

高效率離線式 LED 照明驅動電路

High frequency off-line LED illumination driver circuit

黃昆松
電機工程系
吳鳳科技大學

摘要

LED 照明應用，隨著價格下降而日益普及，其中離線式照明應用極具市場潛力。具備高效率、工作穩定以及低價位等特點，為 LED 驅動電路發展驅勢。

本文將探討具廣泛交流輸入電壓之單級 LED 驅動電路，電力迴路以隔離式返馳式轉換器為架構，控制迴路則採用電流模式控制。電路運作為多模式控制，依負載不同採不同運作模式，切換頻率隨之改變，使電路在各種運作模式下均可以獲得高效率。最後以一硬體電路驗證其性能。

關鍵詞：LED 照明、返馳式轉換器、多模式控制。

Abstract

LED illumination applications have become popular with their down-going prices. The off-line illumination applications have potential market especially. With high efficiency, working stable and low price are trends of LED driver development.

In this paper a single stage LED driver circuit with wide AC input voltage range is explored. The structure of its power circuit is an isolated flyback while its control circuit is the current mode control. The circuit works with multi-mode depending on the load conditions. The switching frequencies are variable in order to get high efficiency at all working modes. Finally, a hardware is proposed to verify its performances.

Keywords : LED illumination, flyback converter, multi-mode control.

一、簡介

隨著節能減碳呼聲日益升高，而目前國內總用電量中照明佔約 12%，故推動節能照明為重要方式之一。眾多照明燈具中以 LED 為光源之燈具有體積小、省電、反應速度快、可靠度高以及壽命長等優點，未來極有可能取代大部份傳統燈具，故極具開發潛力 [1]。

LED 為單向導通元件，大多數 LED 應用是以直流驅動，若電源為定電壓源，則需串聯一限流電阻，避免因電源電壓不穩定或是 LED 順向電壓因溫度改變而變化造成 LED 燒毀，但是限流電阻會造成額外功率消耗，故並非理想做法，而定電流驅動 LED 為較理想做法，它僅需要一個電阻值很小電流感測電阻，造成額外功率消耗較小 [2]。

由於潛在市場大，使用交流市電是 LED 照明最有價值的應用場合。驅動電路設計，首先它必須克服降壓和整流問題，同時它需要兼具提高轉換效率、縮小體積、降低成本等條件。2W 以下產品可採用電容降壓後加橋式整流及電容濾波，電路簡單、成本低、體積小，但是效率較低、工作電壓不穩、亮度不穩 [3]。

應用 PWM 型切換式轉換器 (switching converter) 將電能轉換為負載所需電能型式，已經取代線性轉換器 (linear converter) 成為主流。切換式轉換器具有廣泛電壓轉換範圍、體積小、高轉換效率等優勢。例如：單級 SEPIC 功率因數修正器可以用以驅動照明 LED，具有高效率及高功因特點 [4]。後來 SEPIC 功率因數修正器加上市售的邊界導通模式控制器實現具有可調性回授控制之可調光 LED 驅動器 [5]。此外採用單級返馳式轉換器運



作於連續導通模式(continuous conduction mode, CCM)下，應用非線性載波法控制輸入電流和電壓成線性關係可達到高功因的目的，並以雙回路控制方式有效達成定電流輸出控制[6]。

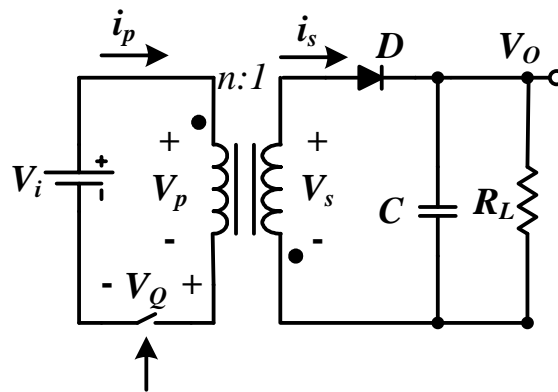
本文將介紹一種單級低功率 LED 驅動電路，輸入為交流市電，經二極體整流濾波為直流後，透過切換式轉換器輸出定電流電能驅動 LED。其電力迴路為 DC/DC 返馳式轉換器，而控制回路為雙迴路回授之電流模式控制，其運作模式及切換頻率依負載不同而改變，使整體具高平均效率。

