

48V 汽車系統：為何是現在？



Madison Eaker
Systems Manager
Body Electronics and Lighting

在本白皮書中，我們將探討對適用電動車與油電混合車的 48V 低電壓軌系統日益增長的興趣，以及工程師如何使用這些系統來縮減線束尺寸和成本，同時實現新功能。

摘要

1 MHEV 與 BEV 的 48V 的不同

進一步了解 MHEV 與 BEV 中 48V 系統的進化。

2 減少線束

閱讀含區域架構的 48V 系統如何降低線束複雜性與成本。

3 48V 架構

探索最佳化線束設計與成本的不同 48V 系統設計方法。

4 48V 設計挑戰

探索採用 48V 系統時的主要設計挑戰，其中包括暫態電壓，沿面距離/電氣間隙要求，EMC 標準及 IC 成本。

BEV 原始設備製造商 (OEM) 正在尋求方法，最佳化 BEV 的成本，重量和行駛距離。從電氣的觀點來看，可以透過

區域架構減少線束來解決這三個問題，如德州儀器白皮書「[區域架構如何為完全軟體定義車輛鋪路](#)」或使用 48V 低電壓軌進行配電所述。20 世紀初，汽車產業使用 6V 軌來提供電力，直到電氣/電子 (E/E) 系統的電力需求迫使市場改採 12V。現在，功能豐富的車輛正在挑戰 12V 軌的限制。從 12V 轉為 48V 會面臨許多挑戰，但 OEM 若轉為採用 48V 低電壓軌，也會帶來許多機會。

MHEV 與 BEV 的 48V 的不同

在 1990 年代末，42V E/E 系統受到推動。但 OEM 因缺乏高效率馬達而放棄此方法，而市場也發生轉向使用高電壓啟動發電機的 MHEV。因此，雖然 MHEV 是「第一款」48V 系統，但它們只使用 48V 電池和小型馬達來輔助 ICE，因此可降低油耗並提高效率。

MHEV 內為 E/E 系統供電的主要低電壓軌維持在 12V，並需要在 48V 和 12V 軌間使用大型雙向轉換器，因此增加了龐大的成本負擔。相反的，全混合動力 (HEV)，插電式混合動力 (E) 與 BEV 則可使用高電壓電池建立 48V 低電壓軌，為整個 E/E 系統供電。

由於修整線和平臺的限制，未來的 BEV 平台是 OEM 採用 48V 汽車系統的主要目標。轉換為電動汽車也增加了對 HEV 和 PHEV 的投資。[圖 1](#) 概述車輛類型之間的差異。

簡介

先前發佈在 [電子產品](#) 上。

在最近與汽車製造商的對話中，48V 低電壓軌經常出現。但為什麼現在呢？48V 系統並不是新系統。多年來，這些產品一直協助提升輕度混合動力汽車 (MHEV) 的效率與性能。

對 48V 系統的重新興趣可能與電池電動車 (BEV) 與油電混合車 (HEV) 日益普及有關。以高電壓電池產生 48V 電壓的電動或混合動力車輛，可實現 48V 系統的重要優勢：新增 48V 低電壓軌可減少為整個車輛供電的線束規範，並可降低下游半導體元件（如電源開關和馬達驅動器）的負載電流需求。因此，48V 系統可提供比 12V 系統更多的功率，為新增人工智慧或迷你冰箱等功能開創了機會。

