

高效同步整流技術 滿足市場多元需求

■文：ROHM

前言

憑藉出色的性能，寬頻隙 (WBG) 功率半導體像是碳化矽 (SiC) 或氮化鎵 (GaN)，正在取代傳統占主導地位的矽解決方案，這意味著市場需求已出現轉折。在許多應用場景如手機充電器，尤其得益於 GaN 技術的快速發展。GaN 電晶體不僅提供了比矽電晶體更高的切換速度，而且還降低了大多數 MOSFET 必須面對的傳導損耗問題。考慮到手機充電器 AC/DC 轉換所需的源極 ~ 沖極電壓，650 VDS GaN 電晶體顯然是一個比較好的解決方案。因此，一些手機充電器製造商已經在使用 GaN。

與傳統充電器相比，GaN 充電器的體積可以減小一半。為了提高人們對節能和地球氣候變遷的意識，對高效率的要求變得日益重要。儘管 GaN 電晶體具有良好的切換性能，但是市場還是希望能夠進一步提高功率轉換效率。提高效率的方法之一就是採用同步整流 (SR) 代替無源整流器。本文中介紹的 SR 控制器就是一種能夠提高效率的解決方案。

關鍵資料“SR 控制器提高電源效率”

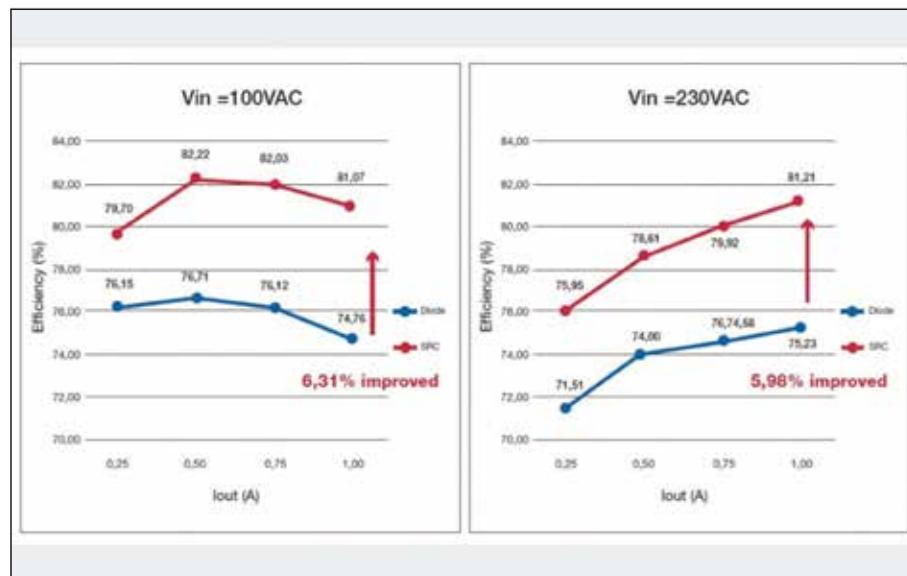
寬頻隙半導體因其小型化優勢和良好的切換性能，而在

各種充電解決方案中變得越來越受歡迎。但是，製造商還是需要持續提高電源轉換效率。SR 控制器是提高電源效率的一種潛在解決方案。它具有許多優點，能夠使實驗室的電源設計人員的工作變得更輕鬆。

更高的功率轉換效率

同步整流在提高功率轉換效率方面的優勢如圖 1 所示。這裡比較了兩個 ROHM 評估套件 BM2P094FEVK-001 和 BM1R00147F 的測試結果。結果顯示，相較於二次側的二極體整流方案，基於 SR MOSFET 控制器的 BM1R00147F 同步整流解決方案的優勢要大得多。根據評估套件的規格 (90V 至 264VAC)，測試輸入電壓範圍採用了全球通用範圍。

圖 1：二極體整流和 SR 控制器之間的功率轉換效率比較



圖片來源：ROHM

BM2P094-001-EVK 在不連續電流模式 (DCM) 下工作，輸出規格為 5V 和 1A。在 $V_{in} = 100\text{VAC}$ 的滿載條件下，二極體整流的功率轉換效率為 74.76%，而 SR 控制器的功率轉換效率為 81.07%。功率轉換效率提高了 6.31%。而在 $V_{in} = 230\text{V AC}$ 條件下，效率也提高了 5.98%。

