

Technical Article

從桶式插孔轉至 USB-C PD



Max Wang, Brian King

過去數年間，搭載電源傳輸 (PD) 標準的 USB-C® 已被廣泛應用於各種電子裝置。這一應用得益於諸多優勢，諸如：統一埠（減少電子垃圾），可逆連接器的便利性以及高功率支援性能。

如圖 1 所示，最新版本的 USB PD 3.1 將 USB 的電源性能擴充至最高 240 W，較上一代 USB PD 3.0 規格的 100 W 的可用功率增加了一兩倍以上。這使得如今可以透過 USB 為各種新應用提供電源支援。為了減少電子垃圾，歐盟和印度已開始通過立法，要求自 2025 年起個人電子裝置統一採用 USB-C 埠。預計這一趨勢還將擴展至其他應用領域，包括電動工具、智慧型喇叭、真空吸塵器、電動自行車充電器和網路裝置等。這些趨勢與法規正促使製造商尋找簡單且平價的方式，將產品上的電源接頭從桶式插孔轉為 USB-C 連接器。

USB Protocol	Nominal Voltage	Maximum Current	Power
USB 2.0	5V	500mA	2.5W
USB 3.1	5V	900mA	4.5W
USB BC1.2	5V	Up to 1.5A	Up to 7.5W
USB Type-C	5V	3A	15W
USB PD 3.0	Configurable up to 20V	5A	Up to 100W
USB PD 3.1	Configurable up to 48V	5A	Up to 240W

圖 1. USB 電源標準中最新版本的 USB PD 3.1 將 USB 的電源性能擴充至最高 240 W。來源：德州儀器

在本期用電訣竅中，我們將討論系統電源考量要點，並示範如何快速簡便地實現 USB-C 連接器和電源管理電路——該方案能透過 USB PD 合約協商機制以匹配您設計所需的功率需求。

USB PD 電源傳輸

此外，值得注意的是，USB PD 生態系統中存在三種電源傳輸模式：僅能汲取電源的裝置，僅能供應電源的裝置，以及支援雙向電源傳輸的裝置（雙角色電源）。在本文中，我們將重點探討僅汲極應用。

在使用 USB PD 的接收裝置可以從 USB PD 電源獲取電源之前，被供電裝置與電源之間必須進行部分握手信號和電源協商。這是因為 USB PD 電源匯流排上的電壓可在 5V 至 48V 之間變化，具體視電源的電源性能而定。很明顯的，您不會將 48V 接入僅設計用於 15V 輸入源的汲極裝置。在 USB PD 汲極應用中，需要一種稱為連接埠控制器的專用裝置來執行此電源合約協商，並提供過電流和過電壓等保護功能。過去，若要新增一個配置了適當功能的 USB PD 連接埠控制器，需要深入瞭解 USB 認證並投入大量軟體開發工作。為了簡化電源架構並降低設計複雜度，預編程 USB PD 控制器允許設計人員透過簡易的電阻分壓器設定（如圖 2 所示）來配置最大/最小電壓

及電流汲極性能。如此一來，就不再需要外部電子可擦除可編程唯讀記憶體 (EEPROM)，MCU 或任何類型的韌體開發。

ADCIN1 Decoded Value	Minimum Voltage Configuration
0	5V
1	9V
2	12V
3	15V
4	20V
ADCIN2 Decoded Value	Maximum Voltage Configuration
1	9V
3	12V
5	15V
7	20V

图 2. 預編程 USB PD 控制器的 ADCIN 接腳允許設計人員透過簡易的電阻分壓器設定來配置最大/最小電壓，以及電流汲極性能。來源：德州儀器

協商電源合約和匹配系統電源需求

將您的產品轉換為 USB PD 之前，請務必瞭解 USB PD 生態系統的限制條件和要求。在電纜的電源端，一個 USB PD 電源將為您的系統供電，但用戶可能會連接任何 USB PD 適配器或其他電源設備。您需要考慮需要何種電源合約來為您的系統提供充足功率。此外，還需考慮如果該適配器供電不足，您的系統將如何運作。

若電壓低於 20V，可經由 USB-C 線纜的可用電流限制為 3 A，若電壓達到或超過 20V，則限制為 5A。此外，USB PD 電源僅需產生滿足在最大允許纜線電流下提供額定功率所需的最低電壓。例如，一個 45W 的適配器通常提供 15V 的最大輸出電壓，因為 45W 除以 3A 即為 15V。

如果您的系統設計為在 15V 電源下運作，但需要 50W 功率怎麼辦？在這種情況下，您需要將連接埠控制器配置為接受更高的電壓合約（例如 20V），以確保系統獲得足夠的運行功率，同時還需確保系統設計能夠承受這一略高的輸入電壓。這可能需要您對您的產品進行輕微調整，而不只是添加 USB-C 連接器和埠控制器。此外，通常情況下，即使連接到功率容量不足的 USB PD 電源時，您仍希望產品能正常工作，只是可能會以降低的性能水平運作。

設計範例

設想一款產品，它需要以 27W 為 4S-7S 電池充電，而此前該產品是透過 15V 桶式插孔供電的。此範例中，由於電池電壓可能會隨充電狀態高於或低於 15V 輸入，因此採用了降壓升或壓轉換器。將此設計轉換為僅支援 USB PD 輸入，僅需一個簡易獨立式 USB PD 控制器（如 [TPS25730](#)）和降壓升壓電池充電器即可實現。系統架構如 [图 3](#) 所示。您可以看到，只需要少量組件就能將桶式插孔轉為 USB PD 埠。連接至 ADCIN1 至 ADCIN4 引腳的簡易電阻器無需任何韌體開發即可設定電源配置。在此情況下，即使可用功率降低，產品仍必須透過 5V 電源充電。因此 TPS25730 被配置為 20V 最大電壓與 5V 最小電壓，並將操作電流設為 3A。

3

相關內容

- [用電訣竅 #129：在 1000V 反激式轉換器中驅動高電壓矽 FET](#)
- [用電訣竅 #128：高電壓 DC-link 電容器主動預充電電路設計](#)
- [用電訣竅 #75：車用系統的 USB PD 快充](#)
- [USB：解密訊號、連接器和電源傳輸的差異](#)
- [USB PD：因兼容問題引發的故障與失效](#)

先前已發表於 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