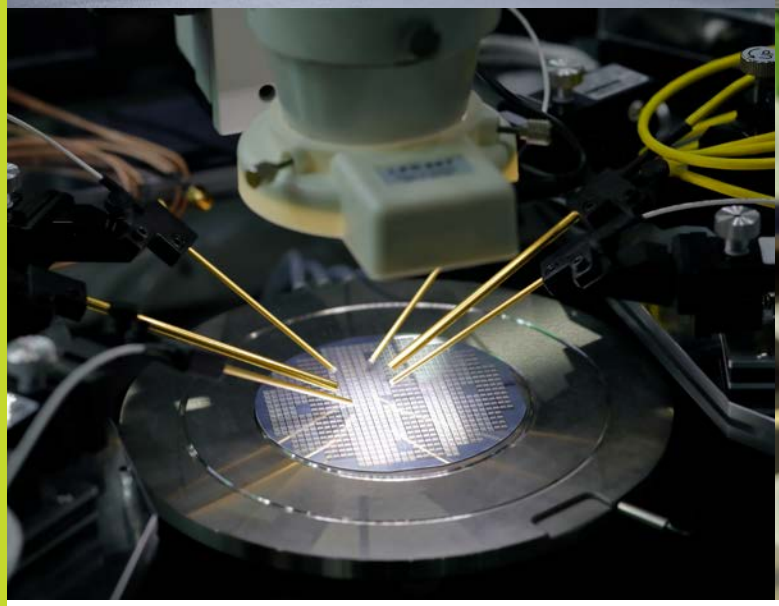
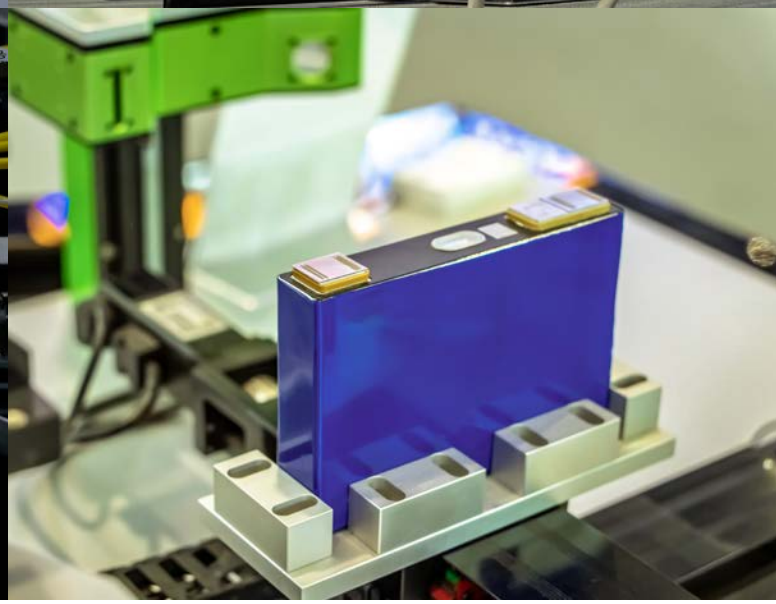


eBook

加速進入高效能 48V 供電網路

VICOR

引言

本 eBook 提供 48V 供電網路的實用設計指南，旨在提升工業產品效能、效率與可靠性。您將瞭解 48V 供電網路的發展歷程、克服常見電源設計難題的應對策略，以及其他企業成功導入供電網路的經驗。同時，您還將掌握如何利用高效能電源模組，快速實現 48V 供電網路的原型設計與導入。

目錄

3 文章

向 48V 演進：賦能下一代創新

設計 48V 電源網路時需考量並突破的 15 項技術難題

專為 48V 供電網路優化的高效能電源模組

25 案例研究

自動駕駛電動接駁車：先進的電源模組封裝優化可用功率、可靠性和安全性

繫留無人機徹底改變了遠端通訊

水下遙控機器人迅速適應當前危險的水下任務

電池測試：最大限度提升輸送量，快速靈活適應變化

34 工具

文章



文章

向 48V 演進：賦能下一代創新

眾多產業的電力系統設計工程師面臨著不斷提升系統性能和功能的壓力。為了應對這項挑戰，系統功率水準正以指數級速度增長，同時，為了增加功能、提高效率並應對日益複雜的散熱設計，系統尺寸和重量的降低也日益成為挑戰。這種持續的挑戰 —— 以更少的資源實現更多功能 —— 正在推動電力傳輸網路 (PDN) 的世代演進。這項演進的核心是從傳統的 12V 系統轉換到高效、可擴展的 48V 架構，從而釋放新的電力系統能力並推動創新。

48V 架構最早於數十年前在電信行業獲得採用，隨後在先進高效能運算 (HPC)、電動汽車 (xEV) 及日益廣泛的工業應用領域中站穩腳跟。在每個應用場景中，48V 所具備的堅實技術與商業價值，均帶來了顯著的競爭優勢。與 12V 系統相比，48V 供電網路可將傳導損耗降低 16 倍，並簡化配電。

這一演進的核心，是從原有 12V 系統向高效、可擴充的 48V 架構轉換，從而徹底釋放電源系統的全新潛能和創新空間。

為什麼轉換到 48V？

48V 系統的效率提升與其他優勢源於著名的基本電學原理 —— 歐姆定律，此定律描述了電壓、電流和電阻之間的關係。功率是電壓與電流的乘積 (VI)，但導體電阻造成的功率損耗與電流的平方成正比 (即 I^2R 損耗)。在相同功率水平下，系統電壓從 12V 提升至 48V，電流將減小 4 倍，而由此帶來的 I^2R 傳導熱損耗降低 16 倍 (即 4^2)。這種功率損耗的大幅降低，為電源系統設計帶來諸多優勢：

- 更低的散熱量
- 更高的整體效率
- 更細更輕的配電電纜與更小的連接器
- 更高的系統可靠性

對於功率需求超過數千瓦的系統而言，這種轉變不僅有益，更是實現不斷演進的系統效能目標的必要之舉。

早期採用者：電信行業率先採用 48V

48V 系統最早應用於電信基礎設施已有一百多年歷史。幾十年來，由於其在安全性、訊號傳輸範圍和效率方面實現了理想的平衡，中央機房、基地台和網路節點一直依賴 48V 電池備用系統。此電壓等級可讓系統保持在低於 IEC 60335 等標準定義的 60V 安全特低電壓 (SELV) 限值的理想範圍內，同時最大限度地減少長距離電纜傳輸的損耗。

這種方案使電信運營商能夠在廣闊地域內部署可擴充、可靠的電源系統。隨著電信網路變得日益複雜而龐大，48V 系統展現出強大的穩健性與適應性，為其在其他行業的更廣泛普及奠定了基礎。

48V 在高效能運算領域的興起

過去十年間，隨著高效能運算與超大規模資料中心的興起，48V 技術迎來了第二波大規模應用浪潮。雲端運算、生成式人工智慧模型訓練和推理以及機器學習的爆炸性增長，對伺服器機架、計算集群和資料中心層面的電力需求都達到了前所未有的高度。傳統的 12V 電源分配方式由於電流需求高、銅線消耗過大以及散熱問題日益嚴重，成為了一個難以克服的限制因素。供電不僅涉及電力分配，更關乎端到端的轉換效率、解決方案尺寸與成本、以及散熱管理開銷（無論是強制風冷還是液冷）。通過採用 48V 電源架構，資料中心的供電網路配電損耗可降低 16 倍。

從 12V 升級到 48V 供電網路，能夠幫助資料中心：

- 提高機架級能源效率
- 使用更細的銅線輸送更高功率
- 簡化服務器機架內的母線配電
- 透過降低能耗減少總擁有成本（TCO）

在超大規模資料中心客戶動態需求的驅動下，伺服器 OEM 廠商已廣泛採用 48V 供電網路。開放運算項目（OCP）曾是 48V 事實標準的早期推動者。過去五年間，48V 供電網路有力地推動並促成了高密度、高效率運算平臺的發展，使其能夠勝任現代生成式 AI 工作負載。

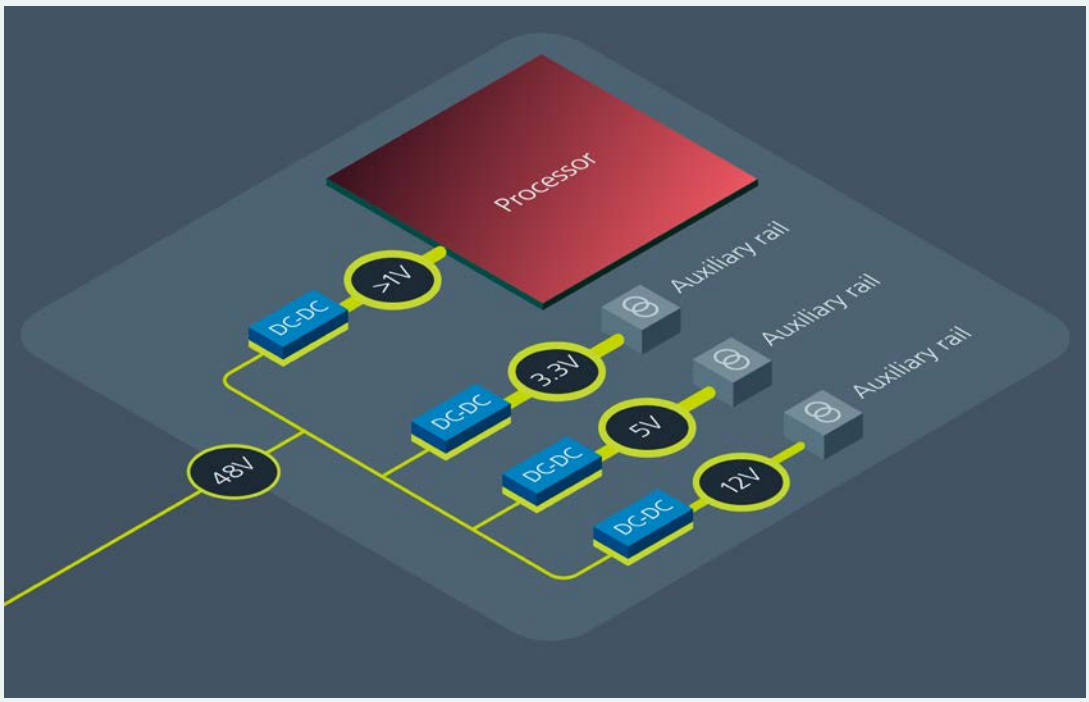


圖 1：高效能運算系統通過伺服器機架母線分配 48V 電源，為刀鋒伺服器、網路交換機和存儲託盤供電。48V 電源軌經穩壓後轉換為 12V、5V、3.3V 電源（用於輔助負載），以及 1V 及更低電壓（用於高電流處理器核心電源軌）。

48V 電源在汽車應用中的快速普及

隨著眾多汽車向電氣化平臺轉型，汽車行業正在經歷深刻變革，這不僅需要更高的總功率，還要求在整車範圍內更廣泛地分配電源。高級駕駛輔助系統（ADAS）、車載資訊娛樂系統、電動輔助轉向及主動懸架系統都對供電網路架構提出了嚴苛要求。

