

在不使用數位控制器的情況下

閉合無線充電器接收器和發射器之間的控制迴路

■作者：Wenwei Li / ADI 應用工程師

簡介

小尺寸穿戴式裝置越來越多採用無線充電方式，因為如此無需使用充電線，在裝置上也無需配備外露式介面。對於充電電流小於 10 mA 的應用而言，由於其功耗很低，因此便無需在無線充電器接收器和發射器之間實施閉迴路控制。但是，要獲得更高的充電電流，就需要發射器根據其接收器的需求，以及兩端之間的耦合係數，主動調節其輸出功率。否則，接收器可能需要以熱量的形式消耗多餘的功率，而這便會影響用戶體驗，並且可能損害電池性能。無線充電發射器和接收器間的控制迴路通常用數位通訊的方式來實現閉合，但是數位控制會增加總體設計的複雜性和增大應用的大小。

本文將介紹一種方法，其可以在不增加接收器電路板上元件數量（和寶貴的整體尺寸）的情況下，閉合接收器和發射器之間的控制迴路。我們使用 LTC4125 AutoResonant 發射器和 LTC4124 無線鋰離子充電器接收器來構建閉迴路控制無線充電器原型以展示此理念。

建立具備工作週期控制輸入的 AutoResonant 發射器

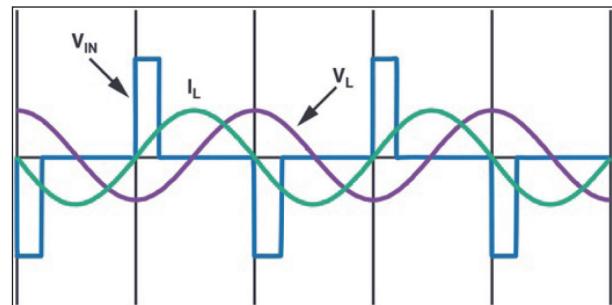
LTC4125 是一款單晶片全橋 AutoResonant 無線功率發射器，用於最大限度提高接收器可用功率，提升整體效率，並為無線充電系統提供全面保護。

LTC4125 採用 AutoResonant 轉換器來驅動串

聯 LC 諧振電路；該諧振電路由發射線圈 (LTX) 和諧振電容 (CTX) 組成。AutoResonant 驅動器使用電流過零檢測器，使其驅動頻率與 LC 諧振電路的諧振頻率一致。SW1 和 SW2 針腳是 LTC4125 內部兩個半橋的輸出。當 SWx 針腳感測到其輸出電流的方向是從負極過零位到正極時，SWx 與 VIN 導通，工作週期與其對應的 PTHx 針腳電壓成比例。當 SWx 針腳與 VIN 導通時，流經發射器諧振電路的電流量增加。因此，每個電橋驅動器的工作週期控制發射端諧振電路電流的幅值，電流幅值與發射功率成比例。圖 1 所示為工作週期低於 50% 的諧振電路電流和電壓波形。諧振電路電流幅值的絕對值由總體電路阻抗決定，包括來自無線接收器的折算負載阻抗。

在傳統工作模式下，LTC4125 使用內部 5 位元 DAC 來掃描 SWx 工作週期；該 DAC 設定 PTHx 電壓以搜索有效負載。如果 FB 針腳出現某種形式的電壓變化，掃描將停止，工作週期在可調節的掃描週期內（一般設定為約 3 到 5 秒）保持不變。之後，

圖 1：工作週期低於 50%、具有方波輸入的 AutoResonant LC 電路電壓和電流波形。



開始新的掃描週期並重複上述相同步驟。如果負載條件在掃描週期內發生變化，LTC4125 則會在下一個掃描週期開始時做出回應。

為了形成閉迴路，電橋驅動器的發射功率應可以根據控制輸入來調節。LTC4125 具備多項特性，其中 PTHx 針腳不僅可用於指示電橋驅動器工作週期，還可作為輸入驅動，以設定工作週期。晶片內部 5 位元 DAC 使用內部上拉電阻來設定 PTHx 針腳的電壓目標值。但是，如圖 2 所示，可將外部下拉電阻與 FET 串聯，用於使 PTHx 針腳上的電容放電，從而降低 PTHx 針腳的平均電壓。這個下拉 FET 闡級的 PWM 訊號工作週期可以控制 PTHx 針腳的平均電壓，從而控制輸出功率。

