

如何將理想二極體控制器作為太陽能應用中的可擴展輸入旁路開關使用

Yang Wu

Analog Field Applications Engineer
China East Sales

Abhijeet Godbole

Systems Engineer
Analog Power Products

Dilip Jain

Systems Manager
Analog Power Products

簡介

在太陽能光伏 (PV) 系統中，模組級電力電子裝置 (MLPE) 可在特定條件 (特別是受遮擋的情況) 下，提高能產性能。MLPE 曾經被認為是昂貴的專業類別，現在則是太陽能產業成長最快的市場領域之一。太陽能功率優化器是一種 MLPE，可最佳化 PV 面板的功率輸出並提升效率。

傳統的太陽能功率優化器使用 P-N 接面二極體或肖特基二極體進行旁路電路。當高電流流經二極體時，由於二極體的正向壓降相對較高，高功率消耗可能會導致嚴重的熱問題。改良的方法是採用壓降低於二極體的金屬氧化物半導體場效電晶體 (MOSFET) 來克服高功率損耗。

此外，太陽能優化器現在可支援更高的輸入電壓 (使用兩個串聯的 PV 面板可達 150V 暫態)，這要歸功於在給定功率位準下更低的傳導損耗和更低的系統成本所帶來的效率提高。在本文中，我們將探討使用浮動閘極理想二極體控制器的可擴展旁路電路解決方案。此電路解決了太陽能應用中具有廣泛電壓支援的旁路開關相關的挑戰，例如太陽能功率優化器、快速關閉和 PV 接線盒。

什麼是太陽能功率優化器？

圖 1 展示了在單個 PV 面板上安裝了太陽能功率優化器的 PV 系統。

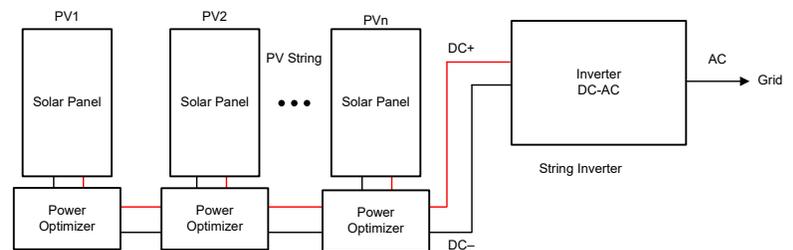


圖 1. 安裝了太陽能功率優化器的 PV 系統。

將功率優化器視為微轉換器與串列式逆變器間的折中方式。優化器像微型逆變器一樣安裝在個別的太陽能面板上，但其功能與將直流電轉換為交流電無關。功率優化器會即時追蹤每個太陽能面板的最大功率，並在將其送至逆變器之前調節輸出電壓。因此，逆變器可以處理更多電力。因此，無論太陽的方向、陰影，甚至是一或多個面板的損壞，每個太陽能面板都能獲得最佳的能效。在每個 PV 面板上安裝功率優化器的太陽能系統，與沒有個別面板級優化器的太陽能系統相比，效率可提高 20% 至 30%。

太陽能功率優化器的輸出旁路功能

就高功率太陽能逆變器而言，串聯多個 PV 面板可將高直流輸入電壓輸入至逆變器輸入。將優化器部署至相應的 PV 面板可獲得最高效率，如圖 2 所示。PV 串列實際上是由優化器的輸出連接。如果任何一個太陽能電池板發生故障，則 PV 串列電壓可能會崩潰，因為所有 PV 面板均為串聯。輸出旁路電路可為受損優化器周圍的串列電流提供平行的路徑。圖 2 顯示當其中一個 PV 面板損壞時旁路功能的運作方式。