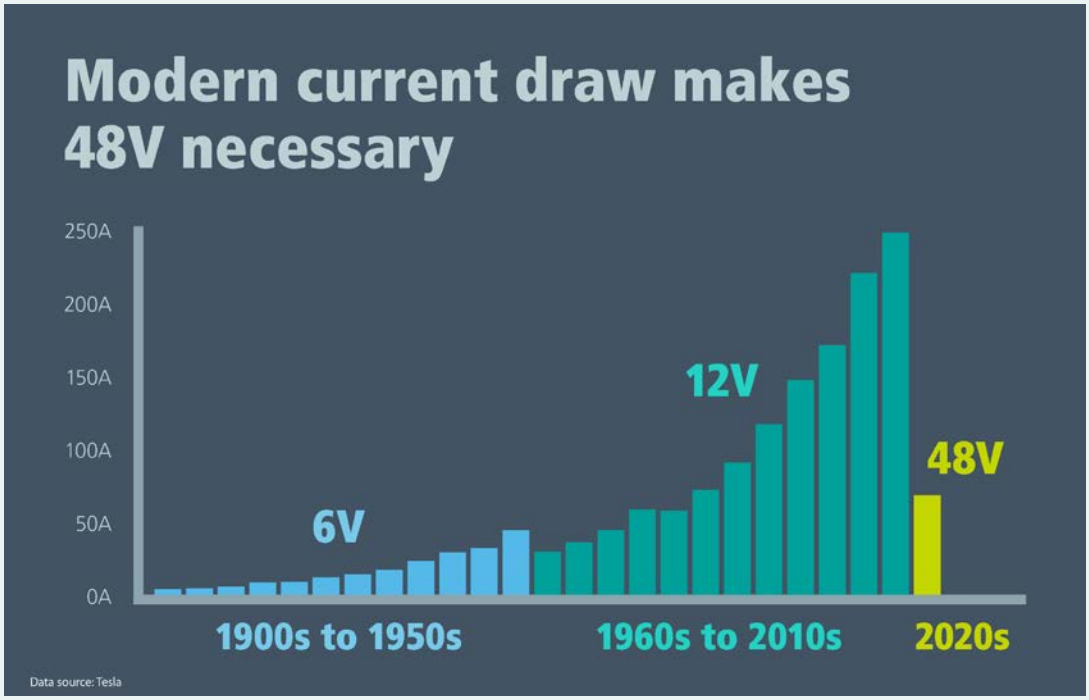


圖 2:6V 電源系統曾滿足汽車與工業設備長達五十年的需求。在 20 世紀其餘時間及 21 世紀初，12V 電源與子系統尚可應對，但迅速攀升的電流水平使得向更高系統電壓的轉換勢在必行。當電壓提升四倍（輸送相同功率時傳導損耗降低 16 倍），48V 成為滿足安全特低電壓（SELV）合規要求的最優選擇。

原有的 12V 電源系統根本無法應對這些日益增長的電能負載；僅靠 12V 網路無法高效輸送所需電流。因此，汽車製造商正轉向 12V/48V 雙電壓架構，該架構具有以下幾個關鍵優勢：

- 通過混合動力技術提升內燃機（ICE）的燃油效率
- 借助啟停系統、再生煞車及主動懸架系統降低排放
- 支持高功率子系統，如紅外座艙加熱器、即時加熱車窗和熱泵空調系統
- 將以前由皮帶驅動的系統電氣化，降低機械複雜性，提升整車效能與可靠性
- 配備線控煞車與線控轉向的高級駕駛輔助系統（ADAS）

48V 在工業市場的崛起

測試量測、機器人、無人機、醫療設備與工廠自動化等工業領域，都將受益於向 48V 電源分配網路 (PDN) 的轉換。

工業系統常面臨與其他市場類似的空間、重量與熱管理挑戰。採用 48V 供電網路後，設計人員能在更小的空間內提供更高的功率，同時簡化佈線並降低散熱成本。以半導體測試測量市場為例，用於高效能記憶體和處理器的自動化測試設備面臨著與資料中心同樣緊迫的挑戰，需要在緊湊的空間內為功耗巨大的 AI 處理器供電。

48V 供電網路為工業設備帶來的優勢，與在電信、高效能運算和汽車市場如出一轍：

- 更小更輕的供電系統
- 更優的散熱特性與更高的能效
- 更大的功率容量與更出色的整體系統效能

此外，專用且可擴充的 48V 電源模組的普及，使得能夠輕鬆快速地設計和製作低噪音、高功率密度的系統原型，適用於各種應用。

瞭解 48V 生態系統

向 48V 的轉換，最好視為從 12V 生態系統向 48V 生態系統的轉型。12V 生態系統已存在數十年，擁有龐大的安裝基礎，並積累了數十年的投資與實踐經驗。相較之下，48V 生態系統仍在發展與完善中。幸運的是，現時已出現先進的模組化電源解決方案，可顯著簡化 48V 供電網路的設計與導入。

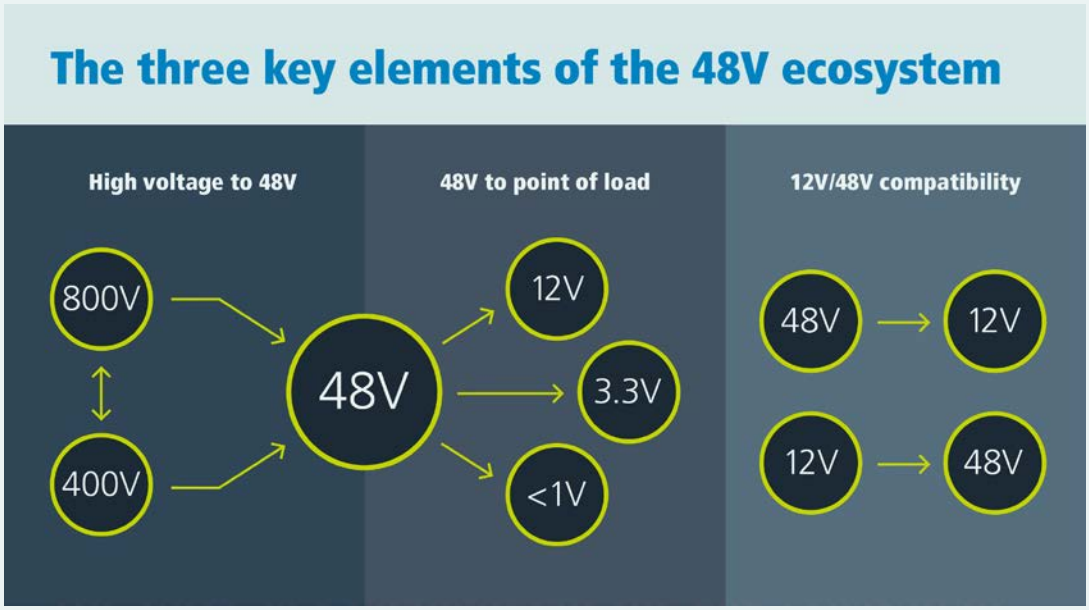


圖 3：三大關鍵要素涵蓋從電源到負載點的所有轉換步驟。

為簡化從 12V 電源的轉換，需重點關注 48V 生態系統中供電網路的三大關鍵要素。隨著電動汽車長期向成本優化的 800V 和 400V 電池發展，高壓至 48V 的轉換至關重要。半導體（尤其是處理器和記憶體）通常採用較低電壓，其電流水平雖然變化很大，但總體呈上升趨勢。經濟高效但效能較低的 12V 子系統在各種電子設備中仍很常見，因此實現 48V 與 12V 之間的高效橋接（例如用於再生煞車）至關重要。牢記這三個供電網路要素，即可快速完成以 48V 為中心的全新供電網路的設計和原型開發，實現最高功率與電流密度。可擴充的模組化電源組件使 48V 供電網路可滿足未來需求，同時降低功率損耗並簡化散熱管理。最後，集成的低雜訊解決方案可簡化輸入 / 輸出電磁干擾（EMI）濾波器設計。

將高壓高效轉換至 48V

在許多系統中，尤其是那些採用 AC 市電或高壓 DC 輸入的系統，第一階段就是將高壓電源（如 380V、400V 或 800V）降壓至 48V 母線電壓。完成這一步的最佳方案是採用高效的隔離式母線轉換器。這些前端模組具備以下優勢：

- 高功率密度，可最大限度減小解決方案尺寸
- 超高的轉換效率，可降低能耗成本
- 一流的散熱效能，可最大限度減少散熱開銷
- 符合法規認證，可降低工程設計諮詢費用
- 電力隔離設計，確保最終用戶安全並規避責任風險

此環節的成功設計，可為構建穩健的 48V 供電網路奠定基礎，進而為所有下游負載供電。通常，高壓至安全特低電壓的轉換需要在尺寸、重量和效率之間權衡取捨。尋找合適的 DC-DC 轉換器面臨諸多挑戰，包括尺寸、重量、封裝、設計工具可用性等。高度集成且高功率密度的 DC-DC 轉換器模組，為空間受限且需要靈活性和可擴充性的設計帶來了諸多優勢。

直接從 48V 轉換至負載點供電電壓

一旦建立起中央 48V 母線，就必須將電源以精確的電壓輸送至設備設計的各個子系統 —— 處理器、感測器、致動器、馬達、LED 等，並按需提供快速瞬態回應。這些轉換與穩壓階段在轉換為低電壓（如低於 1V、3.3V、5V）時必須保持高效率，節省空間並確保精確的電壓調節，以滿足現代數位與類比子系統的需求。

非隔離母線轉換器是將 48V 降壓至 12V 的理想選擇。這些固定比率 DC-DC 轉換器提供高效率和功率密度。若要將 12V 轉換至負載點電源軌，分比式電源架構（FPA™）解決方案是理想選擇，其中穩壓器（通常遠離負載）為電壓轉換電流倍增器（通常緊鄰負載）供電。這種佈局能夠提供高達數百安培的低壓電流，同時最大限度地減少 PCB 電阻損耗。

將以 48V 為中心的系統與傳統的 12V 週邊設備連接起來

高效的固定比率母線轉換器可實現 48V 骨幹與現有 12V 負載的無縫共存。這種架構靈活性在以下場景下至關重要：

- 因工程資源受限而需漸進式系統設計升級
- 難以重新設計低產量 12V 子系統以支持原生 48V 運行
- 相容現有大批量 12V 現成組件及子系統

通過充分利用雙向 K=1/4 固定比率母線轉換器，設計人員可以遷移至 48V 供電網路，並按需支持原有的 12V 子系統。

採用 48V 電源面臨的挑戰

儘管 48V 電源的優勢顯而易見，但其採用確實伴隨諸多挑戰。數十年來，12V 系統已形成龐大的組件、工具和工程專業技術生態系統。相比之下，48V 設計需要：

- 瞭解新的安全與隔離標準
- 篩選權衡效率、效能、尺寸、重量與成本的優化組件
- 管理電磁干擾與熱耗散
- 開發新的 PCB 佈局規範
- 設計可擴充電源架構

Vicor 48V 供電生態系統

為加速 48V 供電網路的普及，Vicor 打造了全面優化的 48V 應用電源模組生態系統。這些模組具有高功率密度 (W/in^3) 和高電流密度 (A/mm^2)。Vicor 的模組化方案使設計人員能夠使用多種構建模組來構建端到端的 48V 系統，這些構建模組具有以下特性：

