

可輕鬆平衡兩個電源的均流IC

作者：Pinkesh Sachdev，產品行銷經理，混合訊號產品事業部，Linear Technology Corp

“只許成功，不許失敗”——對於當今那些始終保持正常運轉的電氣基礎設施(電信網路、互聯網和電網等)的設計者來說，這很可能是他們的座右銘。問題是，此類基礎設施的構件(從不起眼的電容到高度智慧化的刀鋒伺服器)其使用壽命都是有限的，而且它們的壽命終止常常會出現在您最擔心、最不願意的時刻。針對停機問題的常用解決方案是採用冗餘結構，這是指在某個關鍵元件發生故障時，隨時可以接管並生效的後備系統。

例如：交付給使用者的高可用性電腦伺服器通常配有兩個相似的DC電源，用於為每塊專用電路板饋電。每個電源能獨自承擔整個負載

的供電，而且兩個電源透過電源二極體連接在一起實現diode-OR，以構成單個1+1冗餘電源。就是說，由電壓較高的電源為負載輸送功率，而另一個電源則處於待用狀態。假如該工作電源的電壓因故障或移除而下降或消失，則曾經具有較低電壓的電源則變成了較高電壓電源，於是是由它接管為負載供電的工作。二極體負責避免反向饋電及兩個電源之間的交叉傳導，同時保護系統免遭電源故障的損壞。

diode-OR是一種簡單的“贏家通吃”系統，這裡由電壓最高的電源提供全部的負載電流。電壓較低的電源則處於空閒狀態，直到被調用為止。雖然易於實現，但1+1解

決方案效率欠佳，有可能被更佳地用於改善總體工作效率及壽命的資源給浪費掉了。由所有電源共同均分負載的供電效果要好得多，其優勢如下：

- 如果各承擔一半的負載，那麼電源的壽命會有所延長，並有利於散播電源熱量和減小電源元件上承受的熱應力。電子產品關於壽命有這樣一條經驗法則：溫度每下降10°C，元件的故障率將減半。這對於提升可靠性是一項重大利多。
- 由於較低電壓電源始終處於可供使用的狀態，因此當切換至備用電源時卻發現其早已悄悄發生故障(這在簡單的diode-OR系統中是有可能出現的)，這種情況並不令人感到意外。
- 在負載均分系統中，可以並聯多個現有的小電源以構成一個較大的電源。
- 發生電源故障時的恢復動態特性更加平穩快速，因為電源變化屬於“較多和較少”，而並非“關斷和導通”。
- 由兩個以一半容量運行的電源構成的DC/DC轉換器比採用單個以接近滿載運行的電源具有更佳的總體轉換效率。

均流的方法

把多個電源的輸出連接起來可使其均分一個公共負載電流。多個電源之間的負載電流分配取決於個別電源的輸出電壓以及至共同負載的電源通路電阻。這被稱為“壓降均分”(droop sharing)。為了避免電源反向饋電並使系統與故障電源相隔離，可以採取與每個電源串聯的

