

# 適合輕型牽引車儲能系統的半導體解決方案

■作者：Martin Schulz / 英飛凌科技

無軌電車和有軌電車等現代輕型牽引車的相關要求逐漸增加。其中特別關注的重點，是在暫時沒有架線電源的情況下運行，同時維持零排放。因此系統的效率、功率密度、體積和重量變得更加重要，同時也必須符合低噪音和限制性 EMI 標準。

使用鋰離子型牽引電池或超級電容器的儲能系統，可以符合以上特定要求。為了充分利用儲能系統能力，必須採用合適的功率轉換器，以管理充電和耗電時的能量流。這與 DC-DC 轉換器有關；DC-DC 轉換器必須於可能偏高的作業溫度情況下，處理大量的循環負載。

在沒有架線電源的情況下暫時運行，比較常見於輕型牽引車輛的相關要求。在缺乏電氣化基礎設施的都會地區，例如歷史悠久的中心地帶，會採取這種運行方式。這也適用於連接分離線路，以及用於電力中斷期間的緊急車輛運行。此外由於需要低噪音、高舒適度及零排放運行，因此排除過去常用的柴油電力傳動系統。

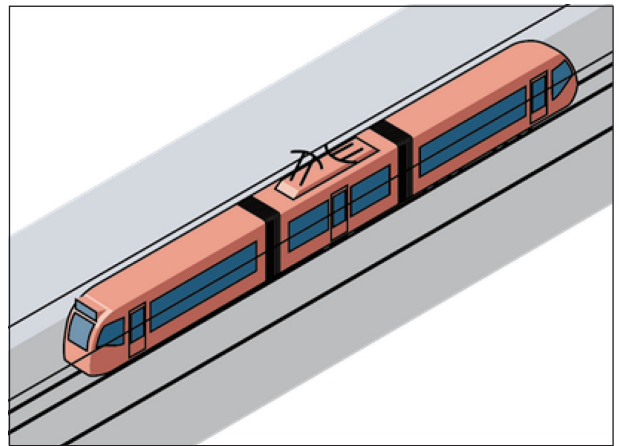
採用電動 / 電動混合方法可符合以上所有要求。

因此安裝了牽引電池或超級電容器作為儲能系統，為電力傳動系統提供中繼電力。圖 1 是一種電車方案，將功率轉換器安裝在列車頂部。

車頂單元內部的 DC-DC 轉換器，用於管理進出電池的能量流，是電力電子子系統之一。

該轉換器體積精巧，通常是強制氣冷動力裝置。電氣設備的發展重點，在於為使用牽引電池或超級電容器的功率轉換器尋找最佳解決方案。為滿

圖 1：電車上的電氣設備位置



足需求，必須符合以下幾項標準：

1. 在架線模式中，必須能夠從直流架線系統妥善控制儲能系統充電。  
這與 400VDC 至 1000VDC 的輸入電壓範圍有關
2. 在電池模式中，必須妥善控制電力由電池流動至推進換流器、輔助轉換器和車輛電池充電器的情形。
3. 在這兩種模式下，必須能夠安全處理短暫但重複發生的突發負載（最高 200kW）達 60 秒鐘，即使是暴露在相對高溫，且強制氣冷能力有限時也一樣。
4. 實現高運行效率，同時重量輕體積小

