

對抗靜電放電和過熱：

提高 USB Type-C 連接器的可靠性和穩定性

TVS 二極體能夠保護 USB 線路，而數位溫度指示器則可以保護 USB Type-C 連接器

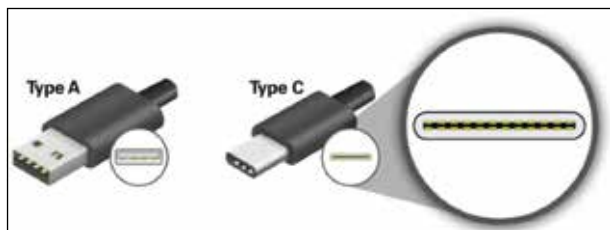
■作者：Todd Phillips

Littelfuse/ 電子業務部全球市場經理

從智慧手機和平板電腦到穿戴式設備和筆記型電腦，USB-C 或 USB-Type C 已成為我們日常生活中最常見的介面和快速充電埠。靜電放電 (ESD) 和過熱是這些連接埠的大敵，必須小心應對。

USB 於 1996 年首次進行標準化，從 1.0 版開始，一直發展到 2.0 版、3.x 版，目前更新至第 4 版——USB4，不斷提高傳輸速度並允許更大的功率承載能力。更高的功率容量將為 USB-C 開啓新的供電和充電應用，例如遊戲筆記型電腦、擴展底座、4K 顯示器和電腦一體機。USB Type-C 電纜和連接器標準亦隨之更新至 2.12 版本，USB-PD (電源傳輸) 標準已更新至 3.1 版本。PD 版本允許通過 USB 介面對設備進行充電和供電。最大功率容量從 2.5 W (5 V @ 0.5A) 增加至 100 W (20 V @ 5A)，目前已到 240 W (48 V @ 5A) 的功率範圍。

圖 1：USB Type-A 和 Type-C 連接器。與 Type-A 連接器的 4 針相比，Type-C 連接器有 24 針。Type-C 連接器的訊號觸點間距為 0.5 mm。



資料來源：Littelfuse 公司

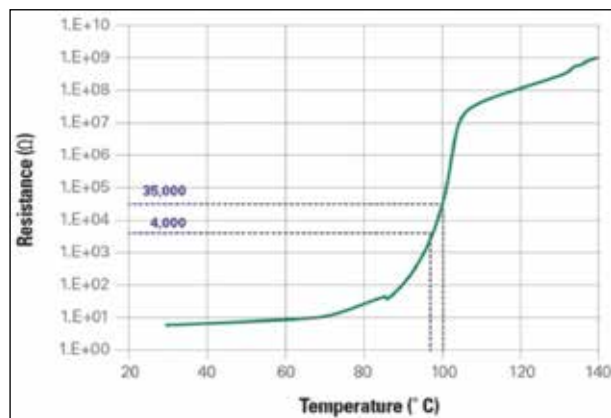
提高產品可靠性

雖然提高了資料傳輸速率並增加了充電功率，但這些標準並未直接規定保護 USB 介面免受外部危害的具體方法。本文將介紹消除 ESD 和過熱情況導致故障可能性的方法。這些技術對於確保產品更加可靠及穩健極為重要。

防止 USB Type-C 插頭和插座過熱

USB Type-C 連接器的密度高，從而導致電源與接地線之間的電阻性故障。再加上 V_{bus} 線路上的較高功率，USB 連接器存在更大的過熱風險，這可能會損壞連接器、電纜和連接的埠電子設備。溫度升高可能會熔化連接器，甚至引發火災。

圖 2：以 Littelfuse setP 為例的溫度指示器的電阻與溫度曲線圖。



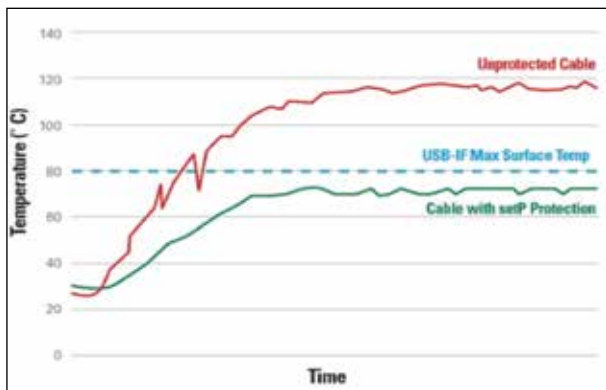
資料來源：Littelfuse 公司

數位溫度指示器有助防止過熱。數位溫度指示器不會消耗功率，也不會降低功率輸送能力，與必須在 V_{bus} 線路中的正溫度係數裝置或小型斷路器不同。當溫度指示器檢測到 100°C 或更高的溫度時，其電阻會增加至少五 (5) 十倍。本文中引用的元件技術實例是 Littelfuse 獨特的 setP 數位溫度指示器。其特性曲線如圖 2 所示。