更高的充電功率

隨著充電電流的增大，小型電源（如手機、平板電腦和筆記型電腦充電器等）需要更高的額定功率。在過去一般充電器的充電功率是 5W (5V, 1A) 和 10W (5V, 2A)，但是由於手機、平板電腦及其他外接螢幕的尺寸不斷增加，市場已出現 30W 快充的需求。

如果增加充電功率，充電電流就會增加，這會造成幾種可能狀況。充電電流較大時電源是在連續電流模式 (CCM) 下工作，而充電電流較小時電源主要是在不連續電流模式 (DCM) 下工作。對於整流二

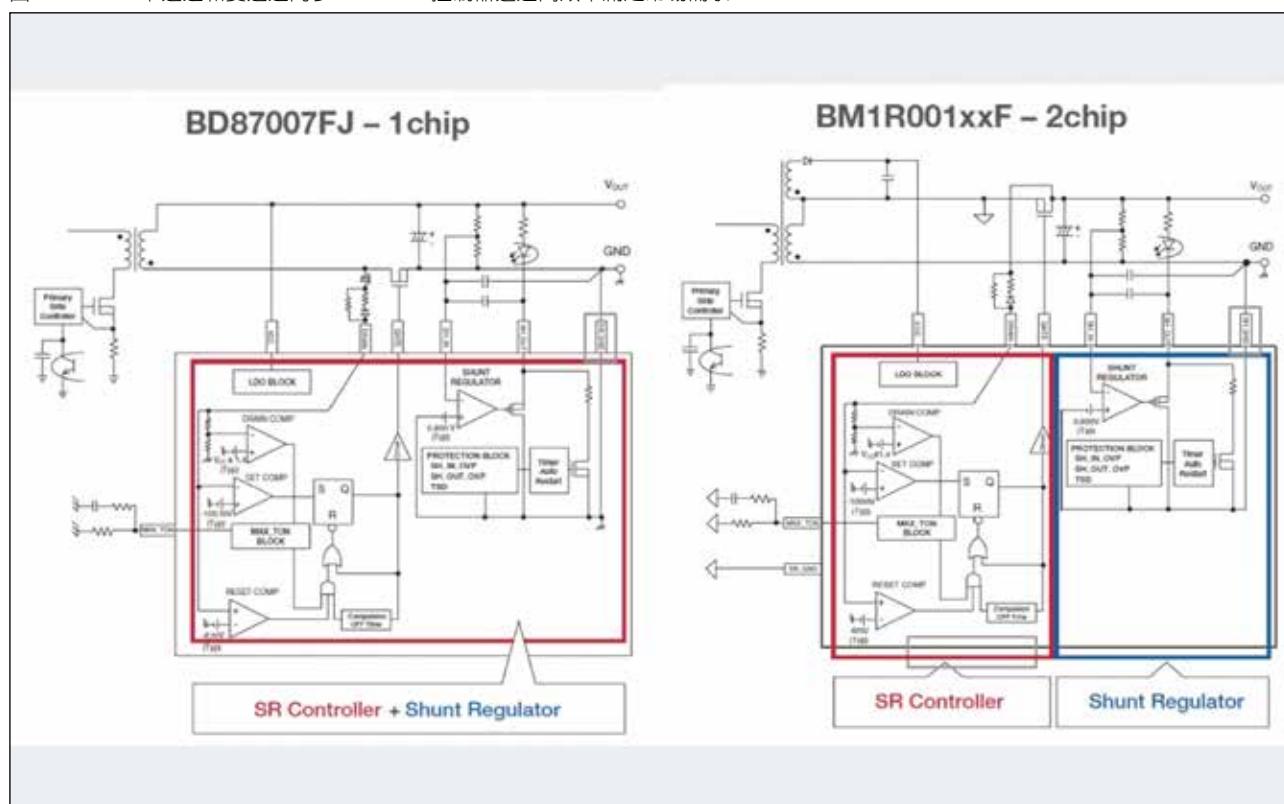
極體來說，這意味著負載會因硬切換而增加。借助 ROHM SR 控制 IC 的控制特性，可以將這種額外的負載降至更低。在 CCM 模式下，整個電路的效率通常更高。另外，由於二極體整流器電流越大，其損耗就越高，因此相比之下同步整流方式更具優勢。

