

汽車電源的監視和開關

作者：Pinkesh Sachdev/ 凌力爾特混合訊號產品部產品行銷工程師

引言

今日的汽車，为了提高舒適度和行車體驗，設計了座椅加熱、空調、導航、資訊娛樂、行車安全等系統，從這些系統很容易理解在車中為各種功能供電的電子系統的優點。現在我們很難想像僅僅 100 多年以前的景象，那時，在汽油動力汽車中，一個電子元件都沒有。在世紀交替時期的汽車開始有了手搖曲柄，前照燈開始用乙炔氣照明，也可以用鈴聲向行人發出提示資訊了。如今的汽車正處於徹底變成電子系統的交界點，並解最大限度減少了機械系統的採用，正在成為人們生活中最大、最昂貴的“數位化工具”。由於可用性和環保原因，以及提高內燃型、混合動力型和全電動型汽車行車安全的需求，市場逐步減少了對汽油的依賴，這正是“數位化”轉變的驅動力。

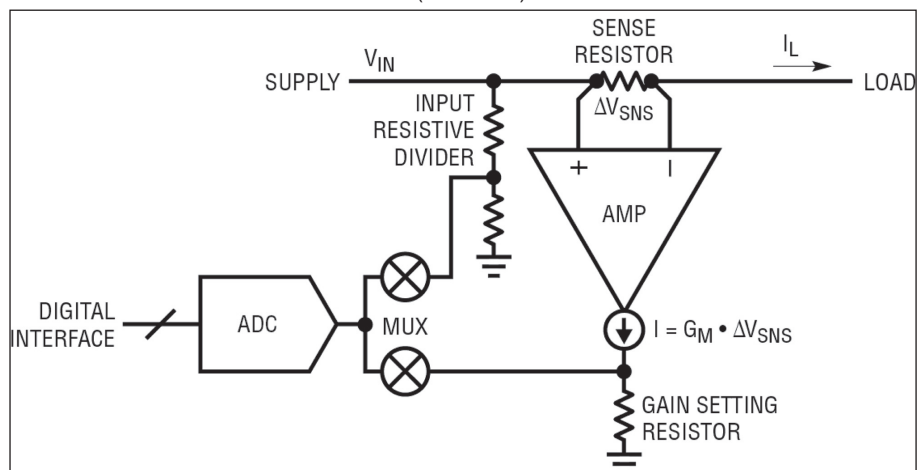
隨著越來越多的機械系統被電子系統取代，相關功耗及如何監視功耗等議題變得越來越重要了。準確監視電動型汽車的功耗最終會讓駕駛者心裡更踏實。任何人只要駕駛了全電動型汽車，都有可能擔心行車距離問題，因為到達目的地之前，汽車電池電量可能耗盡的問題無時不在。混合電動型汽車車主有依靠汽油動力引擎行駛回家的優勢，而電動型汽車只能在充電站充電，目前充電站稀少，而且需要幾個小時，電池才能充好電。因此連續、準確地監視每個電子子系統的功耗是很重要的。基於監視所得的資訊，還可以建議正在路上行駛的司機，節省

電池電量以延長行駛距離。斷開空閒模組與電源匯流排的連接可以進一步節省功耗。監視子系統的電流和功率，還可以揭示有關車輛長期性能的任何異常趨勢，預測故障以防故障發生，標出需要發送給汽車修理店的服務請求。診斷系統也可以從功率和能量監視中受益，透過故障記錄和無線資料存取，可以快速調試，並減少修理費用和宕機時間。

監視和控制功耗的幾種方法

要監視電子系統的功耗，就需要連續測量電流和電壓。電壓可以直接用類比數位轉換器 (ADC) 測量。如果 ADC 輸入範圍小於所監視的電壓，那麼也許需要一個電阻分壓器 (圖 1)。為了測量電流，需要在電源通路中放置一個檢測電阻器，再測量其壓降。如圖 1 所示，跨導放大器將高壓側檢測電壓轉換成電流輸出，該電流流經增益設定電阻器，以產生一個以地為基準並與負載電流成比例以及適合饋送給 ADC 的電壓。為了最大限度降低功耗，全標度檢測電壓限制為幾十毫伏。因此，放大器輸入失

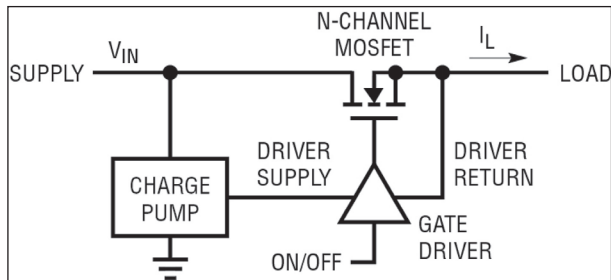
圖 1：測量電源軌上的輸入電壓和負載電流 (檢測電壓)