- 極其緊湊，功率密度高，支持靈活的外形設計
- 在寬負載範圍內保持高效運行，降低最終用戶運營成本
- 在需要時提供電力隔離，確保符合安全標準
- 採用先進封裝技術優化散熱，最大限度減少散熱硬體

卓越的散熱模組封裝，結合高度功能集成，可縮短設計週期，降低工程風險，並實現跨多個功率等級的可擴充設計。

Vicor 的產品組合包括 48V 生態系統的三大要素解決方案：

- 將高壓轉換至 48V:BCM® 和 DCM™ 模組可實現高效的前端轉換
- 將 48V 轉換為負載點電壓：DCM 模組、ZVS 降壓穩壓器以及 VTM™ 和 PRM™ 模組（支持分比式電源架構）
- 橋接 48V 與原有 12V 系統：DCM、NBM™ 和 ZVS 升降壓穩壓器可實現單向和雙向 DC-DC 轉換

48V 即新一代 12V

從電信領域的起源到在運算、汽車及工業領域不斷擴大的應用，48V 電源正在重塑現代電子系統的供電模式。

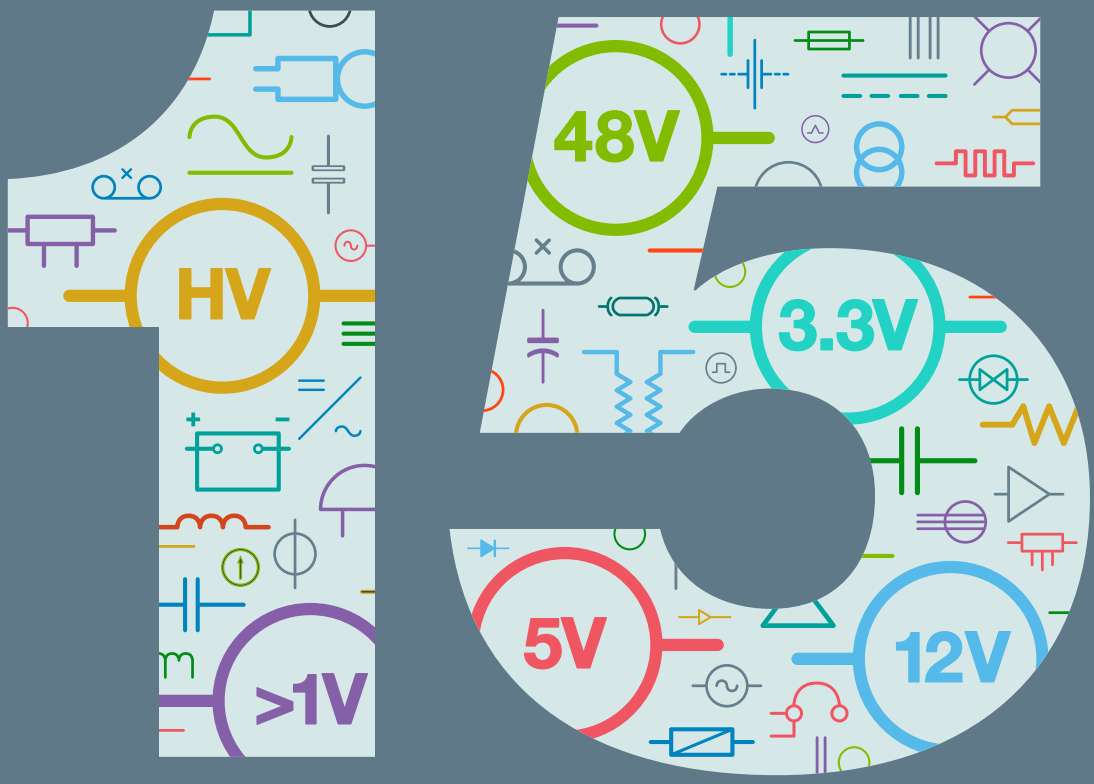
隨著項目週期不斷縮短，採用高效、可擴充的模組來導入 48V 電源架構的簡便性愈發引人注目。

從 12V 到 48V 電源的世代演進，不僅僅是一次簡單的電壓變更。這標誌著電子系統設計正整體演進 —— 為滿足終端用戶日益增長的需求與期望，系統必須具備更強大的功能與容量。

48V 供電網路賦能工程師開發出更緊湊、高效且可靠的設備設計，以滿足先進技術的需求。Vicor 等公司的全面解決方案、拓撲結構、架構及技術支援，確保了遷移過程簡便且成功。

儘管仍存在一些挑戰，但 48V 電源生態系統正在迅速成熟。成功普及所需的各種設計工具、資源、組件和應用工程支持現已全部到位。目前，設計工程師需要在有限的外形尺寸下應對日益增長的功率需求，而 48V 供電網路將成為一項關鍵的使能技術 —— 為未來的系統創新注入動力。

Vicor 和 BCM® 是 Vicor 公司的註冊商標。
DCM™、FPA™、NBM™、PRM™ 和 VTM™ 是 Vicor 公司的商標。



文章

設計 48V 電源網路時需考量並突破的 15 項技術難題

向 48V 供電網路 (PDN) 轉型的優勢已得到充分論證，但其中的技術挑戰卻鮮為人知。當開發工程師首次進行 48V 設計時，各種技術問題自然湧現。為幫助您全面備戰 48V 系統遷移，本文深入解析以下 15 項技術挑戰。

1 在第一級轉換階段實現最高效率

高壓轉 48V 供電網路 (PDN) 設計的關鍵，在於提供符合安全法規標準的隔離方案。

第一級轉換通常無需電壓調節，因此可以使用先進的拓撲結構，特別是固定比率正弦振幅轉換 (SAC™) 技術。固定比率 SAC 母線轉換器採用諧振電路架構，可最大限度減小變壓器漏感，提升轉換效率。此外，零電壓 / 零電流軟切換技術可顯著降低切換損耗，進一步提高效率。SAC 母線轉換器可提供通常超過 4000V 的强電力隔離、雙向運行能力及卓越的瞬態回應效能。現有的固定比率 800V 和 400V SAC 母線轉換器採用小型模組化設計，完全符合爬電距離和電氣間隙標準。

2 降低敏感負載周邊的雜訊

隨著電源系統日益緊湊，採用固有切換雜訊較低的轉換器拓撲來保護對雜訊敏感的負載顯得愈發重要。採用高頻切換的轉換器可將轉換雜訊副產物轉移至更高頻段，便於濾波處理，從而減少對敏感負載的干擾。零電壓切換 (ZVS) 與零電流切換 (ZCS) 等 MOSFET 軟切換技術可顯著降低電磁干擾 (EMI) 雜訊，最大限度減少對雜訊敏感負載的干擾。

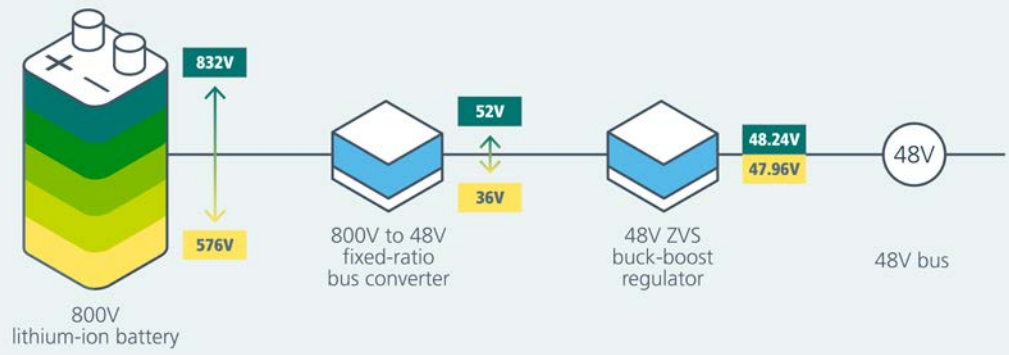


圖 1:800V 電池輸出電壓可能會隨荷電狀態、老化程度、溫度等因素在 576 - 832V 之間波動。高效固定比率母線轉換器雖輸出標稱 48V 電壓，實際仍會反映這一寬電壓範圍。第二級 ZVS 升降壓轉換器則將該電壓範圍精准穩壓至 48V，供下游使用。

3 構建精準穩壓的 48V 母線

某些子系統與外設已遷移至原生 48V 供電模式，特別是那些功耗需求超出 12V 電源合理供電能力的設備。雖然其中一些子系統不需要精密穩壓的 48V 電源軌，但另一些則需要精確的供電穩壓能力。

當使用隔離式固定比率母線轉換器將高壓 DC 電源轉為 48V 時，通常會需要穩壓 48V 母線，因為這類轉換器通常不具備穩壓輸出功能。若母線轉換器由 400V 或 800V 電池供電，其輸出電壓會因電池荷電狀態、環境溫度、電池老化程度及負載特性等因素產生較大波動。例如，800V 電池的輸出電壓可能在 576 - 832V 之間波動。若採用 K = 1/16 的母線轉換器，則這一輸入電壓範圍對應的輸出電壓範圍為 36 - 52V。

在這種情況下，採用零電壓切換 (ZVS) 升降壓 DC-DC 轉換器級會有效解決問題。例如，典型 800W ZVS 升降壓轉換器通常具備寬輸入電壓範圍 (如 38 - 60V，標稱值為 48V)，其標稱 48V 輸出可在 30 - 54V 範圍內調節。此類 ZVS 升降壓轉換器的輸出電壓負載調節率可達 0.3%，滿載時典型轉換效率達 97.7%。這一效能等級足以滿足最嚴苛的 48V 負載需求。

4 確定電源穩壓的最佳位置 —— 上游還是下游？

48V 電源軌的穩壓位置取決於系統設計。若系統中不存在 48V 原生子系統，且所有負載均以 12V、5V、3.3V 或 1V 以下的供電電壓運行，則無需對 48V 電源母線進行實際穩壓調節。此時可通過降壓穩壓器在“橋接”轉換環節 (48V 轉 12V) 或負載點轉換環節 (48V 轉低壓) 進行穩壓。

對於 48V 至 12V 的橋接應用，可選用非隔離式穩壓 DC-DC 轉換器，其連續輸出功率與峰值輸出功率按負載需求進行匹配。輸入電壓範圍應具備足夠裕度，以適應 48V 母線的任何波動。12V 穩壓精度取決於系統要求；ZVS 降壓穩壓器通常可實現 0.1% 的輸出電壓負載調節限值。

對於 5V、3.3V、1.8V 及低於 1V 穩壓負載點處理器供電應用，分離穩壓功能與電流倍增功能具有顯著優勢。這種功能劃分被稱為分比式電源架構 (FPA™)。FPA 定義了一個精確的穩壓級，後接電壓轉換級或電流倍增級，可在精準穩壓供電電壓下提供大電流輸出。電流倍增轉換的“K 因數”決定輸出電壓，例如 K=1/48 時，可將電壓轉換為 1V 輸出至負載。同時 48V 電源提供的電流將相應地放大 48 倍。分比式電源架構使穩壓級與電流倍增級在物理上分離，從而減少處理器周邊組件佈局的“擁塞”或擁擠問題。

5 為大電流負載供電

為大電流負載供電面臨的一大挑戰，就是最大限度降低印刷電路板（PCB）銅箔導線或導軌中的傳導損耗。針對 AI 處理器等大電流低電壓負載的供電，一個方案就是分比式電源架構（FPA™）。在此架構中，大功率穩壓級將 54V 高效轉換為 48V。該穩壓級可部署在加速器 PCB 週邊，避免與記憶體及高速串列 I/O 等功能爭用空間。該穩壓級對 48V 電源進行精準穩壓，使下游無需額外穩壓。

