

適用於高功率密度車載充電器的小型 SiC 模組

要實現零碳社會的目標，交通工具的電動化至關重要。更輕、更高效的電子元件在這一過程中發揮著重要作用。車載充電器 (On-Board Chargers, OBC) 便是其中一例。讓我們來一同探討小型化模塑功率模組如何滿足當前車載充電器的需求？

■作者：Imane Fouaide / ROHM Semiconductor 應用行銷經理
Christian Felgemacher / ROHM 應用工程資深經理



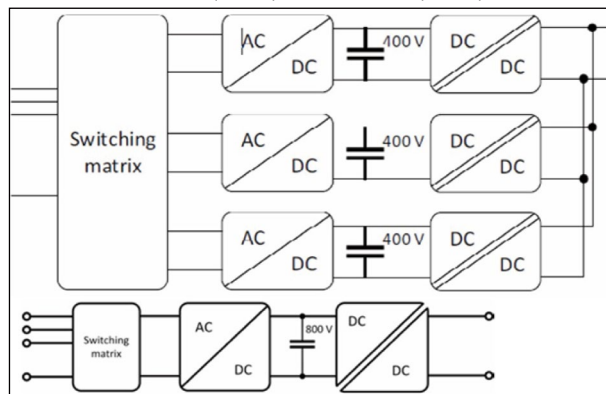
電動交通領域的發展日新月異，為提高車輛的續航里程，電驅動動力總成系統變得越來越高效率並趨於小型化。車載充電器作為這一發展過程中的關鍵，必須在保持高效的同時，儘可能做到小型輕量化。這一技術挑戰還必須確保成本控制有限範圍內。

OBC 被運用於交流充電，需要由電網 (充電樁) 提供單相或三相電壓。單相充電功率範圍為 3.6kW~7.5kW，而三相充電功率則支援 11kW~22kW。為兼顧成本和效率，目前市場上的主流 OBC 是以中等功率範圍 (11kW) 為主。22kW 的 OBC 則主要用於高階市場。然而所有 OBC 必須支援單相充電，以便在功率受限的情況下仍可為車輛進行充電。為實現車輛到電網

(V2G) 和車輛到車輛 (V2V) 的充電解決方案，市場也要求 OBC 可具備雙向充電功能。

迄今為止傳統 OBC 的設計主要採用市場上的標準 Discrete 元件 (THD 或 SMD 封裝) 來進行。尤其對於 SMD 元件而言，由於需要透過 PCB 散熱，或使用合適的熱介面材料將每個獨立封裝精密地固定在散熱器上進行散熱，因此存在著諸多挑戰。這種方案在功率密度提升和系統小型化方面已接近極限，而功率模組在新一代產品中則展現出顯著優勢。

圖 1：OBC 的模組化 (頂部) 架構和集中式 (底部) 架構



架構與拓撲

OBC 架構主要有兩種 (圖 1)：一種是基於三個相同單相模組的模組化架構；另一種是基

於一個三相 AC/DC 轉換器 (該轉換器也支援單相運行) 的集中式架構。這兩種架構均可透過單向和雙向拓撲實現。

模組化架構需要更多元件，從而導致直流鏈路整體上對儲能容量要求提高，進而拉高體積和成本。另外模組化架構還需要額外配置開極驅動器和電壓 / 電流檢測功能。相比之下，集中式架構所需的元件更少，因此可實現更具成本效益的 OBC，這使其已成為高功率密度 OBC 的首選架構。

SiC 模組可實現更高效率和功率密度

SiC 憑藉其卓越的特性，成為非常適用於 OBC 的功率半導體材料。ROHM 的第 4 代 SiC MOSFET 採用溝槽結構，實現了超低導通電阻。另外其非常低的米勒電容可實現超快的開關速度，進而降低開關損耗。這些特性使其總損耗更低，進而可減少散熱設計負擔。

