

汽車尾燈系統的趨勢 與拓撲



Arun T. Vemuri
德州儀器
車身電子元件與照明
總經理

90 年代早期，夜間行車是非常危險的。

當時以煤油燈為照明，駕駛以手示訊號和大聲喊叫來代表行車控制，並以猜測的方式預測路上其他車輛動作。

當時路上車輛較少、行車速度較慢，偶爾還需閃避馬和馬車，這種行車方式也還算過得去，但這些年來我們已進步許多。

- 車輛照明從煤油燈進化到白熾燈泡、發光二極體 (LED) 和有機 LED (OLED)，提供了更可靠、更有效率的照明光源。
- 車輛為特定照明功能所安裝的照明光源數量也從單一燈泡增加為多像素化設計。
- 可變照明讓駕駛能夠更有效地溝通想採取的動作，使整體行車變得更加安全。
- 外部照明可提供有型且符合個人化目的之功能與型式。
- 電子照明控制模組可實現法規要求的訊號功能，並可提供傳統靜態以外的動態功能，包含個人化的歡迎駕駛訊息 (例如迎賓燈)。
- 隨著後車燈系統越來越複雜，來自光學、機械、電子與製造領域的工程師在設計新系統時都面臨了新挑戰。

由於現代化的後車燈的解決方案，其他駕駛在各種環境下的行為變得更容易預測，也讓行車變得更安全。

在此白皮書中，我們會將重點放在電子挑戰上，並研究可能的解決方案來加以克服。這些挑戰包括：

- 更高的電源需求。
- 散熱管理。
- 電磁干擾 (EMI) 相容性。
- 故障偵測和防護。

第三煞車燈 (CHMSL)