LTC4125 旨在為合適的接收器提供超過 5 W 的功率。與 LTC4124 接收器配對時，可透過停用其中一個半橋驅動器來降低發射功率。這可以透過讓 SW2 針腳保持開路，讓 PTH2 短接至 GND 來實

圖 2: PTHx 受 PWM 輸入訊號控制。

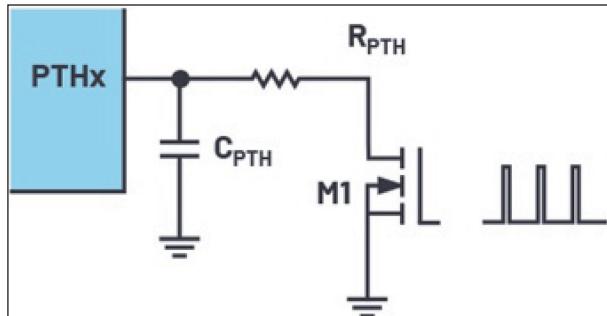
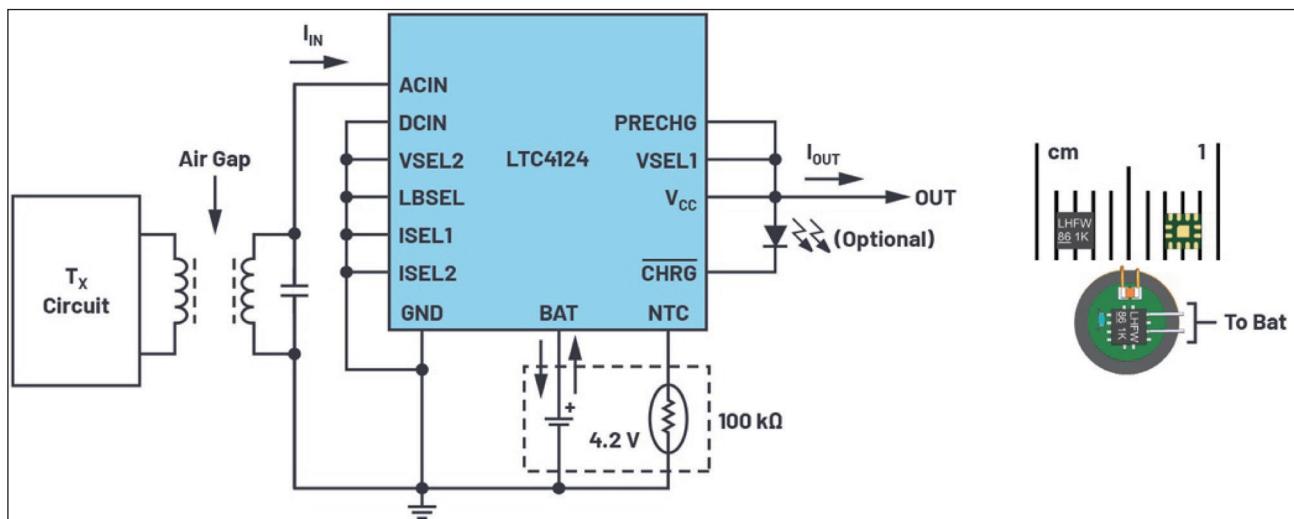


圖 3: 在 6 mm 應用電路板上使用 LTC4124 的完整無線電池充電器解決方案。



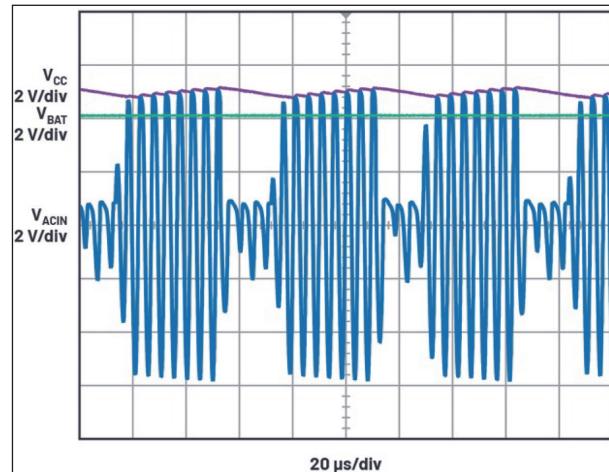
現。然後，可以在 SW1 針腳和 GND 之間連接發射諧振電路。這樣 LTC4125 就成為半橋發射器，可以在 PTH1 針腳上實現更低的增益，提高 PTH1 針腳有效控制電壓的範圍。