ROHM 已推出專為 OBC 應用進行了優化的新產品 —HSDIP20 模組，進一步擴大了 EcoSiC 系列的 SiC MOSFET 產品陣容。該系列模組在全橋電路中匯集了 4 個或 6 個 SiC MOSFET，與採用相同晶片技術的 Discrete 元件相比具有諸多優勢。

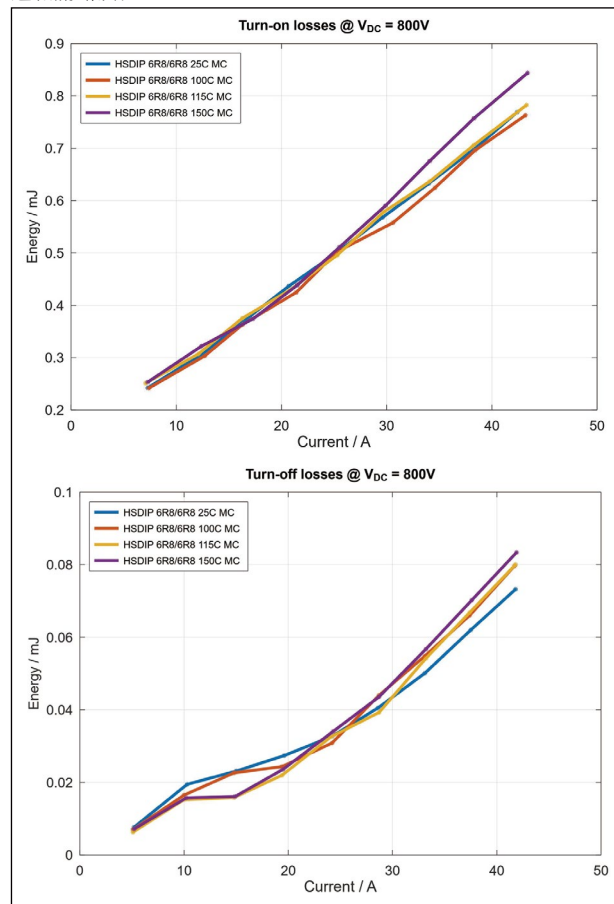
該系列模組採用氮化鋁 (AlN) 陶瓷將散熱焊盤與 MOSFET 的汲極隔離。這使得其結殼熱阻 (R_{th}) 非常低，故無需使用熱介面材料 (TIM) 對散熱焊盤與散熱器之間進行電氣隔離。

得益於模具材料的應用，功率模組中的各晶片之間實現了電氣隔離。這意味著晶片可以比 Discrete 元件方案佈置得更加緊密 (在 Discrete 元件方案中則必須考慮 PCB 上的爬電距離)。這種設計縮小了 PCB 佔用面積，同時提升了 OBC 解決方案的功率密度。

工作量更少，風險更低

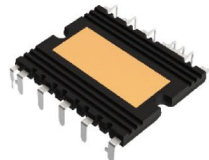
除了技術優勢外，內部隔離功能還可大幅簡化開發人員的工作：模組內部已內建電氣隔離功能。而對於採用 Discrete 元件的解決方案，則需要在外部處理隔離問題。模組在交付前已由 ROHM 進行了相關測試，因此在 OBC 開發階段無需再進行額外的電氣隔離測試。可見該系列模組不僅可縮短開發週期並降低開發成本，同時還能降低絕緣問題的風險。

圖 2：在 800V 直流鏈路電壓下，HSDIP 模組在不同溫度下的導通和關斷損耗



HSDIP20 模 組 還 具 有 第 4 代 SiC MOSFET 帶來的附加優勢：其 0V 關斷電壓可降低 PCB 佈局的複雜性和成本。如圖 2 所示，在 800V 直流鏈路電壓下，採用第 4 代 SiC MOSFET 的 HSDIP 模組在不同溫度條件下均