為了盡可能有效地滿足市場需求，ROHM 研發了單通道和雙通道同步 MOSFET 控制器（圖 2）。BD1R001xxF 內建有二顆晶片。BD87007FJ（單通道）和 BD85006F（雙通道）內建有一顆晶片，可以實現二種功能：SR 控制器和並聯穩壓器。這些元件的封裝類型和規格概要請參見圖 3。下文將介紹這些控制器的部分功能。

設定強制 OFF 時間

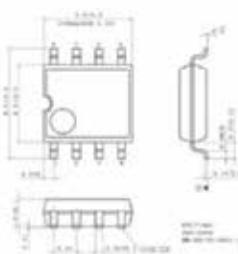
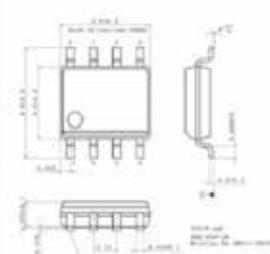
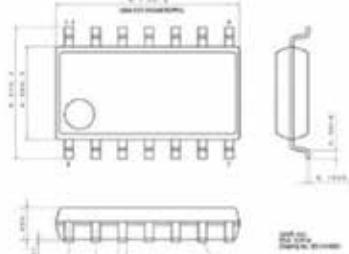
與 CCM 模式相比，MOSFET 解決方案中 DCM 模式下的汲極 ~ 源極電流會提前截止，而 MOSFET 還需要延遲一段時間才能關斷。當二次側 MOSFET 關斷時，變壓器線圈、MOSFET 的寄生

圖 2：ROHM 單通道和雙通道同步 MOSFET 控制器透過高效率滿足市場需求



圖片來源：ROHM

圖 3：同步 MOSFET 控制器的參數概要

PKG	BM1R series	BD87007FJ	BD85506F
	SOP8 W(Typ)xD(Typ)xH(Max) 5.0mmx6.2mmx1.71mm 	SOP-J8 W(Typ)xD(Typ)xH(Max) 4.9mmx6mmx1.65mm 	SOP14 W(Typ.) x D(Typ.) x H(Max.) 8.70mm x 6.20mm x 1.71mm 
Chip	2chip	1chip	1chip
PIN	4pin SH_GND	4pin NC	14pin
Shunt Regulator Accuracy	±0.5 %	±1.0 %	Comparator
Sleep mode	○	✗	○
Shunt regulator current	40 µA (Typ)	10 µA (Typ)	10 µA (Typ)
MAX_TON 無效化 (not using)	Pull up to VCC	$R_{MAX_TON} \geq 300\text{k}\Omega$	-
FET配置	L/H side	L side only	2ch

圖片來源：ROHM

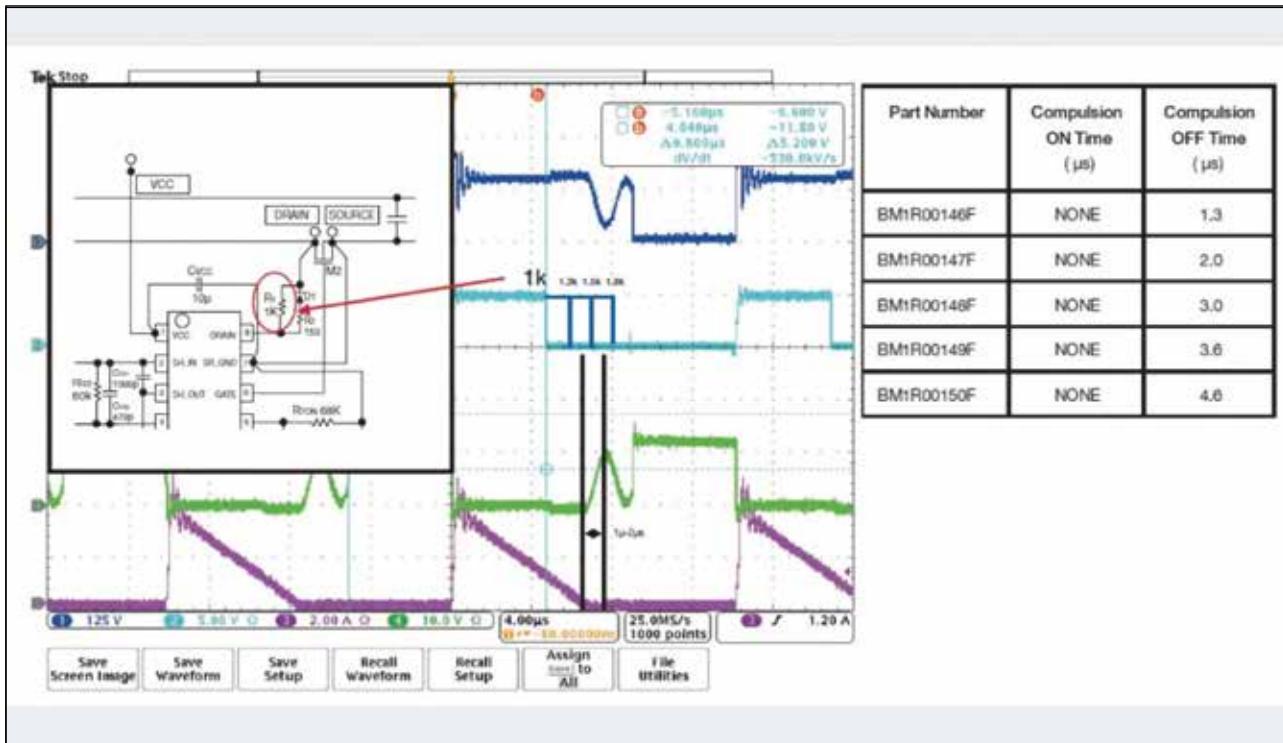
電容和輸出電容會產生諧振。為了防止這種諧振（可能會導致汲極有所響應，從而意外啓動閘極），設計人員應設定一個遮罩時間。ROHM SR 系列的強制 OFF 時間可實現一個遮罩時間—從閘極未啓動開始到二次側 MOSFET 的汲極響應。憑藉強制 OFF 時間，BM1R001xxF 系列可用於各種電源。研發人員可以透過汲極引腳上的外部電阻（圖 4）手動設定強制 OFF 時間。該時間的設計必須短於一次側控制器切換頻率（從二次側 MOSFET TON 中減去該切換時間）

