

## Technical Article

## 伺服器電源供應設計的五大趨勢



Richard Yin

伺服器對於處理資料通訊至關緊要，因此伺服器產業與網際網路同步呈指數級成長。儘管伺服器單元最初是以 PC 架構為基礎，但伺服器系統必須能夠處理網路主機數量和複雜性不斷增加的問題。

圖 1 顯示了資料中心的典型機架式伺服器系統，以及伺服器系統原理圖。電源供應單元 (PSU) 是伺服器系統的核心，且需要複雜的系統架構。本文將探討五大伺服器 PSU 設計趨勢：功率預算、備援、效率、操作溫度以及通訊和控制。

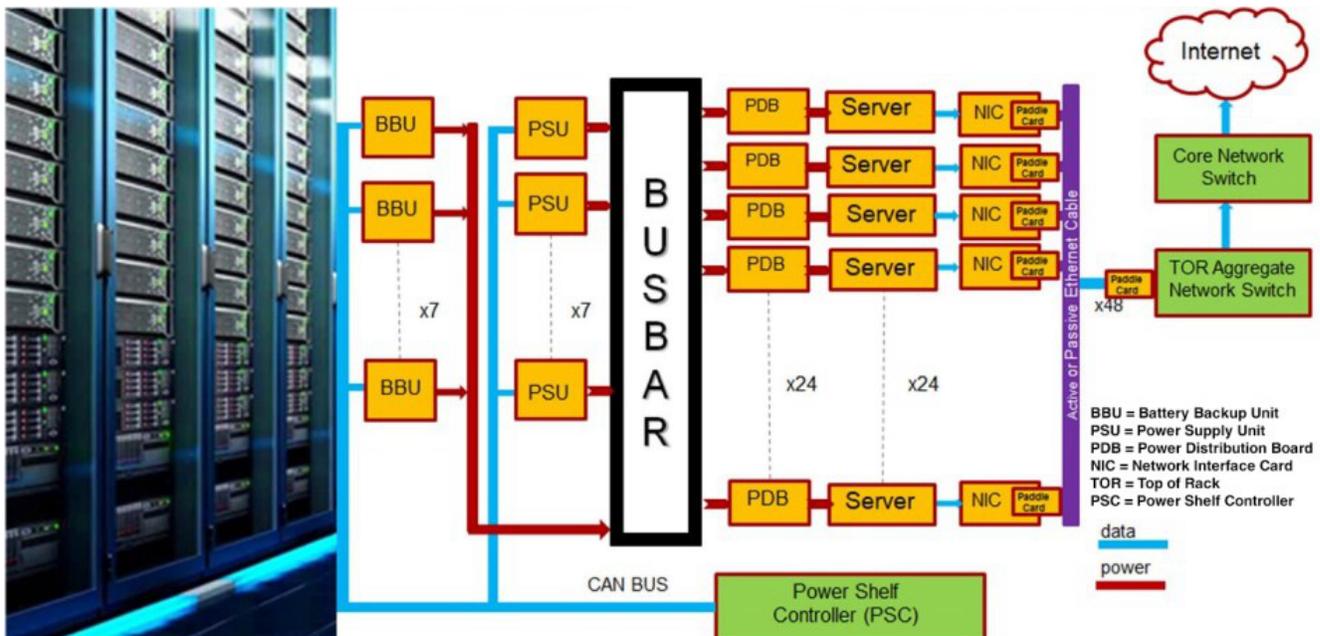


圖 1. 伺服器系統原理圖以及伺服器在資料中心的位置。來源：德州儀器

## 趨勢 1：功率預算

在 21 世紀早期，機架式或刀鋒式伺服器 PSU 的功率預算範圍為 200W 至 300W。當時，每個中央處理器 (CPU) 的功耗範圍為 30W 至 50W。圖 2 顯示 CPU 功耗趨勢。

