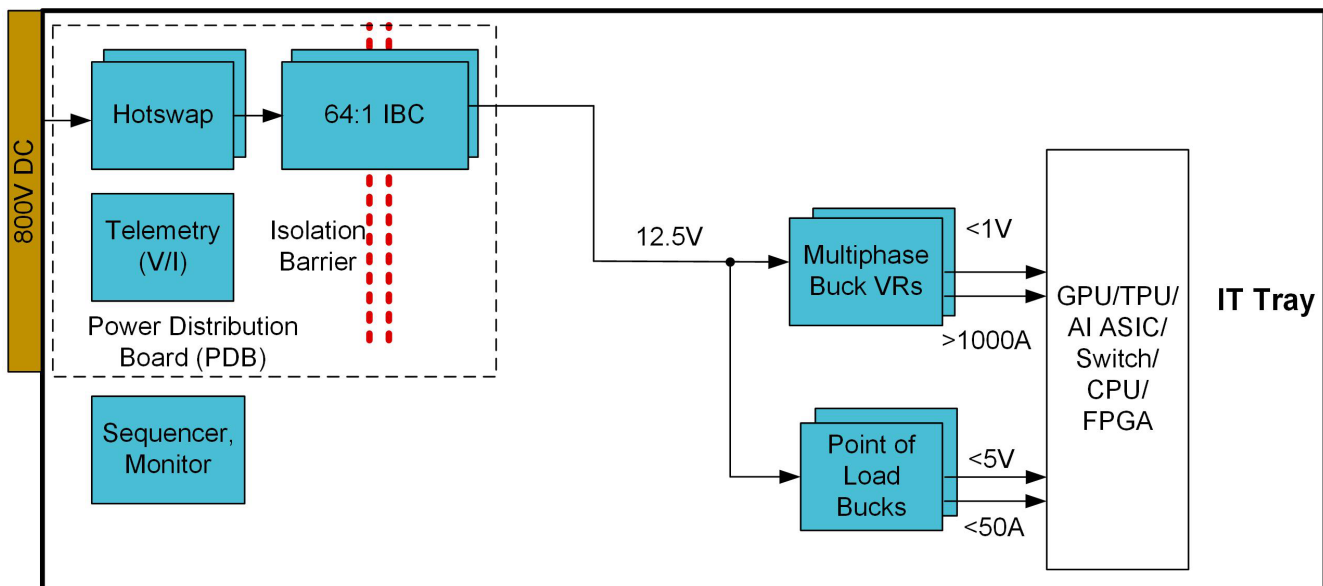


圖 4. 800V 雙級轉換架構，採用 64 至 1 IBC

進一步了解這種兩級轉換架構，圖 5 說明了 64 對 1 IBC 的實作情況，其輸出具有 128 對 1 電壓轉換比和 6.25V。如前所述，多相電壓穩壓器的輸入電壓較低，可實現更高的頻率運作、更小的尺寸和垂直電源傳輸 (安裝在處理器下方電路板背面)。估計的 800V 至核心效率為 89% 峰值 (不包括電路板損耗)。

此架構的挑戰在於 128 至 1 IBC 的輸出電流非常大。假設系統提供的電力約為 15kW 至 20kW，在 6.25V 時則會有 2.4kA 至 3.2kA。將 6.25V 中間匯流排上的電路板損耗維持在合理位準 (<1 或 2%) 會需要非常大的導體 (例如匯流排)。128 至 1 IBC 可能需要多個並聯模組才能達到所需電流位準。

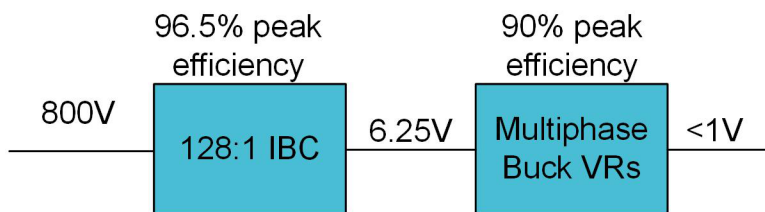


图 5. 800V 雙級轉換架構具有 128 至 1 IBC

結論

轉換至 800 VDC 電源架構後，我們將討論如何設計電力輸送，原因在於整體轉換效率、尺寸和性能之間的取捨。TI 的氮化鎵 (GaN) 功率級、數位電源控制器、多相降壓穩壓器、DC/DC 負載點降壓轉換器、熱插拔控制器、隔離式閘極驅動器等產品組合，使業界能夠駕馭這種轉換。

TI 的產品透過與 NVIDIA 合作開發支援 800 VDC 架構的電源管理解決方案，可確保在電源架構中關鍵點進行可靠的電壓轉換，並提供 48V 和 800V 生態系統所需的保護、監控和遙測功能，同時從電網到 AI 加速器閘極提供高效率且高密度的電源轉換。進一步了解有關 [TI 資料中心與企業運算解決方案](#) 的更多資訊。

註冊商標

所有商標皆屬於其各自所有者之財產。

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 © 2025, 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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025