

高效整合式動力傳動解決方案： EV 普及的關鍵所在



Nagarajan Sridhar

行銷經理

高電壓電力、高功率驅動器

德州儀器

TI POWER

本白皮書檢視使用整合式動力傳動解決方案的優檢，以透過電力電子技術加速電動車的普及。其中會特別強調寬能隙半導體開關和絕緣式閘極驅動器的實作，以說明動力傳動整合所能帶來的價值。

摘要

動力傳動整合是實現大眾市場採用電動車的關鍵。



1 性能改善：提升功率密度

具備進階診斷和保護功能的絕緣式閘極驅動器，可實現整合並降低成本。



2 寬能隙半導體裝置：汽車市場中的破壞性技術

使用碳化矽 (SiC) 和氮化鎵 (GaN) 的電源開關，可提升電動車的效率。



3 系統層級的整合式動力傳動解決方案

利用位於單一單元內的動力傳動系統，降低系統成本並大幅增加電路板空間。

隨著越來越多混和動力汽車 (HEV) 與電動車 (EV) 問世，汽車製造商正逐步提升汽車動力傳動的電氣化。在全球限制二氧化碳排放的法規推動之下，銷售量每年增加 20% 至 25% [1]，且預計於 2030 年將佔有汽車銷售量的 20% 至 25% [2]。此外，消費者對 HEV/EV 的接受度提升，也讓兼具更佳性能與更長行駛距離且節能、穩固又小巧的系統，變得更為搶手。

在此領域中，最受到關切的重點之一就是如何讓 HEV/EV 更為實惠，以促進大眾市場採用，並解決汽車製造商目前缺乏獲利的問題。現在，中小型 EV 的平均價格約比類似的內燃機引擎汽車高出約 \$12,000 元 [3]。

最初，大家認為造成價格差異的原因只有電池成本。確實未來電池成本可能會大幅下降。但是，近期的詳細商業模型顯示尚有其他可減少成本的選項 [3]，並且可加快原始設備製造商

(OEM) 透過 HEV/EV 銷售獲利的速度。其中一個選項是「按成本設計」(DTC)，此方式著重於整合動力傳動，藉由更緊密地配置電力電子元件，以減少元件數量並將其整合為數量較少的單元。

在本白皮書中，我將檢視 OEM 可如何透過在電力電子中應用 DTC，實現讓大眾市場採用的目標。首先我會說明在力求降低動力系統的 DTC 之際，電力電子的進步為何能緩和消費者的「行駛距離焦慮」；此外也會說明為了因應 DTC 問題而設計的系統層級整合式動力傳動解決方案，其中會特別強調將半導體積體電路 (IC) 和電力元件內容最佳化的相關資訊。

解決行駛距離焦慮

在購買 HEV 和 EV 時，行駛距離焦慮向來都是消費者的最大疑慮。在 2020 年，預期會推出數款行駛距離超過 200 英哩的 EV [4]。雖然這些 EV 車款來自不同的 OEM，但是都具有一項共通點，那就是從零開始打造的動力傳動平台設計，並且針對長行駛距離將電池堆疊與封裝最佳化。較大的電池組可轉化為較高的電壓與馬力。

現代 EV 的一般電池電壓約為 400 V，但是若要達到更高的馬力，就需要將電池電壓提高到 800 V，特別對高階 EV 而言更是如此。較大的電壓能以相同的電流量提供較高的馬力。將電池堆疊與封裝最佳化，即可實現小巧空間並降低 DTC。

此外就相同電量而言，較高的電壓也能提升效率，因為在這種情況下不會有高電流，所以可降低散熱。而降低佈線直徑與減輕重量，即可降低 DTC。

性能改善：增加功率密度

功率效率與動力傳動系統的尺寸可決定 HEV 或 EV 的性能。在電源管理領域中，功率效率與整體尺寸之間的比，亦即功率密度，是一項重要的品質因數。此處目標是達到最高等級的功率密度。EV 業界正透過整合以將前述目標延伸至動力傳動系統，藉此以最小巧的空間達到最高的效率。就此而言，「小巧空

間」代表更小的印刷電路板 (PCB) 空間和外殼材料，這對 DTC 都會產生正面影響。

就電力電子層級而言，在車載充電器 (OBC)、DC/DC 轉換器 (高電壓至低電壓) 和牽引逆變器等動力傳動子系統中，其拓撲/架構、整合式 IC 解決方案與半導體電源開關，都發生了重大改變。圖 1 所示為 HEV/EV 中的典型動力傳動系統方塊圖。