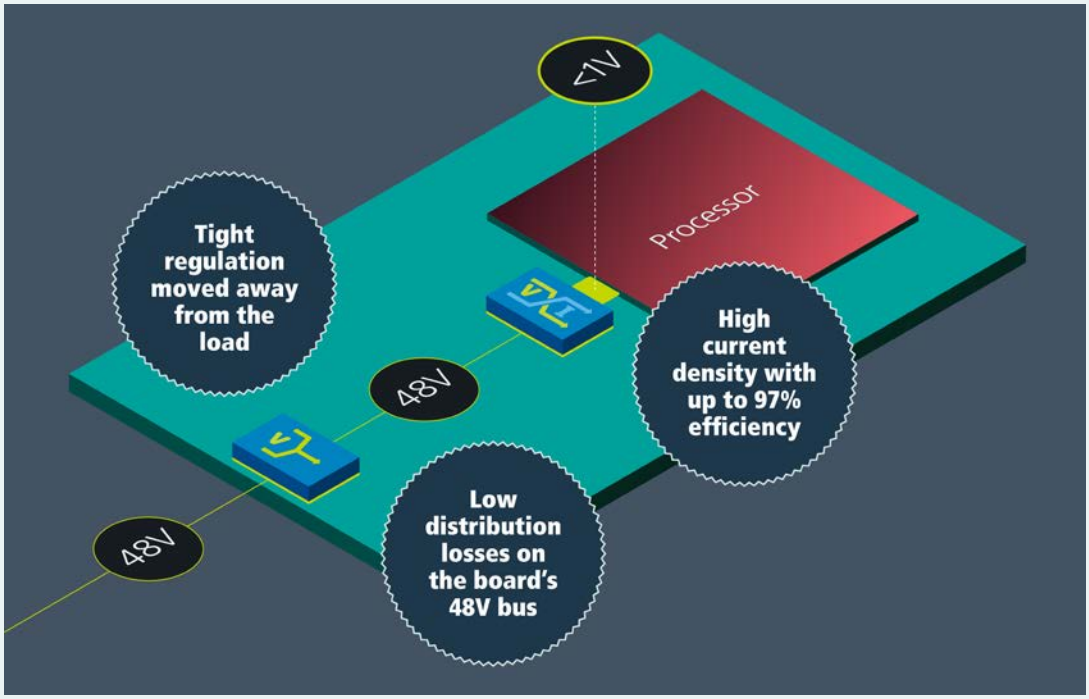


圖 2：在分比式電源架構中，第一級穩壓器遠離處理器，為其他關鍵功能預留空間。第二級電流倍增器採用高效率固定比率轉換將 48V 轉換為 1V（或其他低壓），可橫向或垂直置於處理器下方，以限制 PCB 傳導損耗。

採用 48V 作為中間母線電壓可最大限度降低傳導損耗。電壓轉換級或電流倍增級可水平佈置於處理器旁（橫向供電），或理想情況下垂直佈置於處理器下方（垂直供電）。此佈局可縮短電流倍增器與處理器電源 / 接地端之間的 PCB 銅線走線長度，從而降低 PCB 阻抗及相關電阻散熱損耗。電壓轉換與電流倍增模組均為固定比率轉換器，可在不到 1V 的電壓水平下輸出數百安培電流。FPA 方案可滿足最先進 CPU、GPU 及網路處理器的供電需求。

6 在高壓下實現足夠安全的電力隔離

800V 和 400V 高壓供電系統需提供數千伏的電力隔離。理想情況下，此類系統還應具備高達 100MΩ 的絕緣電阻，以及符合 IEC 60664-1 等行業安全標準的爬電距離和電氣間隙。基於標準切換拓撲的分立式設計方案在實現高隔離等級方面存在固有局限，其制約因素包括：組件間寄生電容、爬電距離與電氣間隙的佈局不足，以及在維持隔離屏障介電完整性的前提下難以同步高速切換訊號等。

採用 SAC 拓撲的 DC-DC 轉換器憑藉零電壓 / 零電流切換技術，可實現極高壓隔離等級。這些軟切換技術可顯著降低電磁干擾並最小化隔離屏障兩端的電壓應力，從而在不影響絕緣效能的前提下採用緊湊的磁性結構。因此，SAC 拓撲結構的 DC-DC 轉換器可整合高隔離度變壓器，即使在密度高、電壓高的環境中也能保持效率，而分立元件解決方案在這種環境中往往會失效。

7 板卡空間受限時如何設計安全的爬電距離與電氣間隙

高壓組件在 PCB 板上密集排布時，電弧放電（電氣間隙不足）和爬電（爬電距離不足）風險顯著加劇。需注意：電弧放電和爬電這兩種現象受工作電壓、污染等級、海拔高度、濕度、絕緣材料及瞬態電壓等多重因素影響。雖然灌封裝（Potting）工藝可降低風險，但全模塑封裝才是更有效的解決方案。選用高功率密度集成解決方案更為理想，因其將電源系統所需元件封裝在環氧樹脂模塑封裝內，可降低甚至消除電弧與漏電風險。關鍵是電源解決方案供應商必須按照 IEC 60664-1 和 62368-1 等標準進行爬電距離與電氣間隙的合規測試。

8 克服 48V 組件生態系統不完善的難題

當前 48V 組件及配套生態系統的發展成熟度，遠不及歷經數十年發展的 12V 生態系統。在多數情況下，12V 組件與子系統已實現充分的成本優化，同類功能元件通過價格競爭形成多元化供應。合理的系統架構選擇應是：當 12V 子系統能滿足效能目標時予以保留，僅在高壓能帶來關鍵效能優勢時選用 48V 子系統。鑒於分立式電源方案所需的 48V 電源元件相對稀缺，模組化 48V DC-DC 轉換器成為極具吸引力的選擇。採用模組化電源轉換器可顯著縮短產品開發週期、測試時間，減少專業工程設計資源投入及成本支出，同時支持快速原型設計，並減輕物料清單採購與零組件生命週期管理的負擔。

若需融合這兩種方案，建議採用 48V 轉 12V 的橋接策略。若 48V 母線已穩壓，採用 48V 轉 12V 固定比率非隔離雙向母線轉換器最為理想，因為它的轉換效率通常極高。若 48V 母線未穩壓，則可通過非隔離零電壓切換（ZVS）降壓 DC-DC 轉換器，從 48V 非穩壓電源輸出 12V 穩壓電源。

9 滿足高峰值功率需求，同時避免過度設計供電網路（PDN）

實際應用中的許多系統會出現間歇性功率需求高峰期。但為滿足間歇性峰值功率（負載變動）需求而專門設計電源系統，可能造成成本浪費。通常採用負載點電容器為功率峰值提供能量支持。現代電源系統可提供短時（例如 20 毫秒）峰值功率容量，該容量比持續輸出功率規格高 50%。

固定比率 SAC 母線轉換器能實現快速暫態響應（每秒數百萬安培），可降低為滿足峰值功率需求而過度設計額定輸出功率的必要性。此類轉換器還具有獨特的電容倍增特性：輸入電容值乘以 K 因數的平方後，將顯示為有效輸出電容。這一特性可減少滿足峰值負載變動需求所需的電容量。

10 提升切換器件的效率與可靠性

DC-DC 轉換器的效率與轉換拓撲結構和電路劃分、MOSFET 切換頻率等因素相關。採用零電壓切換與零電流切換技術的轉換器拓撲結構，其效率可高於其他拓撲結構。分比式電源架構的第一級採用高效穩壓器，第二級導入電壓轉換 / 電流倍增，憑藉固定比率電流倍增器（其作用類似理想的 DC-DC 變壓器），可實現卓越效率。MOSFET 高切換頻率可最大程度降低電路寄生效應並提升轉換效率。採用低熱阻以及在模組頂部和底部設定共面散熱介面的先進封裝，可有效降低電源模組內部的最高溫度，從而提升系統可靠性（即平均故障間隔時間（MTTF）更長）。

11 構建緊湊、高效散熱的供電網路

顯然，維持緊湊型供電網路低溫運行的最有效管道是採用高效的 DC-DC 轉換器。除此之外，緊湊型電源系統不僅需應對各個組件和模組的散熱問題，還需處理緊密排布組件與模組之間的相互熱耦合。通常而言，超過 1kW 的大功率 PDN 必須採用風冷或液冷硬體散熱。電源系統的功率密度（W/in^3）越高，採用主動（風冷或液冷）冷卻系統的重要性就越突出，這是確保高可靠性的關鍵。對於更傾向於被動散熱管道的系統（尤其是緊湊型供電網路），採用高轉換效率且低熱阻封裝的電源系統組件尤為重要。

12 在寬輸入範圍下獲得穩定輸出

微處理器、記憶體和資料轉換器等一些電子子系統必須獲得穩定的供電電壓，以避免內部器件永久性損壞（先進電晶體工藝電晶體對供電電壓極為敏感）。例如，電源穩壓級的作用在於：從寬電壓範圍輸入（典型值 40 - 60V）提供精確穩壓的 48V 輸出（典型輸出負載電壓調節率約 0.2%）。這使得第一級穩壓器能配合電池供電的母線轉換器工作，當電池的荷電狀態、溫度和老化程度變化時，額定 400V 電池的電壓可能在 340 - 460V 之間波動。通過 K=1/8 的固定比率級將該電壓範圍轉換為 42.5 - 57.5V，正好處於穩壓器的輸入範圍之內。根據具體應用場景，寬輸入範圍穩壓器是確保功能相容性的關鍵。

13 實現高瞬態回應

許多電子與機電系統均具有高瞬態或暫態功率需求特徵。例如，汽車中的 12V 和 48V 電池需滿足車內不同子系統（如空調電機）的瞬態電流需求。又如，多核資料中心 AI 處理器會因演算法負載變化引發電流瞬態。這兩類場景中，採用正弦振幅轉換（SAC™）拓撲的固定比率轉換器是應對這些瞬態需求的最佳供電網路解決方案。這類轉換器採用高頻切換，以更高頻次向輸出端傳輸能量，有效滿足瞬態電流需求。它們的另一特性是低輸出 AC 阻抗，這有助於在瞬態事件中保持輸出電壓穩定。此外，採用 SAC 技術的轉換器還具有電容倍增效應：輸入電容值乘以轉換比（K）的平方後，將有效顯現在輸出端。這種電容倍增效應顯著提升了供電網路的整體瞬態效能。

