

車體控制模組的 系統電源架構



Arun T. Vemuri

德州儀器車體電子與照明總經理

Donovan Porter

德州儀器車體電子與照明系統工程師

德州儀器(TI)

無論在今天或可預見的將來，現代的車輛其舒適便利功能都仰賴車體控制模組（BCM），BCM 正是車頭燈、車尾燈、車內情境燈、雨刷等的重要幕後功臣。

各式車款的 BCM 數量及各 BCM 所提供的功能都不同，有些 BCM 只負責照明，也有些 BCM 涵蓋各項閘道功能，BCM 的數量及其複雜程度取決於車體電子架構。

BCM 設計正快速進化。例如，接線盒（junction box，又被稱為配電盒）原本配送電源至各項繼電器，現已整合至 BCM 之中，或轉換為類似 BCM 般的模組，將電源傳送至半導體開關。隨著舒適與便利功能增加，連接至 BCM 的驅動器輸入與感測器也增加；此外，專用於負載管控模組數量增加（如車頂馬達控制），BCM 的網路需求也提高。

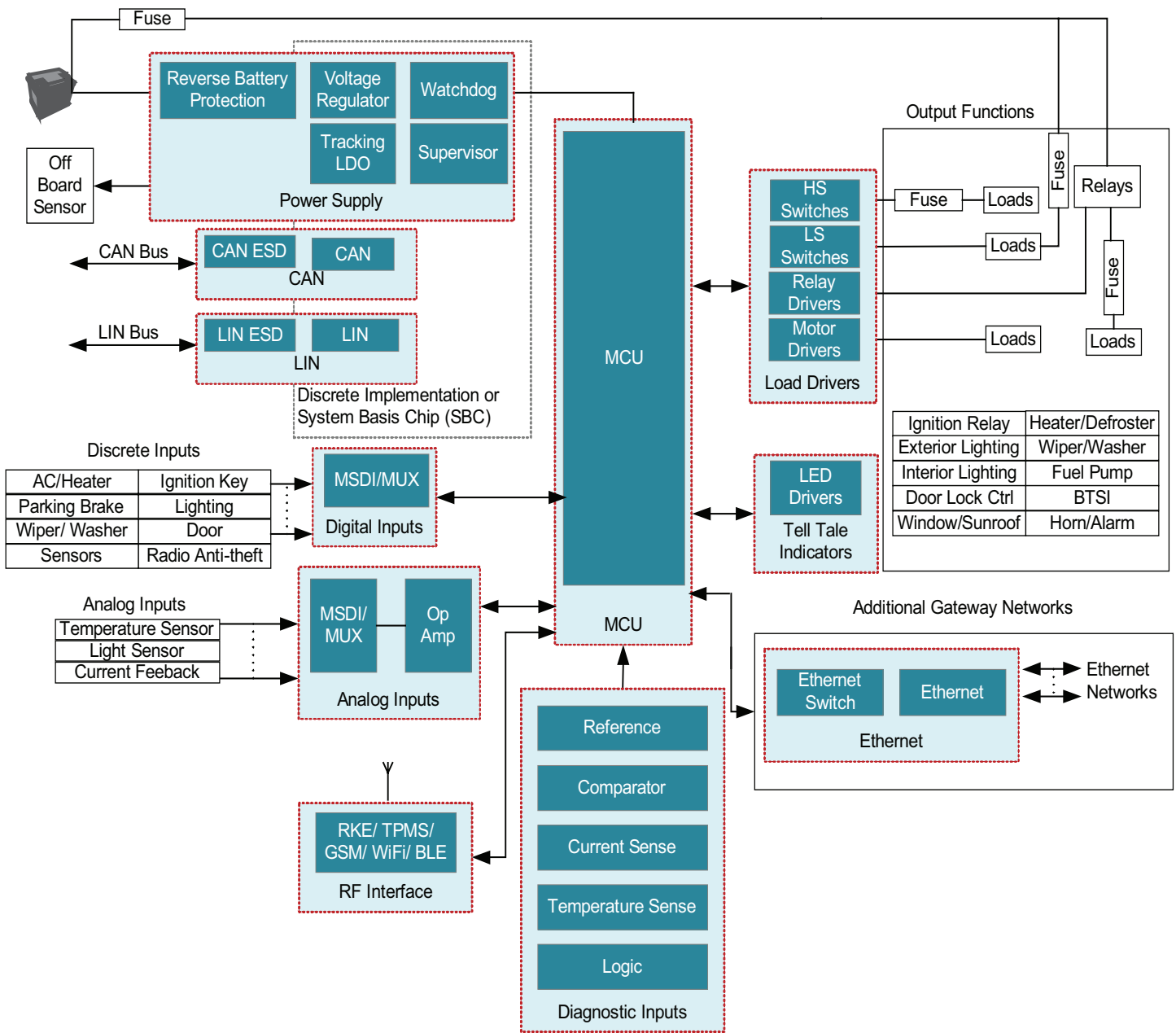
圖一為 BCM 原理圖，涵蓋感測器與開關介面、通訊介面及負載驅動器模組，在圖一的微控制器模組包括嵌入式數位處理器和幾項周邊設備。