圖 3：第 4 代 SiC MOSFET 的 HSDIP20 功率模組產品陣容

Part No.	Absolute Max. Ratings (Tj=25°C)			Topology	Module Package
	V _{DSS} [V]	R _{DS(on)} [mΩ]	I _D [A] ¹		
New BST91B1P4K01	750	13	90	4in1	 HSDIP20 [38.0mm × 31.3mm × 3.5mm]
New BST47B1P4K01		26	47		
New BST31B1P4K01		45	31		
New BST91T1P4K01		13	90	6in1	
New BST47T1P4K01		26	47		
New BST31T1P4K01		45	31		
New BST70B2P4K01	1,200	18	70	4in1	
New BST38B2P4K01		36	38		
New BST25B2P4K01		62	25		
New BST70T2P4K01		18	70	6in1	
New BST38T2P4K01		36	38		
New BST25T2P4K01		62	25		
New BST70M2P4K01 ²		18 ³ / 36 ⁴	70 ³ / 38 ⁴		

*1: T_j=25°C V_{GS}=18V *2: Combines chips with different ON resistances

*3: Q1, Q4 pins *4: Q2, Q3, Q5, Q6 pins

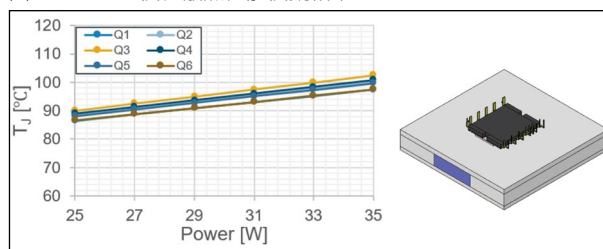
表現出較低的開關損耗。

HSDIP20 模組的另一個優勢在於其擴展性。ROHM 提供豐富的 R_{DS(on)} 規格和拓撲結構選擇，使該系列模組可適用於不同功率範圍的 OBC 應用。目前可提供六款 4 合 1 拓撲模組和六款 6 合 1 拓撲模組。另外 ROHM 還推出一款採用 Six-pack 拓撲結構的“混合型”模組，該模組透過組合不同 R_{DS(on)} 的 MOSFET，為圖騰柱 PFC 電路提供低成本解決方案，並可使用同一元件輕鬆實現單相和三相運行。各種拓撲結構的模組均採用相同封裝形式，應用擴展上非常容易。所有功率模組均符合 AQG324 標準。

散熱特性與開關特性

為了驗證 HSDIP 模組的優勢，研發人員對元件進行了特性模擬和測試。在模組的散熱性能展示中，採用的是配備 36mΩ、1200V SiC MOSFET 的 Six-pack 模組。模擬基於安裝在液冷板上的單個模組進行，設定條件為單晶片損耗在 25W 至 35W 之間，Ta=Tw=60°C，TIM