二、電力迴路

PWM 型切換式轉換器藉由重複 ON/OFF 開關方式把某電壓準位直流電能轉換為高頻方波模式，再經過整流濾波後轉成另一種電壓準位之直流電能。當輸出入間需要電氣隔離時可以利用變壓器並同時進行電壓準位改變。而返馳式轉換器為其中最常使用的一種[7,8]。

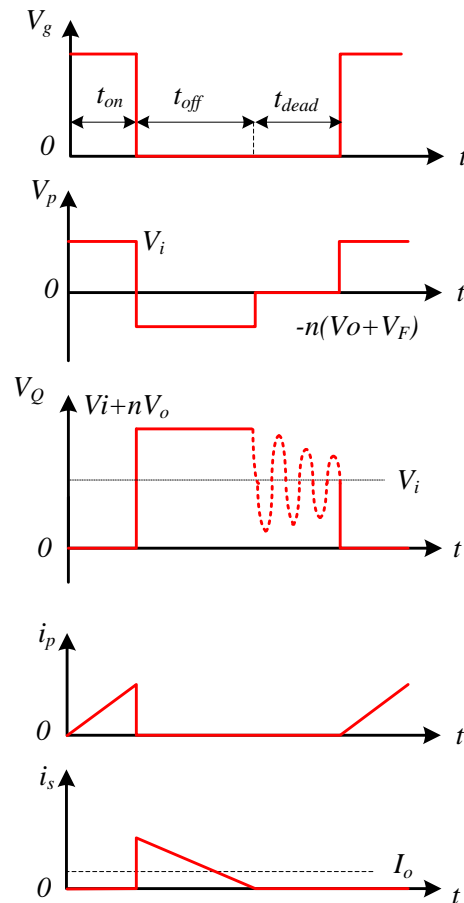
固定切換頻式之返馳式轉換器運作於 CCM，儲能電感在一週期內未完全轉移至輸出側或是連續導通模式 (discontinuous conduction mode, DCM)，儲能電感在一週期內完全轉移。一般而言低壓重載時操作在 CCM 模式而高壓輕載時偏向 DCM 模式。介於兩者之間稱為邊界導通模式 (boundary conduction mode, BCM)，該時候電流值是設計轉換器的重要參數之一。

圖一所示為一個 DC-DC 返馳式轉換器電力迴路，當電路在 DCM 模式運時其相關位置電壓及電流波形在圖二。其中 V_g 為開關觸發訊號，其 t_{on} 及週期 T_s 均由控制電路決定， V_g 訊號由高準位轉低準位時機是當感測電流訊號與控制電壓相同時。在 t_{on} 時段開關 ON，電源對變壓器充電，一次側電流 i_p 呈線性上升，此時二次側因變壓器繞線極性關係二極體 OFF。當觸發訊號由高準位轉低準位時進入 t_{off} 時段開關 OFF，儲存於變壓器之能量釋放，二極體 ON，二次側電流 i_s 呈線性下降。當能量釋放完二極體又 OFF，於是一次側電感將與開關上之電容形成高頻振盪。



