

以可靠且經濟實惠的隔離技術解決高電壓設計挑戰

**Krunal Maniar**

Product Marketing Engineer
Data Converters

Steven Mappus

Systems Application Engineer
High-Voltage Controllers

Tim Merkin

Senior Member Technical Staff
Kilby Labs

Alex Triano

Product Marketing and Applications Manager
Solid-State Relays

Luke Trowbridge

Product Marketing Engineer
Isolation

工廠自動化、馬達驅動、電網基礎設施與電動車 (EV) 中的高電壓可達數百或甚至數千伏特。電隔離有助於解決在存在如此高壓的情況下設計安全人機界面的難題。

摘要

本白皮書提供對於電隔離的概述，說明常見的高電壓系統隔離方法，並顯示德州儀器 (TI) 隔離積體電路 (IC) 如何協助設計人員在縮減解決方案尺寸及成本的同時，還能可靠地達成隔離要求。



1

什麼是電氣隔離？

電隔離主要介紹可防止電流在系統到系統間或多系統間的流動。隔離訊號和電源可保護人員和設備，並符合業界及國際標準。



2

高壓電隔離問題 和方法

了解構建隔離層時的主要考量因素，例如額定電壓、間距尺寸、共模瞬態抗擾度 (CMTI) 和電磁干擾 (EMI)。



3

在縮減解決方案尺寸和成本的同時，需可靠地實現隔離需求

TI 在電容和磁隔離、封裝開發和製程技術方面的進步，可以跨工業和汽車系統中的隔離層，安全可靠地提供電源和高速訊號，例如電動車 (EV)、電網基礎設施、工廠自動化和馬達驅動。

對任何高壓電系統來說，第一優先考量是保護維修人員和終端設備使用者。電隔離將高電壓與其他低電壓人機介面區段隔離開來，才能符合這項優先考量的重點。

第二個考量則是在高低電壓電路間建立可靠安全的運作，例如電壓和電流感測、電源供應控制、數位通訊與訊號處理功能。可靠的隔離技術、材料和 IC 使設計人員能夠達成這項優先任務。

什麼是電氣隔離？

電隔離透過防止兩個電路系統間產生 DC 流動及不需要的 AC，同時允許訊號與電源傳輸，以達到電力系統分割目的。圖 1 說明兩個經電隔離的電路。

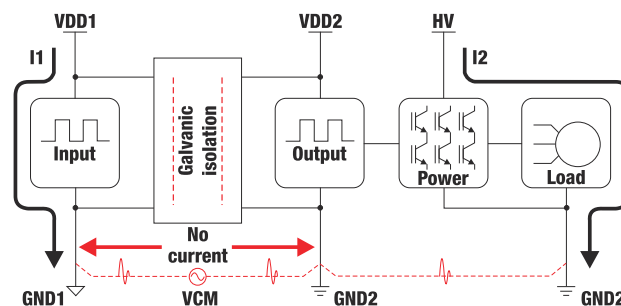


圖 1. 低至高電壓電氣訊號隔離。

當 GND1 從 GND2 分離，I1 便與 I2 電氣隔離。由於 GND1 和 GND2 間沒有實體連接，因此不會透過隔離層共用 DC GND 電流。除了隔離共用 GND 連接和在無傳導下進行訊號通訊外，由於 GND2 可轉移至相對於 GND1 的不同浮動電勢，因此也可運用電氣隔離進行電壓電平移位變化。

高電壓系統需要額外隔離，因為會透過絕緣層進行更多雙向訊號資訊的通訊。圖 2 說明了一個範例，其中電源、高速閘極驅動器訊號和數位通訊訊號都必須穿過隔離層。許多類比和數位電路有特定偏壓電壓需求，數位訊號與電源需要通過隔離層。隔離高解析度類比轉數位轉換器 (ADC) 在相同系統中可能需要 3.3 V，隔離閘極驅動器則可能需要 +15 V 和 -5 V。這些要求不僅需要通過隔離層傳輸訊號，同時也需要電源。

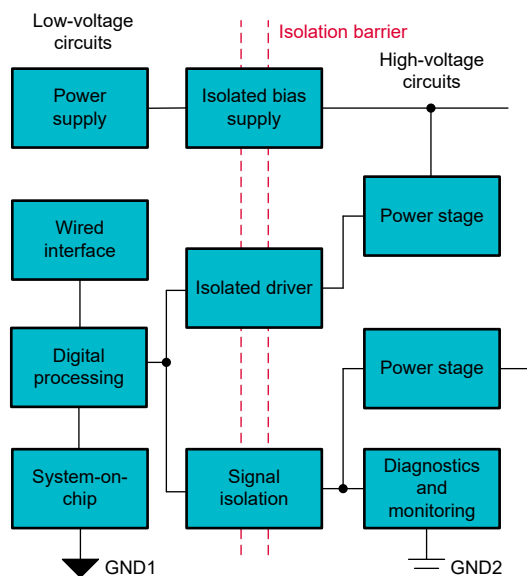


圖 2. 通過隔離層傳輸的訊號類型。

進一步了解什麼是電隔離？影片中的電隔離。

高壓電隔離問題

在系統中構建可靠的隔離層時，需要考慮很多因素，包括隔離額定值、爬電距離和間隙距離、CMTI 和 EMI。

功能型、基本型與強化型隔離是指派給電氣系統的絕緣體等級，如表 1 所列。

絕緣體等級	說明
功能	設備正常運作所需的絕緣
基本	提供基本觸電保護的絕緣
補充	除了基本絕緣外也採用獨立絕緣，以在基本絕緣失效時防止觸電。
雙	包含基本與補充絕緣的絕緣
強化	提供與雙絕緣同等觸電程度保護的單一絕緣系統

