

為太陽能電網增添儲能功能的四項 重要設計考量



Jayanth Rangaraju

系統經理
電網基礎架構
德州儀器

TI POWER
●●●●●

在白天時，可用的太陽能相當充足，但這段時間內的電力需求卻偏低。為了在供應和需求之間取得平衡，需要盡速整合儲能系統與太陽能設備。

隨著光電 (PV) 太陽能設備持續增加，太陽能電網在供應面和需求面上的不平衡狀態，開始成為重大限制。在中午左右，可用的太陽能相當充足，然而此時的需求並不高，這代表在早晨和夜晚的尖峰使用期間，消費者需對每瓦特電量支付較高的費用。

適用於住家、商業與公共事業太陽能設備的儲能系統 (ESS)，可透過逆變器儲存在白天收集的能源，或是在

需求最低的時間從電網汲取電力，並在高需求期間輸送所儲存的能源。在太陽能併網系統中增添 ESS，使用者即可透過稱為「削減尖峰用電」(peak shaving) 的做法來降低成本。

在此白皮書中，我將針對整合儲能功能的併網型太陽能設備系統，探討其設計考量。

雙向功率轉換

傳統太陽能設備包含單向 DC/AC 和 DC/DC 功率級，然而單向方法對整合 ESS 而言會是一大障礙。如此即需要更多元件、模組與子系統，在在都會大幅提高於現有太陽能設備中增添 ESS 的成本。

若要在現有太陽能設備中增添儲能功能，需要將對電池充電與放電的兩種路徑結合成單一途徑，並且包含功率因數校正 (PFC) 與逆變器功率級。但是，我們要如何打造雙向功率轉換器，以取代兩個單向功率轉換器？

進階的雙向**電源拓撲** (如下頁圖一所示) 可在電網、PV 陣列與電池管理系統之間，進行安全且高效率的功率傳輸。例如 **C2000™** 即時 MCU 等微控制器 (MCU)，就是這類電源拓撲的熱門選擇。前述每個控制器都可控制一個或多個功率級，因此可為採用 ESS 的太陽能逆變器提供數位控制的雙向功率轉換架構。採用 MCU 的控制方式，可為處理 DC/AC 與 DC/DC 轉換的電源開關提供更精密的脈衝寬度調變 (PWM) 機制。

混合逆變器可讓轉換級達到更高的效率，而這對整合 ESS 的微電網而言已變得更为重要，因為現在需進行多個功率轉換作業。功率轉換器系統會處理對電池充電與放電的 DC/DC 工作，並且也會處理 DC/AC 與 AC/DC 工作，以將儲存在電池內的直流電轉換為交流電，並將其饋送至電網與反饋。

