

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。

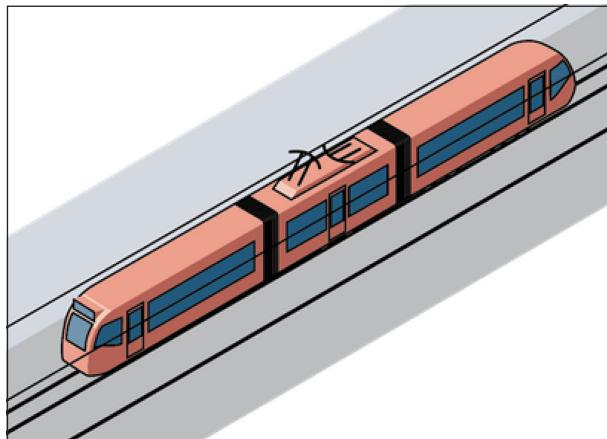
採用電動 / 電動混合方法可符合以上所有要求。

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標準，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

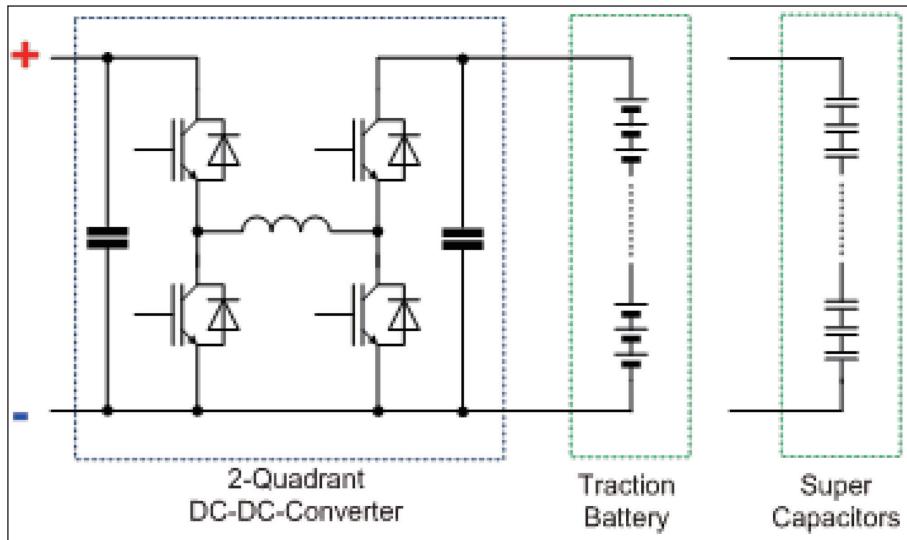


圖 3: 降壓 - 升壓直流斬波器拓撲

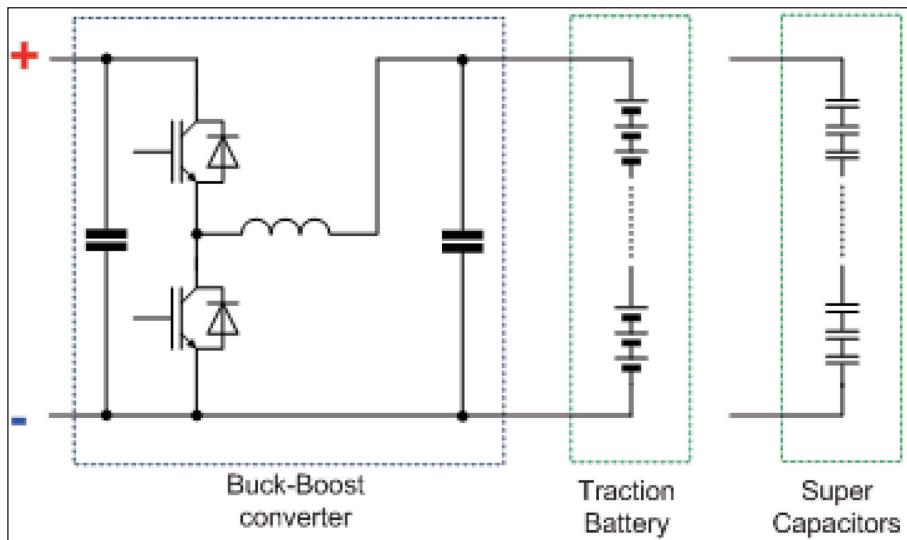


圖 4: PrimePACK™ 2 及 3，應用熱介面材料 (TIM)

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^[1,2]，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部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^[3,4]。

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^[3,4]。

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^[5]。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^[6]。

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^[7]。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 $20 - 30\text{ kHz}$ 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。雖然半導體開發呈現各種創新成果，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

^[1] Martin Schulz

Power semiconductors for Heavy Mobile Applications

ITEC 2016, Busan, Korea, June 2016

[2] Scott T. Allen, Martin Schulz, Wilhelm Pohl

Optimizing Thermal Interface Material for the Specific Needs of Power Electronics

PCIM 2012, Nuremberg, Germany, May 2012

[3] Martin Schulz, Ma Xin

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

PCIM 2015 Nuremberg, Germany, May 2015

[4] 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

[5] 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

[6] Karsten Guth et. al.

New assembly and interconnects beyond sintering methods

PCIM 2010, Nuremberg, Germany, May 2010

[7] Maximilian Slawinski, Tim Villbusch, Daniel Heer, Marc Buschkh?hle

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，適合高效率且耐用型的



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 啓動電池和專屬的啓動順序，能確保快速提高輸出電壓，並將過衝降到最低。