使用 LTC4124 從無線充電器接收器生成回饋訊號

LTC4124 是一款高度集成的 100 mA 無線鋰離子充電器，專為空間受限的應用而設計。它包含一個高效的無線電源管理器、一個針腳可程式設計的全功能線性電池充電器以及一個理想的二極體 PowerPath 控制器。

LTC4124 中的無線電源管理器透過 ACIN 針

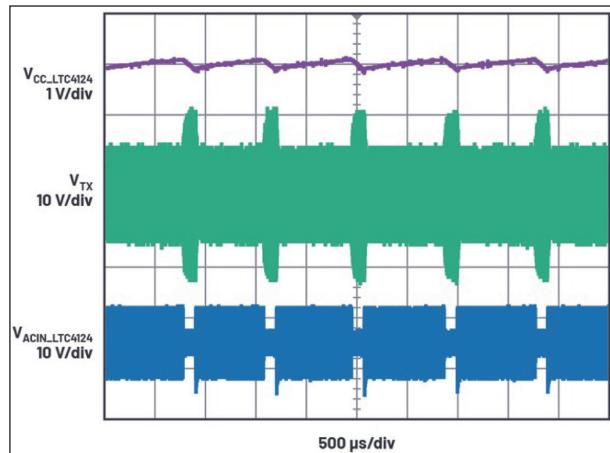
圖 4:LTC4124 接收器的交流輸入整流和直流軌電壓調節。



腳連接至並聯諧振電路，從而允許線性充電器從發射線圈產生的交變磁場無線接收電源。當 LTC4124 接收的電能超過以設定速率為電池充電所需的電能時，多餘的電能將對 VCC 針腳上的線性充電器的輸入電容充電。當 VCC 針腳電壓升高至電池電壓 $V_{BAT} + 1.05$ V 時，無線電源管理器將接收器諧振電路分流至地，直到 VCC 降低至 $V_{BAT} + 0.85$ V。這樣，線性充電器將非常高效，因為其輸入始終恰好高於其輸出。

LTC4124 將接收器諧振電路分流至地也會降低發射諧振電路上的折算負載阻抗，導致發射諧振電路的電流和電壓幅度上升。因為分流意味著接收器已從發射器獲得足夠功率，所以發射器諧振電路峰值電壓升高可以用作發射器調節其輸出功率的回饋訊號。

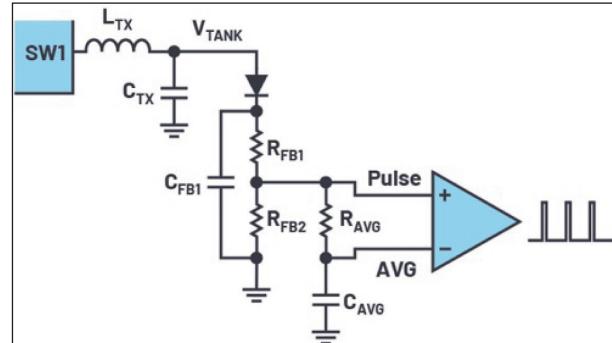
圖 5: TLTC4124 接收器分流期間的發射電路電壓 (V_{TX}) 升高。



解調回饋訊號並閉合控制迴路

諧振發射器一側得到接收器的回饋訊號後，需要將回饋訊號進行轉換，並饋送至發射器的控制輸入，以閉合控制迴路。如圖 6 所示，峰值電路電壓訊號可從由二極體和電容 C_{FB1} 構成的半波整流器獲取。此電壓訊號由電阻 R_{FB1} 和 R_{FB2} 進一步分壓。為了檢測峰值電壓的變化，使用由電阻 (R_{AVG}) 和電容 (C_{AVG}) 構成的低通濾波器來過濾峰值電壓訊號，以得到電壓訊號的均值。透過比較這個均值訊號和原始峰值電壓訊號，可生成方波脈衝。然後，將這個脈衝饋送至 LTC4125 的工作週期控制輸入，