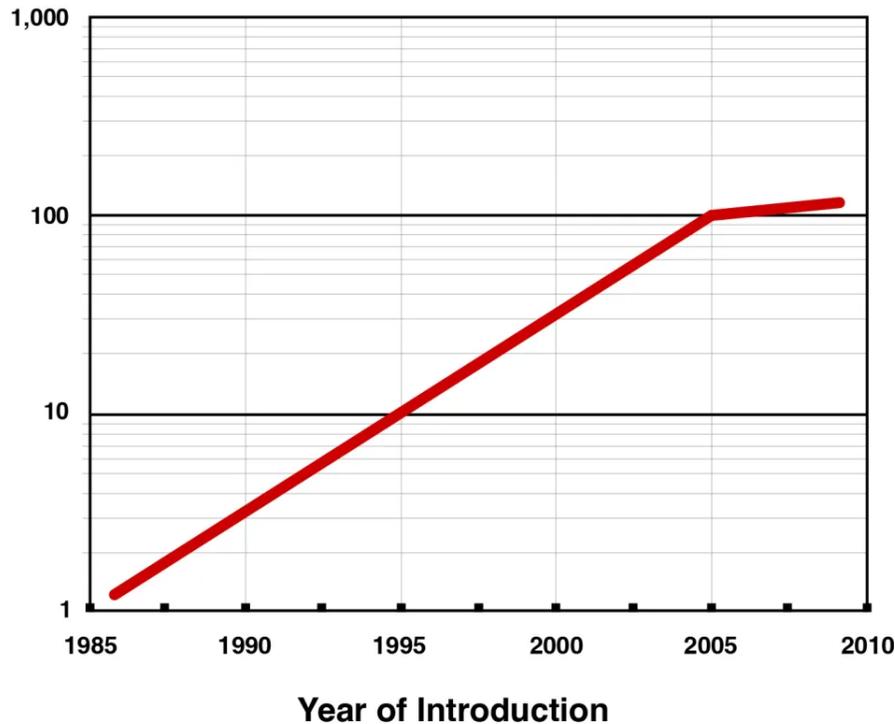


图 2.21 世紀早期的 CPU 功耗趨勢。

時至今日，伺服器 CPU 的功耗大約為 200W (熱設計功率趨近 300W)，將伺服器 PSU 的功率預算範圍大幅增加至 800W 至 2,000W。為了支援日益增加的伺服器運算需求，例如網際網路上的雲端運算和人工智慧 (AI) 計算，伺服器可納入圖形處理單元 (GPU) 來與 CPU 共同運作。此作法可能會在五年內將伺服器的功率需求增加到 3,000W 以上。不過，由於大多數的機架式或刀鋒式伺服器 PSU 仍使用額定電流高達 16A 的交流插座，因此其功率預算有限：240V 交流輸入時約為 3,600W，這中間考量到了轉換器效率。因此在近期內，3,600W 仍將是伺服器機架式 PSU 的功率限制值。

針對資料中心供電架，伺服器 PSU 設計人員廣泛採用國際電工委員會 (IEC) 60320 C20 交流插座，其額定電流為 20A。PSU 功率預算受其交流插座電流額定值的限制，現今的資料中心 PSU 允許大約 3,000W；但在不久的將來，資料中心 PSU 的功率位準可能會增加到 5,000W 以上。為了提高每個 PSU 的功率預算並實現更高的功率密度，您還可以使用交流插座匯流排來提高輸入電流額定值。

### 趨勢 2：備援

由於伺服器系統可靠性與可用性至關緊要，因此需要備援 PSU。若有一個或多個 PSU 發生故障，系統中的其他 PSU 可以接管供電。

簡易伺服器系統可具備 1+1 備援能力，這意味着系統中有一個主動 PSU 與一個備援 PSU。複雜伺服器系統可能具備 N+1 或 N+N (N>2) 備援能力，取決於系統可靠性與成本考量而定。為了在需要更換 PSU 時維持系統正常運作，系統需要使用熱插拔 (ORing 控制) 技術。此外，由於多個 PSU 會在 N+1 或 N+N 系統中同時傳送電力，伺服器 PSU 也需要均流技術。