圖 4：HSDIP 模組散熱性能模擬結果

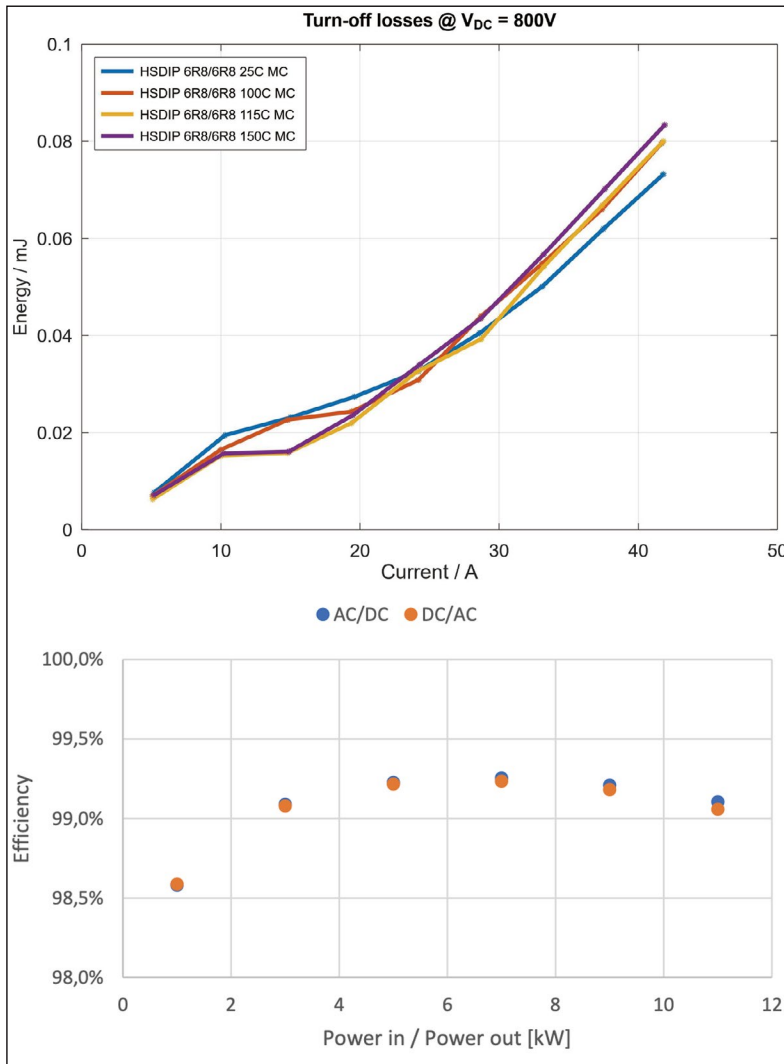


厚度為 20μm，熱導率為 4.1W/mK。透過同時給晶片施加功率進行模擬，並根據模擬結果繪製出各元件的耗散功率與接面溫度之間的關係曲線圖（圖 4）。

透過優化內部結構，該系列功率模組實現了非常低的單晶片熱阻，在散熱性能方面具有顯著優勢。其最高接面溫度遠低於 SiC MOSFET 允許的 175°C 上限值，為提升功率密度創造了更大空間，可滿足大功率 OBC 的嚴苛需求。

在模擬 OBC 應用中 AC/DC 轉換的測試板上，評估了採用 36mΩ、1200V SiC MOSFET 的 6 合 1 模組的開關損耗特性。圖 2 中已給出透過該測試獲得的開關損耗結果。透過對該模

圖 5：HSDIP 模組在 OBC 中雙向 AC/DC 的效率模擬



組進行雙脈衝測試評估得到的開關損耗結果，同樣適用於本文所探討的雙向 DC/AC 轉換的情況。基於該資料，對 11kW 系統的雙向 DC/AC 轉換進行模擬 (圖 5)。模擬結果表明，採

用第 4 代 SiC MOSFET (36mΩ, 1200V) 的 6 合 1 模組所構建的 11 kW AC/DC，在開關頻率為 48kHz 並使用強制風冷散熱器的條件下，效率可達約 99% (該效率值僅考慮了半導體損耗)。

結論

在電動車和混合動力車的 OBC 中，由 4 個或 6 個 SiC MOSFET 構成的模組，相較於 Discrete 元件方案具有顯著優勢。憑藉其更高的功率密度，這種模組能夠減小 OBC 的體積和重量，並降低設計的複雜性。ROHM 的 HSDIP20 模組匯集了最新的 EcoSiC MOSFET，模擬結果表示將其應用在雙向 OBC 的 AC/DC 轉換時，該系列模組不僅展現出優異的散熱特性，更能實現約 99% 的效率。

參考文獻

[1] M. Jankovic, C. Felgemacher, K. Lenz, A. Mashaly and A. Charkaoui, 《車載充電器成本與效率考量》[J]。

2022 年第 24 屆歐洲電力電子與應用會議 (EPE'22 ECCE Europe)，德國漢諾威，2022：P.1-P.9。CTA

COMPOTECHAsia 臉書

每週一、三、五與您分享精彩内容

<https://www.facebook.com/lookcompotech>