圖 6: 發射器一側的回饋訊號解調電路。



即可實現發射器輸出功率的調節。

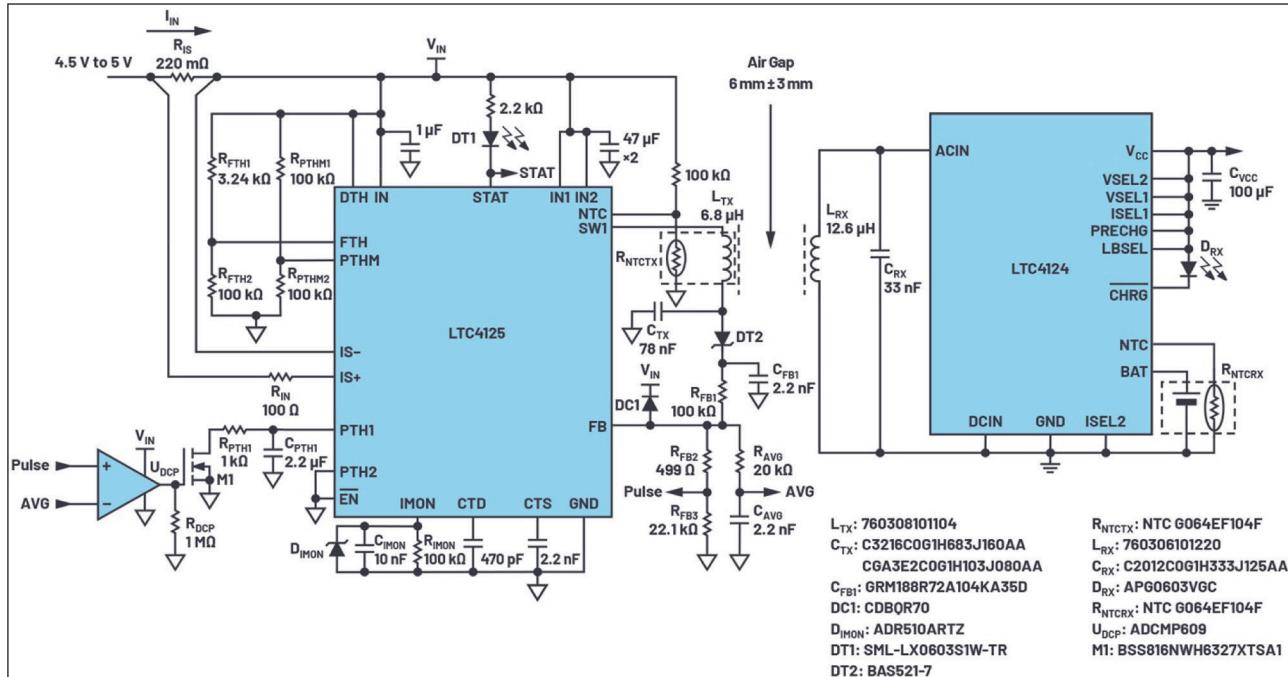
當接收器未獲取足夠電能時，LTC4125 應增加其輸出功率。這可以透過為 $PTHx$ 針腳設定內部電壓目標來實現。內部電壓目標可透過 $PTHM$ 針腳設定，它在開始 LTC4125 搜索週期之前設定了初始 5 位元 DAC 電壓電平。可以在 $IMON$ 針腳連接 1 V 基準電壓以禁用搜索，使得 $PTHx$ 針腳目標電壓在運行期間始終保持初始值。如果 LTC4124 接收器需要更多功率，分流便會停止，為 $PTHx$ 放電的 FET 將不會導通。LTC4125 將以內部電壓目標為基準，對 $PTHx$ 電壓充電，直至 LTC4124 接收到足夠功率來啓用分流。

當接收器在應用中最糟糕的耦合係數位置，輸出預設的最大充電電流時，透過測量 $PTHx$ 電壓可以確定所需的最大發射功率。設定 $PTHM$ 針腳電壓時，應滿足最大發射功率要求。