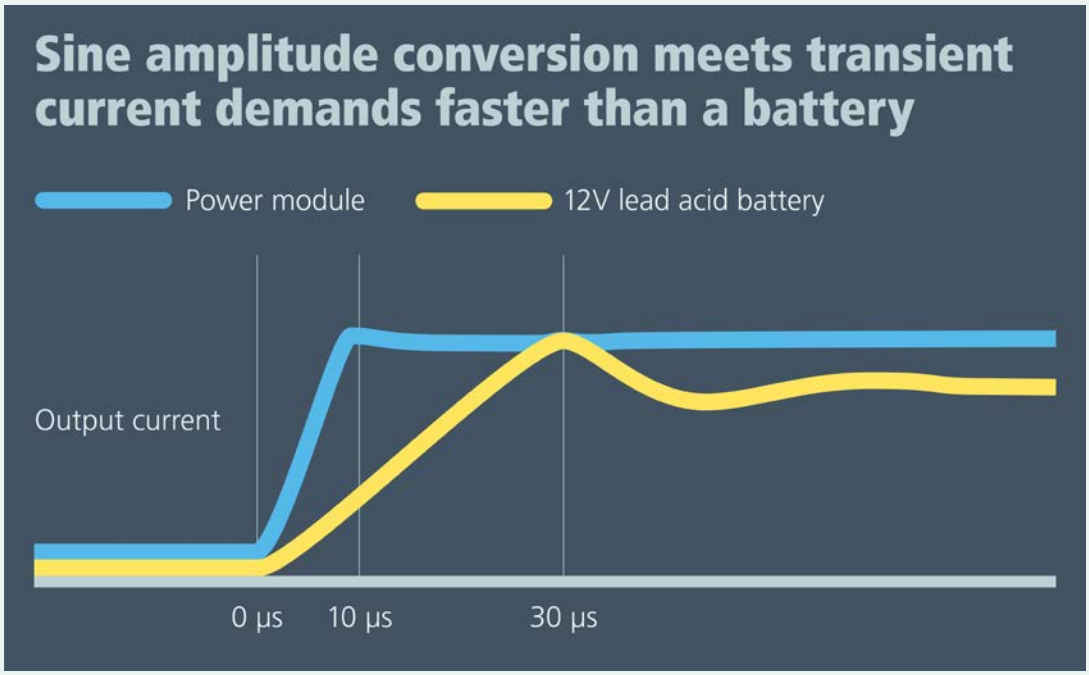


圖 3：高頻開關諧振正弦振幅轉換器採用軟開關技術（零電壓開關和零電流開關）。其特點是控制頻寬高、AC 輸出阻抗低且輸入電容倍增效應顯著，這些特性共同造就了遠超鉛酸電池的極高瞬態回應能力。

14 兼容傳統 12V 負載

大多數系統仍包含 12V 負載，例如 12VDC 風扇。這些 12V 子系統歷經多年生產已實現成本優化，若替換為 48V 方案可能缺乏經濟吸引力。對於需要穩壓電源軌的子系統，理想方案就是採用 48V 轉 12V DC-DC 轉換器；而對於需要非穩壓電源軌的子系統，可採用 48V 轉 12V 非隔離母線轉換器。若上游 48V DC-DC 轉換器具備穩壓功能，則非隔離母線轉換器方案也可為 12V 子系統提供穩壓輸出。

15 確保 48V 供電網路可擴充且便於原型設計

各類電子系統的功率需求通常會隨時間的推移而增長，例如，電腦系統中可能增配記憶體或網路硬體。理想方案是無需大幅重新設計系統就能擴充供電網路容量。雖然這種情況需要提前規劃，但完全可以實現。

一些模組化 DC-DC 轉換器支持陣列工作模式，通過多器件並聯將輸出功率提升至兩倍或四倍。最佳方案是採用簡單的導線互連均流方法來構建這種電源陣列。這種方案的優勢在於：電路板上可預留兩個或四個並聯器件的佈局空間，初期僅安裝其中一個器件。若系統後續功率需求增長，只需增裝一至三個（或更多）器件並連接少量跳接線，即可實現電源系統擴容，滿足系統電源的新需求。

這種便捷的供電擴充方案不僅支持快速評估不同設計方案並加速其原型設計，還允許將同一設計方案用於不同功率需求的系統，大幅提升設計效率。

與分立式方案相比，模組化電源解決方案更便於原型設計。它們結構緊湊、I/O 介面數量相對較少，並且所需的外部組件也極少。更重要的是，這些模組已通過行業及監管標準的預測試與預認證。當項目追求產品快速上市時，電源模組便展現出極具吸引力的價值優勢。

盡職調查助您輕鬆完成 48V 遷移，打造高效能供電網路

48V 系統電源的首次大規模應用可追溯至一百多年前，當時新興的電話行業認識到其在效率與傳輸距離方面的優勢。近年來，開放運算項目（Open Compute Project）積極宣導在資料中心機架內採用 48V 供電。一些電動汽車現已採用 48V 系統電源。

當前，從 12V 供電網路向 48V 供電網路世代變革的步伐正在加速。系統向 48V 遷移，已不是“是否”會遷移，而是“何時”遷移的問題。汽車電氣化、人工智慧運算的爆炸式增長以及大功率工業應用的湧現，共同推動著 48V 供電網路的發展。儘管電源工程師在 12V 供電網路方面擁有數十年經驗並對其充滿信心，但向更高容量的 48V 供電網路遷移時，設計團隊仍面臨諸多挑戰。數十年來，分立式系統在12V 電源設計領域表現出色，但應對日益複雜的供電挑戰時卻力不從心。幸運的是，當前行業在架構、拓撲及封裝等方面的持續創新，將有效緩解新一代 48V 系統的導入難題。這些創新將加速向 48V 遷移的行程，助力打造可擴充、高密度且面向未來的供電網路。

SAC™ 和 FPA™ 是 Vicor 公司的商標。



文章

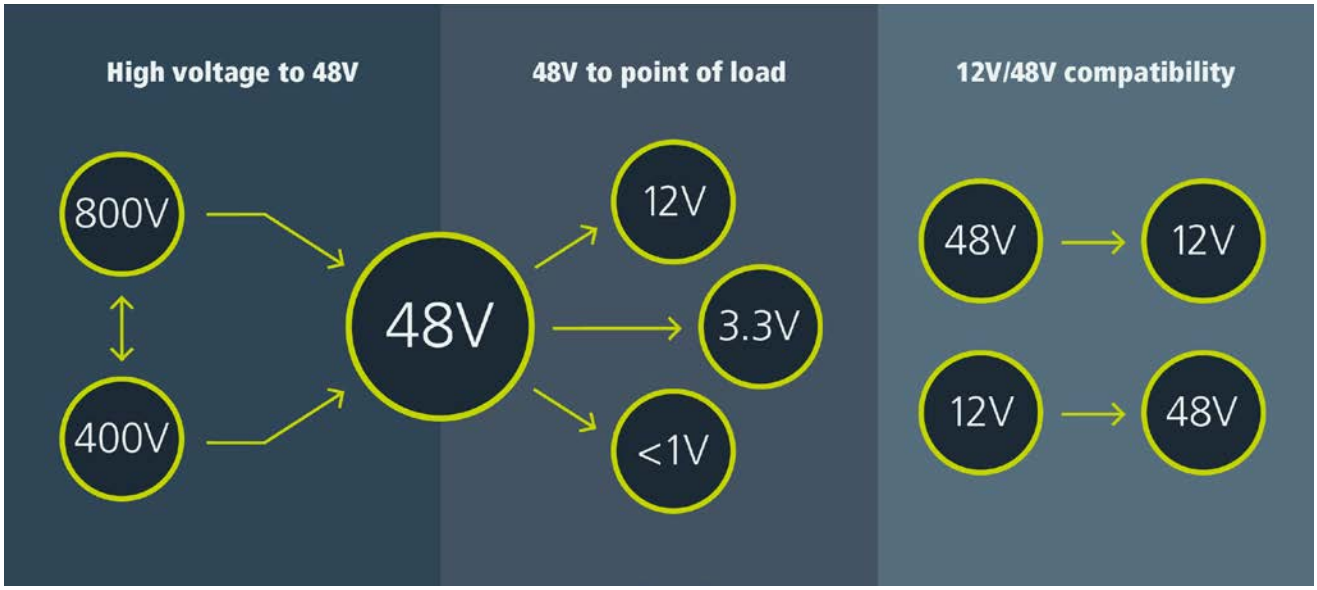
專為 48V 供電網路優化的高效能電源模組

完整的供電網路解決方案

在工業、AI / 資料中心以及汽車應用領域，隨著系統在相同尺寸與重量下對功率需求的不斷提升，向 48V 供電網路的轉換正在加速推進。

Vicor 高密度模組化電源轉換技術，為空間受限且需要靈活性和擴充性的設計提供了關鍵支持。這些電源模組具備低雜訊特性，可簡化濾波器設計；其高效的散熱封裝還能簡化散熱管理，顯著降低功率損耗。借助 Vicor 豐富的先進電源模組、架構及拓撲生態系統，客戶能夠快速完成整個 48V 供電網路的原型設計與部署，輕鬆實現向 48V 系統的轉換。

48V 供電網路的三大核心設計要素



要素一：高效地將高壓轉換至 48V

Vicor 電源模組憑藉業界領先的功率密度與創新架構，為電源設計人員提供隔離式與非隔離式兩類解決方案，有效減小電源系統的尺寸、減輕重量，並充分發揮 48V 母線的優勢。

要素二：從 48V 母線為負載點供電

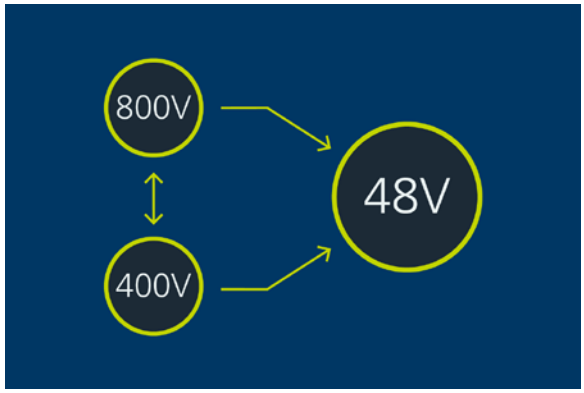
我們的 DC-DC 轉換器與穩壓器在實現高效率與卓越尺寸 / 重量比的同時，兼具模組化供電方案特有的靈活性與可擴充性。

要素三：橋接 48V 與原有 12V 系統

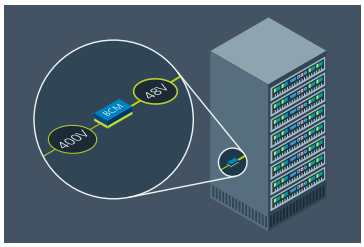
我們的穩壓型與固定比率轉換器正幫助輕鬆轉換至本身高效的 48V 供電，同時減輕了重新設計系統的負擔 —— 這些系統數十年來始終圍繞 12V 架構系統進行優化。

高效地將高壓轉換至 48V

電源設計的首要環節是將整流後的 AC 或高壓 DC 輸入轉換為 48V。設計中常採用隔離式高效轉換器，將 800V 或 400V 等高壓逐步降至 48V。Vicor 電源模組憑藉業界領先的功率密度與創新架構，為電源設計人員提供隔離式與非隔離式兩類解決方案，可減小電源系統的尺寸、減輕重量，並為構建 48V 母線系統提供最高效的解決方案。

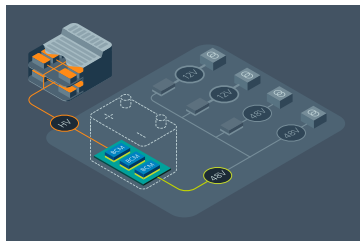


應用示例



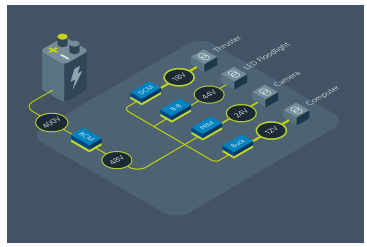
資料中心

通過集中部署 AC-DC 整流與電池備份，資料中心的高壓配電系統可使每個機架容納的處理器數量提升四倍。



汽車領域

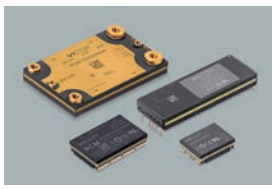
電源模組的快速瞬態回應可省去中間的 12V 或 48V 電池，顯著減輕電動汽車的重量並減少空間佔用。