表示駕駛減速。所有車輛皆裝有 CHMSL，此燈會與煞車燈同時亮起。

煞車燈

表示駕駛減速。
所有車輛皆裝有紅色煞車燈。

駐車燈

表示車輛已停駐。此為選配車燈功能，通常不會安裝。

側方標識燈

用來指示車輛輪廓與轉彎，並可做為另一個尾燈使用。

方向燈

表示駕駛欲左轉或右轉。其他後側照明訊號功能皆採恆亮方式，方向燈則會以特定頻率閃爍，頻率通常為一分鐘 60 次。

尾燈

表示車輛存在 (特別是在陰暗的情況下)。所有車輛皆裝有紅色尾燈。

車牌燈

可照亮車輛後側車牌。

紅色霧燈

紅色燈亮度比尾燈高，可在能見度不佳 (例如起霧) 的情況下表示車輛存在。

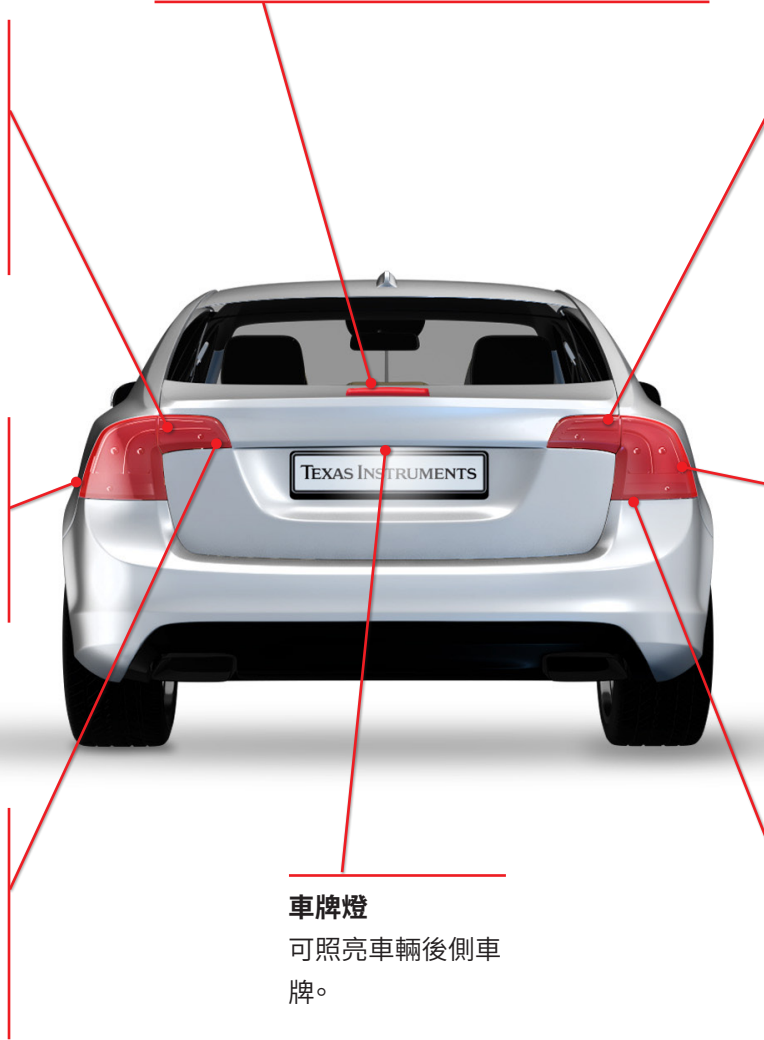


圖 1:後側照明系統元件。

路上的後車燈

在討論 LED 與電氣拓撲前，我們先來看看美國國家公路交通安全管理局和歐洲經濟委員會等主管機關，在法律上強制規定的各種訊號功能，如圖 1 所示。

如圖 1 說明，汽車必須具備許多必要的後側訊號功能，這些功能都需要透過控制模組來執行。圖 2 是典型後側照明控制模組的配置圖，說明所有後側照明功能、電源供應器、通訊介面與 LED 驅動電子系統。