表 1. 絕緣額定值。

功能型隔離是指派給系統的最低隔離，使系統能夠正常運作，而無需對觸電進行保護。在指定額定電壓下採用適當印刷電路板 (PCB) 導體間距，便是功能型隔離的範例。

基本型隔離則針對觸電提供「充足」保護，安全等級與最高系統級電壓同等。

強化型隔離是可在高電壓系統上套用的最高商業等級。一種滿足強化型隔離需求的方式是在隔離層上引入更遠的距離，使其能夠承受更高的電壓測試標準和更長的額定使用壽命。例如，在國際電子電機委員會 (IEC) 60747-17 和

IEC 60747-5 中，與基本隔離相比，強制局部放電測試電壓 (V_{PD}) 保持在加強隔離的更高標準。進一步了解什麼是強化型隔離？影片中的強化型隔離。

進行強化型隔離的高電壓系統認證時，首先需選擇與安全和認證測試協定相容的隔離器 (如各種委員會中定義)。美國安全檢測實驗室 (UL) 是位於美國的全球安全認證實驗室，但每個國家/地區都會依照當地或區域性系統標準來調整整合規性。因此供全球使用的隔離器必須符合各種國際安全標準。

表 2 總結數位 (電容和磁性) 隔離器和光耦合器的 IEC 標準要求。

測試	IEC 60747-17 電容與磁性隔離器		IEC 60747-5-5 光耦合器
	基本隔離	強化型隔離	僅強化型隔離
V_{IORM} - 最大重複隔離電壓	AC 電壓 (雙極)	AC 電壓 (雙極)	AC 電壓 (雙極)
V_{IOWM} - 最大工作隔離電壓	以時間相依介電崩潰 (TDDB) 為基礎的 AC 電壓	以 TDDB 為基礎的 AC 電壓	以局部放電測試為基礎
V_{PD} - 局部放電測試電壓	$V_{TEST} = 1.5 \times V_{IOWM}$	$V_{TEST} = 1.875 \times V_{IOWM}$	$V_{TEST} = 1.875 \times V_{IOWM}$
V_{IOSM} - 最大突波隔離電壓	$V_{TEST} = 1.3 \times V_{IMP}$	$V_{TEST} = 1.6 \times V_{IMP}$ 10 kV _{PK} (最小值)	10 kV _{PK} (最小值)
最低額定使用壽命	20 年 \times 1.2	20 年 \times 1.5	未定義
使用壽命期間失效率	1,000 ppm	1 ppm	未定義
可允許隔離材質	二氧化矽 (SiO ₂) 與薄膜聚合物	SiO ₂ 與薄膜聚合物	未定義

表 2. 電容與磁性隔離器及光耦合器的 IEC 標準。

隔離器有幾個重要參數。例如沿面距離與電氣間隙距離是隔離層中兩個傳導性導線間最短的距離。如圖 3 所示，沿面距離是在積體電路 (IC) 封裝表面相鄰導體間的最短距離，電氣間隙則透過空氣測量。

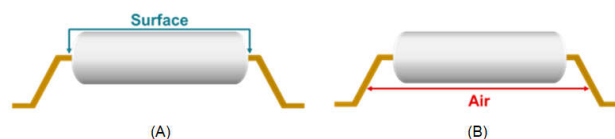


圖 3. 跨表面的爬電距離和通過隔離器封裝的空氣間隙。

在實現更佳沿面距離與電氣間隙的方法中，封裝技術扮演了十分重要的角色，可為工程師提供各種選項。由於高隔離層級需要較寬封裝與較優異的模封材料，使封裝不致造

成故障與電弧，因此高品質模封材料、寬體封裝與高強化型隔離額定值必須彼此互補。

另一個參數是 CMTI，係指隔離器在有高速暫態的情況下能夠可靠運作的能力，並以每微秒千伏或每納秒伏特為單位進行測量。寬能隙半導體的增加造成暫態電壓 (dV/dt) 邊緣速率提高，使 CMTI 方法在衡量隔離器適應性時變得更加重要。具 CMTI 額定值的高性能隔離器可輕鬆達到 100 V/ns，許多測試結果甚至超過 200 V/ns。在高 dV/dt 環境下運作的低 CMTI 隔離器可預期發生訊號完整性問題，例如脈衝抖動、失真、運作不穩定或失去脈衝資訊。

IC 與系統層級的隔離優缺點相似。對較小 IC 封裝尺寸、高整合性、熱管理與認證標準合規性的需求，常需與 EMI 和效率下降進行權衡。選擇設計在 IC 層級滿足這些需求的隔離元件，可幫助於系統層級無縫轉換至完全強化的合規性。