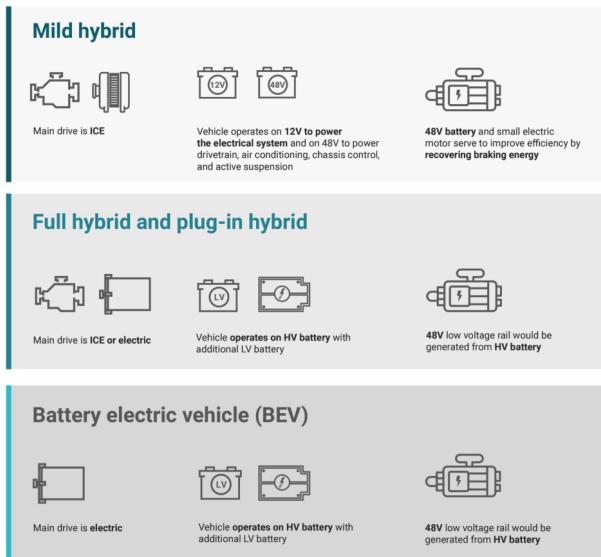


圖 1. 車輛動力系統類型概覽。

減少線束

減少線束的第一次主要嘗試是引入區域架構，該架構通過根據位置而不是按功能對配電，通信和負載致動進行分組來優化車輛中的配線，如中所示 **圖 2**。區域架構採用智慧型半導體保險絲取代用於配電的傳統熔斷保險絲，並做為從中央電腦到感測器，致動器和電子控制單元 (ECU) 的通訊閘道，以減少車輛配線。

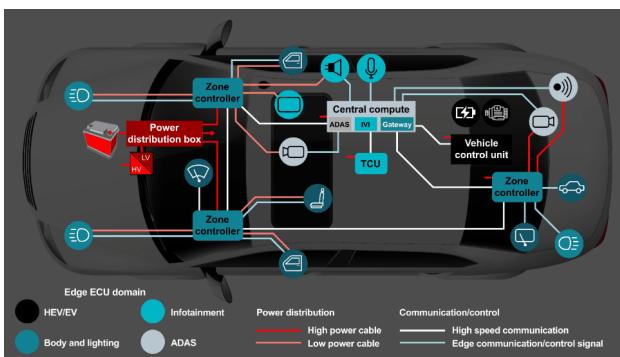


圖 2. 第一代區域架構。

在下一代區域架構中納入 48V 低電壓軌，可進一步減少線束重量和成本。48V 軌可減少線規，減少線束中的功率損失，並可在電流減少以提供相同電量的情況下縮減印刷電路板 (PCB) 尺寸（例如，25% 與 12V 時的 100%）。**圖 3** 說明從 12V 轉換至 48V 的優點。

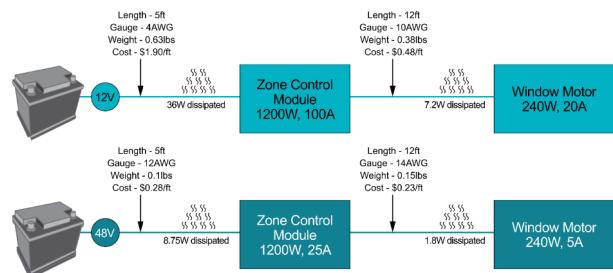


圖 3. 12V 至 48V 線束減少。

在 **圖 3** 中，區域控制模組需要 100A 才能在 12V 下提供 1,200W 的功率。相反的，48V 軌只需要 25A 即可提供 1,200W 的功率。將電壓翻倍並將電流降低四分之一，可將線束成本和重量減少 85%。對窗型馬達來說，12V 時的 20A 變成 48V 時的 5A，可節省 60% 的成本及 52% 的線路重量。隨著負載電流需求降低，改用 48V 的線束優勢也隨之降低。

改用 48V 的主要優點是可減少線規，但線成本並不是唯一的因素。現今，在車輛中安裝 4 美國線規 (AWG) 等厚線規是一項耗費大量人力的工作。減少 48V 系統中的線規，即可在線束安裝中使用自動化製程，大幅降低成本。

48V 架構

針對 48V 架構線束的最佳化，OEM 將需評估不同的架構。**圖 4** 到 **圖 6** 顯示實作 48V 低電壓軌時的三個選項：48V 主要配電與 12V 本機，48V 配電與 12V 配電，或僅 12V 配電與 48V 高電流負載。

