

保護工業 4.0 的大腦

如何在工業 4.0 系統中結合電路保護元件來提高 PLC 的效率並保證其可靠性。

■作者：Prasad Tawade 和 Simon Foley
Littelfuse Inc 策略行銷經理

要提高製造和生產控制操作過程中的生產速度及產品產量，挑戰在於控制系統的智慧化部分。雖然先進的軟體技術和演算法創新提供了實現工業 4.0 效率的能力，但系統硬體必須可靠運行。否則系統中斷將減慢生產和控制過程，或對產量產生負面影響，無論哪種情況都會導致成本增加。可編程邏輯控制器 (PLC) 作為工業 4.0 系統的智慧化部分，必須具有較高的可靠性才能體現工業 4.0 的優勢。因此，PLC 需要防止電流超載、電壓瞬變和靜電放電 (ESD)。因此，PLC 需要防止電流超載、電壓瞬變和靜電放電。

本文通過提供保護 PLC 電路免受危險超載、瞬

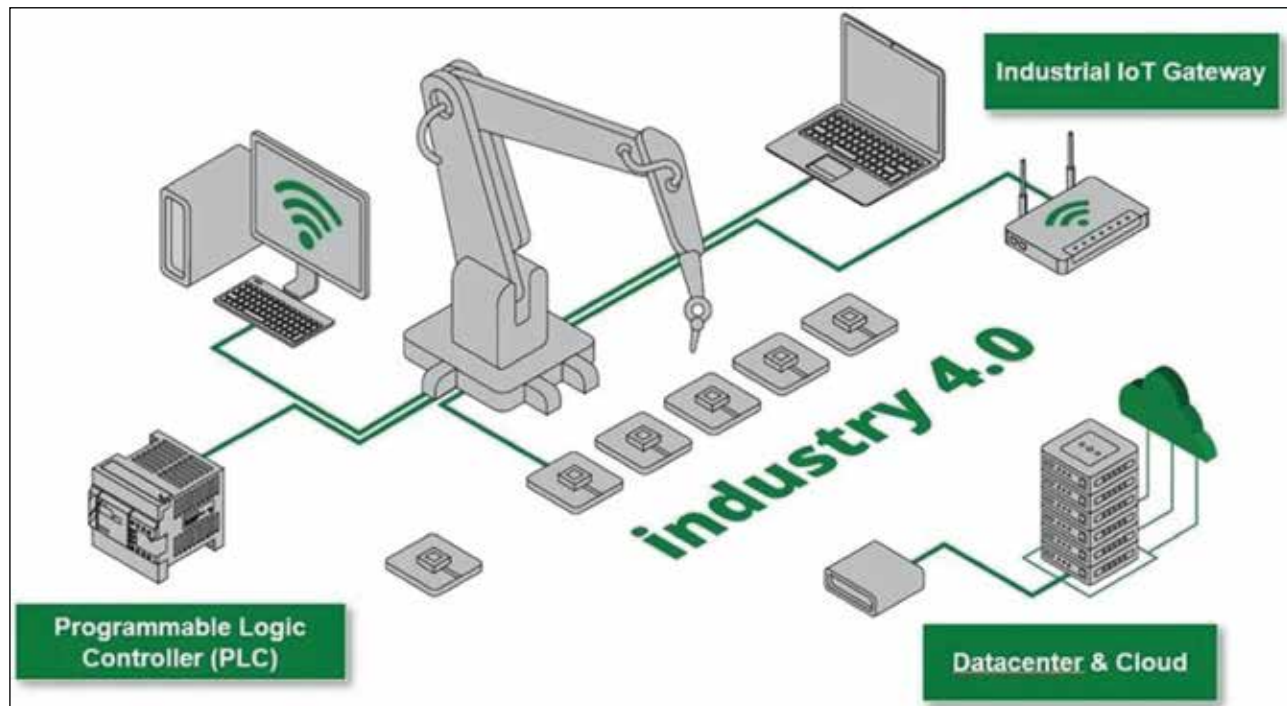
變和 ESD 影響的元件和技術，指導電子工程師和設計人員提高可靠性的方法。此外還提供了降低 PLC 功耗的電子元件建議。較低的功耗減少了 PLC 中的熱量累積，這有助於提高產品的可靠性。

工業 4.0 系統

圖 1 展示了工業 4.0 系統的組成部份。監控、控制和資料獲取系統的核心是 PLC，它根據工廠車間的輸入來控制系統。它傳輸有關製造過程、製造測試、機器狀態和品質控制的關鍵資料。工業物聯網閘道器傳輸資料，從中央指揮中心接收命令，然後將所有資料儲存在資料中心和雲端中。