若要符合標準 1 和 2，並以邊界條件為依據，可以考慮使用兩種直流斬波器拓撲。

如果儲能系統的運作值高或低於架線電壓位準，則必須使用 2 象限直流斬波器。適合方案如圖 2 所述。

如果儲能系統電壓始終低於架線電壓，最理想的選擇就是圖 3 之中的降壓－升壓直流斬波器。

圖 2: 2 象限直流斬波器拓撲

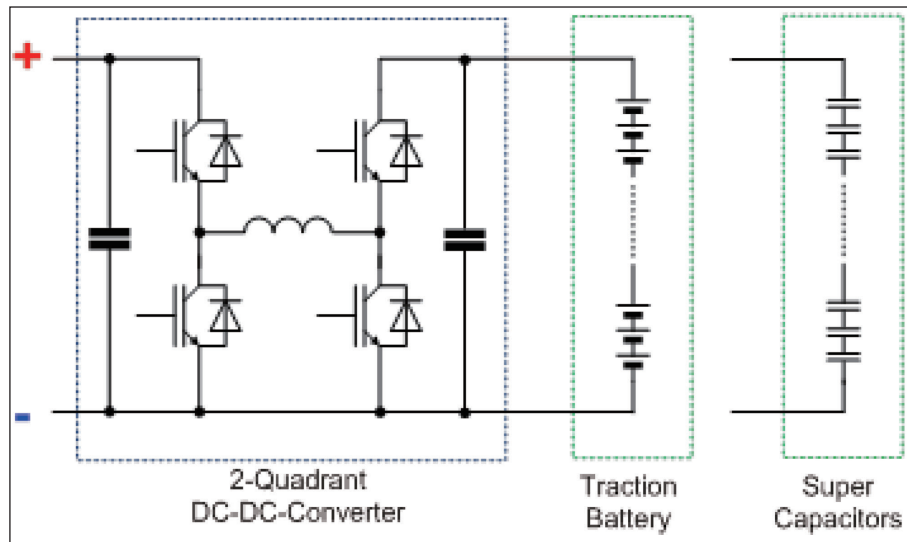


圖 3: 降壓－升壓直流斬波器拓撲

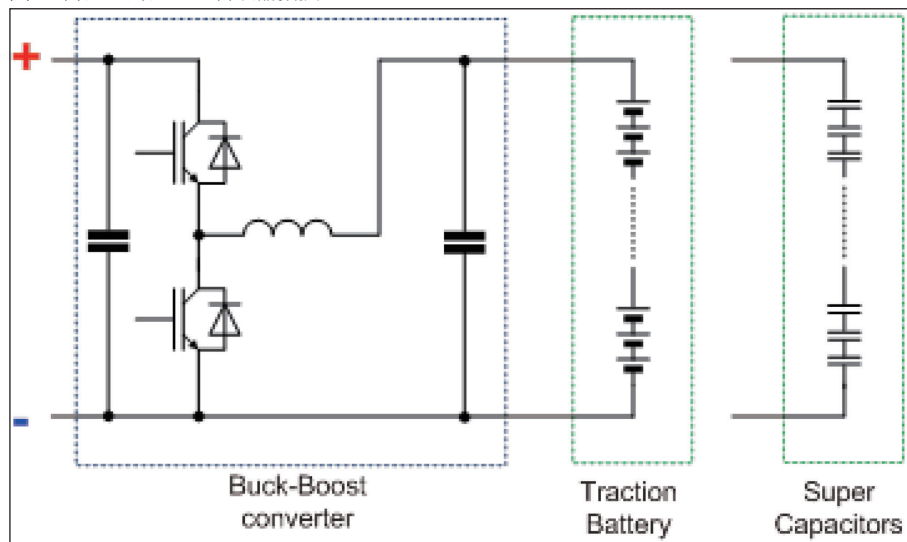


圖 4: PrimePACK™ 2 及 3，應用熱介面材料 (TIM)



在架線模式下，轉換器作為降壓斬波器，其所提供的電壓，低於架線向無軌電車內部系統提供的電壓。在電池模式下，轉換器用作升壓斬波器，以高於儲存系統輸出的電壓供應電氣系統。

為了符合標準 3 和 4，需要合適的功率半導體裝置。採用 1700 V 等級 IGBT 模組的解決方案，需要支援足夠的電流範圍、低導通和切換損耗，以及具有低熱阻的堅固封裝，系統層級也需要具備有利的性價比。

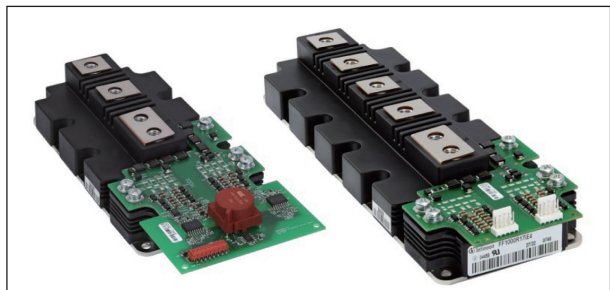
屬於 PrimePACK™ 系列的 IGBT 模組，配備第 4 代 IGBT/FWD 晶片，是理想的解決方案。