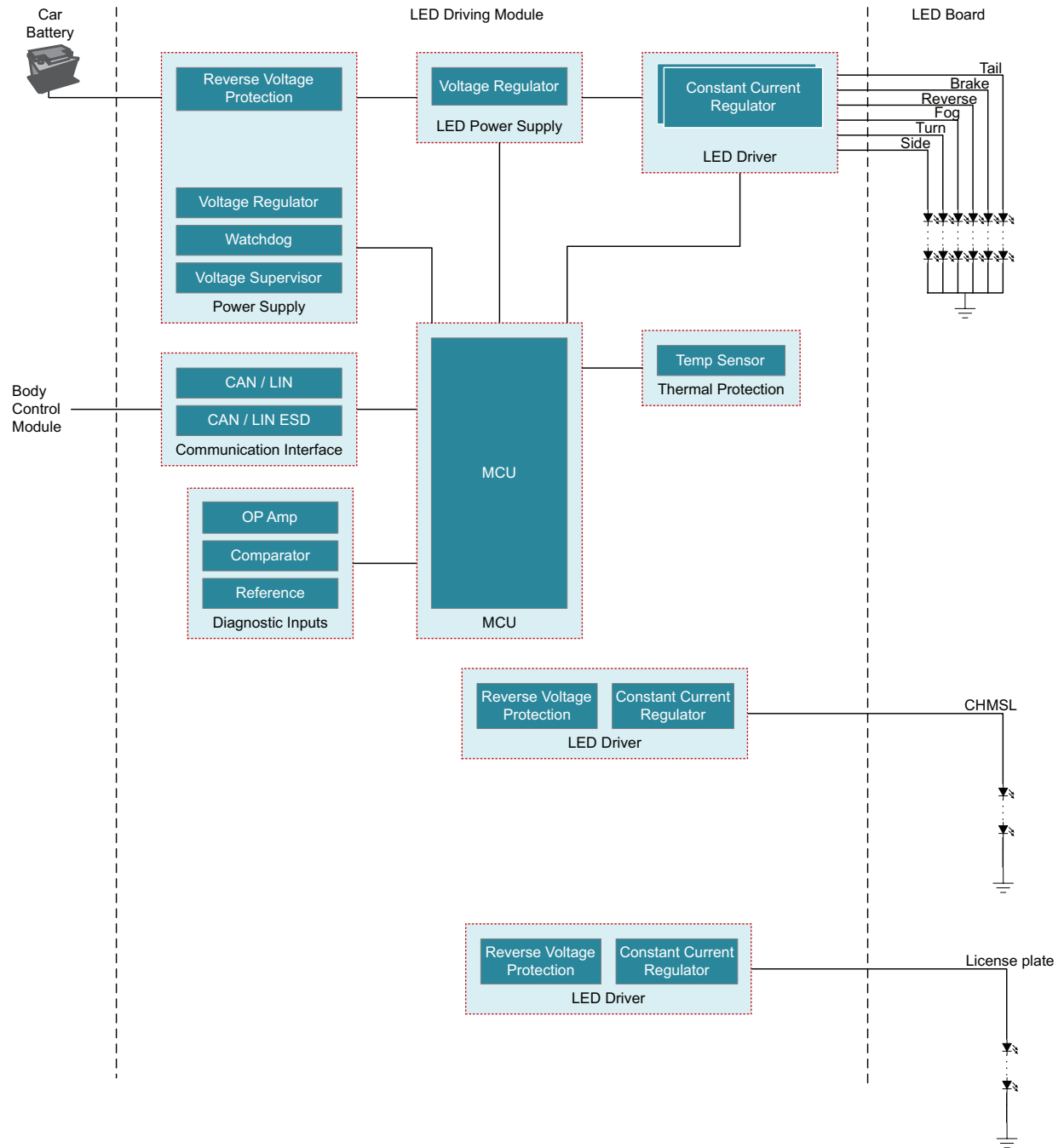


圖 2:後側照明控制模組配置圖

後車燈 LED 的基礎知識

LED 是啟動時會發光的 P-N 接面二極體。如同任何 P-N 接面二極體，LED 是具備指數順向電流順向電壓 (I-V) 曲線的單向裝置，如圖 3 所示。

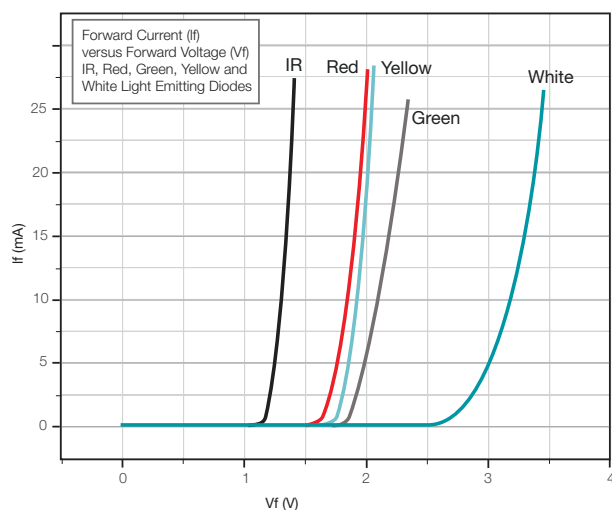


圖 3: LED I-V 曲線。(來源: <http://lednique.com/current-voltage-relationships/iv-curves/>)

若在 LED 陽極和陰極端子間施加正極電壓，電流便會從陽極流至陰極，使 LED 發光。在陽極和陰極間施加的電壓稱為 LED 順向電壓，通常會在額定電流條件下進行測量。通過 LED 的順向電流越高，LED 燈就越明亮，LED 順向電壓也越高。