隔離方式

IC 是在現代高電壓系統中實現隔離所採用的基本要素，因為其可封鎖 DC 與低頻率 AC 電流，並允許電源、類比訊號或高速數位訊號以跨絕緣層傳輸。圖 4 展示三種常用的半導體技術：光學 (光耦合器)、電場訊號傳輸 (電容) 及磁場耦合 (變壓器)。TI 隔離 IC 運用先進電容隔離技術，以及專有的整合式平面變壓器。TI 應用其在封裝開發、隔離與處理技術中的領導地位，實現一些最高等級的整合、性能與可靠性。

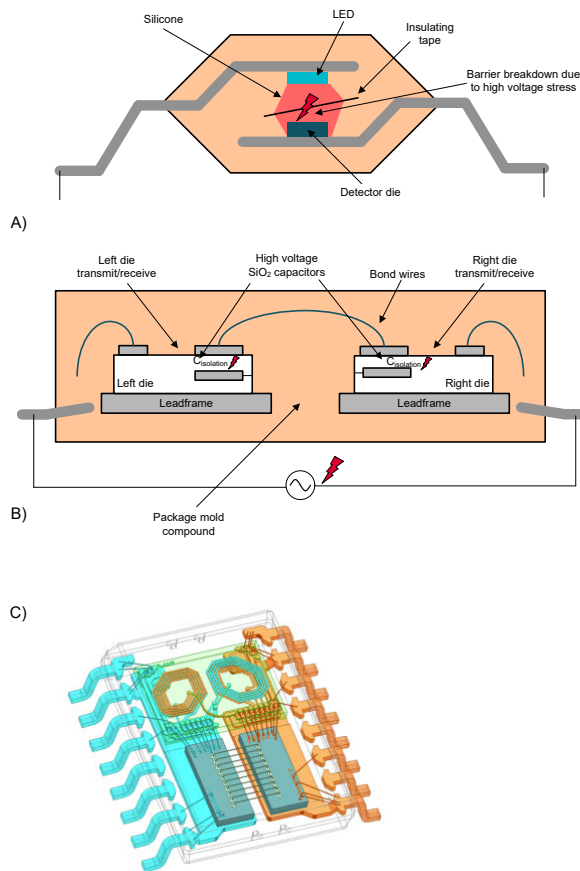


圖 4. 半導體隔離技術：光耦合器 (a)；電容式 (b)；變壓器 (c)。

每種技術都需仰賴一個或多個半導體絕緣材質 (如表 3 中所列)，以達成所需隔離性能等級。在給定距離下隔離相似電壓時，高介電強度材質較為有效。

絕緣材質	介電質強度
空氣	約為 1 V _{RMS} /μm
環氧樹脂	約為 20 V _{RMS} /μm
充填氧化矽的模封材料	約為 100 V _{RMS} /μm
聚醯亞胺	約為 300 V _{RMS} /μm
SiO ₂	約為 500 V _{RMS} /μm

表 3. 半導體絕緣體材質。

光隔離

光耦合器是在類比與數位訊號隔離應用中使用的 IC。其運作原理是利用從 LED 光源透過空氣、環氧樹脂或模封材料的介電絕緣材質，傳送到光電晶體的輻射。您可在表 3 中看到，這些材質具備最低介電強度，因此需要更多物理隔離才能達到更高隔離等級。TI 的產品組合目前不包括光隔

離產品，但包括**光電模擬器**，它們是模擬光耦合器行為的針腳對針腳解決方案，同時採用了 TI 的 SiO₂ 隔離技術。

雖然發光光子是已知最快的電磁能量傳送載體，但 LED 切換速度、正向偏壓需求與驅動電路會使訊號速率受限於每秒數 megabit 以下。此外，光傳輸效率無法傳輸足夠的功率以有效用於電源供應，因此通常光耦合器僅會用於傳輸數據。

若將 LED 驅動電路與放大器結合在光耦合器封裝中，將有助於提高資料傳輸速率，但所付出的成本較高。輸入到輸出電流傳輸比是一種光耦合器增益方式，可隨時間改變且降低。設計人員有時會過度指定所需偏壓電流，來對此老化效應進行補償。因此光耦合器的功耗通常較電容性或磁隔離器來得高。

電容性隔離

電容性隔離技術以介電質間 AC 訊號傳輸為基礎，運用開關鍵控、相移鍵控、邊緣式傳輸或其他類型的高階調變等機制，並由電容器以固有方式封鎖 DC 訊號。**圖 5** 說明透過串聯電容隔離層使用差動傳訊的一組非常基本的調變器/解調器配對。這些電容器可以傳送數據和非常有限的功率。**圖 5** 顯示了用於構建隔離層的兩個電容器，但根據產品要求和所需的隔離額定值，一個電容器可能就足以輕鬆應對。

串聯電容隔離器為一種多晶片模組，由發射器 (左側晶粒) 與接收器 (右側晶粒) 組成。如 **圖 6** 所示，各晶粒都透過專屬電容器來提供高電壓隔離與觸電保護，並可滿足等同於兩個基本隔離層級的強化型絕緣要求。

