

Please note that effective July 26, 2021, the former Infrastructure and Automotive business of Silicon Labs is now part of Skyworks' Mixed Signal Solutions. All Silicon Labs registered trademarks that may be contained herein remain the sole property of Silicon Laboratories, Inc. and are only for nominative descriptive purposes and do not represent any sponsorship or endorsement of such product(s) by Silicon Labs.



**SKYWORKS<sup>®</sup>**

[skyworksinc.com](http://skyworksinc.com)



## 先進的數位隔離技術提高太陽能逆變器的可靠性

一百多年來火力發電設備已被證明是穩定和可靠的能量來源，但這些設備龐大且複雜，並且建構成本日益高漲。同時，以最小的碳排放和環境影響標準來運行這些設備也面臨著極大的挑戰和成本壓力。相較之下，現代太陽光電（PV）發電系統成為火力發電廠的合理替代方案，其可以提供更低的長期運行成本、模組化的可擴展性、更高效，同時碳排放比集中式發電設備低很多。

PV 發電系統由多個部分組成，例如把光能轉換成電能的太陽光電面板、機械、電氣連接器、配件，以及把太陽能產生的電輸送到電網過程中必不可少的太陽能逆變器等。

### 什麼是PV太陽能逆變器？

PV面板把太陽光轉換成直流電，而為了使線路損耗最小化，並將電能傳輸至更遠距離，直流電必須轉換成高壓交流電。PV太陽能逆變器可以實現上述直流電到交流電的轉換，是所有PV發電系統中最重要的部分。然而，這僅僅是PV逆變器的重要功能之一。

PV逆變器還具有電網斷開能力，防止PV發電系統給未連接的公共服務系統提供電源；也就是說，如果在電網斷開期間，逆變器維持線上狀態，或者在為不可靠的連接提供電源時，會引起PV發電系統饋電當地公共服務系統中的變壓器，並在公共服務系統電線上產生幾千伏電壓，將危及公共服務設備操作工人的安全。安全標準規範IEEE1547和UL1741規定：當交流電壓或頻率超過規範限度時，與電網連接的逆變器必須斷開，或者當電網不再存在時，必須完全關閉。當重新連接後，逆變器不能立即傳輸電源，需要等到逆變器檢測到額定公共服務系統電壓和頻率超過五分鐘。當然，逆變器的職責不僅如此。

逆變器也用於補償影響電能輸出的環境因素。例如，PV面板的輸出電壓和電流對於溫度和電池單位面積上光照強度（又稱為「輻射照度」）的變化是高度敏感的。電池的輸出電壓與電池溫度成反比關係，而電池電流與輻射照度成正比關係。這些與其他關鍵參數的變

化導致最佳逆變電壓/電流工作點顯著移動。變頻器通過採用閉環控制以維持在所謂的最大功率點（MPP）來解決上述問題，因為在這個點上電壓和電流的乘積最大。除此之外，逆變器還支援服務操作中手動和自動輸入/輸出斷開、電磁干擾/射頻干擾（EMI/RFI）傳導和輻射抑制、接地故障中斷、PC相容的通訊介面…等。逆變器被封裝在一個堅固耐用的盒子中，能夠在室外全功率運行25年以上。這真是不小的壯舉！

## 詳細介紹

如圖1所示，單相PV逆變器採用一個數位電源控制器和一對高壓側/低壓側（high-side/low-side）閘道驅動器來驅動脈寬調變（PWM）的全橋轉換器。全橋拓撲通常用於逆變器應用中，因為他是任何開關模式拓撲結構中承載能力最高的。參考圖1A，PWM電壓開關作用在全橋輸出上產生一個獨立的（儘管有些雜訊）60Hz電流波形。高頻雜訊部分被濾波，並產生合適的低振幅60Hz正弦波，如圖1B所示。濾波後的波形通過輸出變壓器傳輸，此變壓器有三項功能：1）進一步平滑交流波形；2）調變電壓振幅以滿足特定電網需求；3）對逆變器的直流輸入和高壓交流電網進行電氣隔離。