不同顏色 LED 的順向電壓也不同。多數紅色和黃褐色 LED 的順向電壓為 2 V 左右，白色 LED 的順向電壓則約是 3 V。

LED 照明光源的優點

與白熾燈泡相比，LED 的主要優點是其為較有效率的照明光源。照明光源的效率以每瓦特流明量來測量，代表每單位消耗電力的發光量。

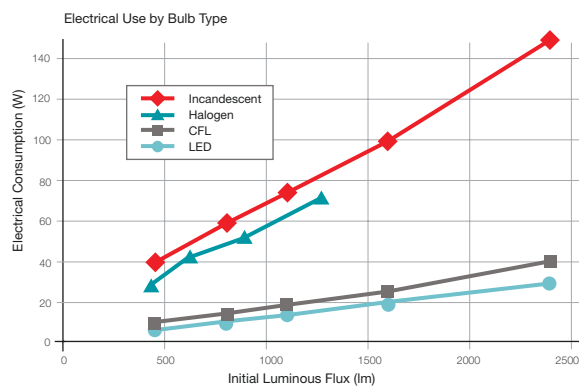


圖 4: LED 燈源與白熾燈泡的效率比較。(來源: https://commons.wikimedia.org/wiki/檔案:Electricity_use_by_lightbulb_type.svg)

一般來說，LED 光源效率比白熾燈泡高出六倍 (圖 4)。

LED 不僅比傳統白熾燈泡有效率，燈泡壽命更是白熾燈泡的近 42 倍，並可輕鬆融入各種風格設計。傳統白熾燈每幾年就需更換，使用壽命通常只有 1,200 左右。LED 的使用壽命可長至 50,000 小時以上，因此汽車 LED 燈不需更換即可提供比車輛整體更長的使用壽命。