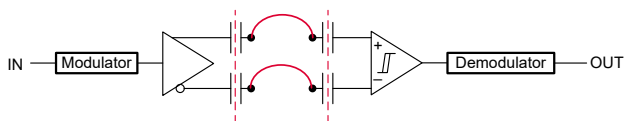


圖 5. 調變用於跨電容形成的隔離層傳輸資訊。

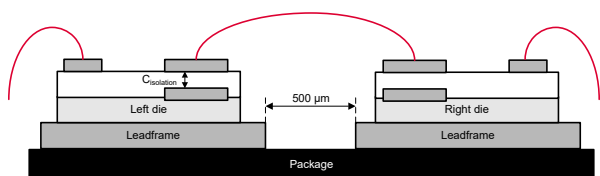


圖 6. 電容性隔離器範例。

您可將多個電容通道置入單一 IC 封裝 (兩側皆可為接收器或發射器)，以實現雙向訊號通訊。電容隔離器具有低傳播

延遲，可以超過 150 Mbps 的速率進行資料傳輸，消耗的偏壓電流也較光耦合器低，但隔離邊界各側仍需不同偏壓供應電壓。

TI 的電容隔離器採用 SiO₂ 介電質 (請參閱 **圖 7**) 建構，而此介電質在 **表 3** 所列材質中具有最高的介電強度。除了擁有比其他隔離器更高的介電強度外，SiO₂ 也是一種無機材質，因此在各種濕度與溫度下皆非常穩定。TI 專有的多層電容器與多層鈍化方法可減少任何單一層的高電壓性能依存性，進而提升隔離器品質與可靠性。此技術支援 2 kV_{RMS} 工作電壓 (V_{IOWM})，可承受 7.5 kV_{RMS} 隔離電壓 (V_{ISO})，以及 12.8 kV_{PK} 突波電壓能力。

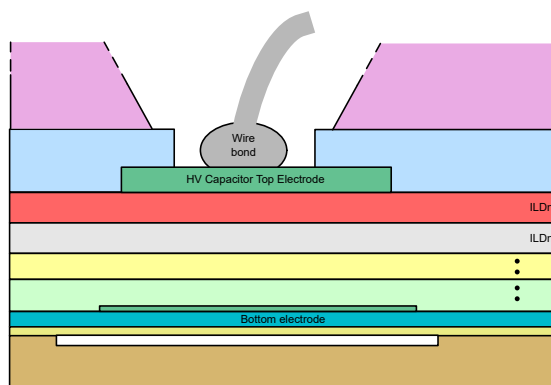


圖 7. Example cross-section of TI 的高壓隔離 SiO₂ 電容器的截面積範例。

隔離器必須擁有比非隔離式元件長出許多的使用壽命，才能防止電路發生故障。TI 嚴格遵照 **表 2** 中列出的 IEC 標準進行測試。

磁隔離

電容隔離器常運用在低電壓類比訊號傳輸、數位訊號傳輸或需要有限功率傳輸 (<100 μW) 的應用，而整合式 IC 磁隔離則具有需要高頻率 DC/DC 功率轉換的應用的優點。耦合 IC 變壓器隔離的一個特殊優勢是能夠傳輸數百毫瓦以上的功率，因此在大部分的應用領域，可省去對二次側偏壓電源的需求。它也可以使用磁隔離來傳送高頻訊號。在需要同時傳送電力和數據的系統中，您可以使用相同的變壓器繞組線圈來滿足電力和訊號需求，如 **圖 8** 中所示。

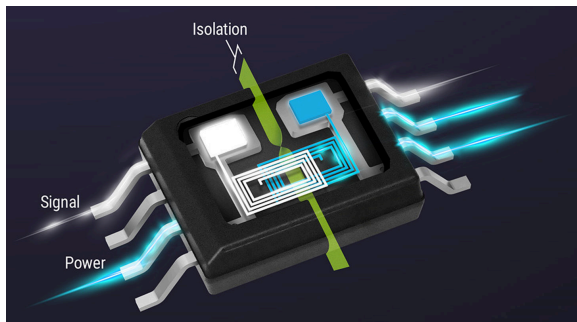


图 8. 使用磁隔離跨隔離層可靠地傳送電源和訊號。

TI 在磁隔離方面採用專用多晶片模組方法，並將高性能平面變壓器和隔離功率級與專用控制器晶粒共同封裝。TI 可以使用高性能鐵氧體磁芯來構建這些變壓器，以提高耦合及變壓器效率，或者在應用只需要適度的功率傳輸時，使用空芯來節省成本並減少複雜性。

图 9 是一個有關雙晶粒多晶片模組採用特殊控制機制、時脈機制與高 Q 整合式平面變壓器，以提供低輻射放射和高效率，同是也提供優異熱性能的範例。變壓器拓撲可能包含選用的上下鐵氧體板，並將 TI 專屬薄膜聚合物層壓陣列做為絕緣層。图 9 中的變壓器配置為包含在兩個平行鐵氧體板間相夾聚合物層壓中的變壓器繞組範例。