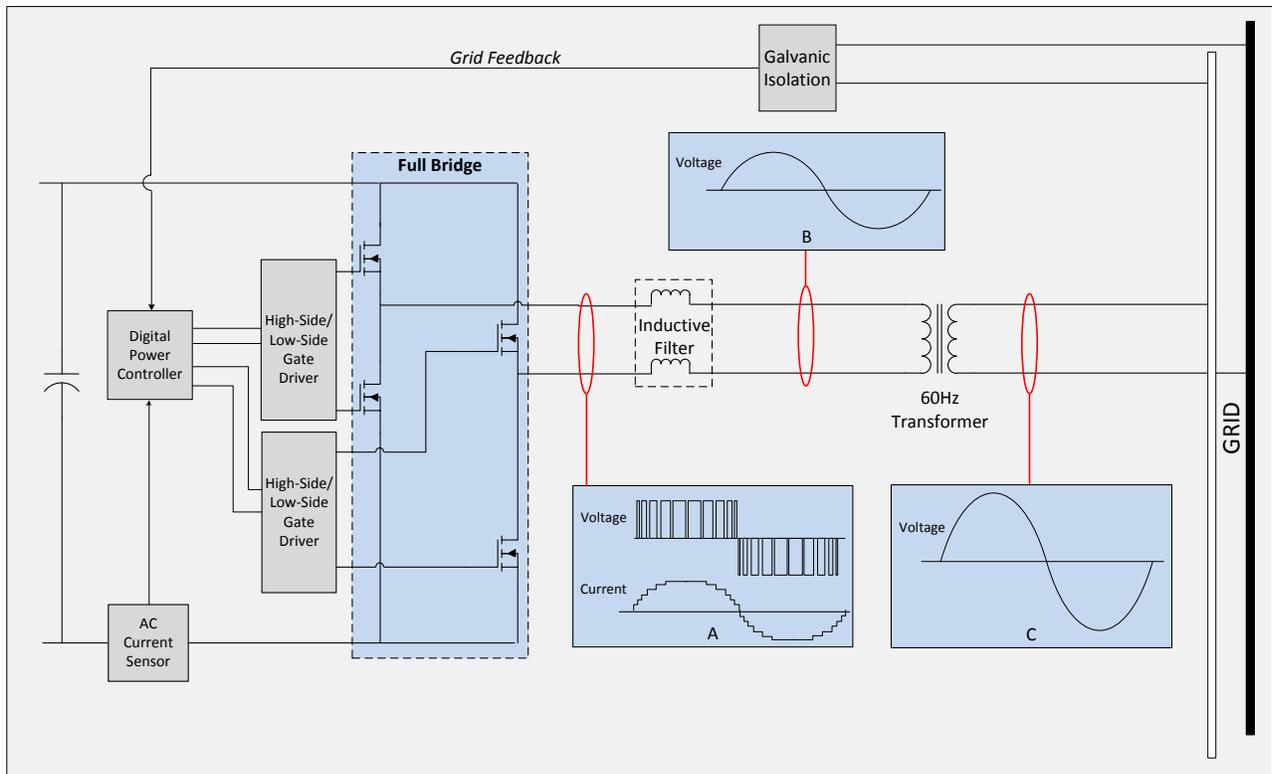


圖1：單級、單相逆變器示意圖

PV逆變器設計需要充分權衡，如果權衡錯誤，可能使設計師備受煎熬。例如，PV發電系統既要可靠運行，且需全額定輸出達25年以上，同時還需具價格競爭力，所以設計人員需進行成本及可靠性的衡量。PV發電系統使用高效率的逆變器，因為高效率逆變器比低效率逆變器運行溫度更低，持續時間更長，並且可以為PV發電系統製造商和使用者節省更多費用。