從點式到表面式

因為圓形燈殼的關係，傳統白熾燈有固定的形狀。LED 照明光源的體積較小，代表汽車車燈形狀不一定需為傳統圓形。若使用多個 LED，車燈設計就能有更多彈性，滿足各種實體設計需求；但在後車燈使用 LED 會以點狀視覺效果呈現。

由於 LED 燈輸出和照明方向十分容易控制，因此最新的後車燈運用多種光學方法，將點狀照明光源轉為表面式照明光源。

使用光導和擴散片是達成此轉換最常見的方法，但這種方法會降低光學效率，因此需採用高亮度 LED 或較多 LED，以提升 LED 亮度。

設計目標與挑戰

LED 雖然有很多優點，但使其符合汽車規格的過程中也需面臨許多挑戰。汽車 LED 驅動器需求通常包含：

- 廣泛的電壓範圍，必須兼顧 9 到 16V、24V 和 40V 情況。
- 操作環境溫度範圍需為 -40°C 至 85°C。
- 產生動態車燈特性。
- LED 故障診斷。
- 電磁相容性 (EMC)。

汽車廣泛電壓範圍

LED 驅動器設計必須能夠在汽車 12V 電瓶的廣泛電壓範圍中運作。在國際標準化組織 (ISO) 7637 和 ISO 16750 標準中，有說明 LED 驅動器必須承受的最常見汽車業 12V 電瓶電壓暫態要求。

汽車電瓶在正常運作情況下通常為 9 到 16V。在此範圍中，照明輸出必須在所有溫度條件下符合所需法規要求。最近有一些車燈功能可在汽車電瓶電壓為 6V 時 (車輛起止時的一般電壓) 執行，例如方向燈。請注意，車輛起止時的啟動電壓分佈會隨電瓶狀況和溫度而不同。當供應電壓低於 6V 時，後車燈通常不需保持運作狀態。但在室溫下進行跨接啟動時，電瓶電壓可上升至 24 V 並維持一分鐘。

車燈功能必須能承受任何損害，並於恢復正常電壓時復原。

當發生負載突降，電瓶會在交流發電機產生充電電流時中斷連接，其他負載則維持在交流發電機電路中。在此情況下，供應電壓在交流發電機受到抑制時最高可飆到 36V 並持續 400 ms。若發生負載突降，LED 驅動器必須能夠於恢復正常電壓時復原。

散熱考量

汽車應用必須能夠承受很大的溫度範圍。且車燈電路需在高達 85°C 的環境溫度下運作。此最高溫度包含因封閉燈自熱所造成的燈殼溫度上升。

高環境溫度代表 LED 後側燈面臨兩個挑戰：控制 LED 和 LED 驅動器的接點溫度。

若接點溫度超過最高上限，就會使 LED 使用壽命大幅下降。若 LED 驅動器為定電流驅動器，**算式 1** 可根據環境溫度、熱電阻和功率消耗量，概略估計 LED 接點溫度的上升幅度：

$$T_{\text{接點}} = T_{\text{環境}} + \theta_{ja} P \quad (1)$$

其中 θ_{ja} 為封裝熱電阻， P 為功率消耗。

LED 驅動器也需處理熱考量。由於後車燈採用的定電流驅動器多為線性 LED 驅動器積體電路 (IC)，**算式 2** 將驅動器的壓降乘上總電流，來估計 LED 驅動器 IC 的功率消耗。其中 ΔV 是 LED 驅動器的電壓， I 是 LED 順向電流。

$$P = \Delta V * I \quad (2)$$

若輸入電壓為正常最大運作電壓 (例如 16 V)，而輸出 LED 電壓為最小運作電壓 (例如各具 1.9V 順向電壓的兩個 LED)，最大環境溫度將會是 85°C。一般線性 LED 驅動器在裝置中必須具備 2W 功率消耗，才能滿足汽車應用。透過**算式 1** 和 **2**，即可利用 θ_{ja} 估計最大 LED 電流。德州儀器的 [TPS92630-Q1](#) 或 [TPS92638-Q1](#) 等線性 LED 驅動器符合這些功率消耗要求。