圖 1：工業 4.0 製造系統

(資料來源：Littelfuse 公司)



PLC 概述

PLC 是一種專用型電腦，適用於監控和控制操作。由於這些電腦在製造環境中運行，這些環境的設備大型、機動化、溫度較高，且空氣中有製造殘留物，因此 PLC 必須比通用電腦更可靠。

圖 2 顯示了 PLC 的一般方塊圖。方塊圖右側的表格列出了可以保護 PLC 免受過電流狀況、高壓瞬變和 ESD 等危害的元件類型。該表還包括可以降低 PLC 功耗的元件。以下段落介紹了特定電路模組中各元件的需求，並就其特性提出了建議。

保護 PLC 電路模組

以下是一些保護 PLC 電路模組免受過電流和瞬態電壓影響的建議。

電源

電源將交流線電壓轉換為 24 V 直流電，使電路工作。電源容易受到交流線路上的電流超載和電壓瞬變的影響。電流超載可能來自交流線路上的電湧，電壓瞬變可能來自大型馬達的開關或閃電。因此，電源需要電流超載保護和電壓瞬變保護。

延時保險絲將提供交流線電流超載保護，避免因電流瞬變而造成的不必要停機。在 230V 交流電

源線上使用的額定電壓至少為 250 V 交流。此外，請確保保險絲的分斷電流至少為 50 A。請選擇符合「UL/CSA 248 低電壓保險絲」規範的保險絲。

使用金屬氧化物壓敏電阻 (MOV) 或保護晶閘管-MOV 組合來吸收交流線上感應的高壓瞬變，以延長 MOV 的使用壽命。選擇可承受 400 J 以上能量並能吸收高達 10,000 A 浪湧電流的 MOV。請注意，有些 MOV 包括附加保護功能。如果 MOV 因異常大的過電壓而開始過熱，該熱元件通過斷開與導線的連接來保護 MOV。

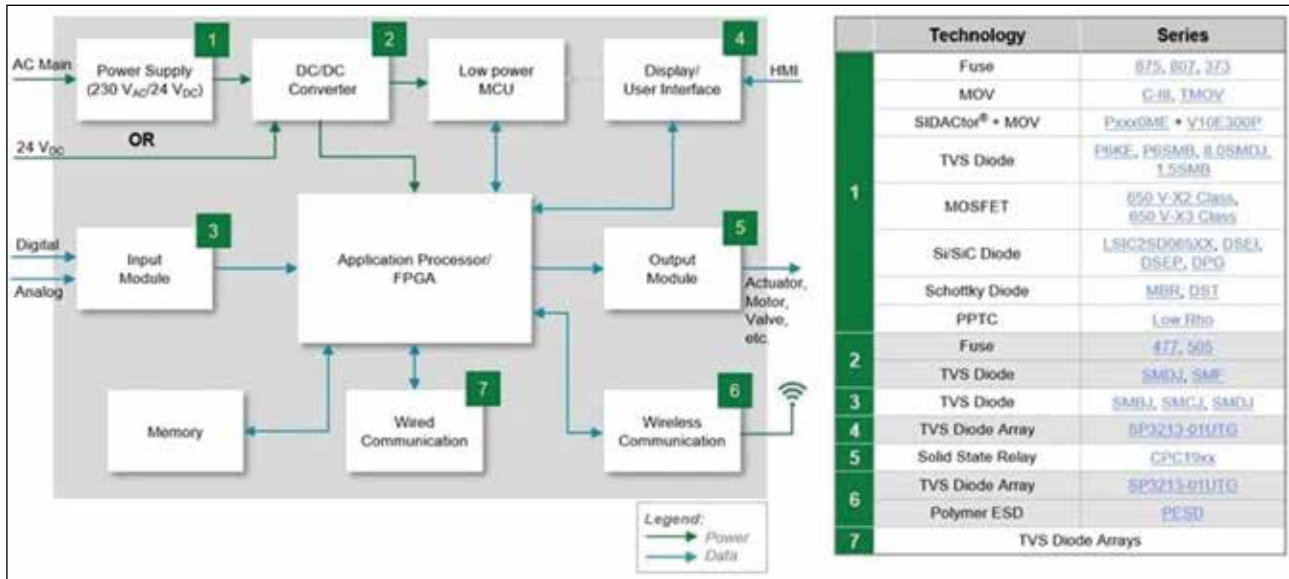
考慮增加一個與 MOV 串聯的保護晶閘管。保護晶閘管-MOV 組合允許選擇較低額定電壓的 MOV，並能夠將瞬變箝位在較低的電壓。保護晶閘管是一種撬棍型元件，可在數奈秒內開啓以應對瞬態過電壓。該保護組合比單獨的 MOV 具有更低的洩漏電流，並增加了最終產品的可靠性和壽命。