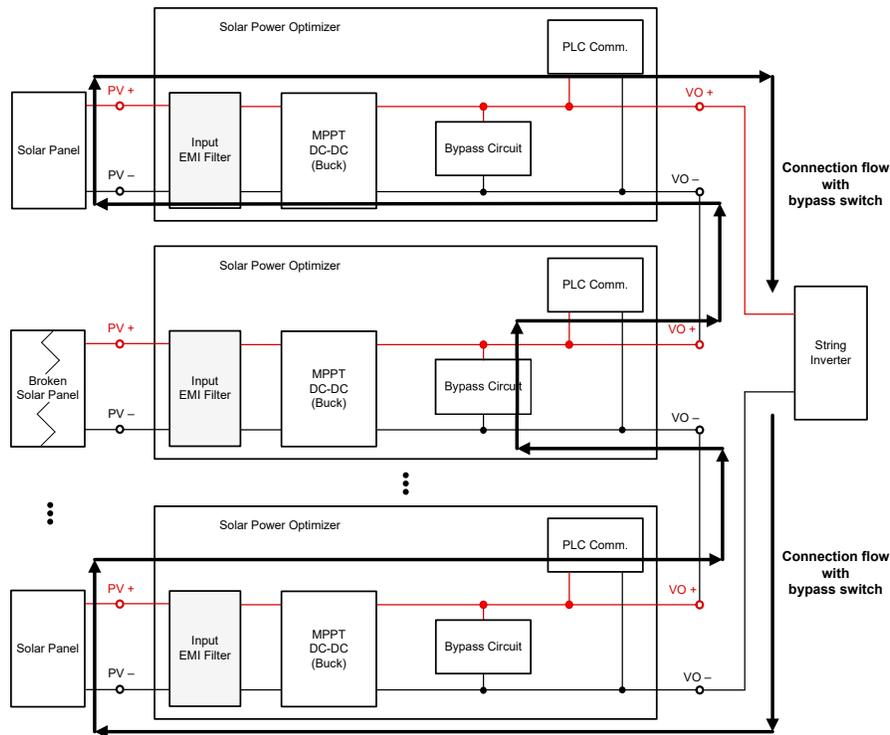


圖 2. 太陽能功率優化器的輸出旁路接點。

輸出旁路電路解決方案

旁路電路通常有兩種解決方案。達成旁路功能的常用方法是使用 P-N 接面二極體或肖特基二極體，如 圖 3 所示。其成本低廉且易於使用，並能以所選二極體為基礎達成極高的反向電壓。但也有一些缺點，例如高正向壓降 (0.5V 至 1V) 會產生更高的功率消耗與更大的印刷電路板需求。為了克服旁路二極體解決方案的缺點，替代方案之一是使用低壓降和功率損耗低得多的 N 通道 MOSFET (因為 $R_{DS(on)}$ 偏低)。但仍有一些缺點：

- MOSFET 並不是獨立的解決方案，其需要控制電路將其當成開關操作，通常是具有離散 MOSFET 驅動器電路的微控制器 (MCU)。

- MCU 需要來自 PV 面板的電源。因此，如果 PV 面板嚴重受損或完全被陰影或遮光物覆蓋，MCU 將無法運作且 MOSFET 將無法開啟。
- 在 MCU 故障時，MOSFET 無法開啟，且旁路路徑會通過 MOSFET 的本體二極體。但 MOSFET 的本體二極體無法承受大電流，並且會累積大量熱量，進而有火災的危險。