調需要低於 $100\ \mu\text{V}$ 。為了計算功率，必須使用透過 ADC 數位介面存取 ADC 資料的微控制器或處理器，以實現電壓讀數和電流讀數相乘。要監視能耗，便需要在一定時間內累計（相加）功率讀數。

為了開關電源，一般在汽車電路中會使用機電繼電器。為了節省空間，會用 N 通道和 P 通道 MOSFET 等固態開關取代繼電器，從而產生所有元件都在同一塊電路板上、可以統一採用再流焊製程組裝之 PCB 設計。P 通道 MOSFET 透過拉低其閘極位準而接通，透過將閘極連接至輸入電壓而斷開。相較於 N 通道 MOSFET，P 通道 MOSFET 在導通電阻相同時成本更高，而且其選擇範圍很窄，限於較大電流值（高於 10A）情況。N 溝道 MOSFET 是應對大電流的最佳選擇，但是需要充電泵提高閘極電壓，使其高於輸入電壓。例如，12V 輸入需要 22V 閘極電壓，即 MOSFET 閘極要高出輸入 10V。圖 2 顯示了一個電源開關電路的建置。

圖 2：以 N 通道 MOSFET 建置電源軌的接通 / 斷開

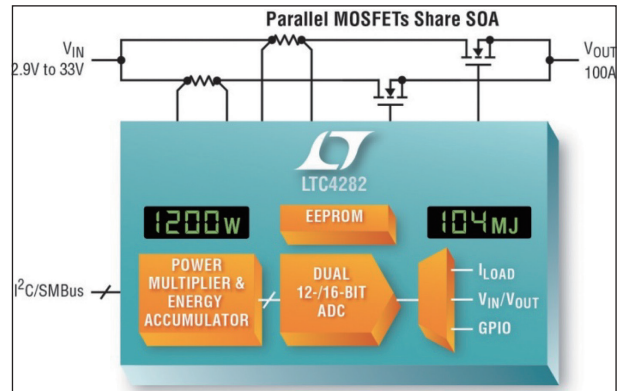


常見的電源匯流排也需要針對短路和超載故障提供保護，這類故障可能在任何板卡或模組中出現。為了實現電路斷路器功能，可以比較圖 1 中放大器的輸出和一個過流門檻，以斷開圖 2 中的閘極驅動器。這種方案取代了保險絲，因為保險絲反應速度慢、容限太寬且熔斷後需要更換。為了節省電路板空間，使用者希望在開關、保護和監視汽車電源匯流排中的功率流動時，採用集成式解決方案。

整合式電源控制與遙測解決方案

LTC4282 是一款可熱插拔的控制器和電路斷路器，提供能量遙測功能和 EEPROM(圖 3)，憑藉創

圖 3：具功率 / 能量遙測功能和 EEPROM 的 LTC4282 電路斷路器



新性雙電流通路特色，滿足了大電流應用的需求。該控制器透過控制外部 N 通道 MOSFET，可平滑地為大容量電容器加電，從而避免出現輸入電源干擾以及電流達到破壞性水準，因此可確保電源在 2.9V 至 33V 範圍內安全接通和斷開。LTC4282 位於通往電路板電源的入口，其準確度為 0.7% 的 12 位元或 16 位元 ADC 透過 $I^2\text{C}/\text{SMBus}$ 數位介面報告電路板電壓、電流、功率和能耗。內部 EEPROM 為暫存器設定和故障記錄資料提供非揮發性儲存，因此可在開發過程中及現場運行時，加速調試和故障分析。

LTC4282 具準確度為 2% 的電流限制電路斷路器，最大限度減少了過流設計，這在大功率時更加重要。在出現過流情況時，LTC4282 折返電流限制，以在可調超時時間內保持恒定 MOSFET 功耗。計時器到了定時時間後，電路斷路器斷開故障模組和公用電源匯流排的連接。空間模組也可以斷開與電源匯流排的連接以節省功率。能夠以數位方式配置的電路斷路器門檻允許隨負載變化進行動態調節，方便了小電阻值檢測電阻器的選擇。所監視電氣參數的最小值和最大值都會加以記錄，當超過 8 位可調門檻時，將發出警示訊號。為防止為電路板造成災難性損壞，這些 MOSFET 將針對異常情況達到連續監視，例如低閘極電壓和漏 - 源短路或大的壓差。

SOA 共用路徑

雖然 LTC4282 控制單個電源，但其為負載電流提供了兩條平行的電流限制路徑。採用傳統單路

控制器的大電流電路板使用多個並聯的 MOSFET 以降低導通電阻，但是所有這些 MOSFET 都需要具有大的安全工作區 (SOA) 以安然承受過流故障，這是因為不能假設並聯的 MOSFET 在電流限制期間分擔電流。另外，MOSFET 的選擇範圍在較高的電流水準上變窄，價格走高，而且 SOA 的水準跟不上 $R_{DS(ON)}$ 的下降。透過將電流分離到兩條精準匹配的電流限制路徑之中，LTC4282 可確保兩組 MOSFET 即使在超載情況下也能均分電流。對於 100A 應用，每條路徑的設計電流限值为 50A，因而將 SOA 要求減低了一半，擴展了 MOSFET 的選擇範圍，並降低了其成本。這被稱為一種“匹配”或“並聯”配置，因為兩條路徑是採用相似的 MOSFET 和感測電阻器設計的。