基於 LTC4124 和 LTC4125 的閉迴路控制無線充電器的特性和性能

圖 7 所示為基於 LTC4125 的閉迴路控制發射器和基於 LTC4124 的 100mA 接收器的完整示意圖。如圖所示，接收器一側所需的元件數量極少，從而可以降低成本，縮減接收器尺寸。與 LTC4125 典型應用相比，發射器一側只需增加幾個額外零組件即可實現閉迴路控制。LTC4125 的大部分特性都得以保留，包括 AutoResonant 開關、多種異物檢測方法、過溫保護和諧振電路過壓保護。有關這些特性的詳情，請參考 LTC4125 產品資料手冊。

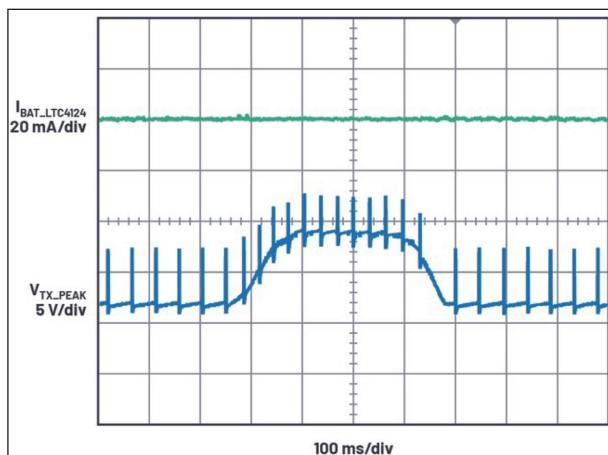
圖 7:100 mA LTC4124 充電器接收器與 LTC4125 AutoResonant 閉迴路控制發射器配對。



基於 LTC4125 的閉迴路無線發射器可以動態調節其輸出功率，以匹配接收器的功率要求。圖 8 顯示了在接收器線圈偏離發射器線圈中心，然後快速回到原始位置時，這款無線充電器的回應。LTC4125 發射器的輸出功率由峰值發射電路電壓 VTX_PEAK 表示，它會對兩個線圈之間的耦合係數變化做出平穩回應，以使充電電流保持恒定不變。

在充電電流瞬態上升期間，LTC4124 分流停止，允許 LTC4125 從內部為其 PTH1 針腳充電。

圖 8: 基於 LTC4124 和 LTC4125 的閉迴路無線充電器會回應發射器和接收器之間耦合係數的突然變化。



因此，LTC4125 會增加其半橋驅動器工作週期，以提高發射功率。一旦發射功率足夠高，使 LTC4124 能夠調節其充電電流，就會恢復分流，工作週期則保持在效能最佳水準。在充電電流瞬態降低期間，LTC4124 會更頻繁地分流。LTC4125 的外部電路使其 PTH1 針腳上的電容快速放電，以降低工作週期，並降低 LTC4125 的發射功率。