現在讓我們來探討半導體電源開關改變所造成的影響，以及如何將高效率電力電子架構所需的功能整合至 IC 內。就系統層級的整合式動力傳動解決方案而言，這是基礎所在。

寬能隙半導體裝置：汽車市場中的破壞性技術

為了滿足嚴苛的功率密度要求，電力電子是關鍵所在。電力電子內部的功率半導體裝置必須具備下列特質：

- 較低的功率耗損。
- 高頻率運作。
- 較高的接面溫度。
- 高電壓運作。
- 更高的散熱能力。

相較於傳統以矽為基礎的電源開關，如功率矽金屬氧化半導體場效電晶體 (MOSFET) 與絕緣閘雙極電晶體 (IGBT)，採用先進的高電壓裝置，例如電源開關使用 SiC 和 GaN 的寬能隙半導體，即可讓 HEV/EV 實現更高的效率。

隨著電量提升，功率矽 MOSFET 或 IGBT 的熱管理作業也變得更具挑戰性，這是因為其最高操作溫度，也就是允許接面溫度會受到限制。由於存在前述限制，因此需要在動力傳動系統

中增加大型銅導片和水套等散熱元件，特別是電量可能升至超過 100 kW 的牽引逆變器。增加冷卻元件會對車輛的尺寸、重量和成本造成影響。相反地，SiC 的允許接面溫度則高上許多。此外，SiC 的熱傳導性比矽高出二到三倍 [4]。SiC 兼具高接面溫度和高熱傳導性，因此無需使用大型銅導片和水套，使其深具吸引力的動力傳動系統選擇。在 OBC 和 DC/DC 轉換器中使用 GaN，也可大幅減少被動元件，例如磁性元件與電容器等，這是因為其能在數百千赫至百萬赫的範圍內切換。

現在已有數家汽車製造商將寬能隙解決方案整合至其 HEV/EV 動力傳動設計中，以達到更高的馬力和效率，同時提升電池電壓。另外透過更佳的熱管理與尺寸縮減等優勢，也可降低寬能隙解決方案的 DTC。即使現在寬能隙解決開關的成本高昂，但其成本將會隨著時間而降低。就系統層級而言，免除或盡量減少冷卻所需的機械部分以及被動元件和外殼的材料量，可望降低 DTC。

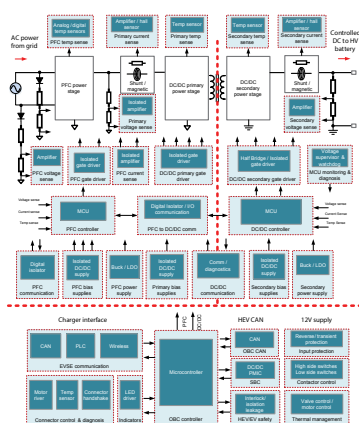
操作電源開關的絕緣式閘極驅動器

動力傳動系統架構需要採用絕緣式閘極驅動器，以有效率地驅動電源開關。絕緣式閘極驅動器可將來自控制器的脈衝寬度調變訊號轉換為閘極脈衝，以開啟或關閉電源開關。由於電池具有高電壓，所以在控制器 (一次側) 和電源開關之間 (二次側) 需要電隔離。

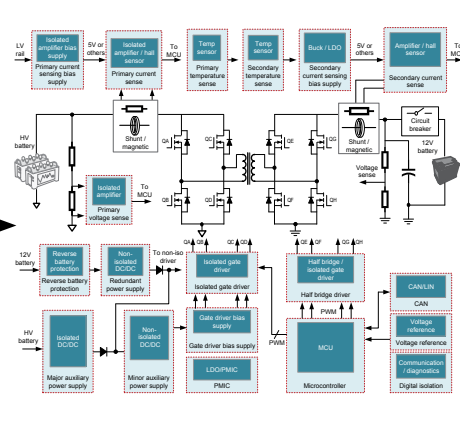
電隔離是可隔離電氣系統功能區段的技術，可防止直流電或未經控制的瞬態電流在其間流動。不過，數據和能源則需要能通過此電隔離層。電容隔離是一項相當重要的隔離技術，其數位電路可對通過隔離層的輸入訊號進行編碼和解碼 [5、6]。