PSU 即使處於待機模式 (未從主電源軌向輸出供電)，仍需要在熱插拔事件後立即提供全功率，因此需要不斷啟動功率級。為了減少處於待機模式時的備援電源供應器功耗，「冷備援」正成為目前的發展趨勢。冷備援的用途是關閉主電源操作或在突發模式下運作，從而使備援 PSU 將待機功耗降至最低。

### 趨勢 3：效率

2000 年代初期的效率規格僅略高於 65%；當時的伺服器 PSU 設計人員未將效率列為優先考量。傳統的轉換器拓撲結構可輕鬆滿足 65% 效率目標。不過，由於伺服器必須持續運作，因此提高效率可大幅降低總體擁有成本。

自 2004 年以來，80 Plus 標準為效率達到 80% 以上的 PC 和伺服器 PSU 系統提供了認證。目前量產中的伺服器 PSU 大多可達到 80 Plus Gold (>92% 效率) 要求，有些甚至可以達到 80 Plus Platinum (>94% 效率)。

目前開發中的伺服器 PSU 主要針對更高的 80 Plus Titanium 規格，該規格要求在半負載下需要超過 96% 的峰值效率。表 1 顯示各種 80 Plus 規格。

**表 1. 80 Plus 規格可確保效率超過 80%。**

230 V internal redundant				
	10%	20%	50%	100%
80 Plus				
80 Plus Bronze		81%	85%	81%
80 Plus Silver		85%	89%	85%
80 Plus Gold		88%	92%	88%
80 Plus Platinum		90%	94%	91%
80 Plus Titanium	90%	94%	96%	91%

此外，根據資料中心 PSU 遵循的開放式運算專案 (OCP) 開放式機架規範，PSU 必須達到 97.5% 以上的峰值效率。因此，諸如免橋接功率因數校正 (PFC) 和軟切換轉換器等新拓撲結構，以及碳化矽 (SiC) 與氮化鎵 (GaN) 等寬能隙技術，可協助 PSU 實現 80 Plus Titanium 與開放式運算效率目標。

**趨勢 4：操作溫度：**

在伺服器 PSU 散熱管理方面，設計人員將風扇所在 PSU 交流插座處的環境溫度定義為伺服器 PSU 的操作溫度。2000 年代初期的操作溫度最高為 45°C，而今則攀升到最高 55°C，取決於伺服器機房中的冷卻系統而定。

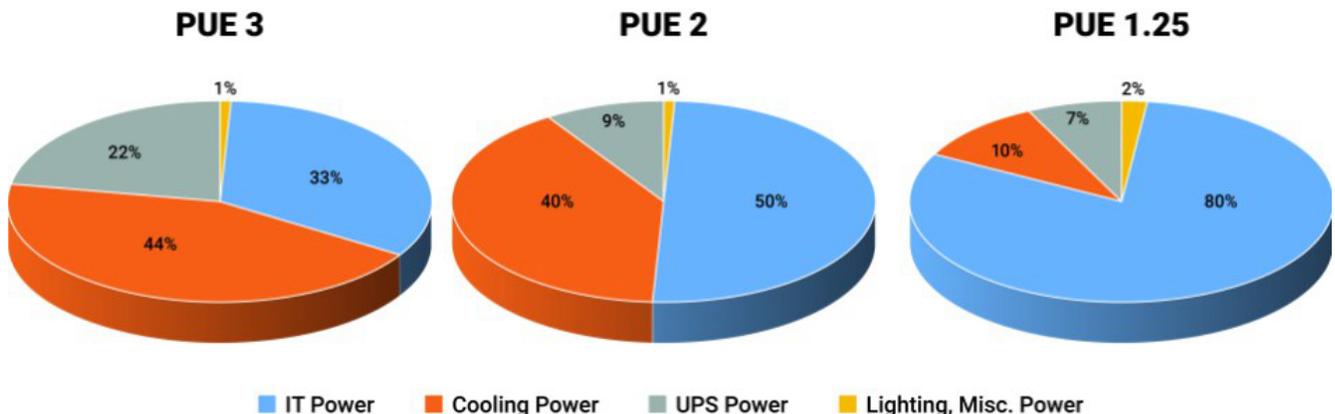
較高的操作溫度可降低伺服器冷卻系統的能源成本。與資料中心的資本支出 (例如硬體設備) 相比，隨著時間推移，作為營運支出的能源成本預計會高於資本支出。根據電源使用效率 (PUE) 標準：