本系列 IGBT 模組包括 1200 V 和 1700 V 等級的半橋拓撲，提供 600 A 至 1400 A 的額定電流。模組提供兩種堅固耐用的封裝，均配備整合式 NTC 感測器，可擷取模組底板溫度。

這類元件（如圖 4 所示）專門用於重型行動應用<sup>[1,2]</sup>，並可考慮採取可擴充設計。

為了讓 IGBT 模組安全運作，並利用其完整能力，需要選擇適當的閘極驅動器。2ED250E12\_F 雙通道 IGBT 驅動器及升壓級 MA300E17，可於評估時用於協助設計人員開發專用解決方案。兩種裝置都出現在圖 5 之中

圖 5：雙通道驅動器 2ED250E12\_F 和升壓級 MA300E17，安裝於對應的功率模組



就電力區段的熱狀況而言，需要在控制策略之中實施最準確的熱測量，以便最充分地利用電力，而不超過指定的運作限制。

散熱器表面溫度通常以外溫度感測器進行監控。控制系統會依據此項回饋資訊，微調轉換器的功率輸出。然而 IGBT 模組基板的溫度明顯較高，因此內部敏感電晶體和二極體晶片的溫度也更高。基於安全原因，必須選擇較為保守的溫度值，用於觸發降低轉換器的輸出功率。

為了獲得更準確的資訊，在設計熱負載監控及觸發過熱保護時，應使用 IGBT 模組內部 NTC 測量的溫度<sup>[3,4]</sup>。

這種方法能夠更真實地檢視半導體實際運作時的熱負載。特別是如果能準確判定晶片溫度與 NTC 讀數之間的熱關聯性，就可以推斷靜態作業的確實資訊<sup>[3,4]</sup>。

輕型牽引車輛的牽引電池或超級電容器等儲能系統數量持續增加。因此可以安全假設，直流轉換器功率容量需求提升已成趨勢，不過其中也存在減少重量和尺寸的壓力，包括平滑化直流扼流圈。為了在不久將來符合這些要求，新型 IGBT 模組為採用英飛凌 .XT 技術的第五代 IGBT 模組，可說是絕佳選擇。

相較於現有模組，這類新模組具有更高效能。

由於模組總功率損耗更低，且  $T_{vjopmax}$  接面溫度提升 25°C 達到 175°C，因此具備更高的功率密度<sup>[5]</sup>。在相同的佔地面積情況下，輸出功率至少高出 30%。這樣就可以利用相同類型的 IGBT 模組封裝，設計更高效能的轉換器，進而減少重新設計與升級工作。

此外由於先進的互連技術，以 .XT 技術為基礎的內部模組結構，大幅提升在電力及熱循環負載的使用壽命<sup>[6]</sup>。

就中期而言，以最近推出採用溝槽技術的碳化矽 (SiC) MOSFET 為基礎的功率元件應用，將是評估重點<sup>[7]</sup>。這類元件具備出色特性，特別是遠低於 Si IGBT 模組的切換損耗，因此對採用這種功率元件的直流斬波器屬性而言，預期將提供多項改善成果：

1. 在 20 - 30 kHz 以上的切換頻率，提供更高的輸出功率，同時縮小斬波器體積
2. 提升效率及降低耗電量，對冷卻系統的尺寸和結構產生正面影響
3. 高切換頻率大幅縮小被動元件的尺寸和重量，例如功率薄膜電容器和直流扼流圈
4. 大幅減少噪音
5. 輸出功率相同的轉換器，可大幅降低冷卻需求，進而縮小散熱器和風扇的尺寸和重量。反之亦然，相同尺寸的轉換器預期可大幅提升輸出功率