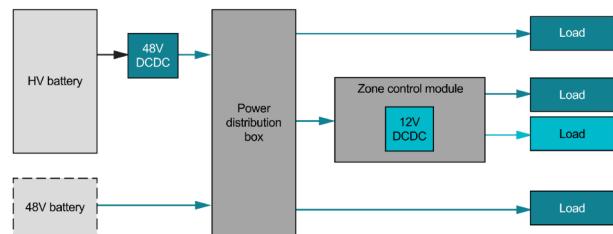


圖 4. 48V 架構 (48V 主要配電，12V 本機)。

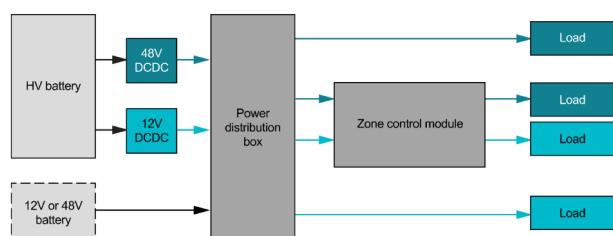


圖 5. 48V 和 12V 配電-ZCM 48V 和 12V。

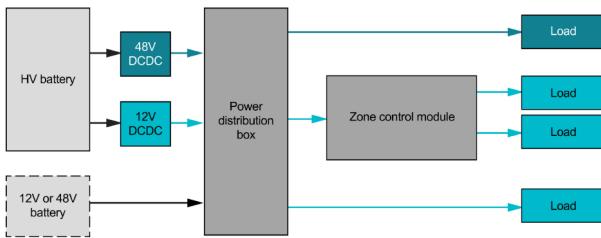


圖 6. 12V 主要配電，48V 高電流負載。

48V 設計的中斷最少的方法是使用 48V 軌為高電流負載供電，並將其他一切維持在 12V。48V 和 12V 可分配至區域控制模組或其他 ECU，但這種方法會帶來一些挑戰。兩種不同電壓的分布使得線束的布線成為一個因素，因為在同一線束中同時布線 12V 和 48V 可能導致 12V 至 48V 之間的潛在短路。功能安全考量也會增加成本，因為可能需要備援 12V 和 48V 電源。

更急劇的設計變更是直接改用 48V 配電架構，並視需要在本機建立 12V 軌。48V 配電搭配本機 12V 是能發揮轉換至 48V 完整效益的最佳架構，因為此架構可在線束尺寸與成本上提供最大的縮減。

在含 12V 本機的 48V 配電中，有許多不同選項可用於在 ECU 建立本機 12V 電軌，或完整選擇不同電壓 (25V, 16V, 5V, 3.3V)。圖 7 為 48V 系統提供兩種可能的電源架構：分散式與中央 12V。

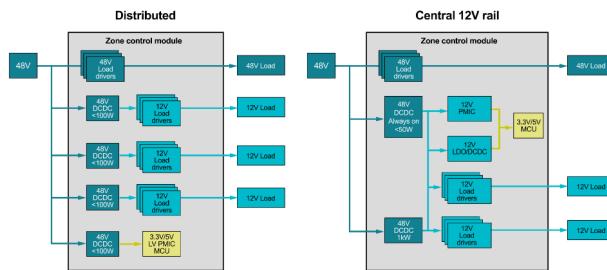


圖 7. ECU 從 48V 的電壓轉換。

在分散式架構中，多個功率需求較低的 DC/DC 轉換器可為不同負載群組建立 12V 軌。此方法可使用具整合式金屬氧化半導體場效電晶體的 DC/DC 轉換器，並可自由選擇電壓（例如 48V 至 3.3V），以及更佳的 PCB 熱分布。如果 OEM 想重複使用現有的 12V 設計，中央 12V 軌是較為簡單的方法。在此架構中，常開 DC/DC 轉換器可為重要功能安全負載提供電源，而具高電源需求的 DC/DC 轉換器則為 12V 系統的其餘部分供電。另一個選項是使用雙向

48V 至 12V DC/DC 轉換器，允許馬達的反電動勢，或是 12V 軌的正瞬態電壓能量流回 48V 軌。

48V 設計挑戰

採用 48V 低電壓軌時所面臨的設計挑戰包括暫態電壓，沿面距離與電氣間隙要求，電磁相容性 (EMC) 標準，以及積體電路 (IC) 成本。

暫態電壓是 48V 系統中對話的主要主題。現今的 12V 系統眾所周知，其標準如國際標準化組織 (ISO) 16750-2，為負載突降等最糟情況事件指定電壓暫態曲線。針對 48V 系統，目前可用的標準 (ISO 21780 與 Liefervorschriften [LV] 148) 皆為需高達 70V 過電壓點的 MHEV 所撰寫。但在考量切換暫態或元件裕度時，會導致元件額定值遠高於 70V。

MHEV 的標準雖然可做為起點，但對於未使用高功率啟動發電機系統，以高壓電池產生 48V 電壓的電動或混合動力系統，則未必有效。圍繞 BEV 48V 低電壓網路的確切標準仍在定義中，但 OEM 可能會開始定義自己的標準，以限制低於 70V 的線路暫態。圖 8 將潛在的 BEV 標準與現有的 ISO 21780 標準進行比較。