設定最大 Ton 時間

在連續電流模式 (CCM) 下，下一個切換週期

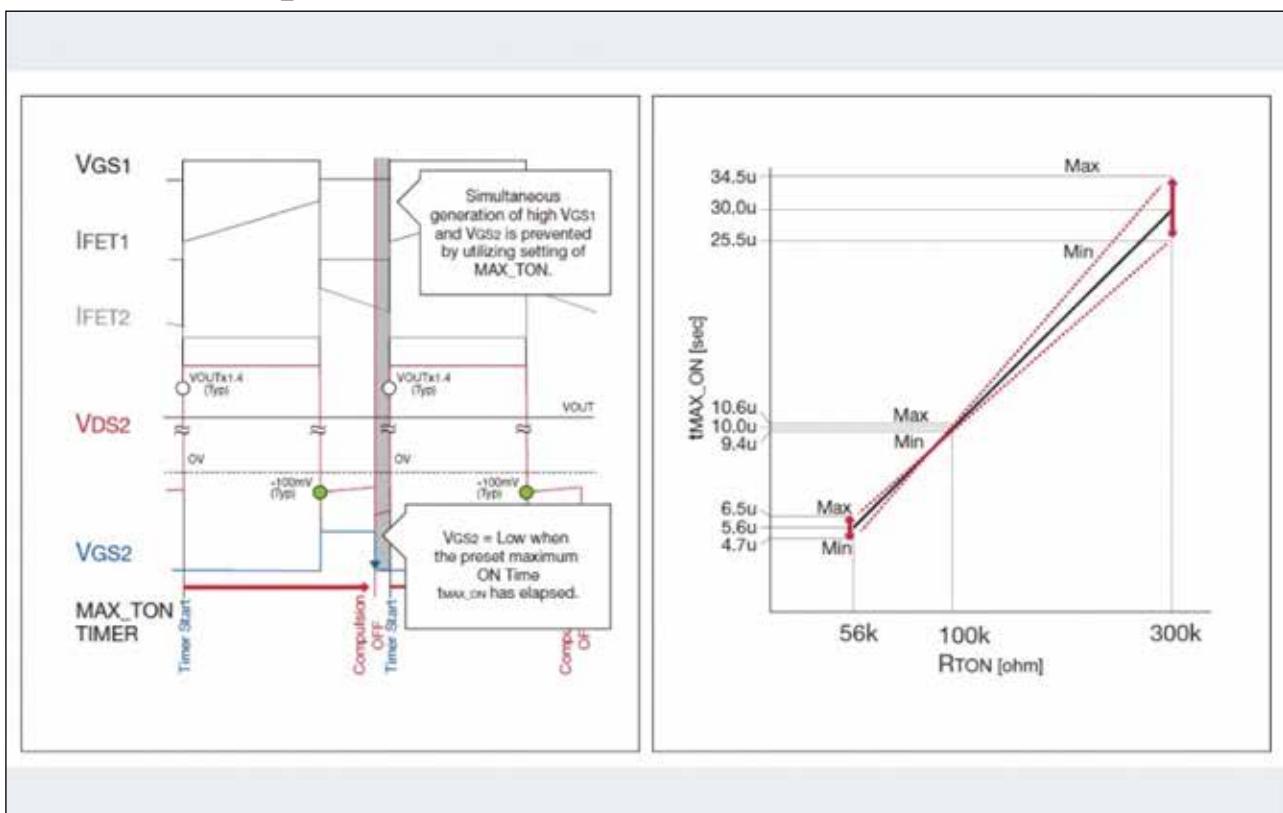
會在前一個切換週期仍處於活動狀態時開始，因此 MOSFET 會經歷一個行為突變。因此，強烈建議在使用二極體整流方案時採用超快速恢復二極體。SR 控制器的 MOSFET 設有具恢復延遲時間功能的閘極引腳。這將允許電流同時流過一次側切換和二次側 MOSFET，除非未指定合理的延遲時間。BM1R001xxF 在 $V_{out} \times 1.4$ 處開始計算汲極電壓的上升沿，而控制器會在一個設計階段（透過外部 Max_Ton 電阻設定）後斷路。如圖 5 所示，研發人員必須使 Max_Ton 始終短於一次側控制器的切換頻率。Max_Ton 電阻的設定範圍應為 56k 至 300k。當 Max_Ton 接近 10 ?sec ($RTon = 100\text{k}\Omega$) 時，精度會提高。

