

熱插拔真的安全嗎？

詳解熱插拔設計的注意事項

本文分析了熱插拔的危害，並舉例介紹了支援熱插拔應用的熱插拔連接器、熱插拔控制器和熱插拔評估板的設計資源，說明了熱插拔設計的相關注意事項。

■作者：Barley Li

熱插拔是指在不關閉系統電源的情況下，將模組、板卡、部件插入（連接）或拔出（斷開）系統來執行測試、故障排除或訊號調整，而不影響系統的正常工作的。本文分析了熱插拔的危害，並舉例介紹了支援熱插拔應用的熱插拔連接器、熱插拔控制器和熱插拔評估板的設計資源，說明了熱插拔設計的相關注意事項。

【功能】Circuit Protection 電路保護

【產品】Interconnect & Wire 互連元件和電線，
Semiconductors & Dev Tools 半導體和開發工具

【等級】中階

熱插拔，即帶電插拔，主要發生在不關閉系統電源的情況下，將模組、板卡、部件插入（連接）或拔出（斷開）系統來執行測試、故障排除或訊號調整，而不影響系統的正常工作的，進而提高了系統的可靠性、快速維修性、冗餘性，以及對災難的及時恢復能力等。

其中一個常見例子就是資料中心的電源可能發

生故障，因此需要在不關閉整個伺服器網路的情況下進行維修或更換電源。可是，在仍然通電的情況下突然斷開電路的連接，如果一不小心插入和拔出元件，或會影響系統的正常工作的，甚至會直接損壞系統。

熱插拔的危害

對不支援熱插拔的系統，如果本身設備可能存在較高電位差，當進行熱插拔，也許會引發門鎖效應。如果沒有採取即時的相應措施，這種較高的電位差將對設備上的晶片構成危害。另外，由於一部份電路是處於供電的工作狀態，一旦熱插拔時，或會使設備內穩定工作的板子也受到靜電的干擾。

還有，當單板插入設備時，由於單板上的電容並未充電，突波電流會將在短時間內從電源系統流入電容。當突波電流瞬間下降時會拉低匯流排電平，導致系統錯誤重定、門鎖效應，更嚴重會導致連接器和零組件燒掉。

除此之外，在熱插拔過程中可能會發生兩個問題——短路和電弧。

■在熱插拔時，元件和輸入和輸出接腳或會損壞。

特別在連接電路板時，接腳以錯誤的順序連接，會導致短路，或會直接損壞系統。

■當連接器插入或拔出時或會產生電弧，並且在連接器的插針和電氣主動元件之間會產生放電。這會導致連接器殼體和端子的損壞，並在結構上削弱連接的完整性。需要考慮的是，電弧的大小和持續時間取決於設備系統所提供的功率，具有較