此外，LTC4282 的雙電流路徑還用於使 MOSFET SOA 要求與導通電阻脫鉤。大 SOA 對於啓動湧浪、電流限制和輸入電壓階躍等具有巨大應力的情況是很重要的。當 MOSFET 閘極完全導通時，低的導通電阻可降低正常操作期間的電壓降和功率損耗。不過，這些是存在衝突的要求，因為 MOSFET SOA 通常隨著導通電阻的改善而變差。LTC4282 允許採用一條具有一個能處理應力情況之 MOSFET 的路徑，和另一條具有低導通電阻 MOSFET 的路徑。這被稱為一種分級啓動配置。一般來說，在啓動、電流限制和輸入電壓階躍期間應力處理路徑接通，而 $R_{DS(ON)}$ 路徑則保持關斷。 $R_{DS(ON)}$ 路徑在正常操作過程中接通以旁路應力路徑，為負載電流提供一條低導通電阻路徑，從而減少電壓降和功率損耗。視啓動時 MOSFET 應力大小的不同，有兩種分級起動配置，即低應力（圖 4）和高應力。高應力分級起動配置推薦用於 50A 以下的應用電流水準，而並聯和低應力分級起動配置則推薦用於 50A 以上的應用。與單路徑設計相比，最低的 MOSFET 成本由低應力分級起動配置提供，代價是在瞬變情況下不間斷運行的能力受限，而且不能利用負載電流完成啓動。並聯和高應力分級起動配置可啓動一個負載並提供計時週期較長的故障計時器，可在持續時間較長的超載條件和輸入電壓階躍

圖 4a：低應力分級啓動配置可為 >50A 的應用提供最低的成本

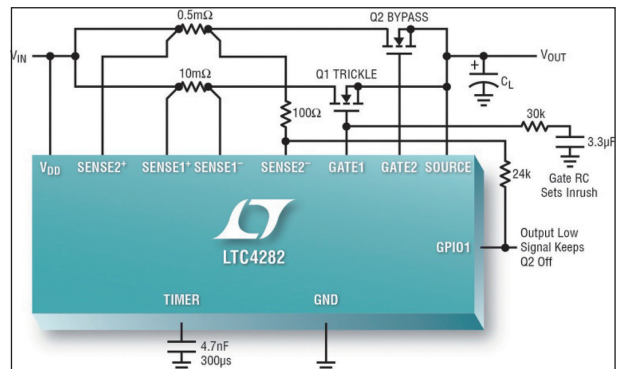
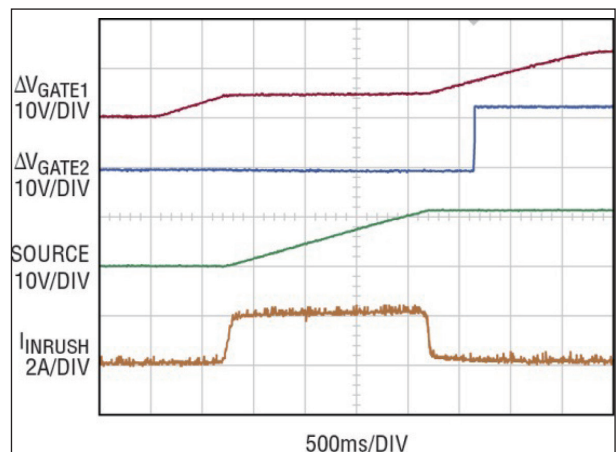


圖 4b：利用低應力分級啓動配置實現啓動：GATE1 首先接通以對輸出進行涓流充電（具有一個 2A 的低浪湧電流水準）。GATE2 在 SOURCE（輸出）變至高於電源良好門檻時接通。



情況下不間斷地運行。

結論

在過去 20 年，在動力轉向、ABS 剎車、便利性、行車安全、娛樂等功能的驅動下，汽車中採用的電子系統持續快速增加。隨著汽車向全面互聯和完全自主行駛的方向發展，電子系統的增加還會加速，這也擴大了對珍貴的電池功率的需求。仔細的功耗監視加上關閉空間系統有望提高電池使用效率。透過提供電路板級電氣資料，LTC4282 電路斷路器減輕了測量每個子系統的功率和能耗的負擔，因此減輕了整個車輛功率和能耗的測量負擔。憑藉新穎和能夠以多種方式配置的雙電流通路，LTC4282 大幅提升了大電流千瓦級電路板的設計便利性，允許在同一設計中既提供更大的 SOA，同時又具備很小的導通電阻。CTA