動態趨勢

動態後車燈可提供彈性的設計風格選擇，並提供迎賓訊息等個人化功能。隨著新車燈設計採用複雜動態，後車燈設計也從控制 LED 串列轉為獨立驅動 LED 像素，可藉由使用 TPS929120-Q1 來完成。圖 5 說明從串列 LED 控制到獨立驅動像素的轉換過程。

單一像素控制架構需要更精密的 LED 驅動與控制方式。目前多數後車燈皆採用微控制器通用輸入/輸出，或使用序列周邊介面或 I²C 等簡易介面，但如果車燈設計範圍包含整個車輛後側，簡單的介面架構可能無法滿足這類大型後車燈的需求。像素化 LED 控制可

能需要更複雜的數位介面架構，如圖 7 所示。這些系統中的通訊介面必須符合 EMC 標準，並且不能產生通訊誤差。

LED 故障診斷

汽車車燈在使用壽命期間必須符合相關照明輸出規定。但 LED 也容易發生故障。雖然 LED 的預期使用壽命比車輛最高運作時數長出許多，但 LED 仍易受到隨機故障影響。80% 的隨機 LED 故障為開路故障，另外不到 20% 為短路故障。

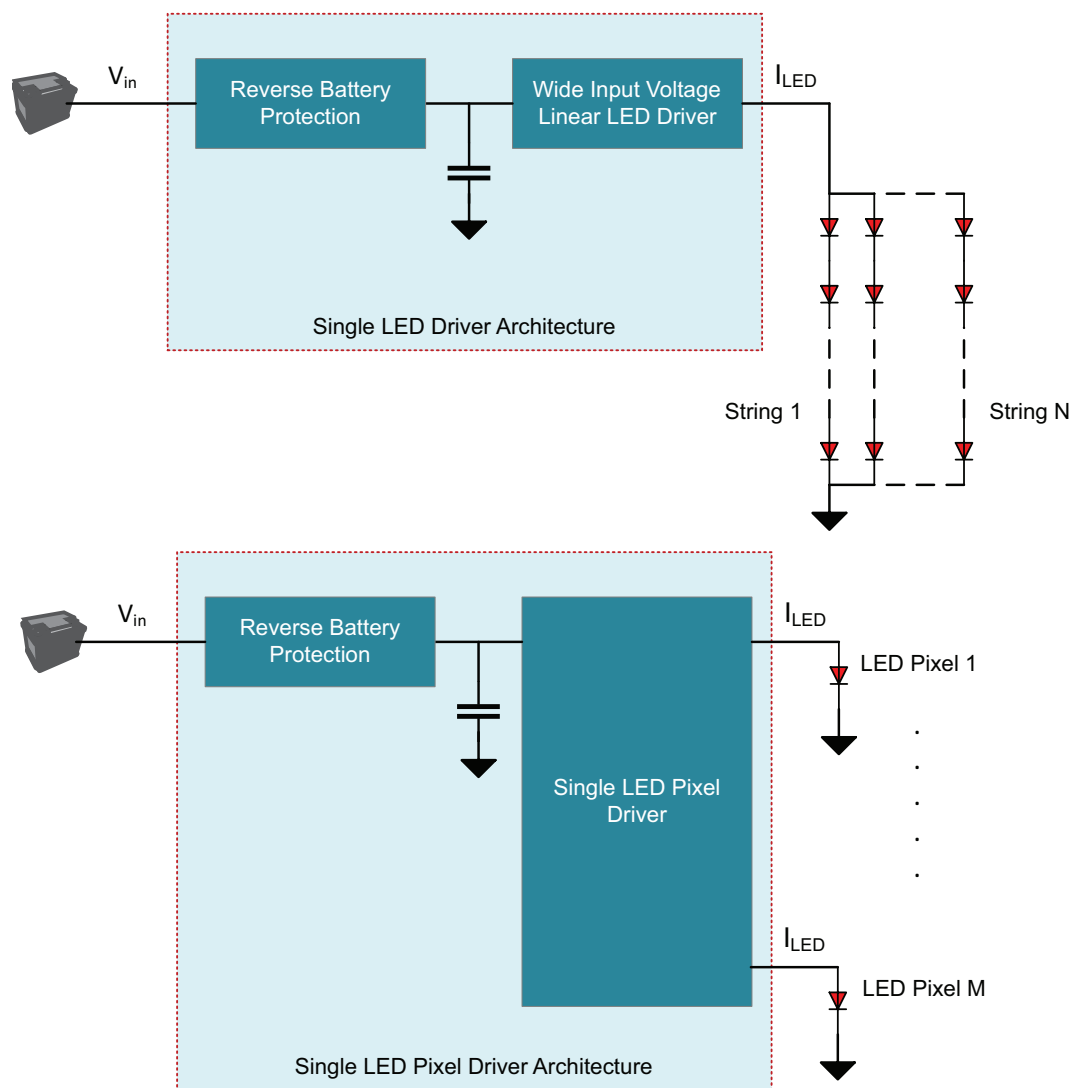


圖 6:以單一 LED 驅動器控制 LED 串列與獨立控制各 LED。

偵測傳統白熾燈泡型車燈故障十分容易，因為故障燈泡會整個熄滅。以 LED 為基礎的車燈在多個串列中使用多個 LED，由於非故障的 LED 會繼續運作，因此並不容易偵測到單一 LED 開路故障或短路。

在單一 LED 串列中偵測 LED 開路相對較為簡單，單一 LED 短路則較不易判斷。以三串列 LED 為例。若發生單一 LED 短路，簡易 LED 驅動器並無法區別三串

列 LED 與雙串列 LED。由於法規要求車燈輸出的前 200 ms 必須達特定亮度，因此在動態方向燈上偵測此類故障是非常重要的。只要發生一個 LED 短路，車燈便無法符合亮度要求，因此必須透過精密的故障偵測技術來達到「一組故障全部故障」效果。換句話說，只要單一 LED 故障就會讓整個車燈熄滅。