由於 BCM 複雜程度不一，BCM 內主動式半導體零組件數量也各有不同。主動式半導體裝置需要電壓供應（或電源）才能運作。

若簡易 BCM 僅支援少數幾項功能，可能只有幾件負載驅動器和一項網路介面，而當複雜的 BCM 控制多項功能時，其組成可能包括幾項半導體裝置，如參考裝置、運算放大器、多工器、多開關偵測介面、高側開關、發光二極體驅動器。

BCM 內的主動式半導體裝置雖然功能複雜度不一，但都有一項共通之處，都需要由電源管理半導體零組件提供電源。

電源管理架構複雜度依 BCM 複雜度而定，簡易 BCM 可能由低壓降穩壓器（LDO）供電，較複雜的 BCM 電源可能來自多項多階切換穩壓器，而運作所需電源最終仍來自車載 12V 電池。



圖一：BCM 通用原理圖

換言之，BCM 內的電源管理裝置自車載12V 電池獲得12V 輸入電源後，產生 BCM 內各項半導體裝置所需的電壓。

這些電壓通常介於1.2V 和5V 之間，且不論電源架構複雜度高低，至少都有一項電源管理裝置連接至 BCM 的12V 電池供電針腳。

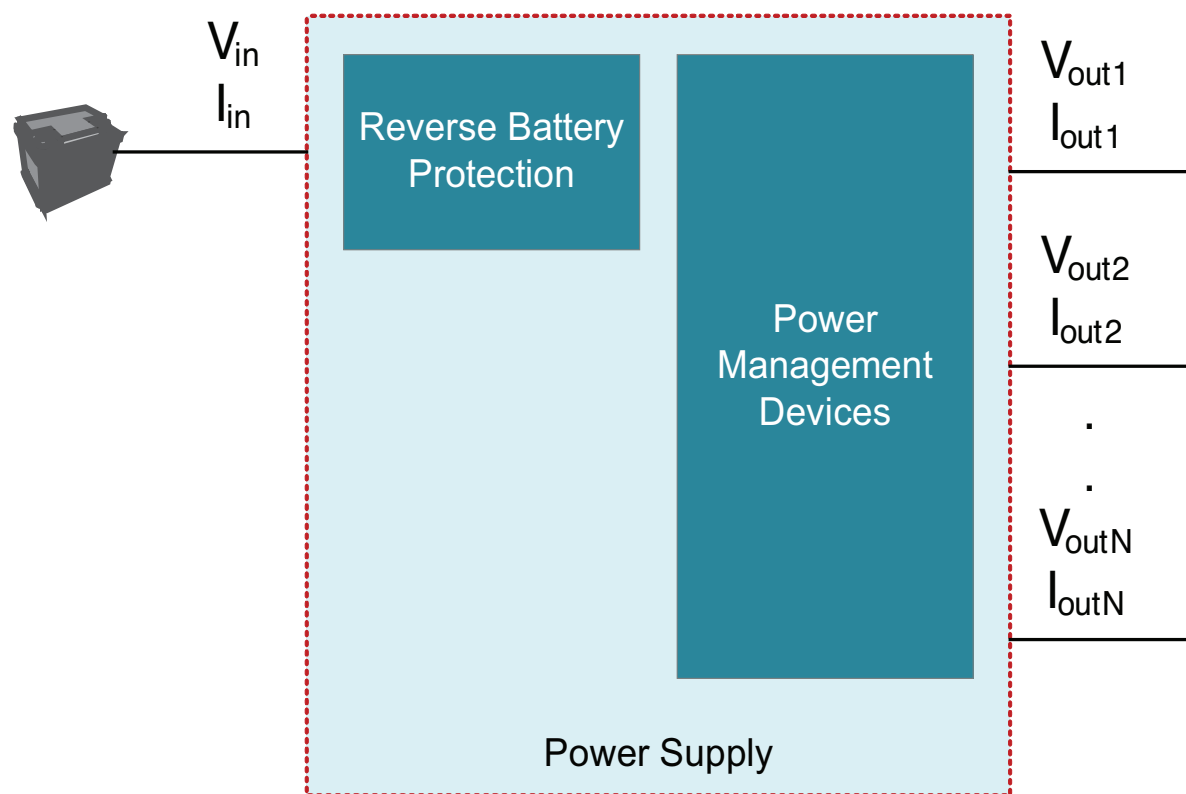
本文接續將介紹現今 BCM 內的各種電源架構。

為BCM提供動力

圖二為電源管理的簡易原理圖。

針對 BCM 等車內多項控制模組而言，車載12V 電池並非唯一電源。12V 電池電壓不僅擁有大範圍

的運作電壓，也擁有瞬態電壓。BCM 的電源管理裝置連接至12V 電池後，不僅必須在12V 電源變化下，向 BCM 主動式半導體裝置供電，且必須不受損害。



圖二：BCM 的電源管理

BCM 的電源管理架構

處理BCM供電時，必須先釐清兩件事：

- BCM 需要何種電池條件才能運作？
- BCM 整合或控制哪些功能？

回答這些問題後，可協助判斷應該為 BCM 印刷電路板上的各項半導體積體電路供電採取何種電源管理架構。

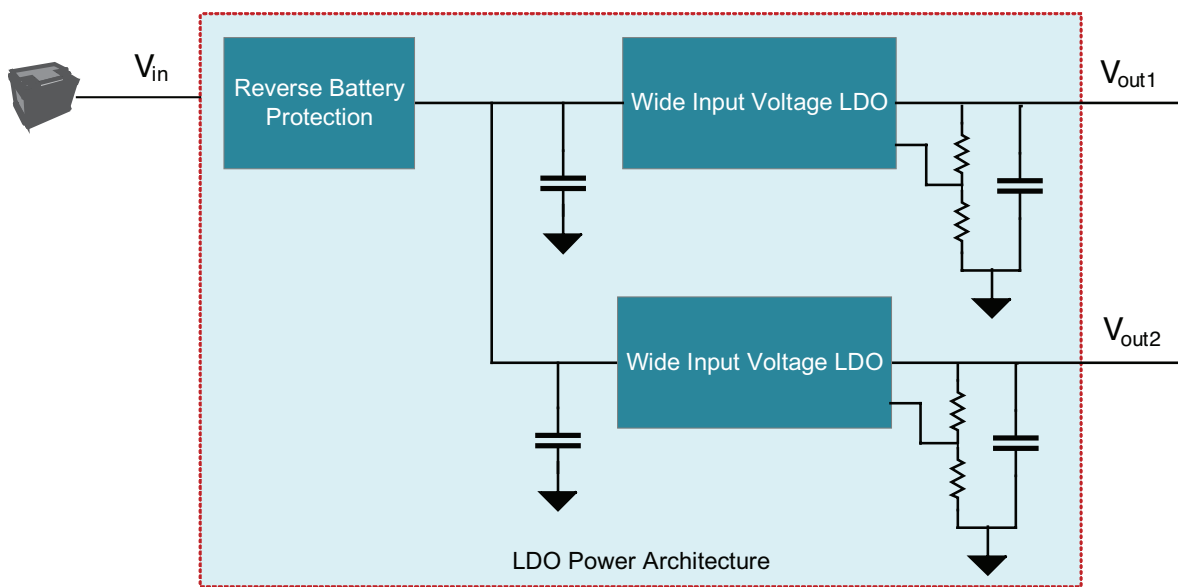
BCM 運作所需的電池條件，取決於車體架構及 BCM 負載，若 BCM 整合多項功能，如被動門禁／啟動系統 (PEPS)、免鑰匙進入系統 (RKE) 或胎壓監測系統 (TPMS)，積體電路數量就會與微控制器處理需求成正比，以提高系統整體電源需求。

LDO 電源架構

最簡易的 BCM 電源管理系統為全 LDO 架構，BCM 設計時若採用全 LDO 架構，通常不需在引擎冷啟動或怠速熄火等運作。

此外，BCM 若採用全 LDO 架構，通常不會整合額外功能，如 PEPS、RKE、TPMS 或門禁功能。這些 BCM 執行數量較少的通訊收發器，如控制器區域

網路 (CAN)、車內互聯網路 (LIN)，以及電源需求較低的微控制器。這些 BCM 稱為基礎 BCM，也是最不複雜的種類，而 LDO 架構在所有必要電源軌中，均使用寬輸入電壓 LDO，圖三為 LDO 電源架構原理圖，若增加 LDO 可提供更多電壓軌，每項 LDO 可輕鬆配置在印刷電路板上，且所有 LDO 僅需要一對電容和一對電阻。



圖三：LDO 電源架構

雖然 LDO 架構具備多項優點，包括電磁干擾 (EMI) 較少、封裝小、佈建容易，也得考量其他因素，LDO 的電源效率不彰，故裝置內可能因為功耗所造成的熱能限制；若 BCM 電源架構需要 400 mA 以上，LDO 因熱能限制而未必是最佳選項。此外，由於壓降與反向電池保護二極體，LDO 無法在冷啟動或怠速熄火時運作。

第一階降壓轉換器/控制器電源架構 降壓至 LDO / 降壓

「切換式降壓穩壓器至 LDO / 降壓穩壓器電源管理系統」為彈性雙級電源架構，採行第一級降壓轉換器 / 控制器，以及第二級降壓式轉換器 (LDO 或降壓)。

第二級降壓 LDO 可能是單一 LDO、單一降壓轉換器／控制器，或兩者結合。單一寬輸入電壓降壓轉換器／控制器提供第一電壓軌，再由低輸入電壓 LDO／降壓提供較低電壓軌，以供應微控制器及其他裝置。

BCM 採用降壓至 DC／DC 電源架構後，或許會整合額外功能，在各電壓軌就需要更多電流，BCM 若採用此種電源架構，就可能是基礎 BCM 或多功能 BCM，也可能具備閘道功能。

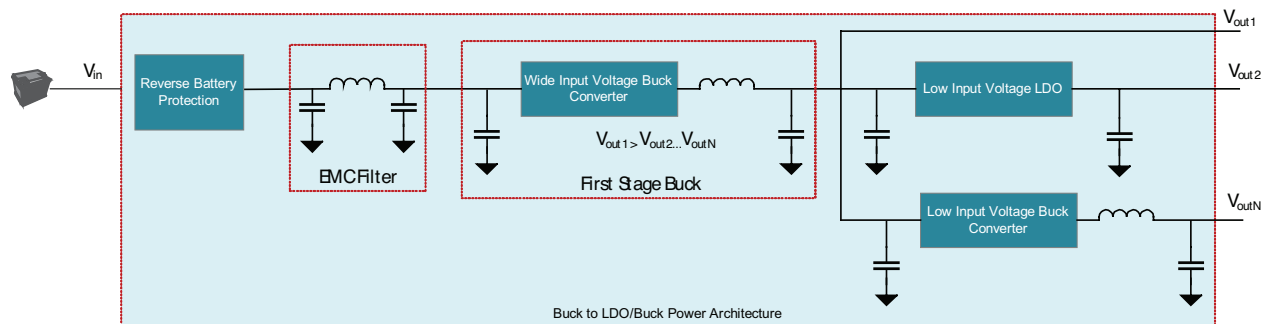
圖四呈現降壓至 DC／DC 電源架構，只需在第一級降壓軌以外，增加額外 LDO 或降壓轉換器，就能在最複雜的 BCM 使用這項架構，選擇寬輸入電壓降壓轉換器，以提供系統內最高電壓軌（一般為 5V 的降壓至 LDO／降壓架構）。如此能提升整體電源效能，最高電流軌只會轉換一次（而非兩次），可減少傳導或切換損耗。

只要第一級降壓能符合 BCM 整體電源需求，在第一次降壓穩壓器軌之外增加 DC/DC 穩壓器就沒有問題，以系統而言，可在 BCM 增加乙太網路等通訊收發器，以及射頻積體電路和更高效能微控制器，各位有多項方式可達到特定 BCM 需求。

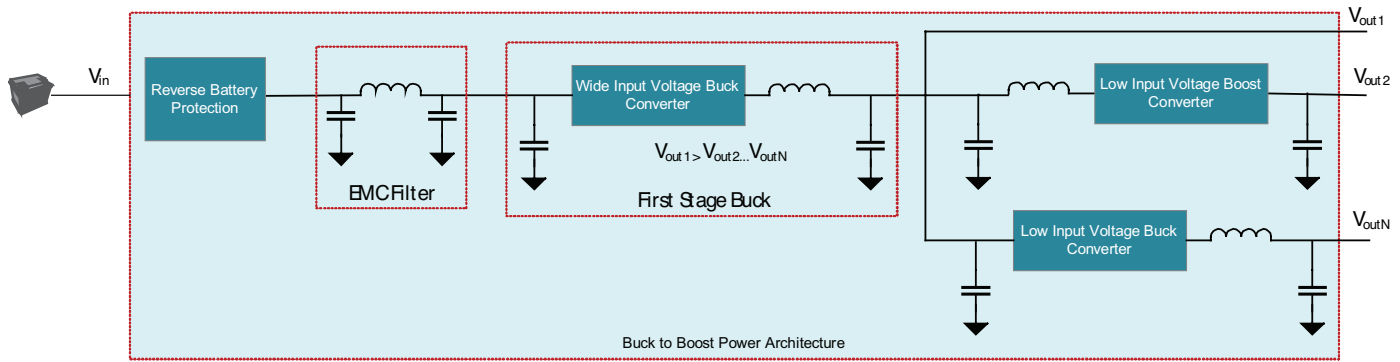
升降壓電源架構

降壓／升壓電源架構相當類似雙級降壓穩壓器至 LDO／降壓穩壓器電源架構，有兩大差異：

- 如名稱所示，第一級為寬輸入電壓降壓轉換器，第二級為低輸入電壓升壓轉換器。
- 相較於先前第一級降壓電源架構無升壓，此處的降壓轉換器的電壓軌較低，讓 BCM 在引擎怠速熄火時，仍能降壓／升壓架構運作，甚至在某些情況中，能夠在冷啟動時運作（取決於 OEM 最低輸入電壓要求）。



圖四：降壓至 LDO／降壓電源架構



圖五：降壓／升壓電源架構

BCM 若採行此種電源架構，則可使用電源需求較高的微控制器，以及多項 CAN 和 LIN 收發器，甚至是基地台積體電路，以發揮 PEPS／RKE 功能，故降壓／升壓電源架構適合各種 BCM。

在圖五中，您可在第一級降壓穩壓器輸出增加額外的 LDO 或降壓轉換器，由於使用兩顆交換式電源積體電路，可提高整體系統電源效能；此外，降壓／升壓電源架構可提高客製化電源架構的彈性，滿足 BCM 確切電源需求。

您可依據系統確切電流需求，選擇寬輸入電壓降壓和低輸入電壓升壓。

若只使用一項寬輸入電壓降壓，以及低輸入電壓 DC/DC 穩壓器，可改善電源架構成本，若需要較低電壓軌，亦可在第二級輸出軌增加低輸入電壓 LDO 或 DC/DC 穩壓器，為各項電壓軌或高電源需求的 BCM 提供解決方案。

雖然第一級降壓架構可提升電源效能與設計彈性，仍有需妥協之處：

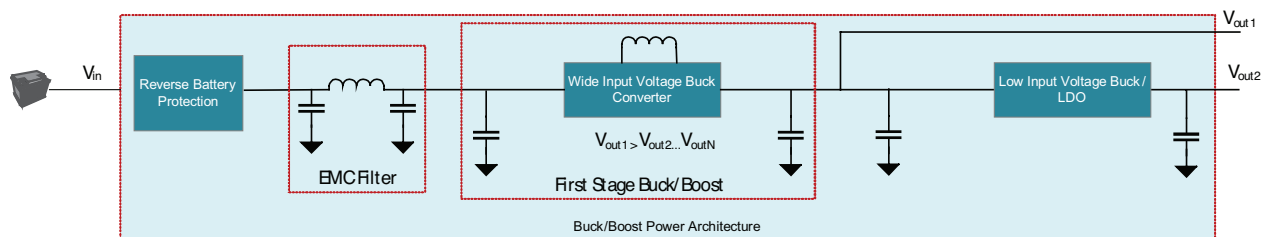
- 所有切換 DC/DC 轉換器／控制器都需要額外濾波，才能改善電磁兼容性 (EMC)，也必須謹慎配置 PCB，BCM 的電磁兼容性才能提高。
- 加上 DC/DC 穩壓器之後，也會增加物料清單總數，因為第一級降壓的 EMI 濾波與 DC/DC 的外部零組件需要額外電容器與電感器。以輸入電壓角度而言，降壓至 LDO／降壓電源架構無法在引擎冷啟動 (或怠速熄火) 時運作。而降壓／升壓電源架構能在怠速熄火或冷啟動時保證繼續運作。

單級／雙級 降壓／升壓電源架構

降壓／升壓電源管理系統是簡易又有效的 BCM 電源架構，由於採取降壓／升壓方式，系統在有怠速熄火或冷啟動輸入電壓需求時也能運作，BCM 若能採用降壓／升壓電源架構，通常是較簡單的系統，在冷啟動時需要 1A 至 1.5A，這項