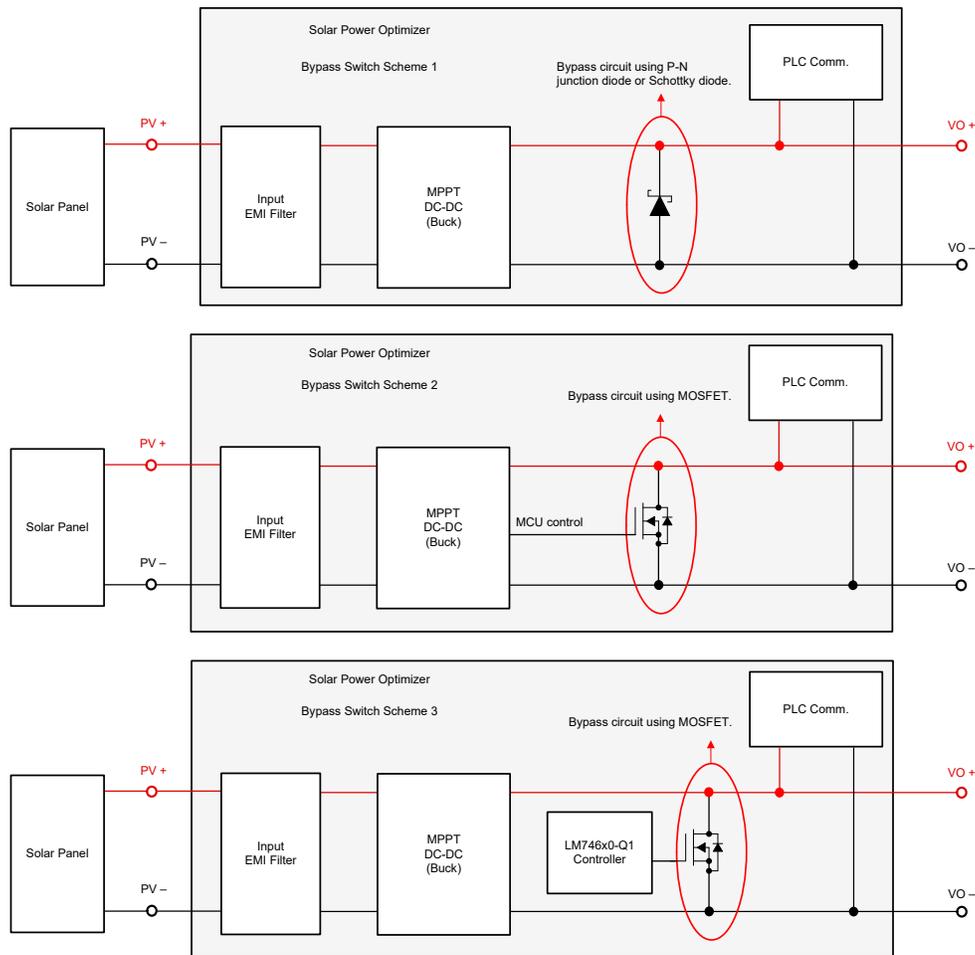


圖 3. 太陽能優化器中使用旁路開關時的典型解決方案。

解決 MCU 架構的開關控制方案缺陷的智慧方法之一是使用獨立式 MOSFET 控制器，該控制器可在沒有任何外部干預的情況下自主運作。德州儀器的 **LM74610-Q1** 系列浮動閘極理想二極體控制器透過控制外部 N 通道 MOSFET 來模擬串聯二極體行為，為您提供獨立式低損耗旁路開關解決方案。這些控制器配備浮動閘極驅動架構，可在低至 MOSFET 本體二極體順向壓降（約 0.5V）的輸入電壓下運作。

但隨著太陽能逆變器功率位準提高，以及採用較高電壓 PV 面板增加，旁路電路必須滿足幾個需求，才能使其成為比傳統解決方案更出色的解決方案。旁路電路需與從 20V 至 150V 的 PV 面板電壓配合使用，使其可跨多個平台進行擴展，並且應獨立於其他電路。

使用低電壓理想二極體控制器的可擴展旁路開關解決方案

旁路電路解決方案使用具有浮動閘極驅動架構的理想二極體控制器 (例如 **LM74610-Q1**) 來驅動外部 MOSFET，並模擬理想二極體作為旁路電路，使其獨立於其他電路。其浮動閘極驅動架構可達成通用輸入範圍，因為閘極驅動不會接地。此外，此機制的絕佳優勢是未參考接地，因此擁有零靜態電流。

太陽能面板及太陽能設備正常運作時，旁路 MOSFET 會關閉，而且從理想二極體控制器的陰極到陽極接腳會出現等於最大面板電壓的反向電壓。然而，從理想二極體控制器的陰極至陽極接腳的反向電壓 (PV+ 至 PV-) 可能會因為 PV 面板及串列暫態電壓而非常高。如果 PV 面板與超大輸入電壓範圍串聯使用，在設計旁路電路的最大輸入電壓範圍時，可能會極具挑戰性。**LM74610-Q1** 的最大反向電壓會限制為 45V 暫態電壓。因此，目前可用的理想二極體控制器裝置不適合額定輸入電壓為 80V 或 125V 的太陽能面板。

在感應路徑中加入耗盡型 MOSFET Q_D ，以擴展理想二極體控制器的反向電壓範圍，進而可在任何範圍內維持此電壓位準，如 **圖 4** 所示。 Q_D 的汲極會連接至輸出 PV+。源極連接至陰極，閘極則連接至理想二極體控制器的陽極。

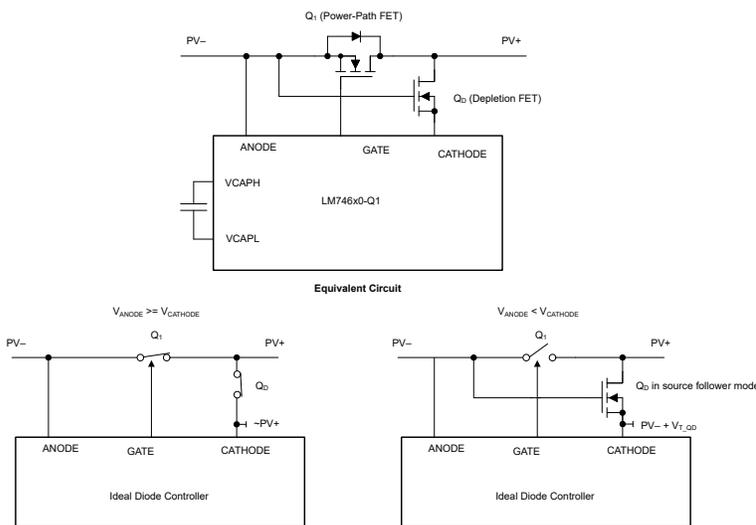


圖 4. 可擴展的旁路交換解決方案。

LM74610-Q1 反向電壓範圍擴展的運作原理

MOSFET V_{GS} 為 0V 時，消耗模式 MOSFET 即預設為開啟狀態，而增強模式 MOSFET 則會要求 V_{GS} 大於 MOSFET 的閾值電壓。為了關閉耗盡型 MOSFET， V_{GS} 需要小於 0V (典型範圍為 -1V 至 -4V)。為了分析理想二極體感測路徑中消耗模式 MOSFET 的影響，讓我們來看看在這些條件下的裝置運作：