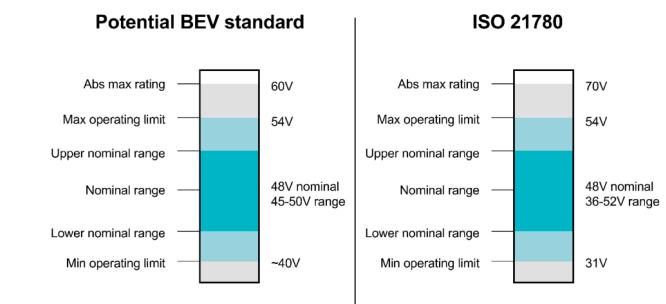


圖 8. 潛在 BEV 標準與 ISO 21780 暫態電壓比較。

雖然 60V 和 70V 之間的差異可能看起來很小，但適應更高電壓的 IC 成本不一定以線性方式調整。此外，即使可以控制電源範圍，也務必考量線束故障模式事件的潛在性，ISO 7637-2 等目前標準確實可處理這些問題。

沿面距離與電氣間隙需求是 PCB 上所有導電零件間最短距離的業界標準量測結果。它們是防止電弧的重要設計參數，而電弧會在兩點間的電壓超過崩潰電壓時發生。沿面距離與電氣間隙有許多不同的標準（國際電子電機委員會 60664-1 和印刷電路研究所 2221A），OEM 甚至可能有

自己的內部指南。從 12V 變為 48V 會增加沿面距離與電氣間隙需求，直接影響 IC 封裝，PCB 佈局，線束接頭等。

48V 系統的一個微小影響是，雖然有助於減少傳導損耗，但切換損耗也會增加。這在 DC/DC 轉換器和馬達驅動等切換電源轉換器的 EMC 測試中變得十分重要。將電壓 (V_{DS}) 從 12V 增加到 48V 可減少電流 (I_{DS})。雖然如此，如果 48V 系統中的電壓轉換率 ($t_R + t_F$) 與 12V 系統相同，則電源切換損耗 (P_{SW}) 會增加四倍。

雖然影響切換損耗的因素較多，但 **圖 9** 說明電壓轉換率如何影響 48V 系統中的切換損耗。如需減少 DC/DC 傳導式排放的詳細資訊，請參閱應用說明「[減少 48V 車用應用降壓轉換器中的傳導式 EMI](#)。」

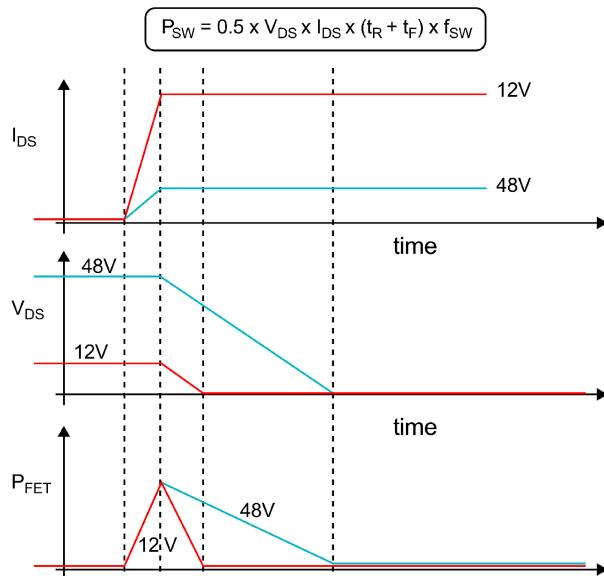


圖 9. 切換損耗對 EMC 的影響。

結論

48V 系統可減少線束的重量和尺寸，節省實際銅纜成本和製造成本，而對話又回到成本上來。採用 48V 具有許多優點與挑戰，不管是 IC 層級還是系統層級，都會以某種方式影響成本。OEM 將決定何時及如何採用 48V 系統，以發揮最大效益並降低成本。市場和半導體供應商已為 48V 系統做好準備，最近的車輛創新即證明。

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。

所有商标均为其各自所有者的财产。

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), 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, regulatory 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](#) or other applicable terms available either on [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.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated