

Technical Article

以電源與處理器軌監控解決方案設計數據中心電源架構



Masoud Beheshti

機器智能帶來了一個生產力的新時代，並正成為我們生活和社會中不可或缺的一部分，涵蓋許多學科和功能。機器智能依賴於能在極短時間內執行程式碼、解碼資料並從數萬億個資料點中進行學習的計算平台。機器智能的計算硬體需要具備快速、極其可靠和功能強大的特點。設計師必須結合扎實的設計實踐、自我診斷與持續監控機制，以防止或管理系統中資料損毀或通訊錯誤等潛在故障。

此類監控系統的一個基本要素是監督和監控整個系統的電源軌。在本文中，我將探討並說明在企業應用中設計電源供應與處理器軌監控解決方案的一些最佳實踐。

了解電源架構

企業運算仰賴複雜的電源架構，將交流電源的能源傳送至系統中的每個負載點。圖 1 為伺服器機架中元件的高階圖示。

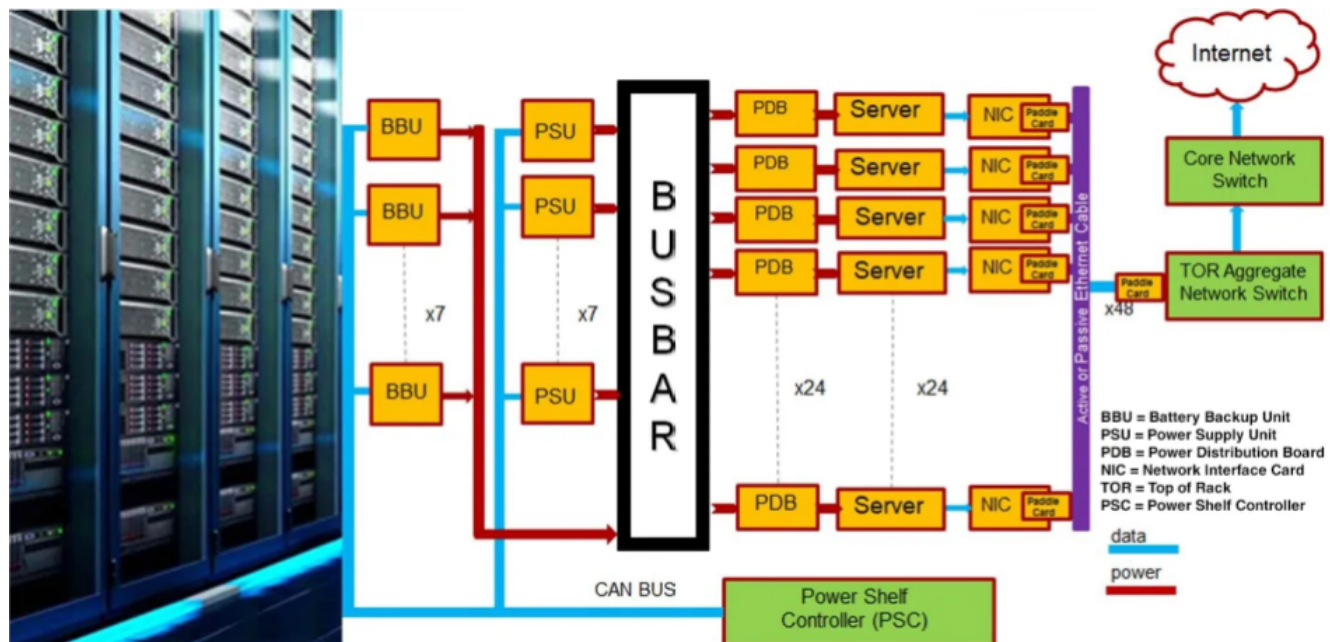


圖 1. 高階伺服器機架圖，其中包含分散式電池備援單元 (BBU) 和電源供應單元 (PSU)，這些單元先連接至匯流排，再由匯流排將交流電分配至機架。來源：德州儀器

高效率（對於鈦級設計而言通常為 >91%）的 PSU 在將交流電（208V 或 240V）轉換後，會在整個機架內分配為 48V。配電板 (PDB) 隨後將直流電源轉換為各種電壓（通常為 12V、5V 和 3.3V），以饋送至子系統，包括主機板、儲存裝置、網路介面卡 (NIC) 和交換器，以及系統冷卻。每個子系統都有自己的本機管理電源架構。電池備援單元 (BBU) 可在任何交流線路中斷時維持系統電源。

耐用性設計

每個子系統都需要可靠的電源設計和監控。我們來進一步檢視其中一些子系統。

PSU

PSU 具有多種監控類型，以確保可靠的運作和傳送。它們會監控交流電源的輸出電壓，同時也會偵測內部溫度、過電壓與欠電壓情況，以及短路。

伺服器設計也需要 N+1 備援：「N」表示滿足伺服器電源需求所需的最小 PSU 數。如果另一個 PSU 遇到臨時或永久故障或失效，則可使用附加 PSU (「+1」)。