摘要

本文件說明為太陽能電網增添儲能功能的四項重要設計考量：



1 雙向功率轉換

進階的雙向電源拓撲可在電網、光電陣列與電池管理系統之間，進行安全且高效率的功率傳輸。



2 較高電壓的電池

由過去使用 48-V 電池組的太陽能設備，現在逐漸開始採用 400-V 電池組，因此需要較高電壓的電池。



3 流暢的儲存系統設計

為了實現流暢的設計，工程師需要以最少的自然對流冷卻，實現最佳的系統散熱設計。



4 電流及電壓感測

為了準確感測電流和電壓，需針對較高頻率下的系統切換進行數項設計考量。

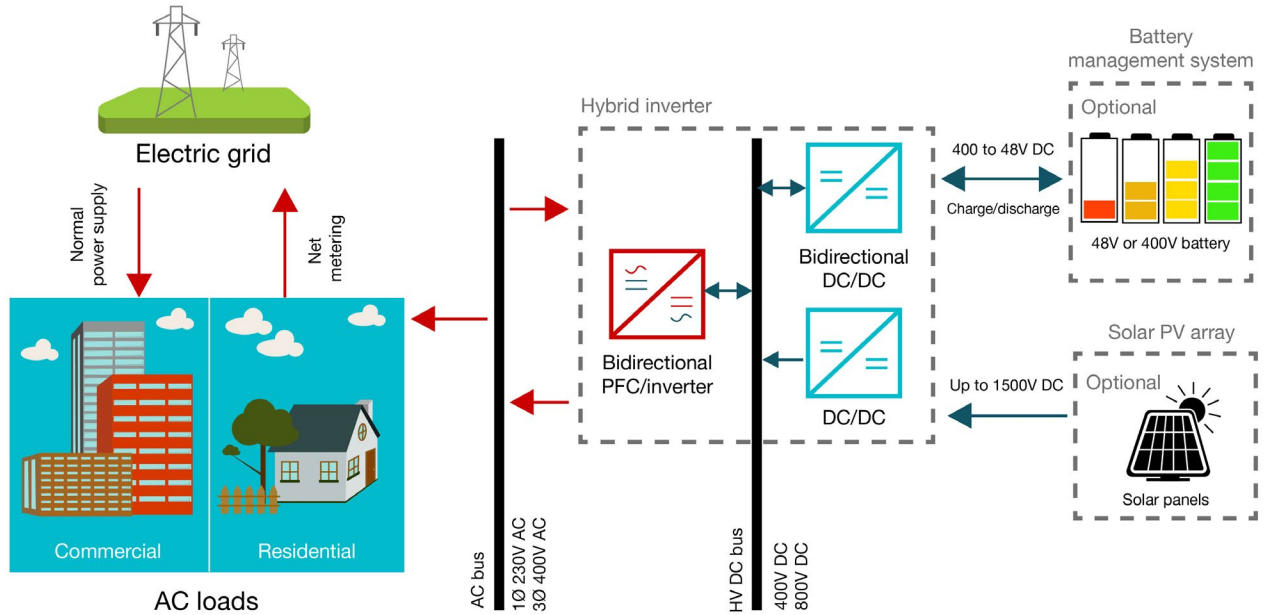


圖 1。雙向 PFC 與逆變級的方塊圖。

較高電壓的電池

在整合儲能功能的微電網系統中，電池的主要功能是儲存 PV 能源，並在受到要求時將電力注入電網。相較於鉛酸電池，鋰離子電池組可提供的每單位充電儲存能力要高出許多。

隨著 400-V 電池組在電動車 (EV) 區塊中日益普及，現在也出現欲提升太陽能電網設備電池電壓的趨勢，不再只是採用 48-V 電池組。但是我們要如何管理 400-V 電池組的功率轉換？

MCU 可提供系統控制與通訊功能，有助於將 ESS 整合至較大系統中，此外，低損耗且高效率的電源開關則能提升儲能系統的安全性與可靠性。以碳化矽 (SiC) 與氮化鎵 (GaN) 材質為基礎的小巧電源開關，以及即時控制 MCU，有助於確保雙向轉換器的適配性，以搭配不同的 DC 儲能裝置運作。請參閱下頁圖 2。

有鑑於轉換器的功率密度提升且切換損耗降低，讓 SiC 與 GaN 等寬能隙半導體成為因應功率轉換系統需求的重要元件，而這類功率轉換系統可處理更高的電池電壓範圍。功率轉換系統也可協助電池組更妥善地管理分散式發電系統的功率波動，並讓電網可在更高與更廣的電壓範圍內，以兼具智慧與彈性的方式運作。

最終，太陽能設備可能會模仿 EV 中所使用的電池組。現在越來越多人相信未來將會回收目前 EV 所使用的電池組，以做為併網型 ESS 再利用。

實現效率與自然對流的寬能隙材質

為了建立流暢的牆面安裝式儲能系統，必須確保能以最少的自然對流冷卻，實現最佳的逆變器散熱設計。分散式電源架構可將熱量散佈至整個系統內。這種結構也可讓所需的儲能逆變器能支援不同電壓下的高電流位準，並針對迅速變化的負載提供可靠的瞬態回應。

這類系統需要的閘極驅動器必須可支援快速切換，且能在 100 kHz 至 400 kHz 的切換頻率之間提供保護。若切換速度不夠快，功率轉換級即可能發生極大的效率損失。