圖一、DC-DC 返馳式轉換器電力迴路圖。



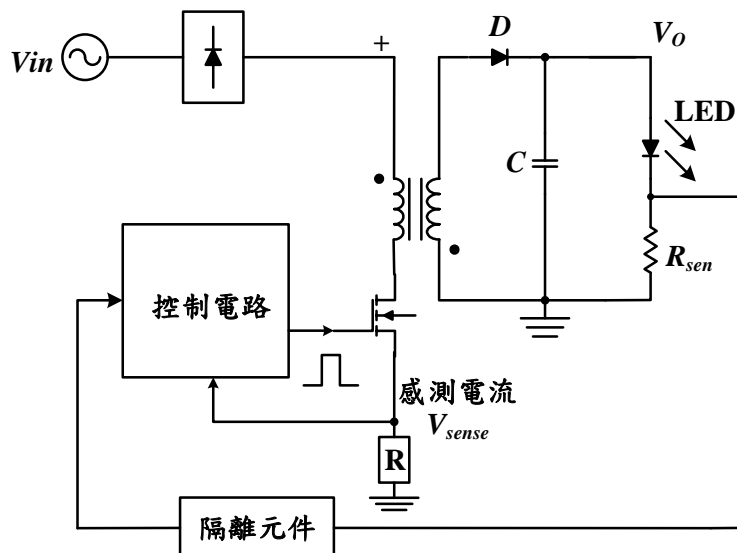


圖二、DCM 模式運時其相關位置電壓及電流波形。

三、控制回路

電流模式控制比起電壓模式控制多了一次側電流迴授，形成雙迴路迴授。每一週期開始時由一時間脈衝啟動 PWM 栓定(latch)，輸出訊號與一個基準電壓誤差值經誤差放大器後獲得控制電壓，該控制電壓再與一次側感測電流轉換之電壓訊號比較，當該電壓訊號與控制電壓相等時，PWM 栓定將被關閉，即完成一週期內之責任 (Duty) [9]。電流模式控制可以提高電源電壓調整率、負載調整率及暫態響應，故被廣為應用。對於 LED 而言，由於負載輸出以恆定電流為控制標的而非固定電壓，故將輸出電流透過一個串聯於 LED 之感測電阻 R_{sen} 擷取電流訊號作為迴授訊號，如圖三所示，回授路徑的隔離元件可採用光耦合器，體積小，價格又低廉。





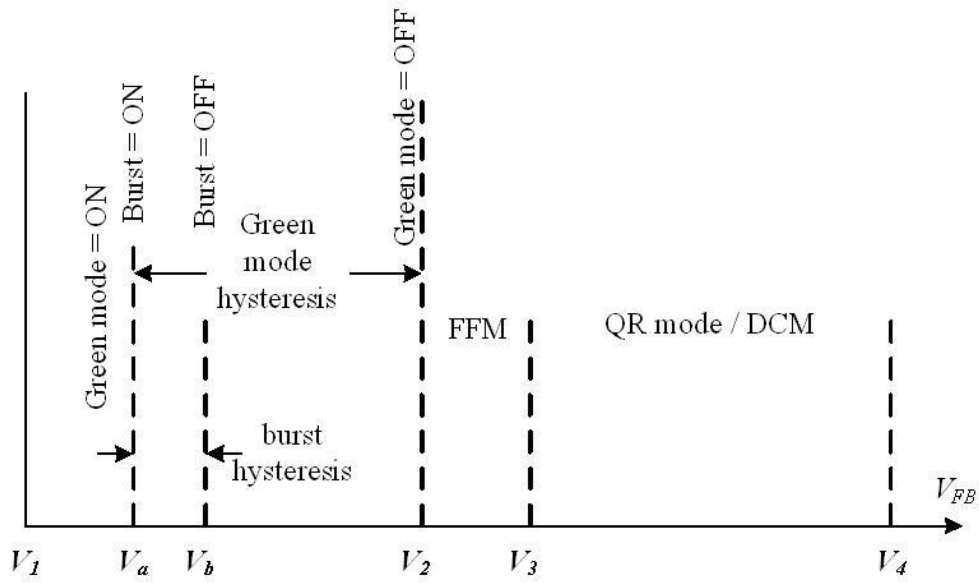
圖三、電流模式控制迴路。

為求高平均效率可以在不同負載下取不同運作模式，甚至在待機模式極低功率需求下。多模式控制返馳式驅動電路運作模式包括：(1)重載時在準諧振模式 (quasi-resonant mode, QR mode) 或者是不連續導通模式 DCM，即為變頻的 BCM 加上固定 t_{dead} 而變成變頻的 DCM，在 QR 模式下，當輸入電壓固定時，切換頻率將隨負載下降而上升。反之，當負載固定時，切換頻率將隨輸入電壓上升而上升。(2)較輕負載時則進入頻率折疊模式 (frequency foldback mode, FFM mode)，QR 模式雖然可以降低切換損失，但當負載下降其切換頻率反而上升，這趨勢顯然不對，為了降低切換頻率可以延長 t_{dead} ，而維持 MOSFET 開關 t_{on} 不變，這種方式稱為頻率折疊模式。(3)在極輕載時，或所謂待機狀態則進入綠能模式 (green mode)，由於這種模式運作下，週期極長，甚至低於一般電源頻率，且其脈波極窄，脈波間相隔極遠，故又稱跳頻模式 (pulse-skipping mode)，或可稱為爆頻模式 (burst mode)。其中除 DCM 模式其切換頻式為固定外，其餘各種模式切換頻式皆隨時改變[10]。