圖 4：不同產品的強制 OFF 時間



圖片來源：ROHM

圖 5：透過外部電阻設定 Max_Ton 和精度



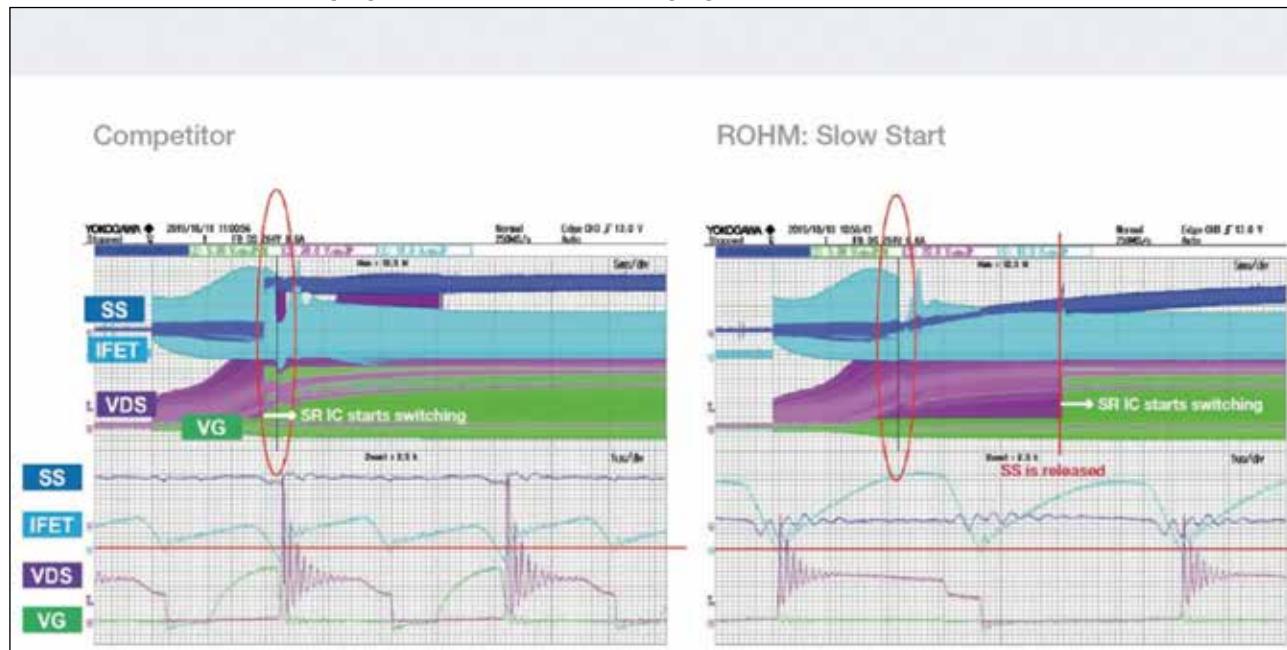
圖片來源：ROHM

電流消耗減少 90% 的內建並聯穩壓器

為了調節輸出級的電壓，需要一個並聯穩壓器作為電壓參考。為了用電阻維持所需的電壓，需要

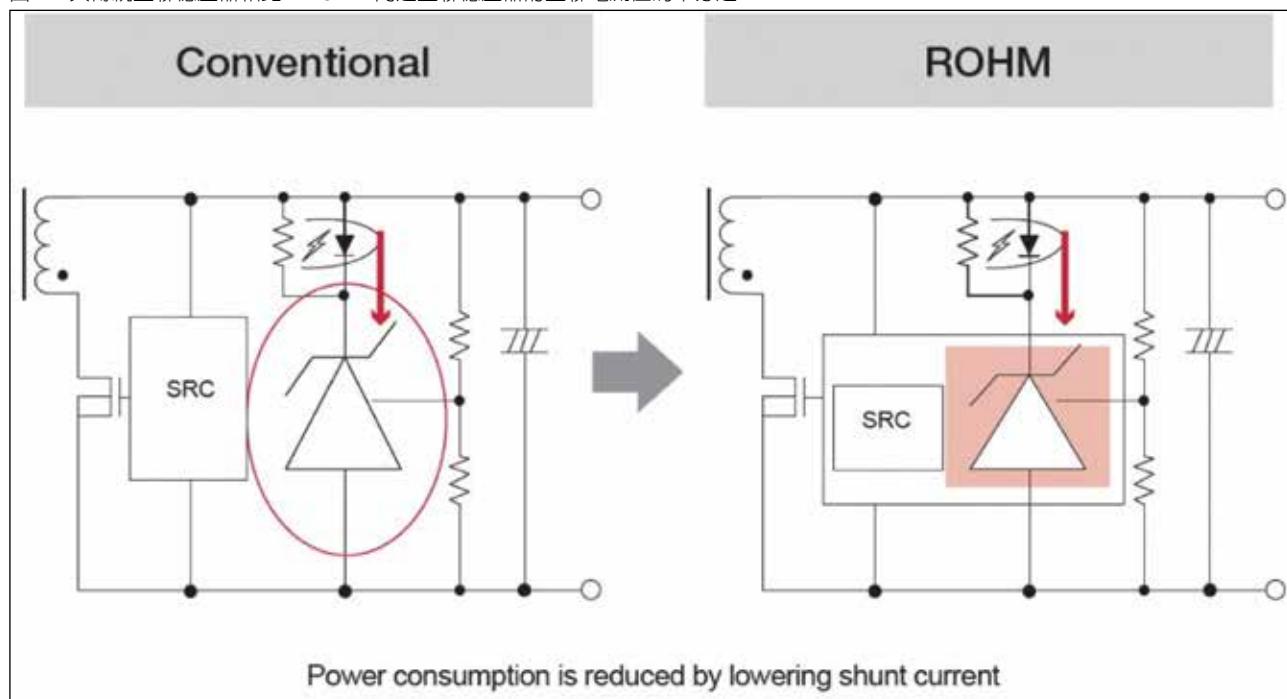
使並聯電流流過並聯穩壓器。BM1R001xxF 系列包含一個內建並聯穩壓器，與傳統的並聯穩壓器相比，它僅消耗十分之一的電流。這不僅簡化了設計，而且還降低了待機模式下並聯控制器的電流消耗。