$$PUE = \text{資料中心總功率} / \text{實際 IT 功率}$$

如表 2 中所示，PUE 數字越小表示資料中心效率越高。圖 3 是在不同操作溫度下對 PUE 數字的估計值。例如，PUE 為 1.25 的資料中心僅允許其冷卻系統佔用總功耗的 10%。這意味着需要提高伺服器 PSU 的操作溫度。

**表 2. 較小的 PUE 數字代表更有效率的資料中心。**

PUE	Level of Efficiency
1.25	Very Efficient
1.5	Efficient
2	Average
2.5	Inefficient
3	Very Inefficient



**圖 3. 根據在不同操作溫度下對 PUE 數字的估計，表明了在此較高的操作溫度下冷卻成本會降低。**

## 趨勢 5：通訊與控制

多年來，通訊與控制在伺服器電源方面發揮了重要作用。在 2000 年代初期，PSU 的內部資訊是透過系統管理匯流排介面傳送至系統端。在 2007 年，電源管理匯流排 (PMBus) 介面增加了一些功能，包括配置、控制、監控和故障管理、輸入/輸出電流和電源、電路板溫度、風扇轉速控制、即時更新程式碼、過壓 (電流、溫度) 和保護。此後，為了回應日益增長的資料中心供電架需求，控制器區域網路 (CAN) 匯流排成爲了伺服器電源通訊的一部分。

電源管理控制器也隨著通訊匯流排一同演進。在 2000 年代初期，類比控制器主要負責控制伺服器 PSU。由於日益攀升的控制需求增加了對通訊的需求，使用數位控制器更容易實現這些需求。使用數位控制還可減少硬體工程師的偵錯工作量，從而在 PSU 設計和驗證階段降低人工成本。

### 伺服器 PSU 的未來開發趨勢

隨著伺服器功率預算在體積保持固定的情況下成長，功率密度需求也將變得更加嚴格。新開發的伺服器 PSU 的功率密度已從 2000 年代初期的個位數增加到近 100W/in<sup>3</sup>。透過拓撲結構與元件技術的發展來改善轉換器效率，是實現高功率密度的解決方案。

與電流、功率和效率趨勢相同，理想的二極體/ORing 控制器必須以小型封裝提供高電流。理想的二極體/ORing 控制器還必須整合監控、故障處理和暫態處理等功能，以減少實現這些功能所需的整體元件數量和 PCB 面積。

舉例來說，伺服器 PSU 中的 PFC 電路從被動式 PFC 演進爲主動橋接 PFC，然後再演進爲主動式免橋接 PFC。隔離式 DC/DC 轉換器已從硬切換返馳和順向轉換器，演進爲軟切換電感器-電感器-電容器諧振和相移式全橋轉換器。非隔離式 DC/DC 轉換器已從線性穩壓器和磁性放大器，演進爲搭載同步整流器的降壓轉換器。整體效率的後續提升可降低內部功耗，並減輕解決散熱問題所需的心力。