這時 SiC 與 GaN 等寬能隙材質就可發揮作用，因為其可提供更快速的切換與更高的功率密度。這些半導體裝置可協助設計無須風扇式冷卻的系統。LMG3425R030 為包含整合式驅動器與保護功能的 GaN 產品，其具備小巧外型、更高的功率密度，以及更快速的切換能力。

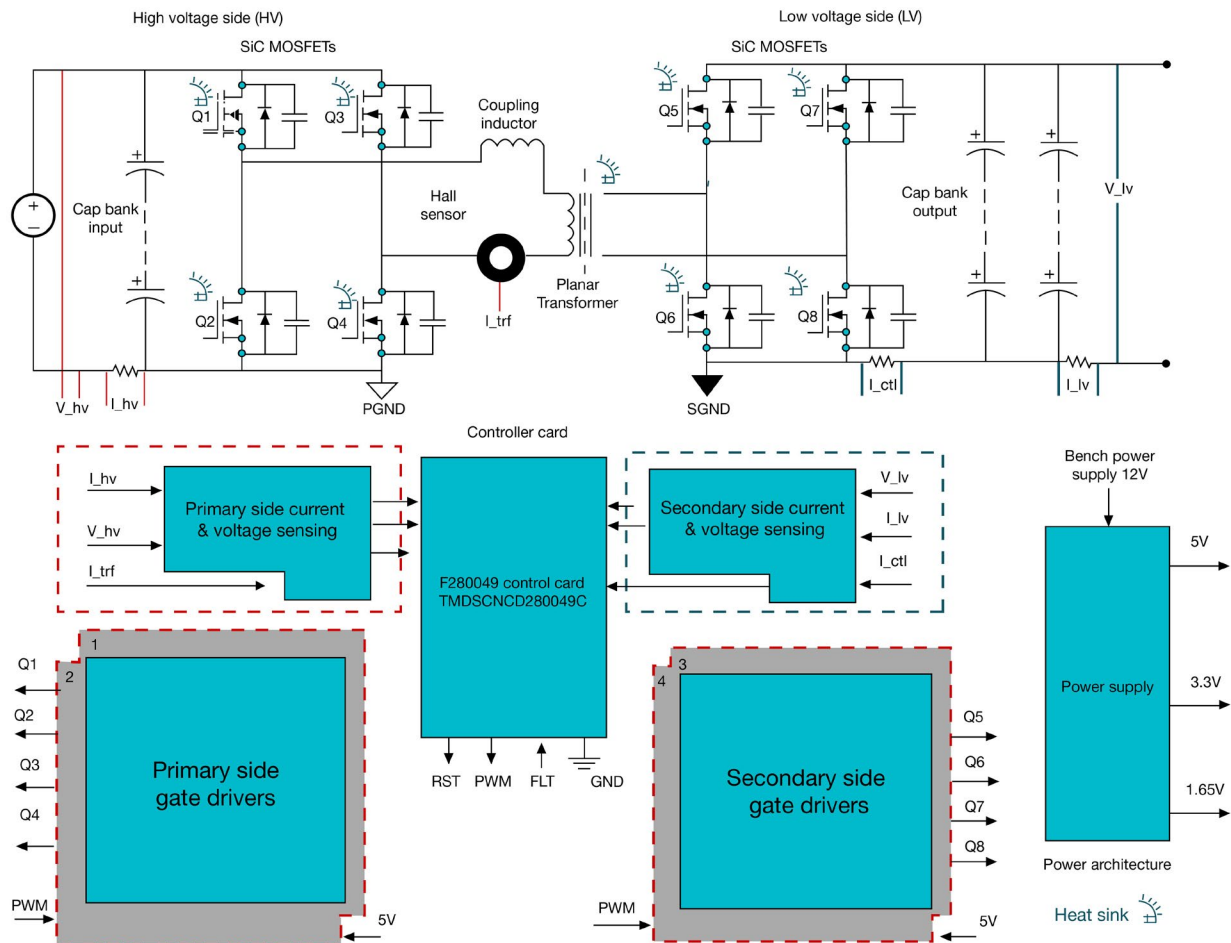


圖 2。雙主動橋式 DC/DC 轉換器設計有助於雙向運作，以支援電池充電與放電應用。

閘極驅動器可將來自控制器的數位 PWM 訊號，轉換為 SiC 或 GaN 場效應電晶體所需的電流。PWM 式控制器可確保在多個功率轉換級中，皆能準確地對電壓和電流進行取樣。