圖 6：啓動時處於電容模式的波形 [左] 以及 BD85506F 的緩啓動行為 [右]



圖片來源：ROHM

圖 7：與傳統並聯穩壓器相比，ROHM 內建並聯穩壓器的並聯電流僅為十分之一



圖片來源：ROHM



此外，晶片內部的並聯穩壓器與 SR 控制器是分開的。如果用在 H 側，那麼可以將並聯穩壓器的接地用作 H 側的接地。如果不採用內建並聯穩壓器，則引腳“SH_IN、SH_OUT 和 SH_GND”保持未使用狀態即可。針對在外部使用並聯穩壓器的應用場景，ROHM 還研發了 BD87007FJ。BD87007FJ 的並聯電流明顯低於 BM1R001xxF 系列（圖 6）。

用於 LLC 拓撲的雙通道 SR MOSFET 控制器

當啓動和輸出級不穩定時，LLC 電路容易進入電容模式。如果電流峰值夠大，那麼在最壞的情況下會損壞 MOSFET。ROHM 針對 LLC 拓撲設計的雙通道同步整流 MOSFET 控制器 BD85506F 配備了一個緩啓動功能。在電容模式下，IC 在啓動階段後不再工作，但是 SS 引腳會被充電。當 SS 引腳上的電壓高於 0.5V 時，緩啓動功能被啓用，IC 開始工作。

利用輸入開路保護 MOSFET

如果控制器的輸出和閘極之間存在不連續的情況，那麼 MOSFET 將無法打開，且電流會流過本體二極體，從而導致 MOSFET 過熱。而 BD85506F 則配備了一個引腳開路保護功能。如果開路狀態持續時間超過 2ms，系統會透過一個光電耦合器減少 BD85506F SH_out 引腳上的電流。這會讓一次側控制器停止工作。

結論

ROHM 的 SR 控制器能夠支援本文中所介紹的許多功能，並且只需要很少的外部零件。因此，ROHM 的 SR 控制器在 CCM 和 DCM 模式下都能實現高性能的同步整流解決方案。SR-IC 的其他可選型號還內建有並聯穩壓器，不僅具有靈活的接地參考，待機功耗也非常低。

ROHM 推出耐壓高達 80V、輸出電流達 5A 電源 IC



ROHM 針對處理大功率的 5G 基地台和 PLC、逆變器等 FA 裝置，研發出二款具高耐壓和大電流、內建 MOSFET 的降壓型 DC/DC 轉換 IC「BD9G500EFJ-LA」和「BD9F500QUZ」。

近年來，如 5G 基地台和 FA 裝置等工控裝置中，配備了更多融合 AI 和 IoT 技術的新功能。因此也對所使用的電源 IC 出現了小型高效、高耐壓等需求，確保即使受到雷擊等引起的 Burst 性突波電壓也不會造成損壞，並且希望能夠支援大電流。

本次新產品是非隔離型 DC/DC 轉換 IC，利用 ROHM 擅長的類比設計技術研發而成，採用電源系統的 BiCDMOS 高耐壓製程，可提供各類先進工控裝置所需的電源功能。

「BD9G500EFJ-LA」適用於 48V 電源系統，不但具有業界頂級的 80V 耐壓，更具內建 MOSFET 的同類型產品中，高達 5A 的輸出電流，因此也支援大功率，有助 5G 基地台和充電樁等裝置提升可靠性和性能。而「BD9F500QUZ」則適用於 24V 電源系統，採用小型封裝 (3.0mm×3.0mm×0.4mm)，具備 39V 耐壓和 5A 輸出電流，有助 FA 裝置等先進工控裝置實現高性能和小型化。

新產品已於 2021 年 5 月開始投入量產。