運用在伺服器 PSU 的元件技術也在不斷進化，從 IGBT 和矽 MOSFET 演進爲碳化矽 MOSFET 和氮化鎵 FET 等寬能隙裝置。IGBT 和矽 MOSFET 的非理想切換特性，將切換頻率限制在 200kHz 以下。寬能隙裝置的切換特性更接近理想的切換，使用寬能隙裝置可實現更高的切換頻率，以協助縮減 PSU 中使用的磁性元件數量。

隨著操作溫度的增加，伺服器 PSU 中的元件需要處理更高的熱應力，這也會推動電路的演進。例如，傳統的實作將機械繼電器與電阻器並聯，以抑制啟動期間的輸入突波電流。然而由於體積龐大、可靠性考量以及額定溫度等因素，因此在伺服器 PSU 中固態繼電器正逐漸取代機械繼電器。

3.6kW 單相圖騰柱免橋接 PFC 設計具有 >180W/in<sup>3</sup> 功率密度和 3kW 相移全橋式設計，主動箝位 3kW 相移全橋式設計則具有 >270W/in<sup>3</sup> 的功率密度，旨在滿足伺服器中常見的備援電源供應器規格 (圖 4)。

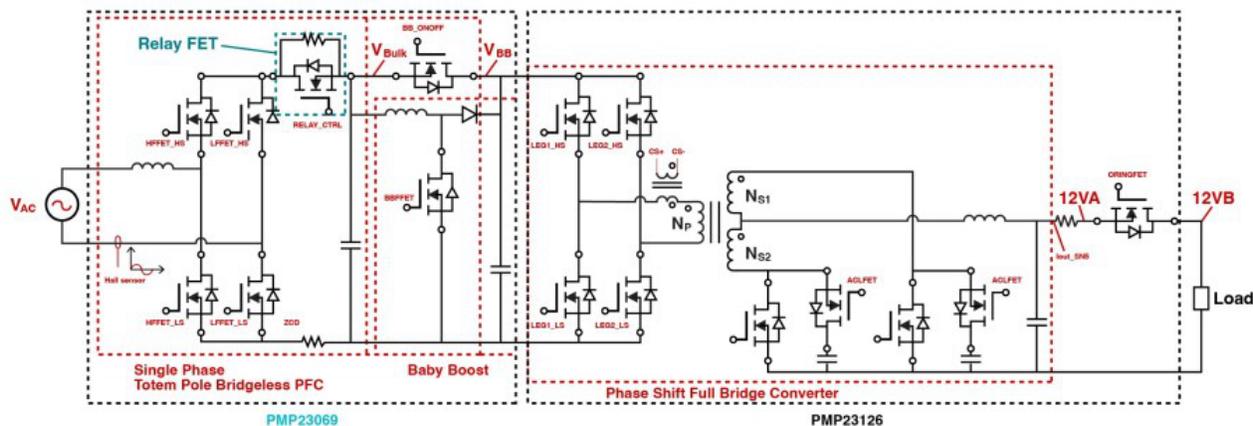


圖 4. 顯示 3.6kW 和 3kW 參考設計的原理圖。來源：德州儀器

在 3.6kW PFC 設計中，固態繼電器可容納高操作溫度。此處的 LMG3522R030 GaN FET 支援使用免橋接圖騰柱 PFC 拓撲結構。「小型升壓」可減少大型電容器體積，以獲得更高的功率密度。

在 3kW 相移全橋式設計中，LMG3522R030 GaN FET 有助於降低循環電流，且可實現軟切換。主動箝位電路可作爲無耗損緩衝器，並能以較低的同步整流器電壓應力實現更高的轉換器效率。上述所有控制需求皆是透過作爲數位控制處理器的 C2000™ 微控制器來實現。

**相關內容**

- [尋求伺服器電源效率](#)
- [GaN、MCU 資料中心供電](#)
- [Facebook 開啓資料中心、伺服器設計](#)
- [伺服器備援電源技術解說](#)
- [資料中心的新一代電源供應解決方案可增進效率](#)

先前發佈於 [EDN.com](#)。

## 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