永無止境的追求更高效率逆變器則需要更多的設計衡量，這將影響元件的選擇（主要是閘道驅動器、電源開關和磁性元件，例如變壓器）；PCB構造和逆變器封裝耐熱需求。PV面板的輸出電壓也隨著陽光下的暴露程度不同而變化，因此使逆變器輸入電壓範圍適應PV面板的輸出電壓範圍將非常有用。這又將產生更多的設計衡量，進一步影響系統的複雜性、成本和效率，而這僅僅是硬體部分。現在讓我們來看看控制方面的問題。

逆變器的「大腦」是控制器，通常是數位功率控制器（DPC）或數位訊號處理器（DSP）。一般情況下，控制器的韌體透過狀態機（State machine）方式實現，這是實現非中斷（失敗）代碼的最有效方法，可以防止執行無意中進入一個無限迴圈。韌體執行是分級的，服務高優先順序的功能比低優先順序的功能更加頻繁。在PV逆變器中，通常隔離反饋迴路補償和電源開關調變有最高優先順序，然後是支援UL1741和IEEE 1547安全標準的電路保護功能，接下來是效率控制（MPP）。其餘的韌體大多為：在業務點進行優化操作、監測系統運行以及支援系統通訊任務。

PV逆變器需在高溫和/或嚴寒中工作25年，我們在選擇用於逆變器的元件時要特別注意。很明顯，一些元件，例如用於濾波的電解電容和用於光電隔離的光電耦合器，不可能有25年的壽命。電解電容會乾涸並枯竭，光電耦合器的LED亮度會逐漸暗淡，直到停止運行。對於這些脆弱元件的解決方法是採用高品質的薄膜電容器（具更高可靠性，但成本也更高）進行替換。而最佳的長期解決方案是放棄光電耦合器而採用先進的CMOS隔離元件。

CMOS技術提供高可靠性、低成本、高速率、小尺寸、低功耗、在極端電壓和溫度範圍內運行穩定性，以及其他許多值得擁有的特性。與光電耦合器中所用的砷化鎵（GaAs）技

術不同，採用CMOS製造的元件沒有內在機械磨損。底層CMOS隔離單元是電容性、全差動和高度優化的，這滿足嚴格的時序效能、低功耗，以及由外場和快速共模瞬變而造成資料錯誤的高免疫力。事實上，將CMOS技術結合專有的矽產品設計，其帶來的優勢使隔離元件更加牢靠，更「接近理想」隔離元件。與以前大家看到的有所不同，這些元件提供更完整的功能整合度、大幅提高可靠性（60年以上的隔離間壽命）；可在最大VDD下，支援-40°C到+125°C連續運行溫度範圍，大幅提高效能、降低功耗、節省電路板面積並提高易用性。

## 21世紀PV逆變器元件解決方案

如圖1所示，PV逆變器的結構並非僅限於單相、基於變壓器的逆變器。其他常見類型包括：高頻率、雙極型、三相無變壓器和電池供電逆變器。雖然其拓撲結構彼此不同，但通常共用相同的元件解決方案。圖2中顯示幾個使用在基於變壓器、三相逆變器的CMOS隔離元件。