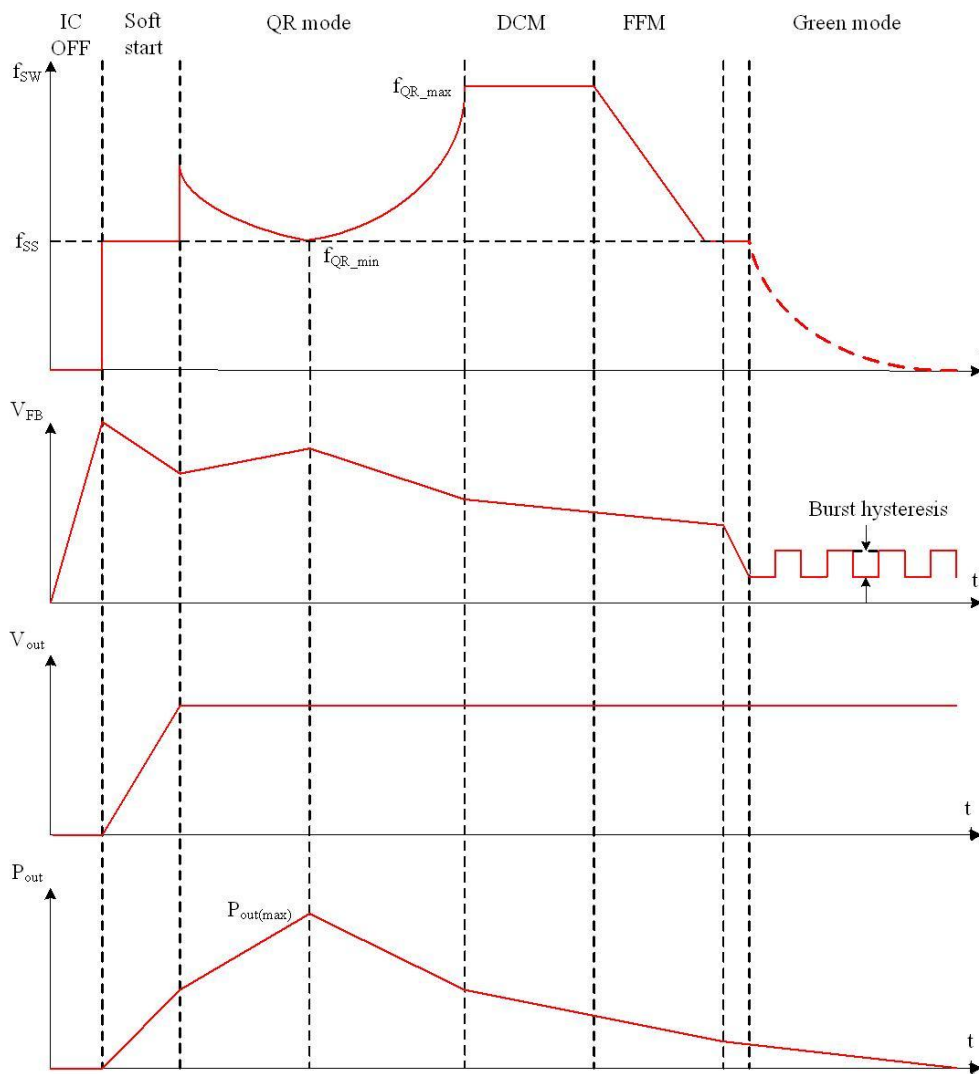
多模式控制轉換器，其運作模式之變化可以以迴授電壓高低為依據。如圖四所示。Green mode 介於 V_1 與 V_2 間，其中 green mode 遲滯 (hysteresis) 介於 V_a 與 V_2 間，這乃控制 Green Mode 之週期，其中 burst 遲滯界於 V_a 與 V_b 間，這乃控制 burst 脈波之寬度。FFM 界於 V_2 與 V_3 間，QR/DCM 模式則界於 V_3 與 V_4 間。

各種不同模式運作下，其切換頻率 (f_{sw})、迴授電壓 (V_{FB})、輸出電壓 (V_{out})、負載 (P_{out}) 之間變化如圖五所示。從電源啟動至控制 IC 軟啟動 (soft start) 至穩態過程，除了 green mode 運作外，切換頻率皆在穩態頻率下限值 (f_{ss}) 之上。迴授電壓因控制 IC 內部電源提供，隨即出現電壓，而後，其值高低將決定轉換器運作模式，如圖四所示，而輸出電壓於控制 IC 啟動完成後將穩定，除在 Green mode 下漣波較大外，均可維持穩定值，而輸出功率將對照在 QR 模式下之變化，即隨負載上升而降低切換頻率，直到 f_{ss} 值，當負載下降時切換頻率亦將升高至上限而進入 DCM。隨著負載再降而進入 FFM，切換頻率又隨負載下降而降低。當負載再降至極低限時進入 green mode 運作，切換頻率低於 f_{ss} 值，真正運作頻率則視實際負載而定。





圖四、多模式控制轉換器，其與迴授電壓高低之對照圖。



圖五、各種不同模式運作下，其頻率、迴授電壓、輸出電壓、負載之間變化。



四、硬體電路

本文採用測試硬體規格如下：

輸入電壓：185V ~ 265V AC

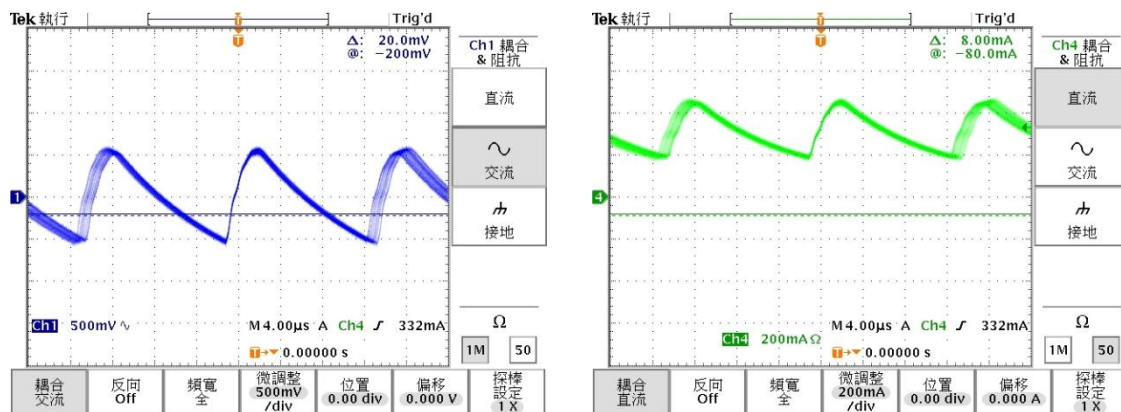
輸出電壓：14V ~ 18V DC

輸出電流：0.2A ~ 0.7A

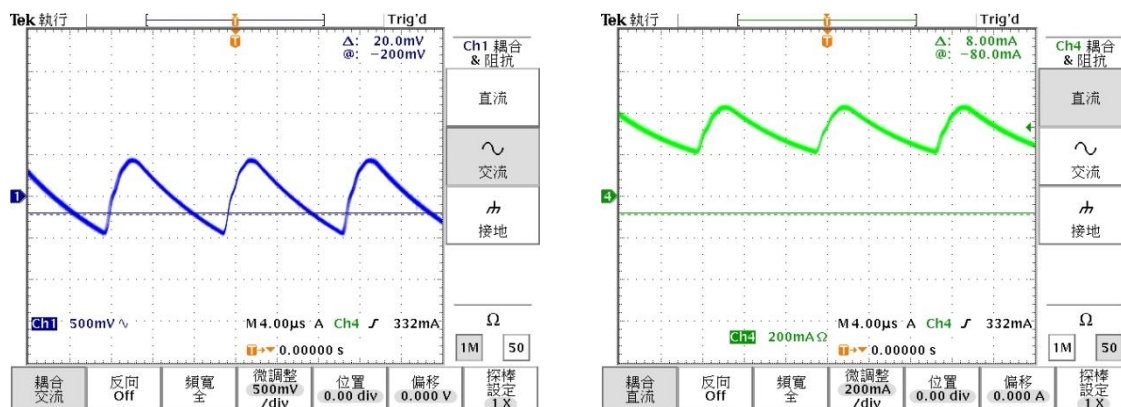
負載：5 顆高亮度 LED

控制電路採用電流模式控制之市售控制 IC，它具有多模式控制功能。當負載電流為 0.312mA，而外加電壓由 185V 變化至 265V，效率及輸入功率因數如表一所示。我們發現在輸入電壓變化範圍內負載電流並無改變，線電壓調整率極低，且電路效率皆相當高，在 80% 附近，但是因濾波電路關係導致輸入功率因數(power factor)偏低，約在 0.5 附近，此電路並無功率因數修正功能。

在 185V 輸入電壓、負載電流為 312mA 時，輸出電壓約為 15.5V，其輸出電壓漣波及輸出電流如圖六所示，輸出電壓振幅約 1V，而輸出電流振幅達 220mA，此時切換頻率約為 65KHz。



圖六、輸入電壓 185V、負載電流為 0.312A 時，其輸出電壓漣波(左)及輸出電流(右)。



圖七、輸入電壓 265V、負載電流為 0.316A 時，其輸出電壓漣波(左)及輸出電流波形(右)。