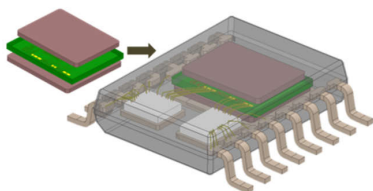


图 9. 磁耦合鐵氧體高性能變壓器。

在許多應用中，跨隔離層所需的功率量適中 (sub-100 mW)。對於這些應用，TI 已開發出一種適用於製造高性能空芯變壓器的技術。TI 的空芯變壓器類似於图 9 中所示之技術，不過沒有鐵氧體板。

TI 的所有變壓器 (空芯和鐵氧體鍍層) 均採用屏蔽技術來提供更好的輻射 EMI 性能。若在封裝層級採用 EMI 緩解技術，可減少為符合傳導和輻射放射標準限制的額外基板層級濾波。

單一隔離解決方案可能不適合所有應用，因此我們必須了解不同參數與規格，並在設計優缺點中取得平衡。

透過觀看 [TI 精密實驗室 - 隔離](#) 訓練系列，了解基本的隔離參數、認證以及如何使用每種類型的裝置進行設計和故障排除。

在縮減解決方案尺寸和成本的同時，需可靠地實現隔離需求

不同的應用領域需要不同的隔離方法。我們來看幾個範例中 TI IC 是如何利用極高可靠性及同時縮減解決方案尺寸和成本的方式，解決了高電壓隔離需求。

EV 應用

電動車電池串接電壓持續上昇到 400 V~800 V 甚至到 1 kV，使車商降低車重，增加扭力，提升效率及快速充電。

隔離半導體使低壓數位和類比電路能夠安全地使用高壓電池運作，同時達到所需的電隔離位準。隔離式電壓感測器、電流感測器、ADC 和 CAN 收發器，是訊號鏈 IC 的幾個範例，其需要在隔離邊界的兩側提供低壓直流偏壓。

[UCC12051-Q1](#) 是低壓隔離 DC/DC 電源模組，其利用 TI 的整合式磁性層壓板、平面變壓器技術，提供高達 500 mW 的 5-V 至 5-V (或 3.3-V) 偏壓，同時能達成 5-kV_{RMS} 隔離。[ISOW64xx](#) 是一款整合隔離式電源的數位隔離器，可為 ADC 或收發器供電，並以最低成本實現最佳的 EMC 效能。[ISOW3080](#) 與 [ISOW1050](#) 是適用於整合電源之隔離式 RS485 與 CAN 的**最佳解決方案，具備最低成本、最小電路板空間佔用，以及最佳 EMC 性能效能。**

電池管理系統 (BMS) 和牽引轉換器，是兩個最關鍵的電動車子系統，其中 800-V 域需要與底盤隔離。

將高壓電池端子連接到子系統時，BMS 會使用**預先充電電路**。5-kV_{RMS} [TPSI3050-Q1](#) 隔離開關驅動器取代了機械預充電接觸器，形成更小、更可靠的固態解決方案。為了防止乘客暴露在高壓電下，BMS 會經常監測電池的每個端子 (HV+ 和 HV-) 與金屬底盤之間的絕緣情況。固態繼電器 (例如 [TPSI2140-Q1](#)) 使用電池組監視器 (例如 [BQ79631-Q1](#)) 比固態光繼電器更快、更準確地偵測 800V BMS 中的絕緣故障。TPSI2140-Q1 可使用 <1-MΩ 電阻器，並且比傳統光繼電器能承受更多且超過 300% 的雪崩擊穿電流，使人機互動更加安全。

图 10 中所示之配置圖是牽引轉換器的一個範例，其中重點介紹使用隔離閘極驅動器來驅動三相 DC/AC 逆變器配置中的高壓絕緣閘極雙極電晶體 (IGBT) 或碳化矽 (SiC) 模組。這些模組通常會共同封裝多達六個 IGBT 或 SiC 開關，需要多達六個隔離變壓器，為六個獨立的閘極驅動器 IC 供電。為了透過減少外部變壓器的數量來最小化 PCB 面積，推出了 **UCC14240-Q1** 這款雙輸出、中壓、隔離式 DC/DC 電源模組，可在牽引轉換器、閘極驅動器偏壓應用中實現更高性能。

像 UCC14240-Q1 和 **UCC12051-Q1** 之類的隔離式 DC/DC 模組，未受限於特定的偏壓函數，因此適用於各種電源架構。在可擴展性方面做了些妥協，再透過將訊號鏈和電源組合到單一 IC 封裝中，如此才有可能實現更高的集成度。範例包括電源加數位隔離器 (ISOW64xx)、電源加 RS485 (**ISOW3080**)、電源加 CAN (**ISOW1050**)、電源加 ADC (**AMC3336-Q1**)，以及電源加放大器 (**AMC1350-Q1**)。