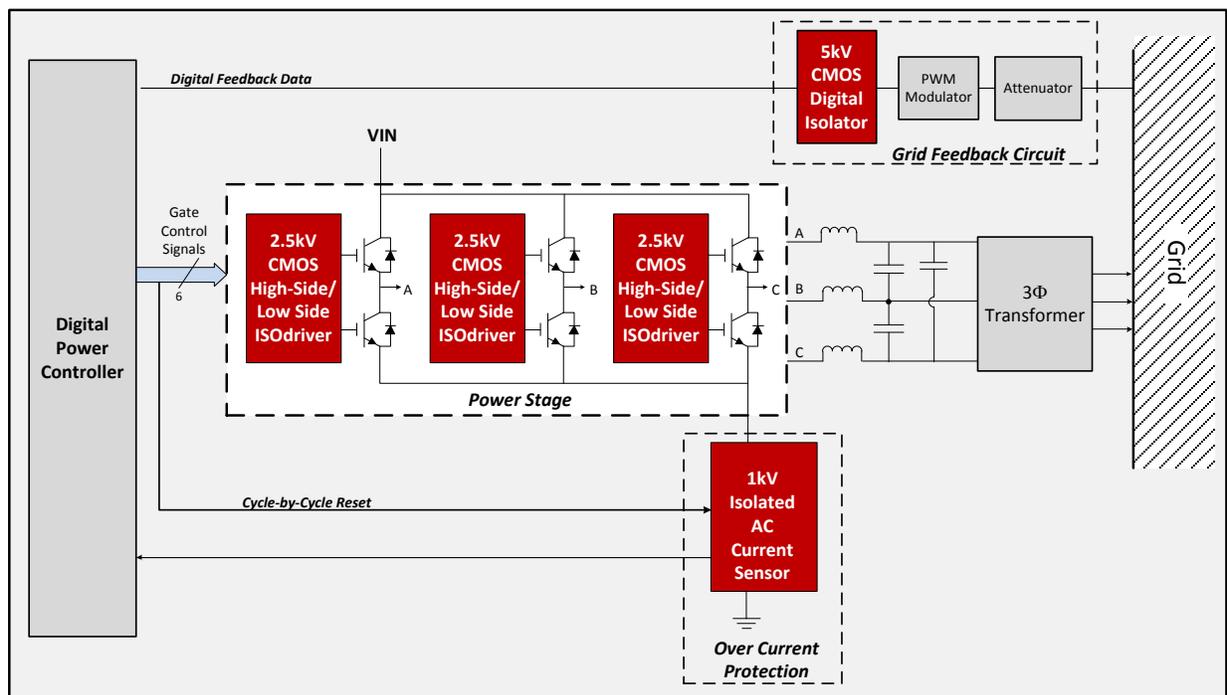


圖2：使用CMOS隔離元件的三相逆變器

這是一個典型的閉環結構，數位控制器調節電源開關的工作週期（Duty cycle），迫使PV發電系統輸出電壓的幅值和相位與電網需求精確匹配。隔離閘驅動器在單一封裝中整合安全認證過的電氣隔離（1kV、2.5kV或5kV等級）和高壓側（high-side）電平轉換功能，不需要外部隔離元件。每個驅動器輸出與其他輸出隔離，使正負電壓輸出可以混合使用，而不會產生閉鎖效應（latch-up）。

回饋到控制器的電流由一個4mm x 4mm x 1mm的CMOS隔離交流電流感應器提供（其1kV隔離等級受限於封裝，更大封裝版本有高達5kVrms等級）。此單晶片感應器具有比電流感應變壓器更寬的溫度範圍、更高精確度及可靠性。該感測器在每個週期重設（Reset），由數位控制器產生的逆變器閘道控制訊號產生週期訊號，從而無需外部重設電路。電網回饋是系統回饋控制機制的重要組成部分。電阻衰減器用於降低電網電壓到PWM調變器相容的範圍，把正弦波輸入轉換成一個獨立的PWM波形，並且由CMOS數位隔離器安全隔離。

## 展望未來

PV發電系統對於發電領域來說是一項相對較新的技術。和其他新興技術一樣，PV發電系統將隨著技術的成熟而迅速變化，其無疑將持續發展，以滿足市場對更高容量、更低成本和更高可靠性的需求。當出現這些需求時，PV逆變器將在功能性上進一步擴展，設計人員將需要更高整合度、特定應用相關的元件等級設備，這將進一步促進和推動CMOS隔離技術的創新。隨著不斷發展，PV發電系統將變得更加普遍，最終成為公共服務設施中的主流，大大減少我們對火力發電的依賴。