高電壓和電流的系統所承受的電弧，將大於具有較低電壓和電流的系統，但這並不意味著在功率較低的系統中不會發生電弧，只是電弧不那麼顯著且損害較小。

熱插拔連接器

為了確保帶電拔插在不損壞設備的情況下安全地連接，連接器生產廠商設計了一些特製的熱插拔連接器，如先通後斷的連接器，以確保拔插之前已建立好接地和系統電源的連接。

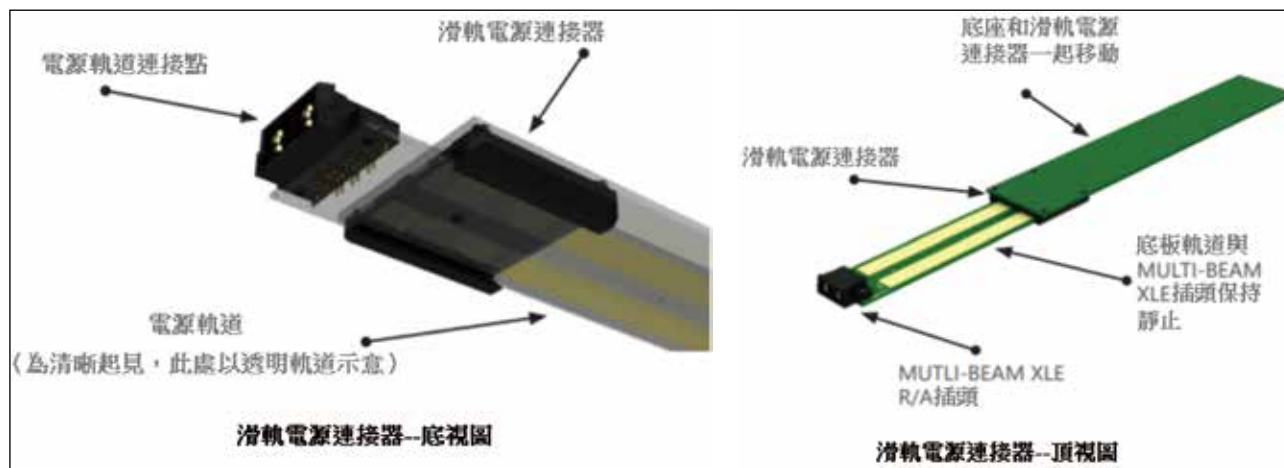
先通後斷連接器產品是以先通後斷的概念進行設計，先通後斷連接器採用特定於應用的接地設計，允許在建立電源連接之前先建立接地連接，並在電源連接斷開之前一直保持連接。

以下是一些熱插拔連接器的例子：

泰科電子的滑軌式電源連接器

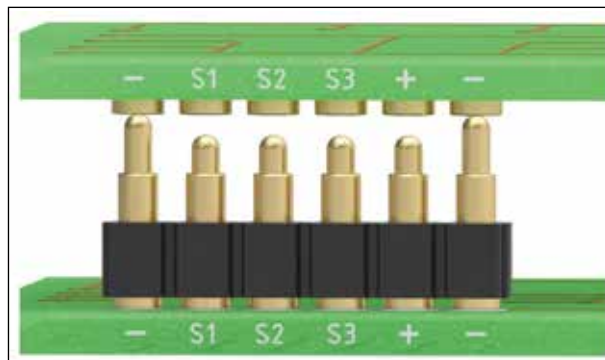
在熱插拔零組件替換時，使用 TE 的滑軌電源連接器能夠讓伺服器在帶電運行中，實現電子零組件的熱插拔操作。該電源解決方案適合於電流高達 75A 的應用，無需在設備內部配置體積龐大的纜線管理系統。由於電源和伺服器直接連結，滑軌電源連接器還改善了纜線的電壓降。由於減少了纜線系統的使用，滑軌電源連接器使連接更加可靠。

圖 1：滑軌電源連接器的視圖



Mill-Max 的先接後斷型 (FMLB) 連接器

FMLB 連接器是一款彈簧式產品，並加入了單排和雙排先通後斷的連接器。該連接器支持必須依次連接和斷開電訊號，而不是一次連接／斷開全部訊號的應用（例如熱插拔），常用於電源或訊號連接。