因為發射功率始終匹配接收器的需求，所以與無閉迴路控制、基於 LTC4124 和 LTC4125 的無線

圖 9: 基於 LTC4124 和 LTC4125 的閉迴路無線充電器會回應充電電流上升。

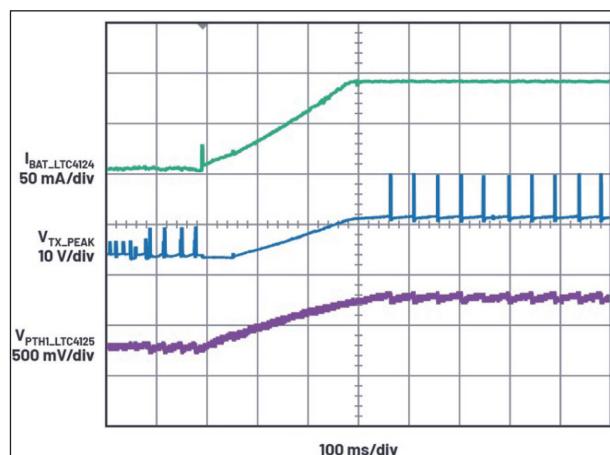


圖 10: 基於 LTC4124 和 LTC4125 的閉迴路無線充電器會回應充電電流下降。

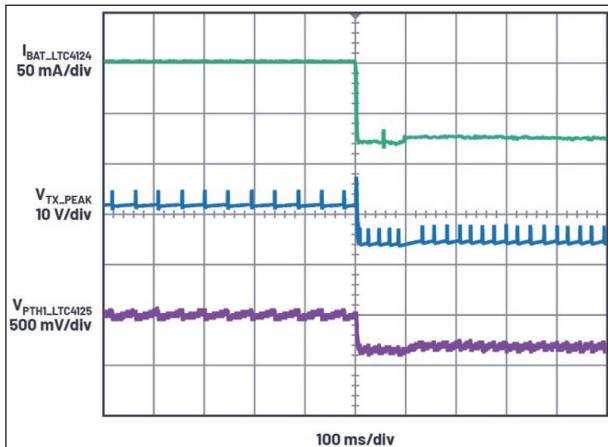
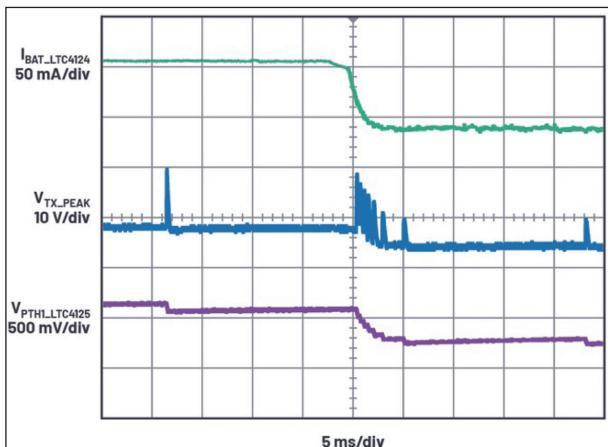
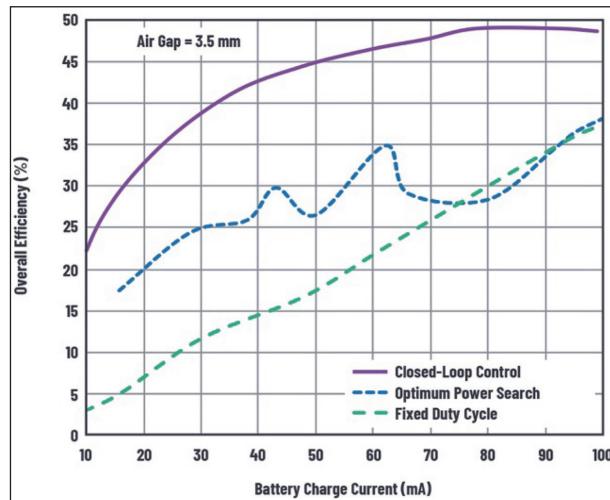


圖 11: 放大波形，用於顯示圖 10 所示的瞬變詳情。



充電器典型配置相比，其整體效率可得到大幅的提升。由於沒有採用 LTC4125 原本的最佳功率搜索模式，因而不會產生 DAC 的步進效應，該配置的效率曲線因此更加平穩。由於功率損耗大幅降低，所以，LTC4124 充電器和電池在整個充電期間始終保持接近室溫的狀態。

圖 12: 基於 LTC4125 和 LTC4124 的無線充電器多種配置在 3.5 mm 氣隙下的效率。



結論

LTC4125 可以配置為具備控制輸入的功率可調發射器。透過 LTC4124 無線充電器接收器分流可以為發射器提供回饋訊號。透過半波整流器、分壓器、低通濾波器和比較器，可對回饋訊號進行解調。將處理後的訊號饋送至基於 LTC4125 的功率可調發射器中可閉合控制迴路。我們已構建了原型，用於驗證此概念。此原型能夠對耦合係數和充電電流的變化做出快速平穩的回應。透過這種方法，最終用戶將接收器放置在發射器上方時，便可以允許更大偏差，而無需擔心接收器是否能夠獲取所需的功率。此外，這種閉迴路方法可以讓發射器輸出功率始終匹配接收器的功率需求，從而提高了整體效率，使整個充電週期更加安全可靠。 

COMPOTECHAsia 驗書

每週一、三、五與您分享精彩內容

<https://www.facebook.com/lookcompotech>