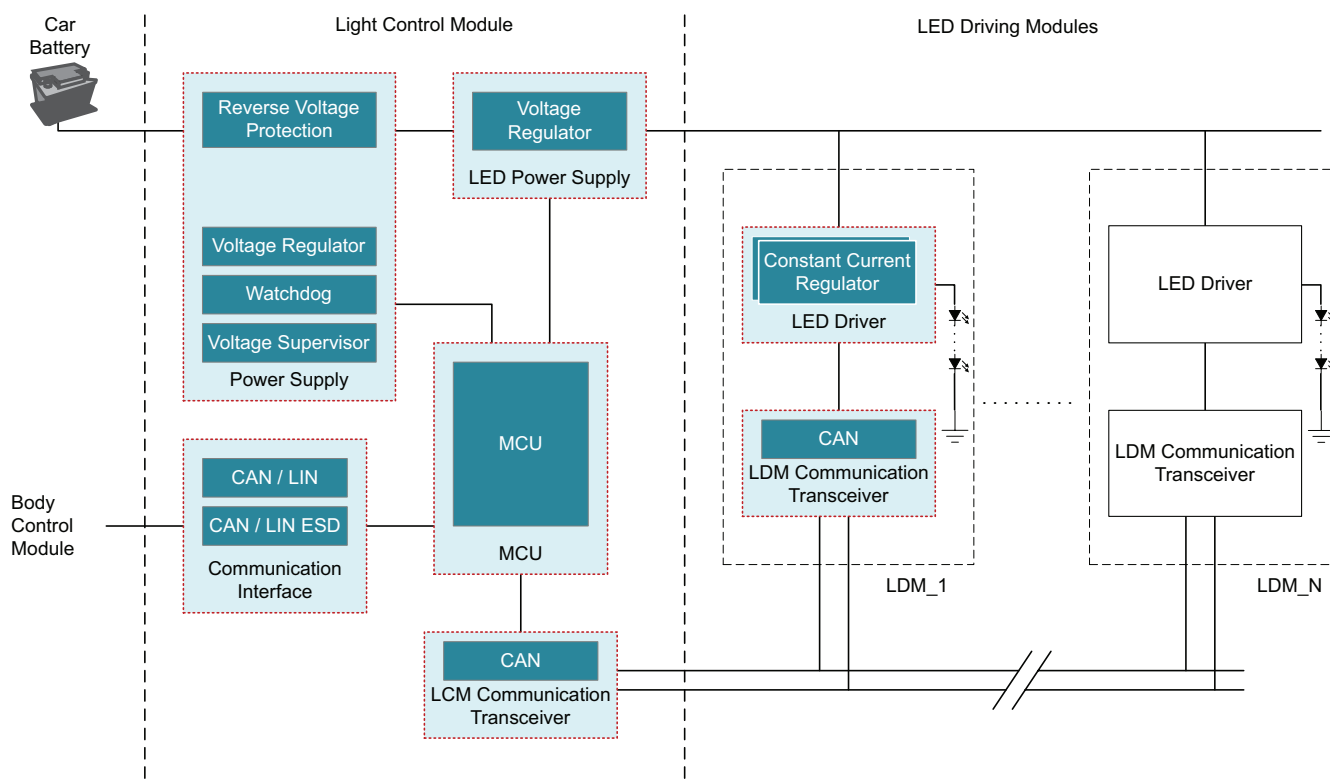


圖 7: 像素化後側照明的數位介面 LED 驅動模組架構。

後側照明 DLP® 技術說明

德州儀器 DLP® 技術已應用在頭燈產品中，可提供高解析度主動式頭燈解決方案。汽車照明解決方案的 DLP 產品也可提供動態後側照明，並讓車輛能夠與駕駛、其他車輛與行人進行通訊。

後側照明的目的為提供通訊與可見度；投射在路面上的動態照明控制功能則可提供重要的新型通訊與可視功能。由於車輛的智能系統越來越精密，動態照明控制也因此特別重要。車輛的視覺通訊在向駕駛與行人展示自動功能時非常重要。舉例來說，車輛在進行自動路邊停車時，可向後投射其路徑與最終停車位置，向路過的自行車騎士與來車進行通訊，以達到更安全的互動。

EMC

現在許多車輛重新將後擋玻璃除霧器作為天線使用，或者在車頂另外使用獨立天線。為了避免與天線產生干擾，汽車後車燈的 EMC 要求非常嚴格。因此 LED 驅動器必須具備低放射與高抗擾性。在後側照明使用線性 LED 驅動器可簡化 EMC 後側照明設計。通常會以國際無線電干擾特別委員會 (CISPR) 25 等排放標準，以及 ISO 11452-5 大電流注入標準等抗擾性標準來測試後車燈系統。

LED 驅動器拓撲

後側照明 LED 驅動器拓撲為單級或雙級。圖 8 中的單級拓撲採用單一線性 LED 驅動器，圖 9 中的雙級拓撲則使用電壓穩壓器和 LED 驅動器。

線性 LED 驅動器可能的電路拓撲為離散電路、電阻器與電晶體，如圖 10 所示。算式 3 計算 LED 電流的方式為：

$$I_{LED} = \frac{V_{in} - V_f(LED)}{R} \quad (3)$$

此電路雖然執行容易，但也有許多缺點。由於 LED I-V 特性和溫度變化，LED 電流並不固定。此外，電路並無診斷功能。最後，管理電路中的熱能必須執行電阻器和電晶體並聯，將元件中的功率消耗隔離，避免單一元件因過熱而故障。

與離散 LED 驅動器相比，LED 驅動器 IC 有許多優點。驅動器 IC 在任何輸入電壓下都可產生定電流，並可執行內部診斷以達「一組故障全部故障」效果。驅動器 IC 也會執行熱保護機制特性，當 LED 溫度超出特定限制，便會減少 LED 中的電流。減少 LED 電流會減

少功率消耗，減緩接點溫度上升速度（請見等式 1），進而避免造成 LED 損害。

後車燈通常採用線性 LED 驅動器，高電流應用有時則會使用單級切換 LED 驅動器。執行時 EMC 挑戰會增加，並且需要展頻等創新技術來減少放射。

車燈調光

在需要進行尾燈或煞車燈調光的情況下，LED 設計人員會採用兩種方式：類比調光和數位調光。類比調光可減少 LED 中的電流，進而減少光輸出，達到調光目的。數位調光（又稱為脈衝寬度調變 [PWM] 調光）利用 PWM 來進行 LED 驅動器輸出電流與零電流間的電流調變。因此會降低平均光輸出，產生經過調光的輸出。

類比調光可做為調光方式及提升設計同質性的方法，透過校驗各 LED 中的電流來達到一致光度。但由於 LED 是在額定電流下進行調光，減少驅動電流會減少 LED 間的光度差異，因此會產生同質性的問題。低電流下的電流準確性對同質設計來說非常重要。大多數的類比調光比都會限制在 20:1 以下。