PDB

如先前所述，PDB 會將 48-V 輸入轉換為數個 DC 軌，其中包括 12V、5V 和 3.3V。雖然具有簡單分流參考的比較器可用於監控每個軌的過電壓與欠電壓情況，但現代的電壓監控器不僅體積小、易於設計，還能提供額外優勢，例如磁滯和輸入感測延遲以實現雜訊抗擾性、可調整輸出延遲以避免開機期間誤觸發，以及更高的準確度以實現最高的偵測可靠性。

許多新型電壓監控器，如德州儀器 (TI) **TPS3760**，額定電壓高達 70V，無需低壓降穩壓器或專用電源軌，即可直接監控 48V 和其他匯流排電壓。除了即時監控外，先進監控積體電路可提供最重要軌電壓的遙測資料，以進行預測性維護和歷史故障分析，大幅減少系統停機時間。

另一項設計考量則是早期電源故障偵測。這些電路會監控特定電源軌是否會產生突然壓降，並警示主機或處理器在預期斷電時迅速採取行動。此功能由高速且精密的欠電壓監控器執行。**圖 2** 說明此類型設計的範例及其計時圖。

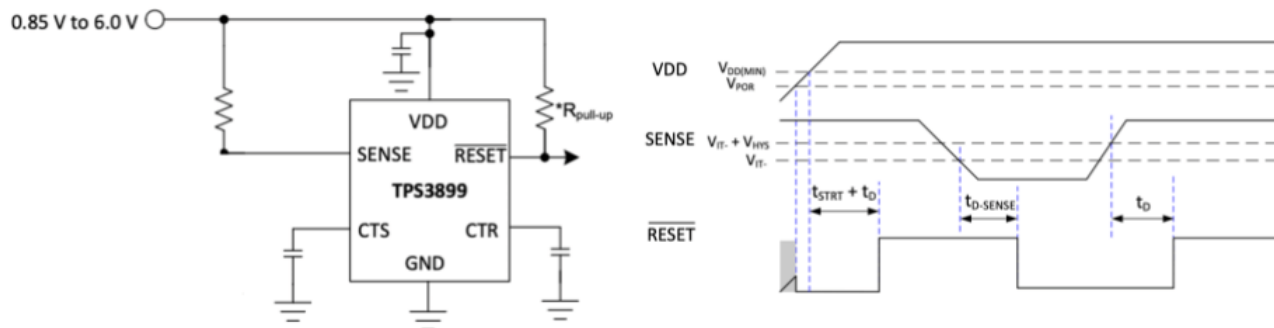


圖 2. 具計時圖的電壓監控器範例，可監控 0.85 至 6.0V 電源供應軌是否會產生突然壓降，以在斷電時採取行動。
來源：德州儀器

主機板

主機板電源軌會為設計師帶來不同的挑戰，我會在本節詳細探討它們。

處理器軌監控

現代處理器對電源供應軌的變化非常敏感。原因有很多，但主要是因為這些處理器在低至 0.7V 的電壓下運作，對電壓波動的容限較低，並採用動態電壓與頻率調整等功能。

因此，處理器需要高精密度窗型電壓監控器。窗型監控器會監控過電壓與欠電壓情況的供應電壓。針對這些應用的裝置，如 TI 的 **TPS389006**，準確度為 $\pm 6\text{mV}$ 。設計師可透過 I²C 暫存器將干擾濾波器調整至最高 650ns。

電源軌設計的另一個重要層面，是系統在快速負載暫態期間維持穩定性的能力。現代處理器可能會在幾毫秒內從閒置轉換為全負載，若電源供應器和監控系統的設計未具備快速迴路響應和適當的輸出電容，則會造成急劇壓降或過衝。

適當的開機和關機電源排序對主機板和處理器也很重要。排序可確保正確的系統初始化 — 例如，處理器可能要求記憶體控制器在執行指令之前即可正常運作。排序也可防止開機期間的大突波電流和電壓突波。在關機期間，排序可為記憶體和儲存裝置提供足夠時間來儲存資料或在斷電前完成操作，從而維持資料完整性。