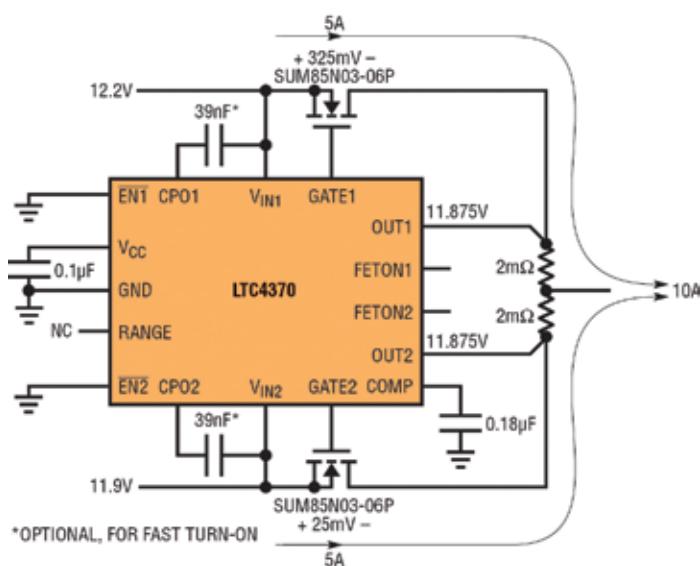


圖1: LTC4370 在兩個二極體“或”12V電源之間平衡一個10A負載電流。均流透過調節MOSFET電壓降以補償電源電壓的失配來實現。

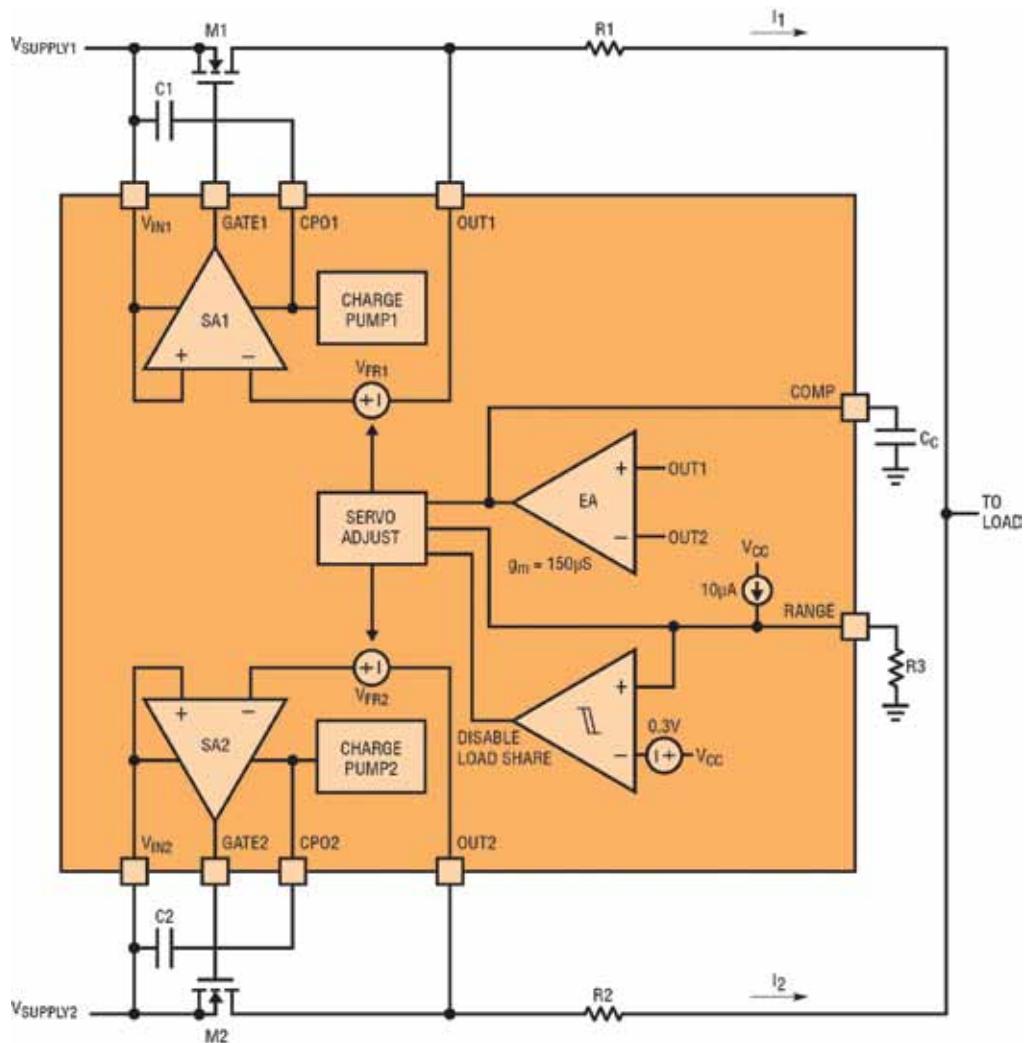


圖2: LTC4370中與負載均分相關的內部元件。

方式插入二極體。當然，這個增加的二極體電壓降會對負載均分的平衡產生影響。

壓降均分雖然簡單，但均分準確度的控制欠佳，而且串聯二極體將產生電壓和功率損耗。一種可控性更好的均流方式是監視電源電流，將之與每個電源需要提供的平均電流進行比較，然後調節電源電壓(透過其微調針腳或回饋網路)，直到電源電流與要求值相匹配為止。這種方法需要佈設至每個電源的導線(一根共用匯流排)，以指示每個電源需要貢獻的電流。均流迴路(current sharing loop)補償採用訂製的設計方式，以適應電源迴路