若為數位調光，PWM 即使在低工作週期下都很準確。

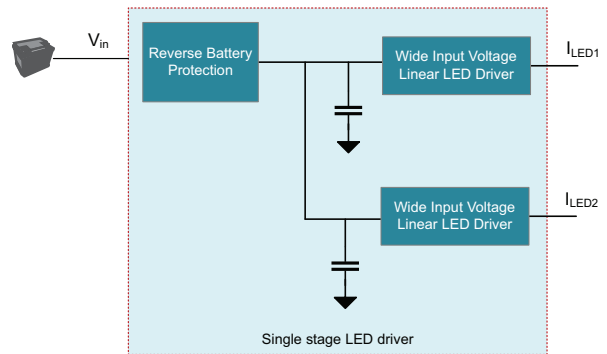


圖 8: 單級 LED 驅動器。

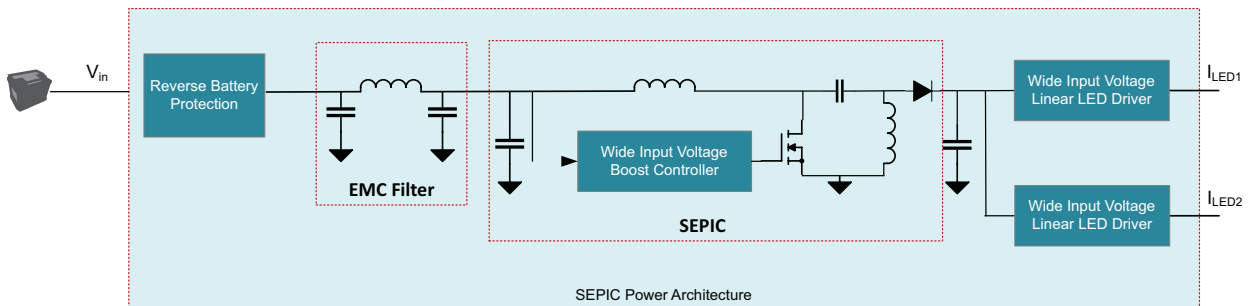


圖 9: 雙級 LED 驅動器。

光度不匹配的情況幾乎可忽略，因此非常適合高精度調光。數位調光必須具備 PWM 產生器，可獨立透過 555 定時器或微控制器來達成。動態車燈較常使用數位調光，因為較易以韌體進行控制。

後車燈照明的未來演變

為了滿足市場對訊號、風格與個人化的進階需求，汽車後側照明系統已有大幅度演進。這些改變使系統變得更加複雜並需要 LED 驅動器，也為工程師帶來電子設計挑戰，包含：

- 更高的電源需求。
- 散熱管理。
- EMI 相容性。
- 故障偵測和防護。

捨棄照明？

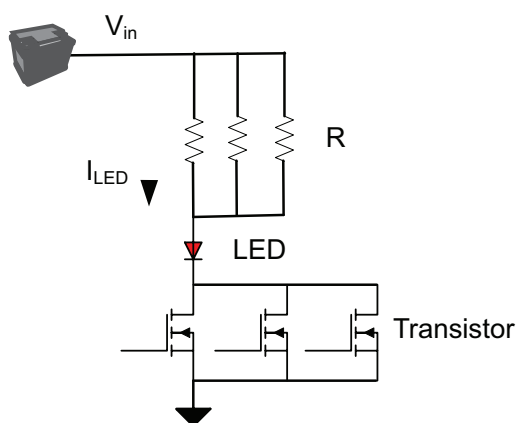


圖 10: 離散 LED 驅動器。

隨著汽車產業越來越具自主性，您可能會問：自動車輛是否需要外部照明？這個問題問得很好。如果車輛僅透過雷達、LIDAR、攝影機和車聯網 (V2X) 技術等系統獨立運作，而不需人為介入，照明系統可能只是個消耗電瓶電量的裝置。

但如本白皮書所提到，照明不僅與美學有關，也可提供訊號功能。消費者已習慣有照明系統的風格設計，

未來客製市場也會增加這方面的需求。此外在不遠的將來，路上交通將會混合自動車輛、傳統車輛與行人，此情況下更提升了汽車照明的重要性。我認為後車燈市場並不會消失。

相關網站

- [後車燈互動式配置圖](#)
- [TI 汽車 LED 驅動器解決方案](#)
- [DLP® 產品汽車晶片組](#)

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。

平台列是德州儀器的商標，DLP 是德州儀器的註冊商標。所有其它商標皆屬於其各自所有人之財產。

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 (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