架構適合獨立 BCM，或甚至是具備閘道功能的 BCM。

圖六為降壓／升壓電源架構原理圖。額外的 LDO 可為系統提供較低電壓軌，積體電路附近只需單一電感器或數個電容器，故可縮小 PCB 所占空間，且降壓／升壓具備良好電源效率。



圖六：降壓／升壓電源架構

只需佔用小空間，降壓／升壓架構可獨立為整個 BCM，包括 CAN、LIN 收發器和微控制器供電。

雖然降壓／升壓電源架構易於落實，電源效率也很好，但還有些難題需要考量：

- EMC 和所有切換模式 DC/DC 穩壓器一樣，都會提高系統物料清單成本。
- 以整體電源架構設計而言，使用降壓／升壓電源架構會導致設計彈性較低，其他電源架構可組合降壓、升壓或 LDO 以符合系統電流需求，但採用降壓／升壓電源架構時，設計師的選項有限。

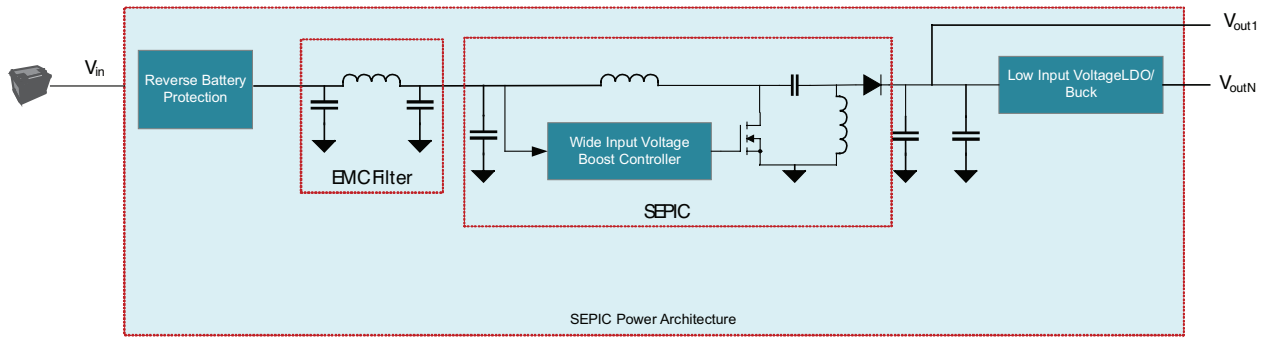
單級／雙級 SEPIC 電源架構

單端初級電感轉換器 (SEPIC) 電源管理系統如圖七所示。這是另一種有效且直接的電源架構，讓 BCM 能夠在冷啟動或怠速熄火時運作。

論優點，相較於降壓／升壓拓樸結構，SEPIC 電源架構只需單一升壓控制器，可降低積體電路成本，任何 BCM 若需在最差輸入電壓條件下運作，SEPIC 架構都很適合。

SEPIC 轉換器使用單一升壓控制器，若有需要，可在 SEPIC 電壓軌外增加低輸入電壓降壓或 LDO。由於這項架構使用升壓控制器，故需要外部場效電晶體 (FET)、二極體和耦合電感器 (或兩件電感器)，您可依據系統需求設計 SEPIC 轉換器，以處理各種電源範圍及輸入電壓。

雖然 SEPIC 電源架構的優點包括降低積體電路成本，以及在冷啟動或怠速熄火時持續運作，仍有其他因素必須權衡。加上外部電感器、FET 和二極體後，SEPIC 轉換器所占面積較大；也因為切換與傳導損耗提高，SEPIC 轉換器效能也不如降壓／升壓轉換器。



圖七:SEPIC 電源架構

第一級升壓轉換器／控制器電源架構

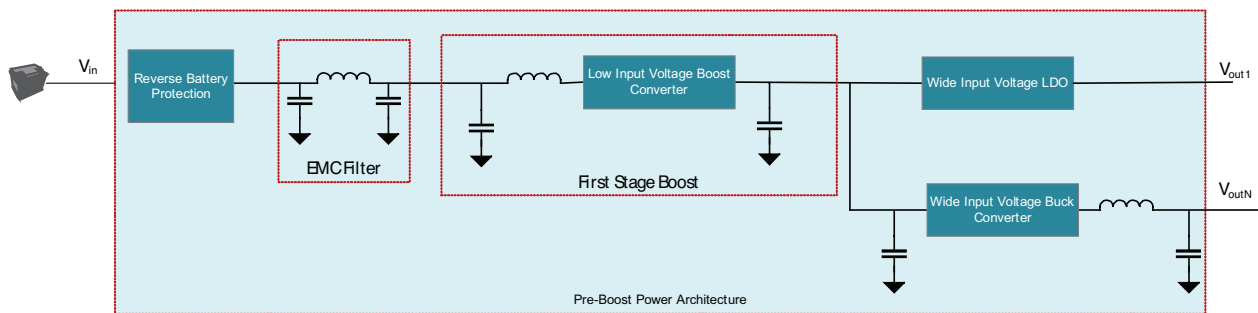
若第一級升壓或預升壓架構用於 BCM 內，正是為確保在引擎冷啟動或怠速熄火時能持續運作。預升壓之後為 LDO 或降壓電源架構。各種 BCM 都能採取預升壓架構，但 BCM 若需要預升壓，都需在冷啟動電池條件下繼續運作，以控制或執行車輛功能。