為了最妥善保護敏感半導體，請考慮用瞬態電壓抑制器 (TVS) 二極體替換晶閘管 MOV 組合。通過 MOV 或保護晶閘管 MOV 組合的過電壓的任何部分，將被進一步吸收並箝位在低電壓。TVS 二極體具有以下優點：

- 在不到 1 ps 的極短時間內應對瞬態電壓
- 可安全吸收高達 600 W 的瞬態峰值脈衝功率

圖 2：PLC 方塊圖

(資料來源：Littelfuse 公司)



- 可以安全地吸收高達 100 A 的浪湧電流
- 可承受 30 kV 的 ESD 衝擊
- 具有單向和雙向兩種模式

使用聚合物正溫度係數 (PPTC) 可重置保險絲對電源模組中的功率因數校正 (PFC) 電路進行過電流保護。這些元件具有低內阻 (低於 10 mΩ)，可針對許多電流的額定值。PPTC 保險絲具有快速動作時間，通常不到 5 秒，並且佔用最小的印刷電路板 (PCB) 空間，表面貼裝封裝小至 0402 外形尺寸。

延時保險絲、串聯保護晶閘管 MOV、TVS 二極體和 PPTC 保險絲的組合將確保電源電路得到徹底保護。

DC/DC 轉換器

DC/DC 轉換器將 24 VDC 轉換為控制和輸入輸出電路模組所需的電壓，通常為 5 V 和 3.3 V。如果 24 VDC 直接為 PLC 供電，則 DC/DC 轉換器需要防止在未受保護的 24 VDC 線路上傳播的過電流和瞬態條件。對於過電流保護，請使用符合「IEC 60127-2 微型保險絲」的延時保險絲。請考慮使用表面貼裝 TVS 二極體來吸收和鉗位元瞬態電壓。表面貼裝版本可以承受高達 3000 W 的峰值脈衝功率和 300 A 的峰值浪湧電流。

輸入模組

輸入模組將數位和類比輸入訊號轉換為應用處理器可以讀取的電壓和數位化值。由於輸入訊號來自外部環境，它們可能會攜帶危險的瞬變。使用雙向或單向 TVS 二極體，可保護輸入模組免受瞬態過電壓的影響。可安全吸收 600W 脈衝功率和 100A 浪湧電流的型號為輸入模組提供了適當的保護。

保護 PLC 電路模組免受 ESD 的影響

顯示器 / 使用者介面和無線通訊電路模組

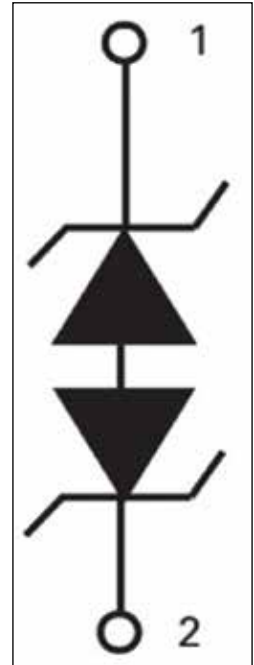
顯示器 / 使用者介面和無線通訊電路與外部環境相連接，可能會暴露於 ESD 的危險瞬變中。顯示器 / 使用者介面與操作人員接觸，而無線通訊天線

可能會吸引來自外部環境的 ESD 攻擊。

請考慮如圖 3 所示的 TVS 二極體陣列 (由兩個陽極連接的二極體組成)。該二極體可以承受 ± 12 kV 的直接接觸的 ESD 衝擊，以保護顯示器 / 使用者介面中的觸控式螢幕半導體。這種二極體陣列還可以保護無線通訊電路免受高達 ± 18 kV 的空氣 ESD 衝擊。此外，這種類型的二極體陣列具有低於 0.1 pF 的低電容，以避免無線傳輸和接收的性能下降。

用於無線通訊電路的 TVS 二極體陣列的替代物是聚合物 ESD (PESD) 保護元

圖 3: 用於 ESD 保護的陽極對陽極 TVS 二極體陣列示意圖



資料來源：Littelfuse 公司
件。PESD 元件可以承受 15 kV 的空氣靜電放電。它們具有 0.25 pF 的低電容，典型漏電流低於 10 nA。PESD 元件型號提供小型 0402 表面貼裝封裝。