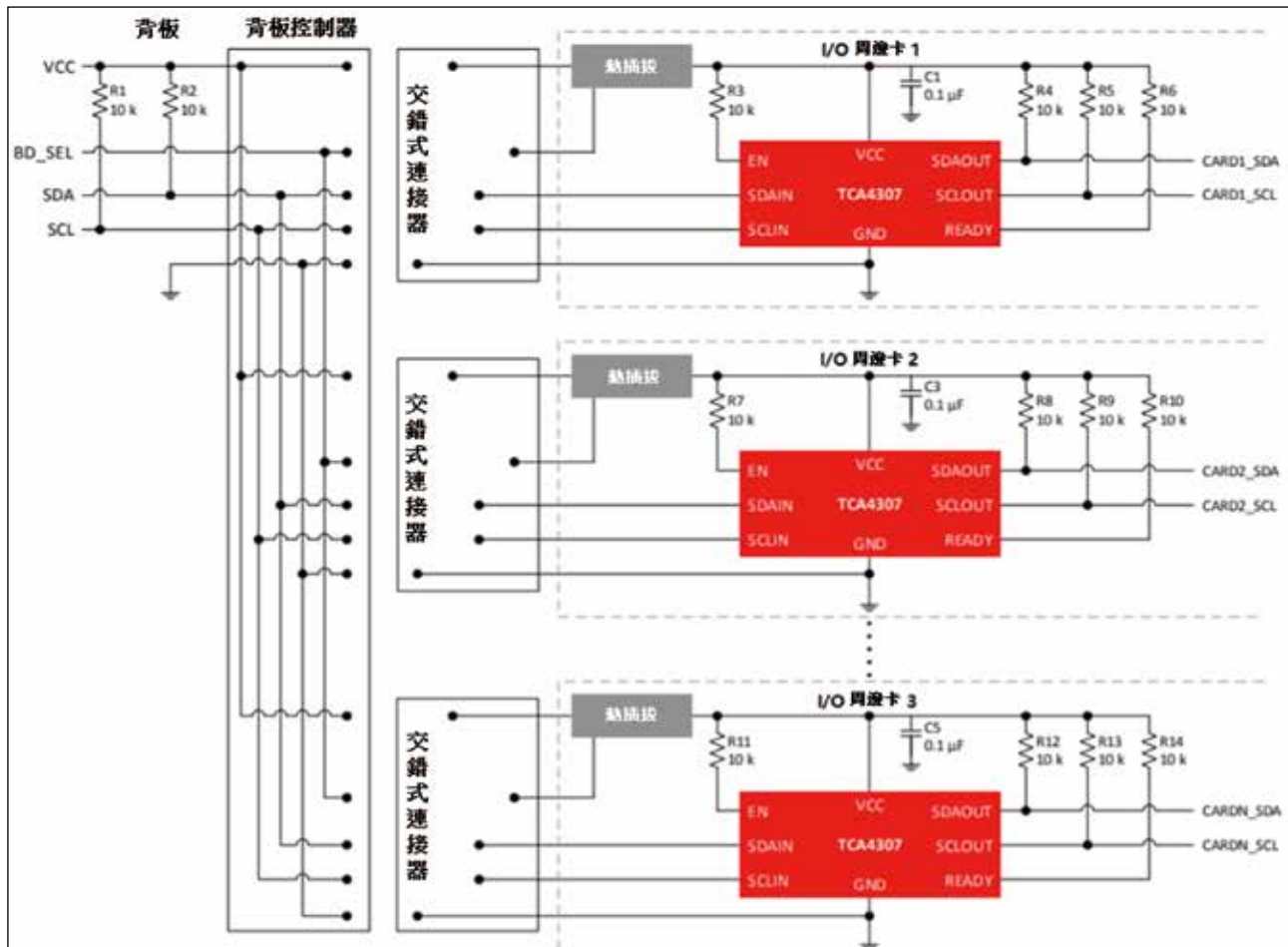
之前，需先確保建立接地路徑的場景。

Amphenol 的 SAS 4.0 連接器

SAS 4.0 連接器適合用於速度達到 24Gb/s 的新一代伺服器，29 位的插座和插頭連接器具有熱插



圖 2：TCA4307 用於背板應用的原理圖



拔和盲插、連接器錯位補償，以及實現可靠 SMT 連接的 PCB 固定機構等特色。這種連接器符合 SATA 標準，滿足垂直和直角配置需求，可用於伺服器 and 儲存裝置、硬碟和硬碟架。