圖 3 提供電源供應軌監控與排序的設計範例。

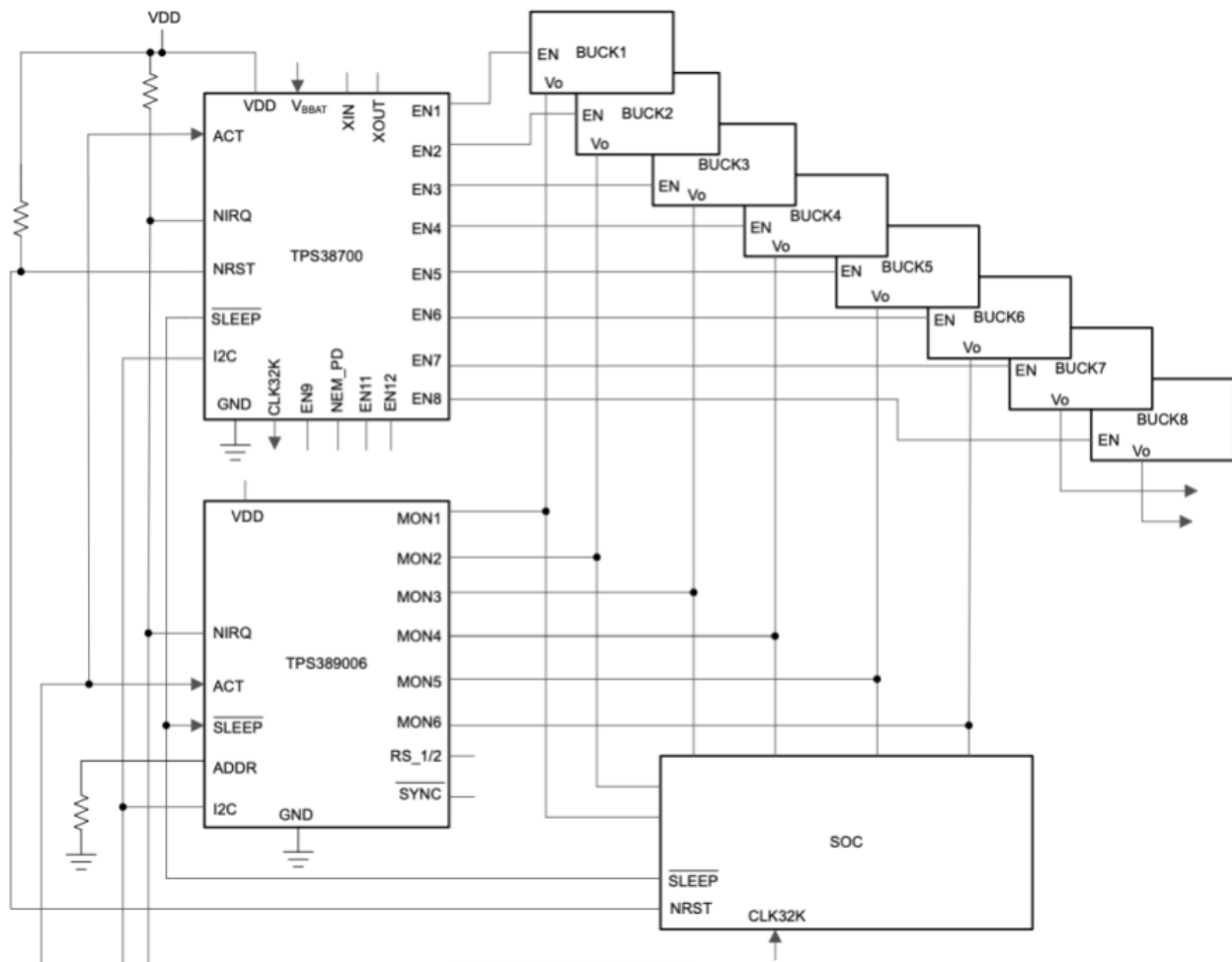


图 3. 正確系統初始化的電源供應軌監控和排序範例。來源：德州儀器

最後，管理突波電流對於具有熱插拔元件的系統而言至關重要，因為這樣做可避免跳電保護或電源匯流排不穩定。配備整合式電流限制和故障偵測的熱插拔控制器可確保元件順利插入與移除，且不會中斷其他處於活動狀態的子系統。

未來趨勢

企業產業已準備好轉換至 400V_{DC} 配電系統，此系統可藉由消除冗餘電源轉換級和 I²R 損耗來提升效率，並減少銅的使用與成本。這類高電壓系統需要更高功率的軌監控，以及更快的故障偵測和隔離，以維持安全性和系統正常運作時間。新一代高電壓監控解決方案正在興起，可因應此領域的未來設計需求。

強大的電源架構是確保企業系統可靠且不間斷運作的關鍵。將可靠的電源設計實踐與實時監控和早期故障偵測相結合，有助於防止意外故障並保護關鍵工作負載。隨著系統複雜性的增加與電源架構的演進，特別是轉換為高電壓分配的趨勢下，謹慎規劃與電源軌監督將持續在提供安全且高性能的運作中扮演重要角色。

相關內容

- [用電訣竅 #139：如何使用自我偏壓轉換器簡化 AC/DC 返馳設計](#)
- [數據中心電源可滿足 AI 蓬勃發展中不斷增加的能源需求](#)
- [數據中心的新一代電源供應解決方案可增進效率](#)
- [最佳化數據中心電源傳輸架構](#)

先前發佈於 EDN.com。

註冊商標

所有商标均为其各自所有者的财产。

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 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 © 2025, Texas Instruments Incorporated