動態特性。受控均流要求進行謹慎的設計，並可使用所有的電源(在某些系統中這是不可能的)。

本文介紹了一種創新的均流方法，其可實現個別電源貢獻電流的主動控制，但同時具有壓降均分的簡單性。在該系統中，用可調二極體替代了一般的二極體，這種二極體具有可透過調節以實現平衡均流的導通電壓。此方法可獲得優於壓降均分的均分準確度，而且可調二極體用於實現均流所需消耗的功率極少，遠遠低於傳統二極體的功率損耗。由於不需要共用匯流排，因此其可實現較簡單和獨立於電源的補償和可攜式設計。對於那些難以使用或無法使用其微調針

腳和回饋網路的電源而言，這種方法是理想的選擇。

均流控制器

LTC4370運用了凌力爾特專有的可調二極體均流方法。該元件採用充當可調二極體的外部N通道MOSFET實現了兩個電源之間的負載平衡，這些二極體的導通電壓可以調節，從而實現平衡均流。圖1顯示出了LTC4370在兩個12V電源之間均分一個10A負載的情形。

圖2顯示出了影響負載均分的元件內部元件。誤差放大器EA負責監視OUT1和OUT2針腳之間的差動電壓。它設定兩個伺服放大

器(SA1和SA2，每個電源採用一個)的正向調節電壓 V_{FR} 。伺服放大器調節外部MOSFET的閘極(因而包括其電阻)以使MOSFET兩端的正向壓降等於正向調節電壓。誤差放大器將較低電壓電源上的 V_{FR} 設定為25mV的最小值。較高電壓電源上的伺服被設定為“25mV+兩個電源電壓的差”。如此兩個OUT接腳電壓實現了均等。 $OUT1=OUT2$ 意味著 $I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2$ 。於是，倘若 $R_1=R_2$ 則 $I_1=I_2$ 。可以採用對取值不同的檢測電阻進行簡單的調整以形成“比例式”均流，即： $I_1/I_2=R_2/R_1$ 。請注意，負載電壓會追蹤低於最低電源電壓25mV。

MOSFET與伺服放大器一併產生二極體的作用，此二極體的導通電壓為正向調節電壓。MOSFET在

其順向壓降下降至低於調節電壓時被關斷。當MOSFET電流增加時，閘極電壓上升以減小導通電阻，從而把順向壓降保持在 V_{FR} 。這會發生在閘極電壓高出電源電壓達12V之前。電流的進一步上升將導致MOSFET兩端的壓降以 $I_{FET} \cdot R_{DS(ON)}$ 線性增加。

鑑於上述情況，當誤差放大器設定了伺服放大器的順向調節電壓時，其在功能上等同於調節(基於MOSFET的)二極體的導通電壓。調節範圍從25mV的最小值至由RANGE針腳設定的最大值(見下文中的“設計考慮”)。

控制器能實現0V至18V電源的負載均分。當兩個電源均低於2.9V時，需要在 V_{CC} 接腳上連接一個2.9V至6V的外部電源，以為LTC4370供

電。當出現逆向電流時，MOSFET的閘極將在1μs之內關斷。對於一個大的順向壓降，閘極也將在不到1μs的時間裡導通。快速導通(這一點對於低電壓電源很重要)是利用整合式充電泵輸出端上的一個儲能電容實現的。該電容在元件上電時儲存電荷，並在快速導通過程中輸送1.4A的閘極上拉電流。

/EN1和/EN2接腳可用于關斷各自的MOSFET。需注意，電流仍會流過MOSFET的本體二極體。當兩個通道均關斷時，元件的電流消耗減低至每個電源80μA。FETON輸出負責指示各自的MOSFET是處於導通還是關斷狀態。