熱插拔控制器

除了特製的熱插拔連接器外，還需要考慮在插入式模組或單板上是否需要一顆板載熱插拔控制器。熱插拔控制器為那些在帶電背板上進行的插拔操作，提供了兩項重要的功能：

- 當電路板插入時，它可限制具有潛在破壞性的突波電流。
- 它可擔任起電路斷路器的作用，並在斷路之前維持可容許的最大電流和最長時間。

熱插拔控制器可以為整個系統提供連續保護、防止短路和過流故障。

以 TI 的 TCA4307 為例，TCA4307 熱插拔 I²C 匯流排緩衝器支援將 I/O 卡插入帶電背板，而不會損壞資料和時鐘匯流排，適用於背板連接。TCA4307 在 I/O 周邊卡上，當發生熱插拔事件時，可將卡上的 I²C 設備安全地連接到背板。在建立連接後，該元件將提供雙向緩衝，進而使背板和卡的電容保持分離。

在插入過程中，SDA 和 SCL 線路被預充電至 1V，進而使為元件寄生電容充電所需的電流降至最低。這 1V 預充電功能有助於限制周邊卡 SDA/SCL 連接時潛在的突波電流。

TCA4307 也具有卡住匯流排恢復功能，起到一個電路斷路器的作用。如果 TCA4307 檢測到 SDAOUT 或 SCLOUT 處於低電平約 40 毫秒，它會自動斷開匯流排。一旦匯流排斷開，該元件會在 SCLOUT 上自動產生多達 16 個脈衝，嘗試將匯流排保持低電平來重定元件。

當 I²C 匯流排空閒時，可以透過將 EN 接腳設置為低電平來使 TCA4307 進入關斷模式，進而降低功率消耗。當 EN 被拉高時，TCA4307 恢復正常工作，它還包括一個開漏 READY 輸出接腳，表示背板和卡側連接在一起。當 READY 為高電平時，SDAIN 和 SCLIN 連接到 SDAOUT 和 SCLOUT，當兩端斷開時，READY 為低電平。

熱插拔評估板

善用 Digi-Key 智慧產品搜索，可以在 Digi-Key 網站內找到不少的熱插拔評估板，例如：

- ADI 的評估板
- Renesas 的評估板
- TI 的評估板
- Vicor 的評估板

小結

雖然熱插拔極大地方便了我們對電子產品的使用，但並不意味著任何電子產品都可以隨意插拔。在設計電子系統時，確認產品是否需要支援熱插拔可能是其中重要的一環，這樣才能享受到使用產品的便利，又能最大限度的保護我們的設計成果。

更多有關熱插拔的文章，請點選以下連結，也歡迎大家在文末留言討論。

- 熱插拔應用需要 TVS 二極體嗎？<https://www.digikey.cn/zh/forum/t/topic/907>
- IO-Link 的基礎知識以及使用 IO-Link 支援工業 IoT 的方式 <https://www.digikey.cn/zh/forum/t/topic/907>
- 滑動式電源連接器提升可靠性 <https://www.digikey.cn/zh/forum/t/topic/907> CTA

Digi-Key 與 Siemens 建立合作夥伴關係，分銷其自動化和控制產品

Digi-Key 日前宣佈與 Siemens 建立分銷合作夥伴關係，分銷其品類豐富的自動化和控制產品。

Siemens 是製造自動化和控制應用領域高品質產品的主要供應商，應用行業包括汽車製造、資料中心、電子製造、醫療保健、內部物流、食品和飲料、紡織品等。這一合作將為 Digi-Key 的全球客戶帶來 Siemens 各種可靠、耐用且易於使用的產品，例如電源、人機界面 (HMI) 技術、可程式設計邏輯控制器 (PLC) 和重型開關。

Siemens 面向未來的軟體、硬體和強大的自動化技術有著全球性的銷售和服務支援，涵蓋整個生產過程，並在所有自動化和控制組件中實現了最大的互通性。



圖說：Digi-Key Electronics 現在分銷 Siemens 領先的自動化和控制產品