機器人與無人機

將高壓輸入轉換為 48V 母線，這使機器人能夠節省寶貴的空間和重量，提升生產率、功能性和運行時間。

將高壓轉換至 48V 的電源模組



BCM® 母線轉換器

輸入：800 – 48V

輸出：2.4 – 55.0V

電流：高達 150A

峰值效率：98%

小巧至 22.0 x 16.5 x 6.7 毫米

vicorpower.com/zh-tw/bcm



DCM™ DC-DC 轉換器

隔離穩壓

輸入：9 – 420V

輸出：3.3, 5, 12, 13.8, 15, 24, 28, 36, 48V

功率：高達 1300W

峰值效率：96%

小巧至 24.8 x 22.8 x 7.21 毫米

vicorpower.com/zh-tw/dcm



MIL-COTS DCM™ DC-DC 轉換器

隔離 穩壓

輸入：28, 30, 270V

輸出：3.3, 5, 12, 15, 24, 28, 48V

功率：高達 1300W

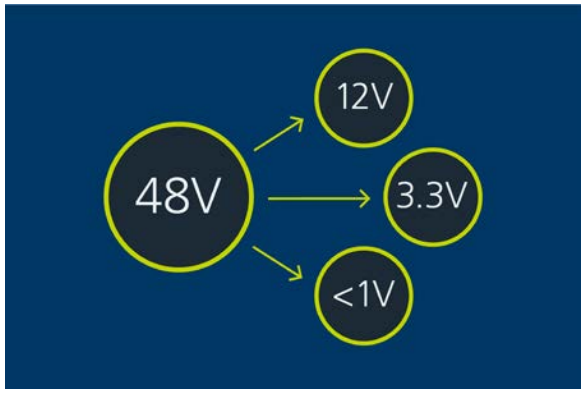
峰值效率：96%

小巧至 0.98 x 0.90 x 0.28 英吋

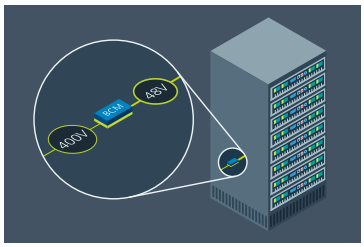
vicorpower.com/zh-tw/mil-cots-dcm

從 48V 母線為負載點供電

48V 至負載點轉換器為處理器、感測器、電機等負載供電。Vicor DC-DC 電源模組包括降壓與升降壓轉換器、穩壓器和固定比率母線轉換器，以緊湊外形實現大功率低壓輸出，提供快速瞬態回應與精準穩壓效能，兼具卓越的尺寸與重量，同時保留了模組化電源方案固有的靈活性與可擴充性。

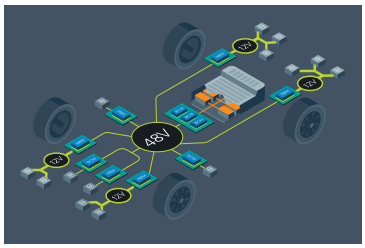


應用示例



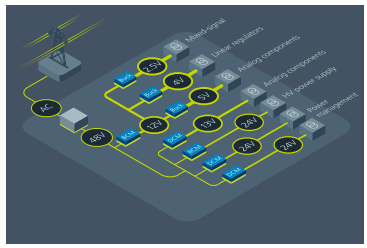
運算領域

垂直供電技術可實現處理器效能水準的突破性提升，滿足 AI 等高效能應用的需求。



汽車領域

Vicor 電源模組支持 300 多種配置方案，作為基礎構建模組，為 48V 區域架構中的每個負載點實現精準供電。



ATE（自動測試設備）

測試設備製造商可輕鬆調整功率等級，支持多種電壓，並在相同的空間內實現最大輸送量。

將 48V 轉換至負載電壓點的電源模組



DCM™ DC-DC 轉換器

隔離穩壓

輸入：9 – 420V

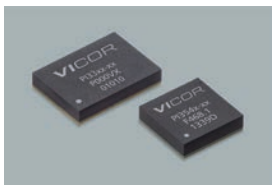
輸出：3.3, 5, 12, 13.8, 15, 24, 28, 36, 48V

功率：高達 1300W

峰值效率：96%

小巧至 24.8 x 22.8 x 7.21 毫米

vicorpower.com/zh-tw/dcm



ZVS 降壓穩壓器

非隔離穩壓

輸入：12V (8 – 18V), 24V (8 – 42V), 48V (30 – 60V)

輸出：2.2 – 16V

電流：高達 22A

峰值效率：98%

小巧至 10.0 x 10.0 x 2.56 毫米

vicorpower.com/zh-tw/buck



ZVS 升降壓穩壓器

非隔離穩壓

輸入：8 – 60V

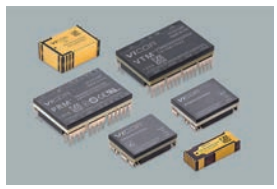
輸出：10 – 54V

功率：高達 150W 持續電流

峰值效率：97%

10 x 14 x 2.56 毫米

vicorpower.com/zh-tw/buck-boost



PRM™ 和 VTM™ 模組

隔離 穩壓

輸入：48V (36 – 75V)

輸出：0 – 55V

電流：高達 130A

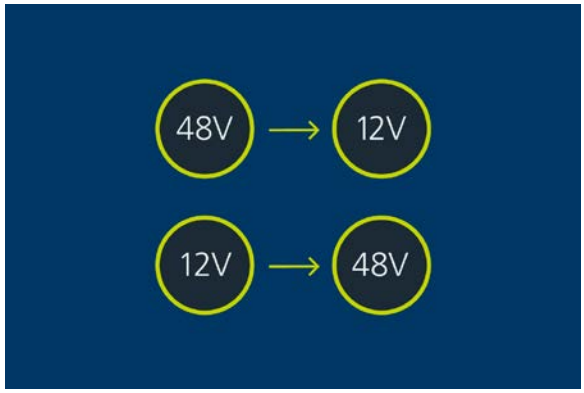
峰值效率：97%

小巧至 22.83 x 8.52 x 4.9 毫米

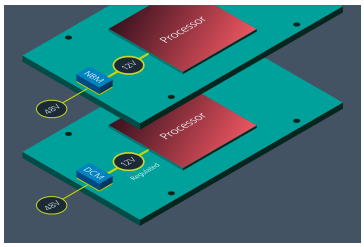
vicorpower.com/zh-tw/prm-vtm

橋接 48V 與原有 12V 系統

48V 與 12V 的兼容設計簡化了向 48V 系統的轉換，使原有 12V 負載能與新型 48V 架構共存。Vicor 的雙向及傳統轉換器支持漸進式升級，構建混合電壓環境，並與現成組件兼容。這減輕了重新設計系統的負擔 —— 這些系統數十年來始終圍繞 12V 架構系統進行優化。

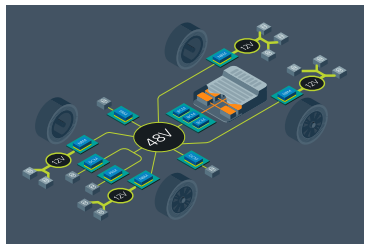


應用示例



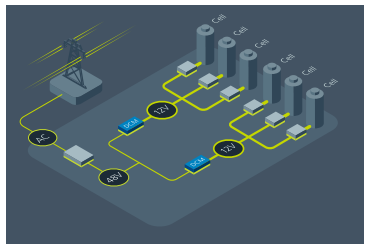
資料中心

Vicor 電源模組可在 48V 資料中心基礎設施中為原有 12V 板卡供電。雙向模組還能幫助將最新 GPU 集成到原有的 12V 架構中。



汽車領域

Vicor 電源模組在實現高效 48V 架構的同時，消除了改造大量原有 12V 系統帶來的風險與時間限制這兩大瓶頸。



電池測試

48V 供電方案既相容為電池監控與均衡控制單元供電的原有 12V 母線，又實現了尺寸、重量和效率的顯著改善。

將 48V 轉換至 12V 以及 12V 轉換至 48V 的電源模組



DCM™ DC-DC 轉換器

非隔離 穩壓

輸入：40 – 60V

輸出：10 – 12.5V

功率：高達 2kW

峰值效率：96.5%

小巧至 36.7 x 17.3 x 5.2 毫米

vicorpower.com/zh-tw/dcm48to12V



NBM™ 母線轉換器

非隔離固定比率

輸入：36 – 60V

輸出：7.2 – 15.3V

功率：高達 2400W

效率：超過 98%

小巧至 23 x 17 x 5.2 毫米

vicorpower.com/zh-tw/nbm



ZVS 降壓穩壓器

非隔離穩壓

輸入：12V (8 – 18V), 24V (8 – 42V), 48V (30 – 60V)

輸出：2.2 – 16V

電流：高達 22A

峰值效率：98%

小巧至 10.0 x 10.0 x 2.56 毫米

vicorpower.com/zh-tw/buck

案例研究

VICOR

案例研究：自動駕駛電動接駁車



先進的電源模組封裝優化可用功率、可靠性和安全性

客戶所面臨的挑戰

低壓（48V）自動駕駛電動接駁車配備了先進的自動駕駛系統，能夠在複雜的城市道路上自動行駛。GPU 和感測器是自動駕駛系統的關鍵組件，依賴高效能的 ATX 電源。這些電源必須緊湊輕便以適應汽車中的空間限制，高效運行以減少散熱，並保持卓越的可靠性。為了滿足不斷變化的需求，電源系統必須具有可擴充性，以滿足日益新增的 GPU 功率需求，並適應更高電壓的電池。其主要挑戰包括：