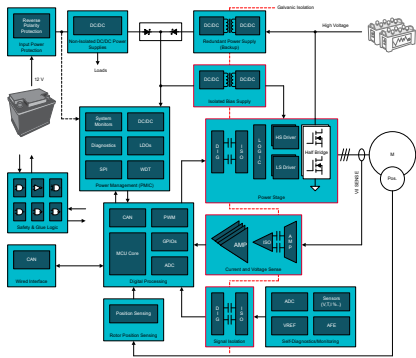


图 10. 典型的牽引轉換器配置圖

電網基礎架構應用

太陽能設備和電動車充電器可使用 200V 至 1.50 V 或更高的電壓。絕緣材料有助於防止這些高壓端子不小心連接到保護接地。如果這些絕緣材料開始劣化，進而增加暴露風

險，則可能發生高電流故障、爆炸、設備和財產損壞或致命意外事故。

图 11 顯示隔離監控採用高電壓 EV 充電和太陽能的 AFE 參考設計

其旨在使用 TPSI2140-Q1 隔離開關和 **AMC3330** 精密隔離放大器，在電網基礎設施應用中監測絕緣電阻。由於沒有可動零件，這種固態繼電器解決方案可以執行頻繁測量數十年之久，完全不會降低性能。這些裝置的設計主要用於高達 125°C 的高溫操作，而光繼電器等替代技術通常設計用於高達 105°C 的操作溫度。電源和訊號都可以在這些裝置中跨隔離傳輸，因此不需要二次側偏壓電源。由於這些裝置採用薄型小尺寸 IC 封裝，因此它們的解決方案尺寸可以比光繼電器或機械繼電器型的解決方案小 50%。在溫度範圍內保持準確度的能力，使得偵測和監控絕緣磨損並發出對應的警告或故障成為可能。

太陽能串列式轉換器和直流快速充電器包含高壓 DC/AC 和 AC/DC 功率轉換。光電板輸出可高達 1.50 V，DC 快速充電器輸出可高達 1.00 V，具體取決於電動車電池組。基於安全理由，這兩個系統都需要電隔離。

為了在電源轉換系統中實現電壓和電流控制迴路，微控制器需要隔離、快速和準確的電壓和電流讀數。**AMC3302** 隔離式放大器及 **AMC3306M05** 隔離式 ADC 二者均具有 ± 50 -mV 輸入範圍，使小分流電阻保持較小的功率損耗和較高的測量解析度。

適合於 **Level 3 電動車充電站的雙向有源電橋參考設計** (請參閱 图 12) 使用 10-kW 雙向 DC/DC 轉換器。最大功率損耗量不到總功率轉換的 0.01%。隔離電源無需在熱端使用低壓電源。參考設計使用 **AMC1311** 隔離放大器進行電壓感測，而 **UCC21530** 隔離式閘極驅動器及 **ISO7721** 隔離式數位介面會將低壓控制訊號從高壓 DC 連結或 DC 輸出隔離開來。