電容隔離是在絕緣式閘極驅動器中實作絕緣層的理想選擇，

車載充電器



DC/DC 轉換器



牽引逆變器

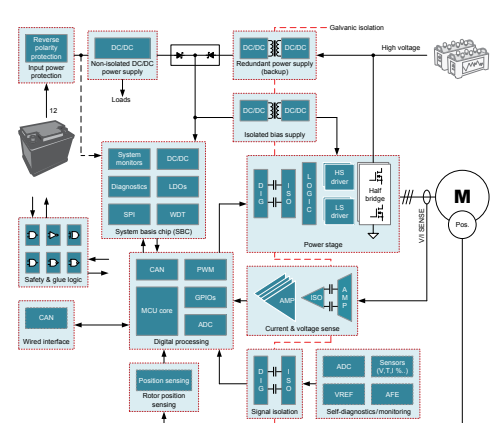


圖 1。HEV/EV 中的動力傳動系統方塊圖。

因為其具備高數據速率和雜訊抗擾性 (又稱為共模瞬態抗擾性 [CMTI], 高於 150 V/ns), 且可協助實現寬能隙解決方案潛在的切換能力。動力傳動會遭遇高度的雜訊和振動。因此, 具備 CMTI 的閘極驅動器會是較佳選擇。此外, 絕緣式閘極驅動器可免除脈衝變壓器或外部離散式隔離器, 進而縮減 PCB 空間、車輛成本和重量。

絕緣式閘極驅動器整合: 實現系統層級功能安全並降低 DTC 的關鍵層面

就系統層級而言, 若將動力傳動系統視為一個黑箱, 則其中具有三種半導體元件: 數位控制器 (微控制器)、絕緣式閘極驅動器, 以及功率半導體。

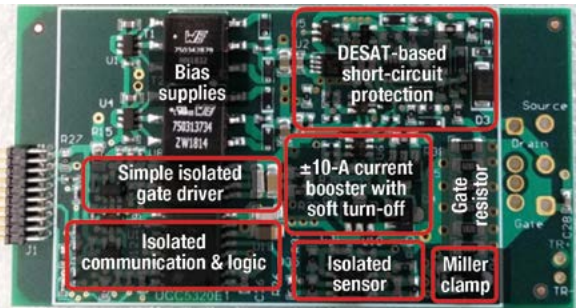
除了高效率系統所需的重要功能外, 近期也愈發需要以最高功能安全等級開發的動力傳動系統診斷與保護功能, 因此讓絕緣式閘極驅動器成為了主要元件。監測和保護皆須以智慧型方式進行, 而在閘極驅動器中整合前述功能, 已逐漸成為熱門的解決方案。

為了達到最高等級的汽車安全失效完整性, 失效 (FIT) 率是至關重要的指標。例如為了實現符合 ASIL D 的系統, 則 FIT 率應低於 10; 這在牽引逆變器中是非常常見的 ASIL 等級。牽引逆變器可讓馬達旋轉, 進而讓車輪能夠轉動。類似的 ASIL 要求 (一般為 ASIL B 或 ASIL C) 現在也逐漸成為 OBC 和 DC/DC 轉換器的要求。

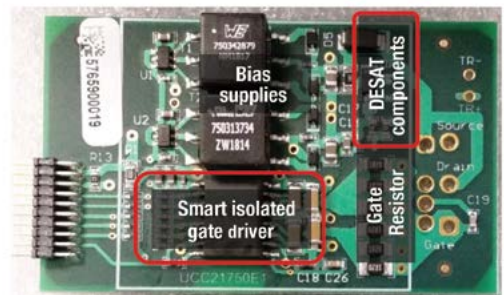
為了實現最低的 FIT 率, 過去分置於系統各處的所有診斷和保護功能, 現在都盡數整合到絕緣式閘極驅動器中, 如圖 2 所示。如此可大幅減少元件數量和 PCB 空間, 因此能直接降低 DTC。TI 最近推出的 UCC5870-Q1 可提供更高的診斷和保護

層級。本產品的顯著優勢在於可減少元件, 因此能降低 DTC, 並且達到所需的 ASIL 等級, 如圖 3 所示的牽引逆變器系統。

使用簡單絕緣式閘極驅動器的功率級



使用智慧型絕緣式閘極驅動器的功率級



智慧型隔離式閘極驅動器整合功能可以:

- 大幅減少系統成本
- 將 PCB 面積減少 2 倍

圖 2 概念包含開發開整合式變壓器偏壓電源 IC, 可進一步大

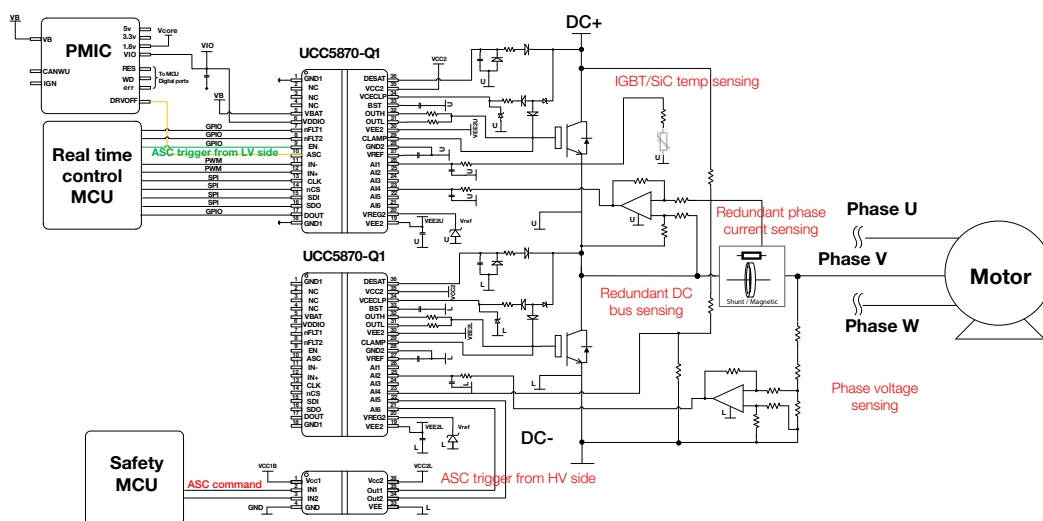


圖 3 UCC5870-Q1 的優勢。

幅降低 DTC，並且適用於牽引逆變器、OBC 和 DC/DC 轉換器。

系統層級的整合式動力傳動解決方案

近年來，大家關注的焦點集中在動力傳動個別子系統的整合、DTC 降低及功率密度提升作業上。OEM 正著手讓前述作業邁向全新層次，以進一步降低成本，其採用的方法為將整個動力傳動系統整合為單一單元，類似 IC 業界的系統單晶片概念。至今為止，首先採取的步驟都是將 OBC 和 DC/DC 子系統整合為單一單元，並將牽引逆變器和 DC/DC 子系統整合為另一個單一單元。新平台則可將這三種子系統全部整合為單一單元。無論配置為何，整合式動力傳動的概念都能大幅減少動力傳動系統的整體重量、提升功率重量比、免除子系統間的佈線，並且達成 DTC 目標。研究與原型已協助減少了多達 15% 的成本 [7]。除了在半導體層級整合閘極驅動器外，子系統之間共用 MCU 更可進一步降低動力傳動系統的總成本。

動力傳動整合可減少組裝成本、建置與驗證時間，因此能降低 OEM 的整體擁有成本與上市時間。然而，其中取捨在於這麼做會導致失去原始設計製造採購的靈活性。

結論

HEV 和 EV 市場正快速成長，且似乎正透過達到更長行駛距離和高效能，逐漸從最初客戶的懷疑心態中重獲信任。這個市場的未來成長取決於能否減少成本，減少成本即可讓消費者能夠負擔 HEV 和 EV，並讓 OEM 能夠獲利。

DTC 模型包含需力求減少動力傳動子系統的電力電子成本。除了如 SiC 和 GaN 等寬能隙電源開關，絕緣式閘極驅動器也崛起成為關鍵元件，可讓 OEM 透過元件整合以減少成本，並達到高功能安全等級。TI 新推出的閘極驅動器 UCC5870-Q1 即可提供這種解決方案。

現在的新興趨勢是讓前述整合概念邁向全新層次，透過將

OBC、DC/DC 轉換器和牽引逆變器整合為單一解決方案，不但可減少成本，更有助於功率重量比。

其它資源

1. Anwar, Asif. [HEV-EV Semiconductor Technology Outlook: What Role will SiC and GaN Play?](#) Strategy Analytics forecast and outlook, July 17, 2019.
2. Erriquez, Mauro; Morel, Thomas; Mouliere, Pierre-Yves; Schafer, Philip. [Trends in electric-vehicle design.](#) McKinsey & Co., McKinsey Center for Future Mobility, October 25, 2017.
3. Baik, Yeon; Hensley, Russell; Hertzke, Patrick; Knupfer, Stefan. [Making electric vehicles profitable.](#) McKinsey & Co., McKinsey Center for Future Mobility, March 8, 2019.
4. Sridhar, Nagarajan. 碳化硅閘極驅動器 – 電力電子的破壞性技術，2019 德州儀器白皮書 SLYY139A。
5. Bonifield, Tom. [實現高電壓訊號隔離品質和可靠性。](#) 2017 德州儀器白皮書 SSZY028。
6. Sridhar, Nagarajan. [隔離式閘極驅動器的影響。](#) 2019 德州儀器白皮書 SLYY140A。
7. Muhlberg, Gunter, Dr. Hackmann, Wilhelm, Buzziol Kai. Highly Integrated Electric Powertrain, ATZ elektronik worldwide, April 2017.

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。

所有商標皆屬於其各自所有者之財產。

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), 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, 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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.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.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2021, Texas Instruments Incorporated