- 避免過熱並改善熱管理
- 高效地為 GPU 供電以增強功能和安全性
- 提供多功能、可擴充的解決方案以適應不斷變化的需求

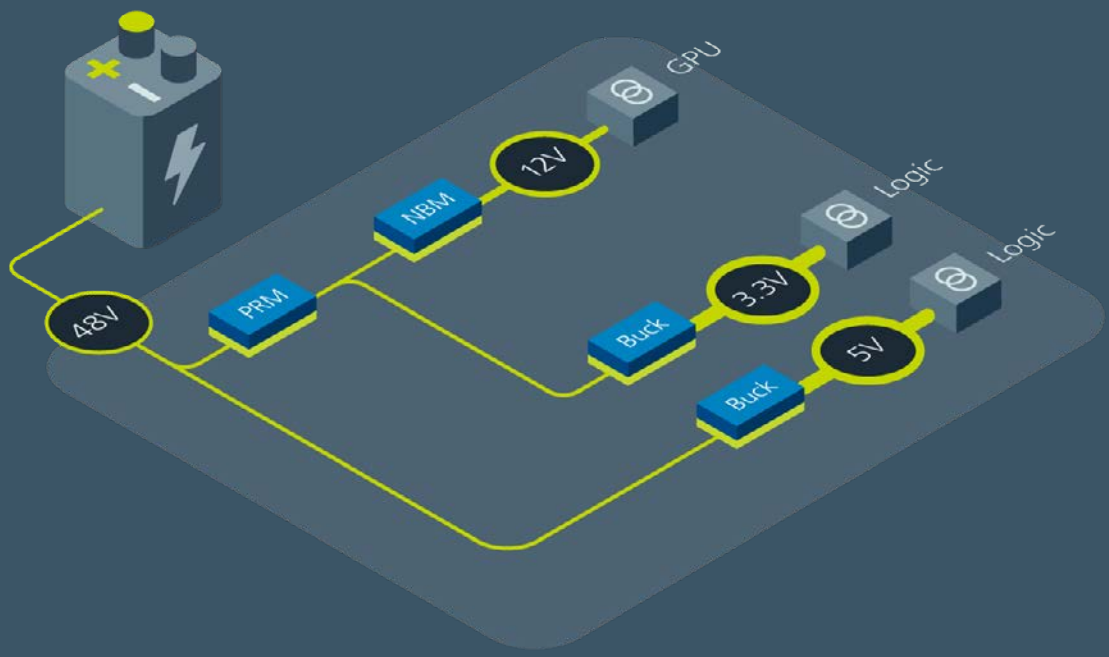
Vicor 解決方案

Vicor 的高效電源模組確保最低的散熱，降低對複雜冷卻解決方案的需求，並最大限度地提升功率輸出。這意味著更高的可用功率和更高的系統可靠性，對車輛安全性至關重要。Vicor 模組的高功率密度可節省空間和重量，從而延長車輛運行時間，優化空間，滿足將來的額外 GPU 功率和功能需求。其主要優勢包括：

- 先進的封裝和高效率降低冷卻需求
- 易於擴充的解決方案，支持先進的 GPU 和導航系統
- 高效的電源模組，優化功耗，新增續航里程，增強功能

供電網路

Vicor PRM 和 NBM 模組的組合 —— 分比式電源架構 —— 高效地將 36 - 75V 輸入降壓至穩定的 12V 輸出。該解決方案提供高達 1200 瓦的可擴充效能，確保無縫地適應不斷增長的處理器需求。Vicor 的零電壓切換（ZVS）降壓轉換器可提供直接大電流（10A+）轉換，實現從電池到標準 5V 和 3.3V 邏輯軌的轉換。這種直接轉換可以最大限度地減少損耗，確保可靠地為關鍵系統組件供電。該供電網路允許在 PRM 模組的上游添加一個母線轉換器模組，將車輛改裝為使用 400V 電池的系統。





NBM™ 母線轉換器

非隔離固定比率

輸入：36 – 60V

輸出：7.2 – 15.3V

功率：高達 2400W

效率：超過 98%

小巧至 23 x 17 x 5.2 毫米

vicorpower.com/zh-tw/nbm



ZVS 降壓穩壓器

非隔離穩壓

輸入：12V (8 – 18V), 24V (8 – 42V), 48V (30 – 60V)

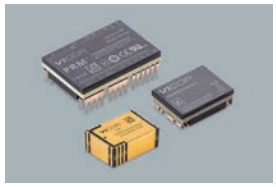
輸出：2.2 – 16V

電流：高達 22A

峰值效率：98%

小巧至 10.0 x 10.0 x 2.56 毫米

vicorpower.com/zh-tw/buck



PRM™ 穩壓器

非隔離穩壓

輸入：48V (36 – 75V)

輸出：48V (5 – 55V)

功率：高達 600W

峰值效率：98%

小巧至 22.0 x 16.5 x 6.73 毫米

vicorpower.com/zh-tw/prm

VICOR

案例研究：
Dragonfly Pictures 無人駕駛多旋翼空中中繼繫留無人機



繫留無人機徹底改變了遠端通訊

客戶所面臨的挑戰

當今的海軍領域變得更加複雜，對更可靠的遠端通訊和情報、監視和偵察（ISR）的需求也在增長。為了抵禦惡劣的天氣條件，他們已將注意力轉向垂直升空繫留無人機技術。這項新技術或許會實現所有的預期目標，但仍有續航時間、穩定性和生存能力等挑戰需克服。Dragonfly Pictures 的主要目標包括：

- 保持纖細的繫線，減輕重量
- 高功率密度，支持更高電壓輸入
- 低電磁干擾，提升通訊信號質量

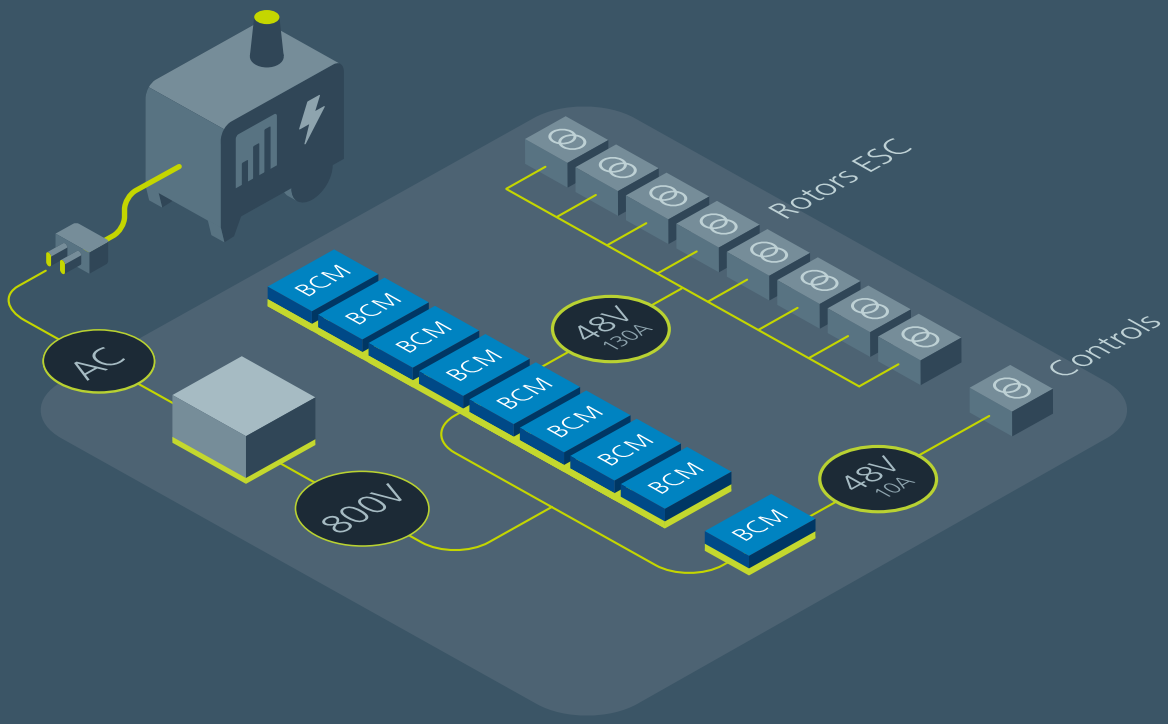
Vicor 解決方案

DPI 無人多旋翼空中中繼（UMAR）繫留無人機可在高達 500 英尺的高度提供 400 多小時的不間斷正常運行和工作。為了實現這一目標，需要在極高的電壓（500 – 800V）和低電流下將電源從主船輸送到無人機，以便能夠使用更細、更輕的繫線，從而實現無人機更好的機動性和更大的機載有效載荷。此外，高壓轉換必須在盡可能更小、更輕的封裝外殼中實現。其主要優勢包括：

- 高功率密度實現更小的外形尺寸和更低的重量
- 更高的電壓輸入提供更高的效率，實現更長的飛行時間
- 低雜訊功率拓撲支持更低的 EMI 和更清晰的通訊

電源解決方案實現最薄、最輕的繫線

UMAR 繫留無人機使用的 Vicor 高壓 BCM4414 VIA 超薄模組實現了從 800V 到 50V 的高效轉換（98%）。**供電網路**的緊湊佔板面積對於實現極高的功率密度板配置尤為重要。八個 Vicor BCM 的陣列為 DPI UMAR 的八個獨立旋翼供電，能夠在旋翼之間並聯共享電源以新增備援。Vicor BCM 內部的集成濾波功能有助於將 EMI 降至最低。





MIL-COTS BCM®
母線轉換器

隔離 固定比率

輸入：200 – 400V, 400 – 700V, 500 – 800V

輸出：8.1 – 55V

電流：高達 35A

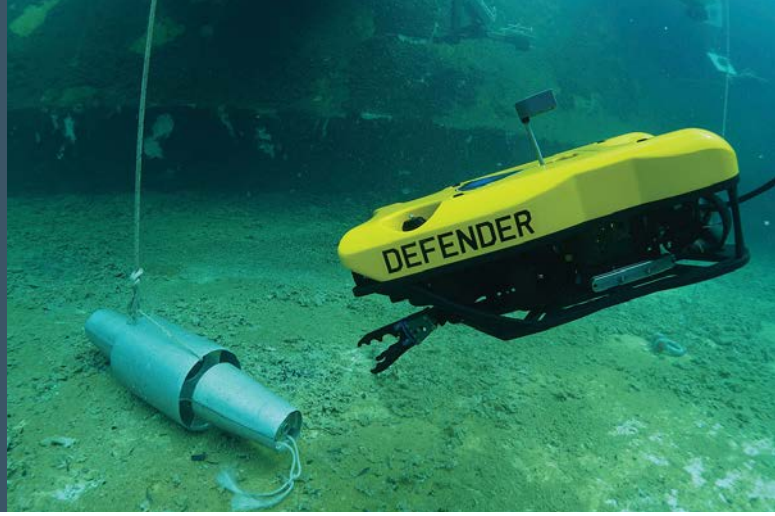
峰值效率：98%

小巧至 1.28 x 0.86 x 0.26 英吋

vicorpower.com/zh-tw/mil-cots-bcm

VICOR

案例研究：VideoRay 模組化多功能遙控水下機器人



水下遙控機器人迅速適應當前危險的水下任務

客戶所面臨的挑戰

為了獲得最佳的機動性並抵消洋流的阻力，水下遙控潛水器的繫線需要 1 千瓦的推進器功率，同時繫線必須又輕又細。在深水中使用時，為了最大限度地提高效能，VideoRay 通過 48V 板載電池為遙控潛水器供電，進一步減小了繫線的直徑。這樣就消除了繫線上的電源線及其重量，使其僅用於通訊目的。其主要目標包括：

- 可擴展的功率，使平台能夠快速重新配置以適應不同的使用場景
- 高功率密度和效率
- 低電磁干擾，避免干擾繫線上的視頻傳輸

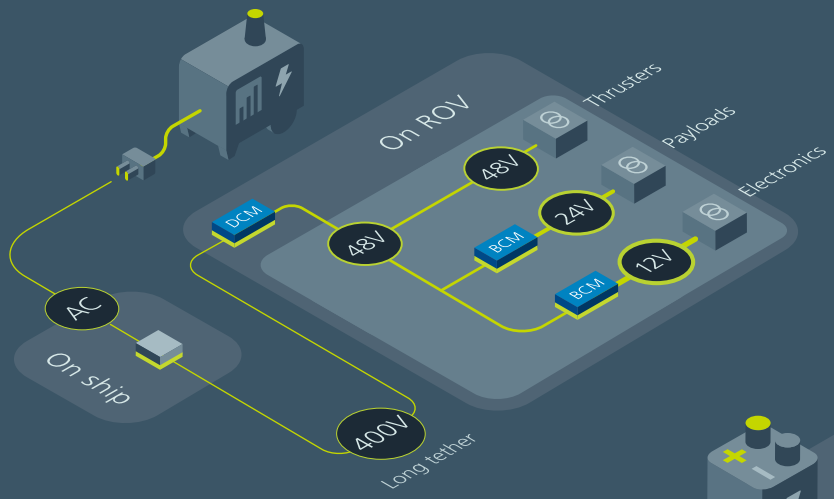
Vicor 解決方案

為每項任務提供合適的效能，需要一款適應性很強的模組化電源系統，滿足每款不同 ROV 的不同有效載荷及其它需求。為確保在更深位置提供更高機動性，每種新配置都需要使用可擴充的供電網路以適應其任務，Vicor 高密度、高效率的電源模組使其成為可能。其主要優勢包括：

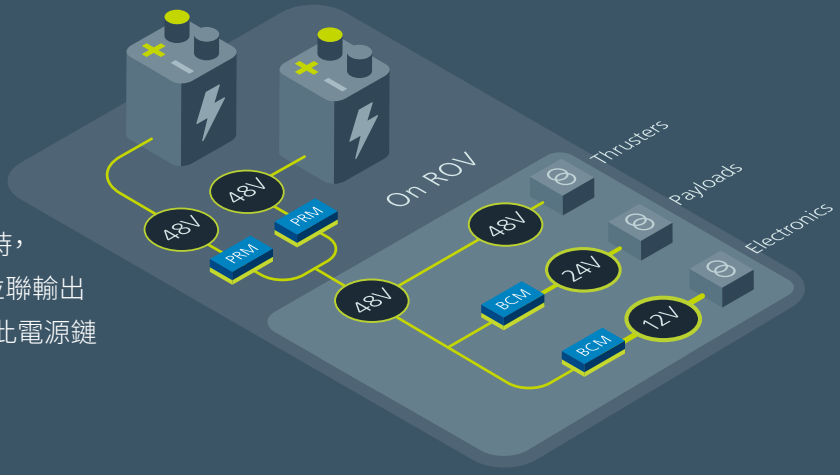
- 電源模組可擴充以滿足不同需求
- 高密度解決方案所占空間僅為磚塊式解決方案的 25%
- 堅固耐用、高度集成的電源模組具備高可靠性

靈活的電源組件可優化多種使用情況下的轉換

供電網路：在船上，來自整流器的 400V 輸出可直接提供給繫線。在 ROV 上，繫線電壓通過 DCM DC-DC 轉換器隔離並穩壓至 48V。穩壓 48V 直接為推進器供電，而兩個效率為 95% 的 BCM DC-DC 變壓器則可為其它船上的電子設備提供 24V 及 12V 輸出。



當 ROV 由兩個 48V 電池供電時，兩個陣列的三個 PRM 穩壓器並聯輸出提供穩定的 48V 輸出。欲分析此電源鏈請訪問 Vicor **白板線上工具**。





DCM™ DC-DC 轉換器

隔離穩壓

輸入：9 – 420V

輸出：3.3, 5, 12, 13.8, 15, 24, 28, 36, 48V

功率：高達 1300W

峰值效率：96%

小巧至 24.8 x 22.8 x 7.21 毫米

vicorpower.com/zh-tw/dcm



PRM™ 穩壓器

非隔離穩壓

輸入：48V (36 – 75V)

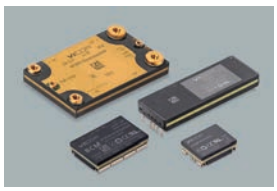
輸出：48V (5 – 55V)

功率：高達 600W

峰值效率：98%

小巧至 22.0 x 16.5 x 6.73 毫米

vicorpower.com/zh-tw/prm



BCM® 母線轉換器

輸入：800 – 48V

輸出：2.4 – 55.0V

電流：高達 150A

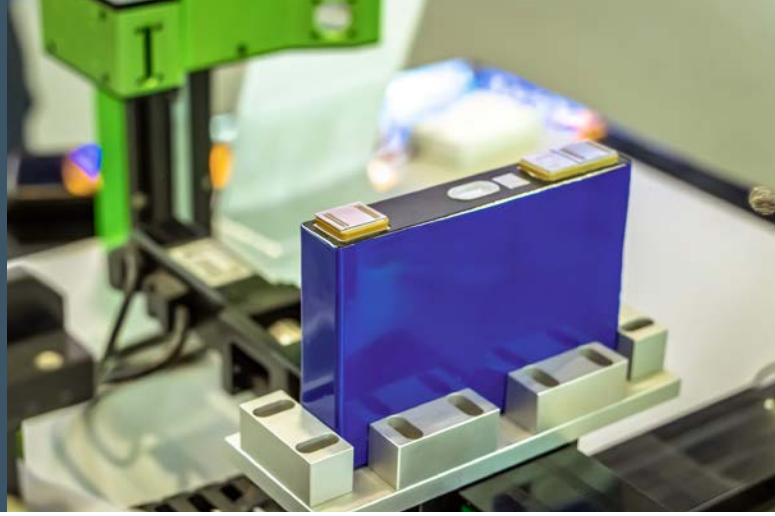
峰值效率：98%

小巧至 22.0 x 16.5 x 6.7 毫米

vicorpower.com/zh-tw/bcm

VICOR

案例研究：電池測試



最大限度提升輸送量，快速靈活適應變化

客戶所面臨的挑戰

隨著電池需求的激增，電池測試設備製造商正面臨巨大挑戰：如何在不新增佔用空間或設備尺寸的前提下，實現輸送量最大化。同時，他們需要確保測試系統能夠輕鬆適配並擴充，以滿足新型或升級版電池包配置的要求。設備還必須在電池測試過程中應對大幅度電流波動，確保持續穩定運行。其主要挑戰包括：

- 在現有高度限制內實現更高密度的供電能力
- 具備高電流能力與寬輸入電壓範圍
- 提供可靈活擴充的解決方案

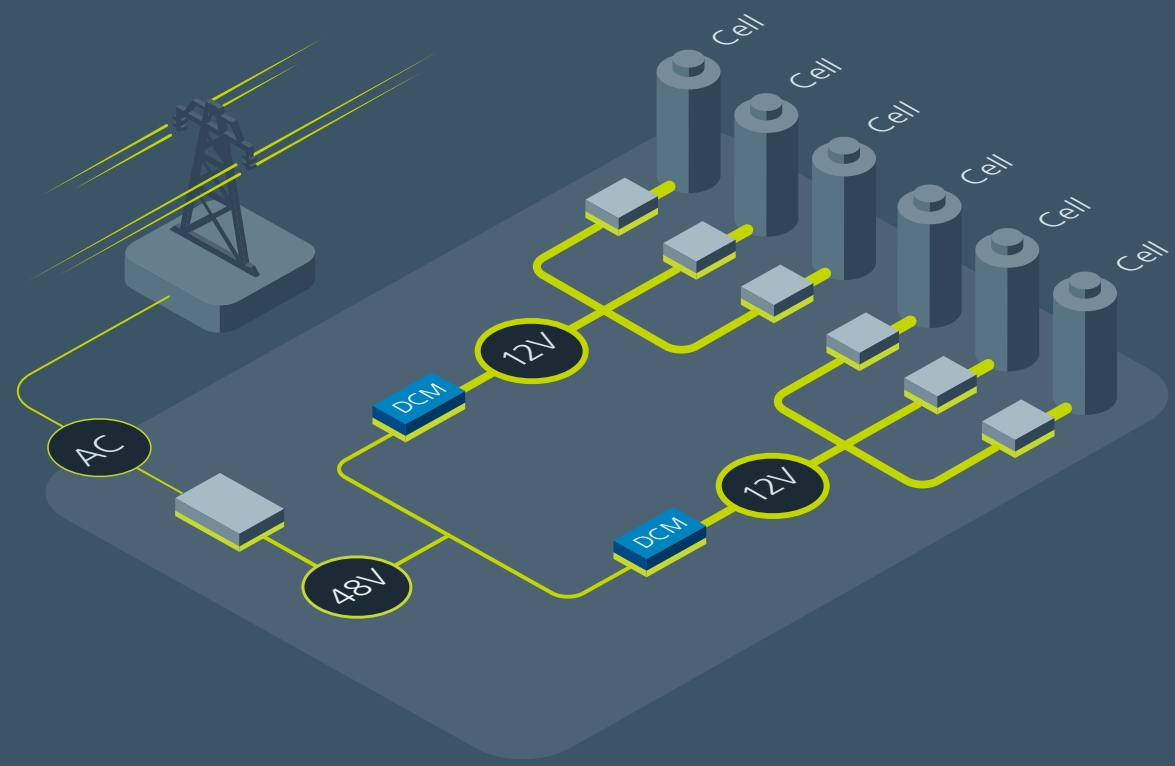
Vicor 解決方案

轉換至 48V 供電架構可顯著提升效率，而 Vicor 電源模組的高密度特性，有助於在更小的空間內實現更大功率傳輸。Vicor 48V 至 24V DC-DC 轉換器可支持沿用原有 12V 系統，節省新設備開發時間與成本。Vicor 的電源模組堅固耐用，專為應對電池測試過程中常見的高電流、有時甚至不可預測的電流而設計，其主要優勢包括：

- 顯著縮小尺寸並減輕重量
- 支持從 0V 至 48V 以上的電池電壓
- 能夠快速且輕鬆地適應不斷變化的需求

供電網路

採用非隔離、穩壓型 Vicor DCM™ 模組，可為下游電池監測 / 均衡控制單元供電的原有 12V 母線提供高效轉換，極大簡化了 48V 架構的導入。這一高效能解決方案在尺寸、重量和能效方面優勢顯著。該電源模組簡便易用，不僅降低了設計複雜性，還可通過並聯擴充功率。





DCM™ DC-DC 轉換器

非隔離 穩壓

輸入：40 – 60V

輸出：10 – 12.5V

功率：高達 2kW

峰值效率：96.5%

小巧至 36.7 x 17.3 x 5.2 毫米

vicorpower.com/zh-tw/dcm48to12V

工具

此部分簡述了 Vicor 工具，這些工具為新手以及有經驗的工程師提供了一個數位化的工作區，他們可以設計和測試電源模組解決方案，以最適配他們的應用需求。

電源系統設計工具

電源系統設計工具是一款對用戶實用的軟件，新手或有經驗的系統設計師都可以利用它來構建端到端的供電網路。該工具利用 Vicor 的電源組件設計方法，產生優化的解決方案，而無需產生耗費時間的試驗和錯誤。電源系統設計工具還提供了比傳統方法快 75% 的服務，並允許用戶匯出最終 BOM。

白板工具

白板是擁有具有方便使用工作區的線上工具，用戶可以使用它來分析和優化不同電源鏈的效能。用戶能够利用高密度、高效率的 Vicor 電源模組為其應用需求找到最佳解決方案。此外，用戶可以為電源設計的每個組件設定工作條件，並獲得單個組件和系統整體的損耗分析。

©2025 公司版權所有。Vicor 名稱是 Vicor 公司的註冊商標。所有商標、產品名稱、徽標和品牌均為其各自所有者的財產。版本 Rev 1.0 11/2025