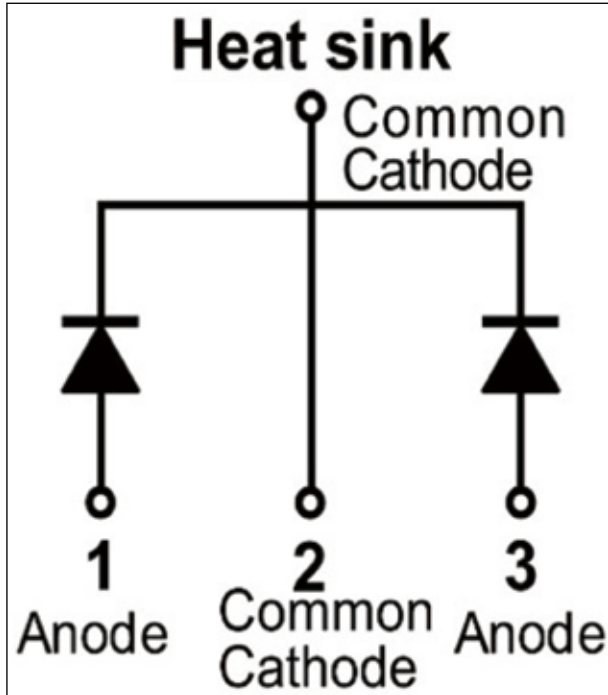
有線通訊電路模組

有線通訊電路模組也需要防止 ESD 衝擊。推薦的方法取決於 PLC 使用的通訊協定。有關保護乙太網、乙太網供電、USB、RS-232 和 RS-485 通訊連接埠的訊息，請參閱 Littelfuse.com 上的文稿「通用埠保護」。

通過降低功耗最大限度地提高效率

在電源模組的開關模式電源中，請使用蕭特基勢壘整流器以最大限度地提高效率 and 降低功耗。它們支援快速開關，從而允許更高效的高頻開關模式電源電路。請尋找正向壓降低於 1 V、反向電流低於 1 mA、dv/dt 高達 10,000 V/μs 的蕭特基整流器。圖 4 顯示了具有公共陰極連接的半橋蕭特基二極體對。請使用雙二極體封裝以節省印刷電路板空間。

圖 4：顯示了具有公共陰極連接的半橋蕭特基二極體對。



資料來源：Littelfuse 公司

電源模組中的 PFC 電路 (功率因數校正電路) 通過保持電壓和電流彼此同相以及減少電流諧波來減少 PLC 消耗的總電流。使用主動式 PFC 時，電晶體充當開關來控制流向 L-C 網路的電流。請考慮使用 MOSFET。為了最大限度地提高 PFC 電路的效率，請選擇具有以下特性的 MOSFET：

- 低 RDS(開)，數值低於 150 mΩ
- 低閘極電荷，小於 50 nC
- dV/dt 至少為 50 V/ns

這些參數可實現高效、低功耗、快速開關。

在 PFC 電路中，考慮使用碳化矽蕭特基二極體以獲得更高的效率。蕭特基功率二極體的正向電壓較低，約為 1.5V，在較高的工作溫度下，通過電流高達 8A。該二極體具有低漏電流，通常低於 15 μA，恢復時間短，可實現快速開關。

最佳化控制並最大限度地提高可靠性

在輸出模組中使用固態繼電器來驅動致動器、馬達、閥門和其它設備。考慮使用低通電電流 (10 mA 以下) 的光隔離繼電器，以降低功耗。使用具有

零電壓開關的型號，以將電磁干擾和射頻干擾降至最低。另外，請使用高達 5000 V_{rms} 的光學隔離，以確保控制電路和負載電路之間的隔離和雜訊抗擾性。此外，固態繼電器還具有高可靠性和較長的壽命。

實現工業 4.0 的益處

保護 PLC、提高 PLC 效率和增強 PLC 可靠性不需要太多的元件。幸運的是，設計工程師可以利用元件製造商的優勢，讓元件製造商來幫助他們為 PLC 設計選擇適當的保護和高效的控制元件。元件製造商的應用工程師們可以：

- 協助設計人員選擇最具成本效益的元件進行保護和控制
- 提供遵循可編程邏輯控制器適用的安全和性能標準的指導
- 執行預符合性測試 (由一些製造商提供)，有助於在標準符合性測試之前識別出問題

與元件製造商合作可以為設計工程師節省大量的開發時間和合規性測試成本。其結果是一個強大、可靠的 PLC，既能防止過電流和暫態電壓，又能更高效地工作。這樣的 PLC 將可實現工業 4.0 的好處。

參考

- Littelfuse 公司 (2022 年)。《電路保護產品選擇指南》。
- Littelfuse 公司 (2022 年)。《功率半導體選擇指南》。
- Littelfuse 公司 (2022 年)。《通用埠保護》 CTA