在使用 [C2000 MCU 的雙向高密度 GaN CCM 圖騰柱 PFC](#) 參考設計中，包含雙向圖騰柱免橋接 PFC 功率級，其採用 C2000 即時 MCU，以及含整合式驅動器與保護功能的 [LMG3410R070](#) GaN FET (圖 3)。3-kW 雙向設計可支援切相與適應性失效時間以改善效率，非線性電壓迴路則能減少在 PFC 模式瞬態期間的電壓突波。

電流及電壓感測

進行高頻率切換的電源設計時，會面對需準確感測電流與電壓的挑戰。分流式電流量測不但更為準確，還能以更快的回應時間迅速對應電網中的任何變化，可

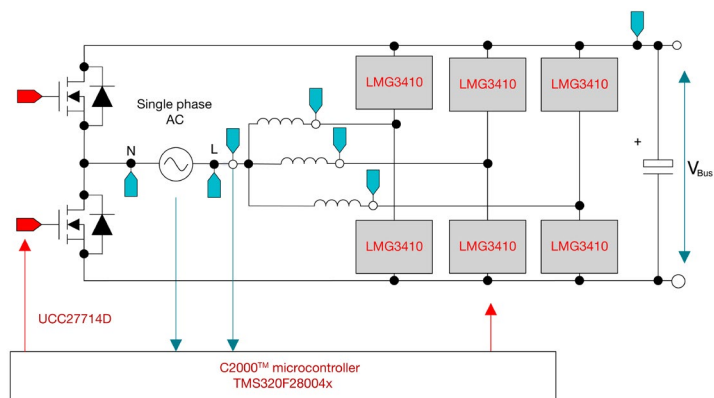


圖 3。GaN CCM 圖騰柱參考設計採用數位控制，該數位控制使用 C2000 即時 MCU，以及含整合式閘極驅動器與保護功能的快速切換 GaN 產品。

在短路或電網連線中斷時關閉系統。在以逆變器為中心的設計中，電流量測是固有的環節，因為控制演算法需要透過電流感測以進行控制。對於使用外部分流

器、隔離放大器或調變器與電源供應器的獨立式電流量測，提供了相關的設計解決方案。例如 [三階三相 SiC 式 AC 至 DC 轉換器參考設計](#) 即採用 AMC1306 隔離式調變器，以監控負載電流。[AMC3306](#) 是具備整合式 DC/DC 轉換器的新一代隔離式調變器，可實現單電源供電運作。

對於需要在使用較高電壓的逆變器驅動應用中，於各種電壓域間傳輸資料的數位訊號，則可使用隔離產品來克服電壓限制。如 [ISO7741](#) 等數位隔離器可讓高頻率訊號跨越功率限制，同時保護低電壓數位電路不受高電壓域影響。

功率轉換器必須量測電網電流，以確保電流與電壓處於同一相位。電流與電壓量測也會控制電池充電電流，以及逆變器運作和過載保護。

結論

在未來幾年內，可提供雙向 AC/DC 與 DC/DC 功率轉換功能的混合逆變器，可能會取代傳統的太陽能逆變器。混合逆變器可讓太陽能逆變器設計人員以廣泛的輸出功率與電壓執行功率轉換。

就儲能式太陽能逆變器而言，更高且更廣的電池電壓是關鍵所在。除了需要高效率與自然對流外，MCU 式控制以及具備整合式閘極驅動器和保護功能的寬能隙半導體等基礎區塊，也可配合更高且更廣的電池電壓。

C2000 即時 MCU 和 LMG3425R030 GaN 產品可在儲能式太陽能電網中，處理雙向能源傳輸作業。同樣地，分流式電流與電壓感測則可確保較高電壓的電池和快速切換的功率轉換器，都能安全可靠地運作。

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。

C2000 為德州儀器的商標。所有其他商標皆屬於其各自所有人之財產。

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, 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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 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.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2021, Texas Instruments Incorporated