儲能系統必須採用專屬功率單元以適當運作，特別是敏感的行動應用。除了電氣效能、功率密度和效率之外，還必須特別注意循環負載產生的後果。現代功率半導體解決方案除了最佳化冷卻和控制電力流之外，還可以減少損耗，進而降低有限空間內的功耗。寬能隙材料具有出色的電氣效能，而更高的切換頻率有助於減少磁性元件使用的材料量。雖然半導體開發展現各種創新成果，但適當的熱設計、精確的溫度測量，以及合適的熱模型，仍是電力電子元件開發流程的重要部分。

## 參考資料

<sup>[1]</sup> Martin Schulz

Power semiconductors for Heavy Mobile Applications

ITEC 2016, Busan, Korea, June 2016

<sup>[2]</sup> Scott T. Allen, Martin Schulz, Wilhelm Pohl

Optimizing Thermal Interface Material for the Specific Needs of Power Electronics

PCIM 2012, Nuremberg, Germany, May 2012

<sup>[3]</sup> Martin Schulz, Ma Xin

Correlating NTC-Reading and Chip- Temperature in Power Electronic Modules

PCIM 2015 Nuremberg, Germany, May 2015

<sup>[4]</sup> Ziqin Zhen, Song Shen, Zhen Bo Zhao, Zeping Zhou, Xie Feng

Analysis of temperature correlation on IGBT modules

PCIM China 2015 Shanghai, China, July 2015

<sup>[5]</sup> Martin Schulz, Raghavan Nagarajan, Dirk Brieke, Zhen Bo Zhao

Application Benefits Achieved Utilizing IGBT5-Based Power Semiconductors

PCIM China 2015, Shanghai, China in June 2016

<sup>[6]</sup> Karsten Guth et. al.

New assembly and interconnects beyond sintering methods

PCIM 2010, Nuremberg, Germany, May 2010

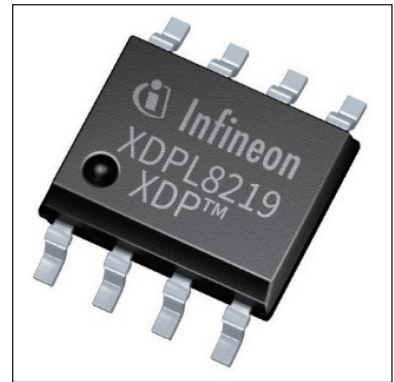
<sup>[7]</sup> Maximilian Slawinski, Tim Villbusch, Daniel Heer, Marc Buschke

Demonstration of superior SiC MOSFET Module performance within a Buck-Boost Conversion System

PCIM 2016 Nuremberg, Germany, May 2016 

## 英飛凌推出數位高功率因數 XDP 控制器打造具成本效益的返馳式 LED 驅動器

英飛凌科技推出 XD 數位功率控制器 XDPL8219，這款高效能返馳式控制器具有次級調節功能，適合高效能且耐用型的



LED 設計，並提供高功率因數和恆定電壓輸出。此裝置可在準諧振模式 (QRM) 下運作，在寬廣的負載範圍下發揮最高效率，同時將電磁干擾 (EMI) 降到最低。其在輕負載時可適用主動式爆發模式 (ABM)，能避免產生雜音，在空載的待機耗電量可降至 100 mW 以下。

XDPL8219 可偵測輸入電壓類型 (AC 或恆定 DC)，進而調整其專屬的電壓模式脈衝調變器，藉此提升系統效能。裝置能在使用 AC 輸入時改變脈衝調變，於寬廣的輸入和負載範圍下達到更高的功率因數 (>0.9) 和更低的總諧波失真 (<10%)。使用恆定 DC 輸入時，裝置則會透過調整脈衝調變來調整切換頻率，進而降低整個作業範圍下的 EMI。

XDPL8219 可透過 UART 腳位設定參數，以達到最高的設計彈性和效能最佳化。此外，裝置還能選擇性發射 UART 訊號，透過其傳送關於輸入電壓及市電頻率、控制器的溫度、最後一個錯誤代碼和輸入電壓耗損指示等眾多資訊。

XDPL8219 採用 SO-8 封裝，內建 600 V HV 啟動電池和專屬的啟動順序，能確保快速提高輸出電壓，並將過衝降到最低。