均流特性

圖3顯示LTC4370採用可調二極體法時的均流特性。圖3包含兩幅曲線圖，皆在x軸上具有電源電壓差 $\Delta V_{IN} = V_{IN1} - V_{IN2}$ 。上方的曲線圖示出了兩個歸一化至負載電流的電源電流；下方的曲線圖則顯示MOSFET兩端的順向電壓降 V_{FWD} 。當兩個電源電壓相等($\Delta V_{IN} = 0V$)時，電源電流相等，而且兩個正向電壓處於25mV的最小伺服電壓。當 V_{IN1} 升至高於 V_{IN2} (ΔV_{IN} 為正)， V_{FWD2} 保持在25mV，而 V_{FWD1} 則精準地隨著 ΔV_{IN} 而增加，以維持 $OUT1=OUT2$ 。這反過來又使得 $I_1=I_2=0.5I_{LOAD}$ 。

對於由RANGE接腳設定的 V_{FWD} 之調節有一個上限。就圖3中的例子而言，該限值為525mV，由RANGE接腳設定在500mV。一旦 V_{FWD1} 達到該限值，均流就將變得不平衡， V_{IN1} 的任何進一步上升都將把 $OUT1$ 推至高於 $OUT2$ 。

中斷點為 $V_{FR(MAX)} - V_{FR(MIN)}$ ，此時較高電壓電源提供了較多的負載電流。當 $OUT1 - OUT2 = I_{LOAD} \cdot R_{SENSE}$ 時，全部負載電流轉移至 I_1 。這是MOSFET M1中功率耗散最大的工作點，因為全部負載電流都從其中流過，產生了最大的正向壓降。例如：一個10A負載電流在MOSFET

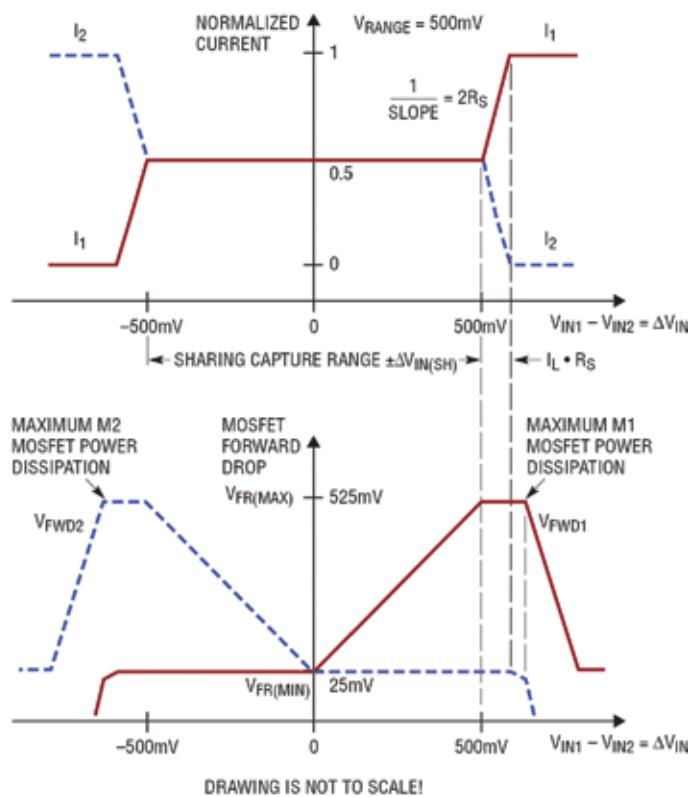


圖3: 當電源電壓差異變化時，採用 LTC4370的均流特性方法。

中引起5.3W($=10A \cdot 525mV$)的功耗。如果 ΔV_{IN} 有任何進一步的上升，則控制器將使M1兩端的順向壓降減低至25mV的最小值。在未均分負載電流的情況下，對於大的 V_{IN} ，這可以最大限度地減少MOSFET中的功耗。對於負 ΔV_{IN} ，動作是對稱的。

在本例中，均分擷取範圍為500mV，並且由RANGE接腳電壓設定。憑藉此範圍，控制器能夠共

導致擷取範圍縮小。

由於MOSFET會耗費功率(在圖3中高達 $I_L \cdot V_{FR(MAX)}$)，因此應適當地選擇其封裝和散熱片。減少MOSFET功率耗散的唯一辦法是採用準確度更高的電源或者放棄均分範圍。