溫度指示器放置在配置通道線中。它沒有放置在 V_{bus} 線路中，因此不會降低任何電壓或功率，也不會降低 V_{bus} 線路上的供電容量。為了獲得最佳結果，溫度指示器應內建在 USB 插頭或插座中，以便監測故障源的連接器溫度。如果元件檢測到溫度達到 100°C ，則其電阻會大幅增加。USB 協定將高電阻解釋為源連接、 V_{bus} 和接收器連接、負載之間的開路連接，並且 V_{bus} 線路被停用。當導致過熱的條件得到糾正，並且感測器的溫度降至 100°C 的閾值以下時，其電阻會恢復到 $10\ \Omega$ 左右的低溫值，並且 V_{bus} 會重新通電。

溫度感測器的尺寸要小，以便能夠在故障源進

圖 3: 使用溫度指示器 (A Littelfuse setP) 時，連接器表面溫度的上升比較。



資料來源：Littelfuse 公司

行檢測。它還應該能夠在最快一 (1) 秒內改變其電阻狀態，以防止對電纜和電子元件的損壞。下圖顯示了溫度指示器如何在過熱故障期間保持安全的連接器表面溫度。

ESD 的影響

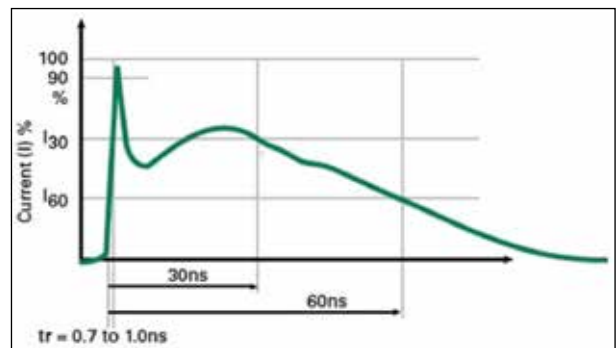
曝露於外部環境的電子電路 (例如 USB 埠) 有

可能受到靜電放電 (ESD) 影響。ESD 衝擊可以通過人的直接接觸或通過空氣發生 (如果能量源對電子電路產生電弧)。ESD 衝擊可高達 $30\ \text{kV}$ 或更高，上升時間很快，電流高達 $30\ \text{A}$ 。ESD 具有大能量，可能導致元件完全失效，並且可以熔化矽材和導線。

除此之外，ESD 衝擊會造成更微妙的損壞。ESD 引起的電流會導致軟故障，包括邏輯元件的狀態變化、門鎖效應或不可預測的行為。如果發生門鎖效應故障，系統將需要重新開機。這可能會導致資料流損壞，需要重新發送資料，而這會降低資料傳輸速率。ESD 還可能導致潛在缺陷，其中元件仍然可以工作，但已退化並可能過早失效。

產品需要具有強大的防靜電能力，以獲得高可靠性。它們還必須符合 IEC 61000-4-2 等國際標準，才能在世界上所有地區進行銷售。產品必須通過 IEC 61000-4-2 規定的 ESD 模擬測試波形，才可獲得 CE 認證。

圖 4: IEC 61000-4-2 中規定的 ESD 測試波形。



資料來源：Littelfuse 公司

目前有多種產品可用於保護通訊連接埠免於受到 ESD 損害。推薦的元件是瞬態電壓抑制器 (TVS) 二極體，可以用於具有高達 $100\ \text{W}$ 的供電能力和高達 $240\ \text{W}$ 的擴展供電範圍的 USB 介面線路。

SP3530 單向 TVS 二極體或同等產品適合用於 USB 2.0 線路，這種 TVS 二極體採用 0201 表面貼裝封裝，目的在節省 PC 板空間，可以安全地吸收 $22\ \text{kV}$ ESD 衝擊，幾乎是 IEC 61000-4-2 要求的 $8\ \text{kV}$ 水準的 3 倍，而且不會衰減。通常， $0.3\ \text{pF}$ 的低電容可以最大限度地減少對訊號轉換的干擾。

為免降低高速資料傳輸的性能，SuperSpeed

線路需要盡可能低的電容，例如 SP3213 雙向 TVS 二極體，兩個陽極到陽極連接的二極體為高達 12 kV 的 ESD 衝擊提供保護。這些二極體採用精巧的 μ DFN-2 表面貼裝封裝，通常只消耗 20 nA 的漏電流，以最大限度地降低電路功耗。