圖八為預升壓電源架構。這項電源架構採取寬輸入電壓升壓，升壓後的功率級必須具備寬輸入電壓能力。因為只有在電池電壓低於特定升壓輸出電壓時，升壓才會運作，您必須選擇預升壓輸出

電壓或中間電壓，以改善下游 DC/DC 穩壓器的效能。

相較於第一級降壓電源架構，所有連接至升壓輸出電壓的 DC/DC 穩壓器，都需要寬輸入電壓；此外，增加另一項 DC/DC 穩壓器後，會擴大 PCB 所占空間，也需要另一項電感器和一組輸入及輸出電容器。

最後，電磁兼容性也和其他切換式 DC/DC 穩壓器一樣，都是主要的考量，故唯有必須在最低冷啟動條件下運作時，才會選擇預升壓設計。



圖八:第一級升壓電源架構

SBC 注意事項

系統基礎積體電路 (SBC) 是種半導體裝置，同時具備電源管理與網路功能，由於 BCM 兩者都需要，設計時可使用 SBC，SBC 的潛在優點包括工程設計較簡單，以及電路板所占空間較小。

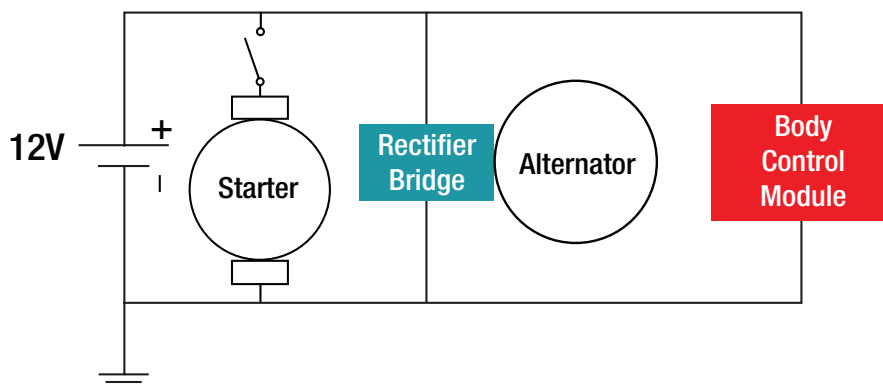
不過 SBC 有些明顯缺點，如前所述，BCM 複雜程度不一，故電源管理和網路功能複雜度也有所不同。

在 BCM 使用 SBC 後，SBC 裝置可能包括 BCM 不需要的額外功能，導致此設計的成本增加；若是切割電源管理與網路功能，只需增減 PCB 上的相關裝置，就能滿足特定 BCM 的功能需求。

另一項缺點在於無法採用新式電源管理裝置，便無法運用其中的創新技術降低靜態電流、EMI、熱能管理、效能或尺寸。若在 BCM 中選用較為創新的電源管理裝置，可減少設計作業、縮小電路板空間、減輕EMI障礙。

由於網路裝置需要 OEM 許可，在 SBC 中納入創新電源管理技術可能更耗時，造成設計師無法利用創新電源管理技術。

另外，SBC 非但無法達到理想的 BCM 架構或車體電子架構，反而會限制 BCM 設計。若電源管理與網路功能分開建置，則可能因為彈性提升而改善 BCM 整體成本。