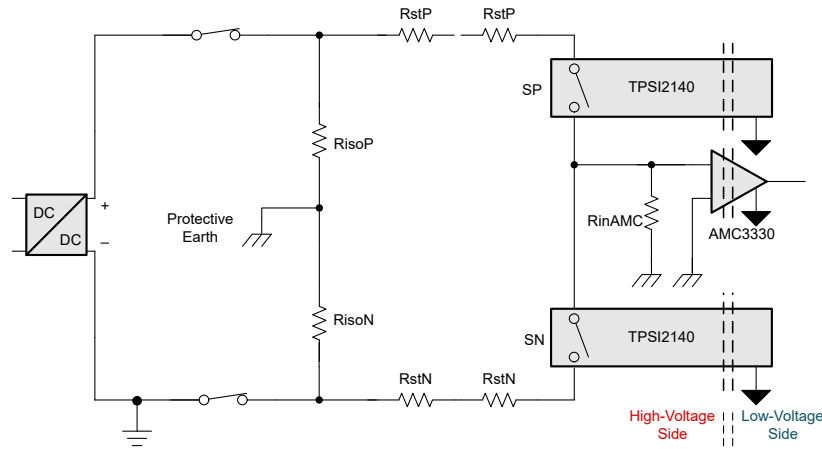


圖 11. 隔離監控採用高電壓電動車充電和太陽能的 AFE 參考設計配置圖。

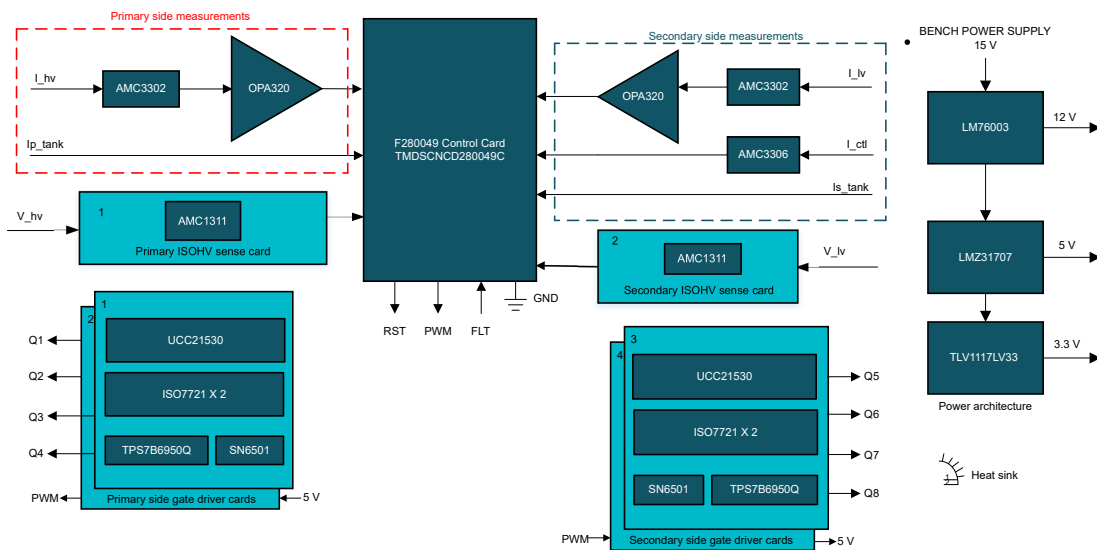


圖 12. 雙向雙有源電橋參考設計配置圖。

工廠自動化應用

可編程邏輯控制器 (PLCs) 會處理透過隔離器從感測器或發射器傳送至微控制器 MCU 的資料。由於電場側電壓通常為 24 V，基本隔離即足夠中斷接地迴路。對多數低電壓 PLC 應用來說，100 V_{RMS} 至 500 V_{RMS} 工作電壓及 2.5 kV_{RMS} 隔離電壓便已足夠。沿面距離與電氣間隙較小的封裝較適合這類空間有限的應用。

雙通道 24-V 至 60-V **ISO1212** 數位輸入接收器的設計旨在協助簡化和改善 PLC 數位輸入設計，其方式是結合準確的電流限制、保護電路及隔離在一個封裝中，以縮減零組件數量並提升效能。同時，透過整合長使用壽命 SiO₂ 隔離層和降低系統電路板溫度來提升可靠性。

Sub 1-W、16 通道、隔離式數位輸入模組參考設計旨在使用小於 1-W 的總輸入功率的同時，能承受符合 IEC 6100-4-2 標準的靜電放電、電快速瞬變和浪湧事件。每個通道可承受高達 ±60 V 的輸入電壓。

在圖 13 中顯示的 PLC 數位輸入模組中，串聯器與隔離器電場側需要 5-V 或 3.3-V 電源。從 MCU 側提供所需偏壓的隔離式電源供應器或具備整合式電源供應器的數位隔離器，可省去在電場側使用獨立電源供應器的需求。PLC 類比輸入模組透過類比輸入前端處理訊號，經由數位隔離器如 **ISO7741**，然後輸入 MCU。

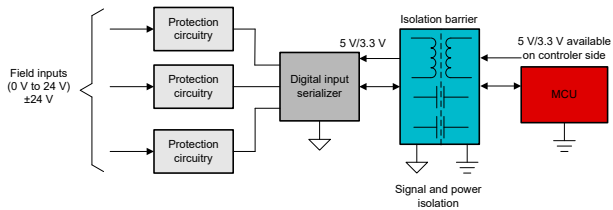


圖 13. PLC 數位輸入模組與隔離資料和功率。

工廠自動化的另一項挑戰牽涉到現場傳送器的隔離。由於整個系統的供應電流為 4 mA 至 20 mA，因此零刻度值設定了系統的最大預算，通常小於 3.3 mA。

以往隔離解決方案在每一通道的功耗從 500 μ A 到 1 mA 不等，迫使設計人員必須盡量減少穿過隔離層的通訊線路數量，或是須減緩數據傳輸速度。ISO7041 家族系列整合了二到四個超低功耗數位隔離器通道於小型封裝中，同時提供每通道低至 3.5 μ A 的功耗、高達 4 Mbps 的資料傳輸速率、-55°C 至 125°C 的溫度範圍，以及 TI 的 SiO₂ 絕緣電介質的穩定性和可靠性優勢。適用於低功耗應用的隔離式電源和數據介面參考設計顯示在 4-mA 至 20-mA 發射器應用中的 ISO7041。

馬達驅動應用

如圖 14 所示，馬達驅動器從交流電源獲取電力，將其整流為直流電壓，然後根據電機負載需求將直流電壓轉換回具有可變幅度和頻率的交流電。

馬達驅動器通常會透過隔離的半導體零組件在電源和控制電路之間設隔離屏障。隔離式放大器或調變器測量並隔離來自電源電路的電流和電壓回饋訊號。隔離式閘極驅動器可在產生脈寬調變 (PWM) 控制訊號的 MCU 和像 IGBT 之類的功率電晶體之間提供隔離。隔離式比較器會檢查任何

過電流、過電壓或過熱情況，並向 MCU 提供故障訊號。具有數位隔離器的選用介面隔離，可達成任何額外的系統安全要求。

對於電隔離馬達驅動器而言，將電源和控制電路之間的雜訊干擾降至最低，並確保操作人員的安全是非常重要的。最新型馬達驅動系統還必須符合 IEC 61800-5-1 安全標準。