- 當 V_{PV-} 大於或等於 V_{PV+} 時：理想二極體控制器處於正向條件模式，可保持功率 MOSFET Q_1 和耗盡型 FET Q_D 開啟。在這些操作條件下，您可以將輸出電壓計算為 $V_{OUT} = V_{IN} - (I_{D_{Q1}} R_{DS(on)_{Q1}})$ ，近似於 V_{PV+} 。
- 當 V_{PV-} 小於 V_{PV+} 時：理想二極體控制器處於反向電流阻斷狀態，且 MOSFET Q_1 關閉。MOSFET Q_D 作為源極隨耦器處於調節模式，將 $V_{陰極}$ 保持在 $V_{陽極}$ 之上， $V_{陰極} = V_{IN}(V_{陽極}) + (V_{GSMAX})$ 。因此， $V_{陰極}$ 至 $V_{陽極}$ 的電壓處於 Q_D 的絕對最大額定值 V_{GSMAX} (通常小於 5V) 內，遠小於 LM74610-Q1 的 45V 暫態最大反向電壓。高反向電壓 ($V_{OUT} - V_{IN}$) 由 Q_D 和 Q_1 的汲極至源極電壓 (V_{DS}) 維持。

選擇正確的耗盡型 MOSFET 和功率 MOSFET 取決於以下幾點：

- 選擇高於最大峰值輸入電壓的 Q_1 和 Q_D 的 V_{DS} 額定值。
- 選擇 $R_{DS(on)}$ ，使電源路徑 MOSFET 上的耗散最低。FET 的汲極電流 (I_D) 應高於輸出負載所需的最大峰值電流。選擇在全負載電流下功率 MOSFET 壓降為 50mV 至 100mV 的耗盡型 MOSFET 是一個很好的起點。
- $R_{DS(on)}$ 可在數百歐姆的範圍內 (**LM74610-Q1** 的浮動閘極驅動架構具有較大的陰極接腳接地阻抗，而控制器的 $I_{陰極}$ 則在微安培範圍內)。

圖 5 顯示了使用 40V **LM74610-Q1** 控制器的 60V 旁路開關解決方案的測試結果。

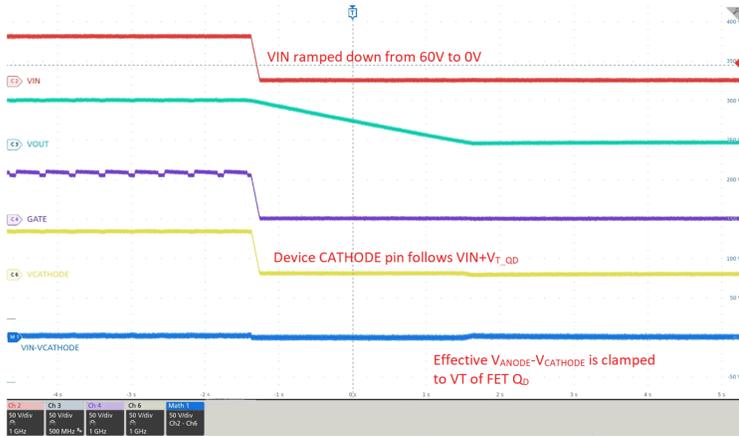


圖 5. 使用 LM74610-Q1 和耗盡型 MOSFET 的 60V 旁路電路的測試結果。

透過適當調整的 MOSFET (Q₁ 和 Q_D)，輸入電壓範圍可擴展至 FET 的 V_{DS} 額定值。因此可使用相同的低電壓控制器進行高電壓設計。此外，擴展輸入電壓範圍也十分適合企業，通訊，電動工具與高電壓電池管理應用。

結論

如果串聯的 PV 面板或太陽能設備損壞或故障，則必須要有適當的設計以避免熱點和/或電壓供應中斷。此責任通常在於太陽能優化器或快速關閉。標準整流器二極體或肖特基二極體是繞過損壞面板最簡單的解決方案，但由於熱效率低下，因此不建議使用。與旁路開關解決方案相較，浮動閘極理想二極體控制器與 N 通道 MOSFET 可提供更少的獨立損耗，而採用耗盡型 MOSFET 的附加系統變通方法則提供了完全可擴展的解決方案，可滿足 PV 面板的寬輸入電壓範圍的要求。

其他資源

- [LM74610-Q1 零 IQ 反向極性保護智慧型二極體控制器 產品規格表](#)

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 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 © 2024, Texas Instruments Incorporated