RANGE接腳—RANGE接腳負責設定應用的均分擷取範圍，而這又取決於電源的準確度。比如：採用±3%容差電源的5V系統將需

個電容進行補償。該電容必須為MOSFET輸入(柵極)電容 C_{ISS} 的50倍。如果並未在使用快速閘極導通(未接入CPO電容器)，則該電容可以僅為 $10 \times C_{ISS}$ 。

檢測電阻—檢測電阻決定了負載均分準確度。準確度隨著電阻電壓降的增加而有所改善。最大誤差放大器失調為2mV。因此，25mV的檢測電阻壓降將產生一個4%的均分誤差。如果功率耗散指標的重要性高於準確度，則可減低檢測電阻的阻值。

結論

以往在電源之間平衡負載電流一直是個難題，這不禁讓我們聯想到走鋼絲的驚險場景。當電源模組或磚型電源未提供內置支援時，有些設計人員將花費大量的時間設計良好受控的系統(並在電源類型改變時重新進行設計)；而其他的設計者則將勉強接受基於電阻的粗略型壓降均分法。

LTC4370採用了一種完全不同於任何其他控制器的電源負載均分方法。該元件可簡化設計(特別是對於那些不適於實施執行中微調的電源)，而且其可移植到各種不同類型的電源。固有的二極體特性可防止電源遭受反向電流，並保護系統免遭故障電源的損壞。LTC4370為一個精細複雜的問題提供了簡單、精巧和精小的解決方案。**EDN**

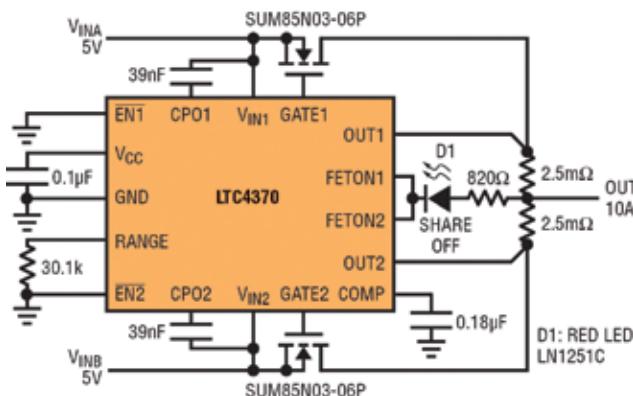


圖4: 具備狀態指示燈的5V diode-OR負載均分。當任意MOSFET關斷時，紅光LED D1將點亮，表示均分出現中斷。

用具有一個±250mV容差的電源。這轉化為：3.3V電源的±7.5%容差、5V電源的±5%容差、以及12V電源的±2%容差。

設計考慮

以下是針對負載均分設計的一些高層次思考因素。

MOSFET選擇—理想的情況是，MOSFET的 $R_{DS(ON)}$ 應足夠小，這樣控制器就能夠在MOSFET中流過一半負載電流時在其兩端維持25mV的最小正向調節電壓。如果 $R_{DS(ON)}$ 較高，則會妨礙控制器調節25mV。在此場合中，未調節壓降為 $0.5I_L \cdot R_{DS(ON)}$ 。當該壓降上升時，均分中斷點(現在由 $V_{FR(MAX)}$ — $0.5I_L \cdot R_{DS(ON)}$ 確定)將提前出現，

要一個2·5V·3%(即300mV)的均分範圍(較高的電源為5.15V，而較低的則為4.85V)。RANGE接腳具有一個 $10\mu A$ 的精準內部上拉電流。在RANGE接腳上佈設一個301k電阻器可將其電壓設定為301mV，此時控制器能夠補償300mV的電源壓差(圖4)。

把RANGE接腳置於開路狀態(如圖1所示)將提供600mV的最大可能均分範圍。但是，當伺服電壓接近二極體電壓時，電流將會流過MOSFET的體二極體，從而引起均分損耗。把RANGE接腳連接至 V_{CC} 可停用負載均分功能，以將元件變成一個雙通道理想二極體控制器。

補償—負載均分環路利用連接在COMP接腳和地之間的單

相關報導

同時提供方波和平方根兩種輸入電壓的電路
www.edntaiwan.com/ART_8800505947_3000004_TA_1cc91548.HTM

提升半橋諧振轉換器能源效率的次級端同步整流器控制方
www.edntaiwan.com/ART_8800509962_3000004_TA_227ba6c0.HTM