提高電流和電壓回饋迴路的量測準確度有助於將轉矩脈動降至最低程度，並為馬達提供平順的速度和扭矩電流分佈線。隔離式放大器如 AMC1300 和 AMC1311B，以及隔離式調變器如 AMC1306M25 和 AMC1336，均支援具有高 CMTI 的精確電流和電壓量測，進而提高系統可靠性及降低雜訊耦合。

憑藉低傳播延遲、高 CMTI 和減少的上升和下降時間，隔離式閘極驅動器可實現更高的 PWM 頻率和最小的開關損耗，使設計人員更容易在其馬達驅動系統中採用 SiC 和氮化鎵 (GaN) 電晶體。為了在容錯系統中準確且快速地進行偵測，AMC23C12 系列的增強型隔離比較器提供了符合經濟效益的解決方案，其具有 <3% 的準確度、<400ns 延遲，以及減少高達 50% 的空間和材料清單 (BOM)。

像 ISO6760L 之類的數位隔離器具有整合式互鎖和低 EMI，確保在電源和控制電路之間，或 (可選) MCU 和介面之間，以高訊號完整性傳輸數位訊號。基於隔離式 Delta-Sigma 調變器的 AC/DC 電壓和電流量測模組參考設計提供成本最佳化且高度可靠的解決方案，以實現隔離電流和電壓量測 1% 以下的準確度。

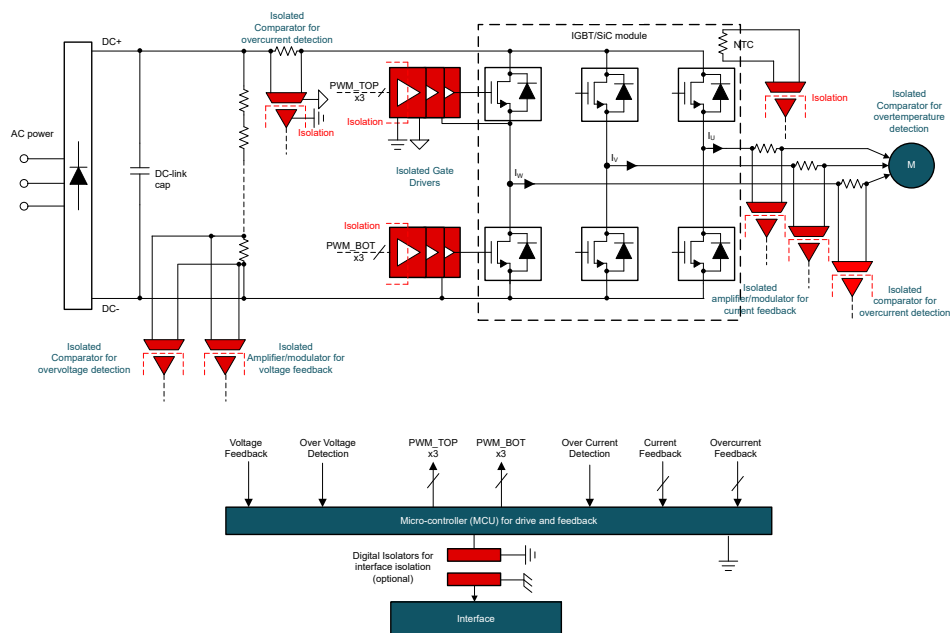


圖 14. 馬達驅動配置圖。

結論

在工業與汽車應用中，隔離透過防止低電壓電路出現高電壓故障，以及中斷接地迴路以維持訊號完整性，因此可允許不同電壓域間進行通訊。在適用隔離的不同介電材質中，TI 電容隔離器中採用的 SiO₂ 介電質可提供業界一些最長使用壽命，以及在各種濕度與溫度中呈現的穩定性。TI 的整合式變壓器技術可實現高密度隔離 DC/DC 功率轉換，同時可減少 EMI。

TI 訊號與電源隔離器產品組合可幫助工程師確實達成最嚴格的隔離系統要求。

請參閱 www.ti.com/isolationtechnology 了解如何透過高工作電壓與可靠性來提升安全性，或探索 TI 更多的隔離產品組合：

- 數位隔離器
- 隔離式 ADC
- 隔離式放大器
- 隔離式比較器
- 隔離式閘極驅動器
- 隔離式介面 IC
- 適用於訊號隔離器的功率
- 固態繼電器

其他資源

- 請閱讀白皮書 [啟用高電壓訊號隔離品質及可靠性](#) 以取得有關 TI 的高電壓隔離電容器的詳細資訊。
- 閱讀應用簡介 [如何簡化隔離的 24-V PLC 數位輸入模組設計](#)。

重要聲明：本文所述德州儀器及其子公司相關產品與服務經根據 TI 標準銷售條款及條件。建議客戶在開出訂單前先取得 TI 產品及服務的最新完整資訊。TI 不負責應用協助、客戶的應用或產品設計、軟體效能或侵害專利等問題。其他任何公司產品或服務的相關發佈資訊不構成 TI 認可、保證或同意等表示。

所有商標均為其各自所有者的財產。

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), 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 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](#), [TI's General Quality Guidelines](#), or other applicable terms available either on 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. Unless TI explicitly designates a product as custom or customer-specified, TI products are standard, catalog, general purpose devices.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may propose.

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025