圖七所示為在 265V 輸入電壓、負載電流為 312mA 時，輸出電壓及輸出電流波形。輸出電壓振幅約 1V，而輸出電流振幅達 220mA，此時切換頻率約為 83KHz。觀察以上在輸入電壓上限及下限，輸出電壓及電流並無顯著變化。



表一、固定負載電流下外加電壓與效率及輸入功率因數。

輸入電壓(v)	185	195	205	215	225	235	245	255	265
效率	0.81	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.79	0.78	0.78
功率因數	0.53	0.51	0.51	0.50	0.48	0.48	0.47	0.47	0.46

五、結論

本文探討單級返馳式轉換器用於驅動高亮度 LED。控制 IC 採用一般商用產品，在輸入電壓範圍內能夠對負載 LED 輸出穩定電流。本文對此返馳式轉換器及其控制電路進行分析探討，且以硬體電路量測以印證其性能。在固定負載電流下其效率均接近 0.8，顯示電路高效率。改善功率因數可以外加另一級主動功因修正電路，但將增加額外成本及電路體積。

參考文獻

- [1] 李麗玲、李清然、黃素琴, “標準模組與 LED 照明全球商機”, 電機月刊, 19 卷第二期, 二月號, 2009.
- [2] 魏慶德, ”LED 燈之高效率電流平衡電路”, 電機月刊, 20 卷第二期, 二月號, 2010.
- [3] 蕭旭良、黃昆松, ”電容降壓式 LED 燈驅動電路”, 2011 安全管理與工程技術國際研討會, 11 月 2011.
- [4] 邱煌仁、鄭聖弘, ”用於驅動照明 LED 燈之單級 SEPIC 電能轉換器”, 電子月刊, 14 卷第二期, 二月號, 2008.
- [5] 邱煌仁、鄭世仁、羅有綱, ”使用在於低功率照明系統的可調光 LED 驅動器”, 電子月刊, 16 卷第二期, 二月號, 2010
- [6] 潘屏榮、劉立祥、陳遵立, ”高效率單級返遲式 LED 照明驅動控制器設計”, 電子月刊, 15 卷第八期, 八月號, 2009
- [7] Abraham I. Pressman, “Switching Power Supply Design”, McGRAW-HILL, 1998。
- [8] 黃昆松、吳文誌、范淑媛, ”切換式轉換器輸出濾波探討-以返馳式轉換器為例”, 吳鳳學報十九期, 3 月, 2012 年。
- [9] 黃昆松、郭芳娥, ”50W 順向式轉換器之研製”, 吳鳳學報十四期, 3 月, 2007。
- [10] 王信雄、黃昆松、陳世偉, ”多模式控制之返馳式轉換器”, 電機月刊, 7 月, 2009。