SP1006 單向 TVS 二極體適合邊帶使用 (SBU) 和配置通道 (CC) 線路，該元件在 μ DFN-2 封裝中

可以安全地吸收 30 kV ESD 衝擊。SP1006 符合 AEC-Q101 標準，因此適用於汽車應用，非常可靠。

V_{bus} 線路要求 TVS 二極體能夠承受比訊號線保護元件更高的功率水準。SPHV 系列 200 W TVS 二極體可保護容量為 100 W 的 V_{bus} 線路。SPHV 二極體採用表面貼裝封裝，可承受 30 kV 的 ESD 衝擊，並通過 AEC-Q101 認證。擴展功率範圍介面可使用

SMBJ 二極體，它具有比 SPHV 二極體更高的 600 W 峰值額定功率，並且可以吸收高達 30 kV 的 ESD 衝擊。SMBJ 二極體是表面貼裝元件，與其它推薦用於 USB 埠的 TVS 二極體一樣。

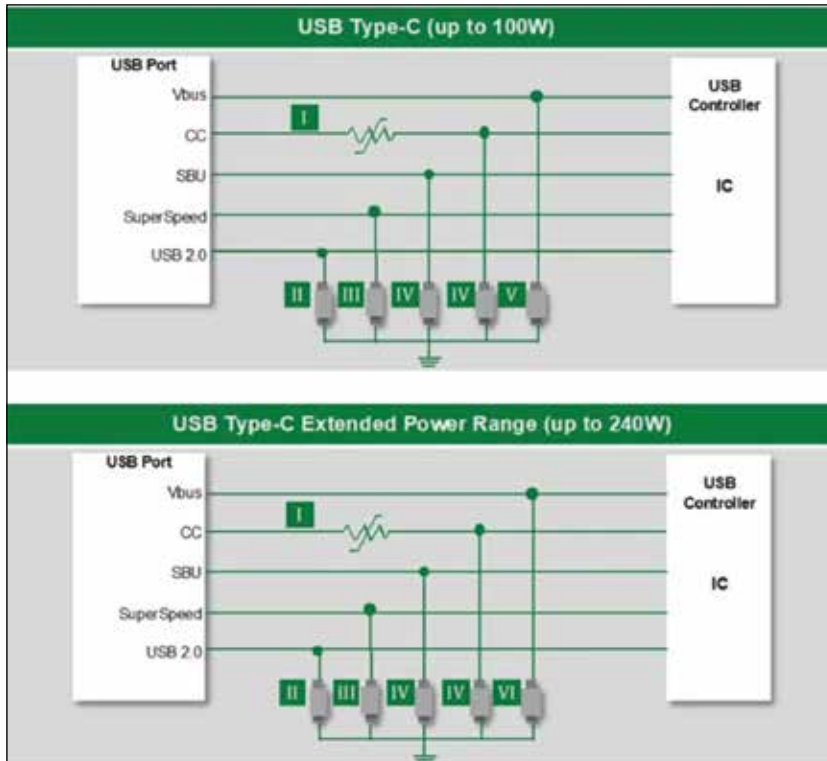
每個不同的 TVS 二極體都具有一個必要的功能，以保護一組特定線路免受 ESD 影響，並且不會干擾線路的性能。將這些二極體結合到電路中可以防止即時故障、軟故障和潛在的過早失效。

總結

如果沒有適當的保護，USB Type-C 連接器中的 ESD 或碎屑，可能會導致電子產品出現現場故障，對使用者造成不便甚至危害。使用 TVS 二極體可保護 USB 線路免受 ESD 干擾，並使用數位溫度指示器以防止連接器過熱。隨著行動設備變得更小、更複雜以及對更快充電的需求不斷增加，設計人員要尋找更小的表面貼裝保護元件，以適應有限的空間，並最大限度地減少 PCB 空間以實施必要的保護，實在是重大挑戰。

合適的保護解決方案有助於提高產品性能、延長產品壽命，並使消費者更稱心滿意，使設計人員事半功倍。 CTA

圖 5: USB 介面方塊圖顯示了推薦的 ESD 保護元件。



資料來源：Littelfuse 公司

圖 6: 推薦的 USB 保護技術

Technology	Function in application	Series	Quantity per port	Benefits	Features
I	Digital Temperature Indicator	setP™	One (plugs) Two (receptacles)	Reliable over-heating protection, regardless of power being delivered	Fully compliant with USB Type-C plugs
II	Diode Array	SP3530-01UTG	Four	Space efficient; reliable ESD protection	Q201 footprint; extremely low dynamic resistance
III	Diode Array	SP3213-01UTG	Eight	Maintain signal integrity of high-speed data lines; reliable ESD protection	Low parasitic capacitance
IV	Diode Array	SP1006-UTG	Four	Space efficient	AEC-Q101 qualified; small footprint
V	Diode Array	SPHV24-01ETG	One	Reliably protect charge controller	AEC-Q101 qualified; low dynamic resistance
VI	TVS Diode	SMBJ58A	One	Meet requirements of higher voltage V_{bus}	Small, surface mount DO-214

資料來源：Littelfuse 公司