圖九：傳統12V 匯流排和啟動馬達，會導致啟動時的電池電壓較低，以及交流發電機造成負載突降情形。

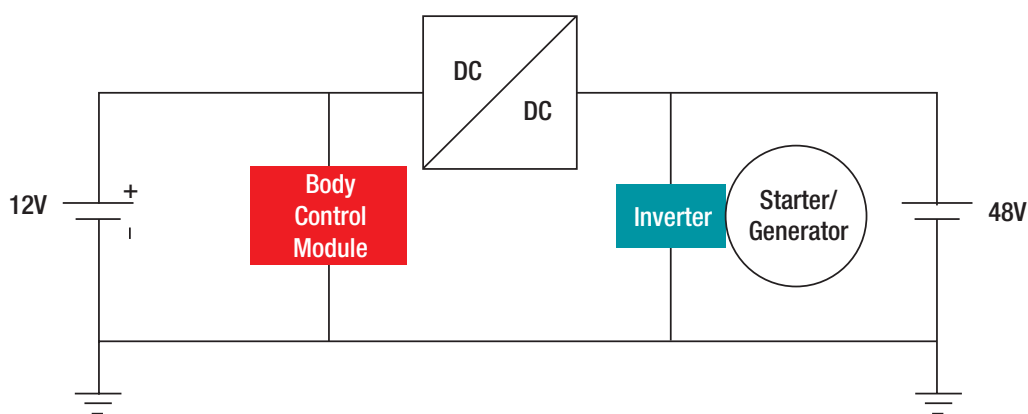
油電混合與電動車的電源架構

隨著油電混合與電動車增加，連接至12V 匯流排的電壓範圍、瞬態電壓和負載也在改變。例如圖九為傳統內燃機車輛12V 板網內的啟動引擎與交流發電機，以及 BCM 連接至12V 匯流排。

而圖十是油電混合車內的48V 匯流排系統，其中馬達／發電器連接至48V 匯流排。在此架構中，BCM 仍連接至12V 匯流排。

在48V 油電混合架構中，因為交流發電機並不在12V 匯流排上，連接至12V 匯流排的控制模組（包括 BCM）最大輸入電壓較低。這代表能使用最大輸入電壓較低的電源管理裝置，進而壓低 BCM 成本。

在此情況下，電源與網路零組件分開建置較為有利，因為不論在傳統引擎車輛或油電混合車輛中，只需最小變化即可使用 BCM。



圖十：馬達／發電機連接至48V 匯流排的車輛

結論

車載 BCM 支援多項功能，各種 BCM 設計需要不同電源管理架構，才能為 BCM PCB 上的所有積體電路供電。

電源管理架構包括：

- LDO 電源架構
- 第一級降壓架構
- 降壓／升壓架構
- SEPIC 電源架構
- 第一級升壓架構

要選用何種電源架構，取決於運作電壓的需求，包括是否在引擎冷啟動或怠速熄火時繼續運作、電壓軌所需數量、每一軌所需電流。

電源管理積體電路設計需考量諸多層面，包括電源架構複雜程度、EMI、所產生熱能、電路板空間和成本。您可利用創新技術的新電源管理裝置，以減少設計電源管理積體電路的難題。此外，隨著車輛匯流排電壓提高，您也需要改善 BCM 設計，才能在匯流排電壓運作條件下運作。

選擇電流管理架構的考量概覽

選擇適當的電源管理時，涉及多項設計難題，以下表格列舉在挑選電源管理架構時，應考量的各種因素。

設計難題	考量
電池條件	<ul style="list-style-type: none">• 是否在冷啟動時運作？• 是否在怠速熄火時運作• 電壓是否來自其他電源，而非電池？
電源軌數量	<ul style="list-style-type: none">• BCM 是否有零組件可由單一電壓供電？• BCM 是否有零組件的運作電壓需求不同？
負載電流	<ul style="list-style-type: none">• 各輸出電壓軌的負載電流是否為小 (通常低於 <400 mA) ？
尺寸	<ul style="list-style-type: none">• BCM 將被置於何處？• 受 BCM 的位置影響，PCB 尺寸是否為優先考量？
熱能	<ul style="list-style-type: none">• BCM 將被置於何處？• 該處週遭最高溫度為何？
效能	<ul style="list-style-type: none">• BCM 運作所需的總電量是多少？• 當車輛未運作時，休眠模式電流預計為多少？
EMC	<ul style="list-style-type: none">• 電源架構是否需要更多時間進行設計或測試，才能達到 EMC 目標？

Important Notice: The products and services of Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries described herein are sold subject to TI's standard terms and conditions of sale. Customers are advised to obtain the most current and complete information about TI products and services before placing orders. TI assumes no liability for applications assistance, customer's applications or product designs, software performance, or infringement of patents. The publication of information regarding any other company's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

The platform bar is a trademarks of Texas Instruments. All other trademarks are the property of their respective owners.

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 (www.ti.com/legal/termsofsale.html) 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.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2019, Texas Instruments Incorporated