

導入時間延遲遲滯控制驅動電路 高亮度LED定電流控制效能大躍進

》 Giovanni Carraro

高亮度LED的使用正逐漸普及到更多應用中，推動原始設備製造商(OEM)以及終端使用者接受這項技術的主要原因在於其擁有許多吸引人的特性。和傳統照明設備比較，高亮度LED在高效率、小體積以及安全低電壓運作的組合上，帶來更高彈性的設計商機，例如燈管在寒冷天氣中擁有更佳的效能表現、優異的色階與亮度，以及更長的運作壽命。此外，無汞的特性，更是照明產業逐漸因為環保問題而轉向採用綠色科技趨勢下的重要優勢。

不過當每顆單獨LED的瓦特數與工作電流達到5瓦及1.5安培時，元件本身偏高的生產差異性就對傳統的控制技術例如不夠精確且效率不高的電阻式限流方式造成威脅。此外，為了解決精確度與高效率電流控制要求所新開發的電路，在某些情況下也能夠以低成本帶來簡化應用電路設計的實用功能。

線串驅動電路要求

高亮度LED的亮度與色彩都是由順向電流控制的函數，要確保以線串式連接的每顆高亮度LED都能夠提供相同的亮度輸出，最好的方式是以串列的方式加以連接，不過這樣的安排卻須要搭配較高電壓的電流控制電路；另一方面，採用並列方式連接則會因為高亮度LED本身變化較大的IV曲線、影響順向電壓(V_F)的生產誤差，以及順向電壓因為溫度變化而產生的飄移而導致不佳的結果，例如Lumiled公司Luxeon III系列的順向電壓在不同LED間的差異可能達到20%(表1)。

採用串列式連接的高亮度LED線串驅動電路，必須在如溫度相關飄移等電氣參數變化下，還能維持穩定的平均負載電流。此外，與高亮度LED串列連接的小型感測電阻，必須可提供串列電流的持續回授訊號。

表1 LED順向電壓變化範例

Luxeon III	V_F (V) @ 25°C			V_F variation	V_F Tempco (mV/°C)
	Min	Typ	Max		
White, Green, Blue	3.03 @0.7A	3.7 @0.7A	4.47 @0.7A	19.50%	-2
Red, Amber	2.31 @1.4A	2.95 @1.4A	3.51 @1.4A	20.30%	-2

以接地為參考點的感測電阻雖然能夠簡化電流感測電路，但卻需要降壓式轉換器提供高電壓驅動電路。為了避免使用隔離變壓器，設計上必須選擇使用高電壓端感測搭配低電壓驅動電路，或者是低電壓端感測搭配高電壓驅動電路的方式，為達成此一設計，採用具備時間延遲遲滯控制的高電壓端降壓轉換驅動電路，將是有一個有效方法(圖1)。

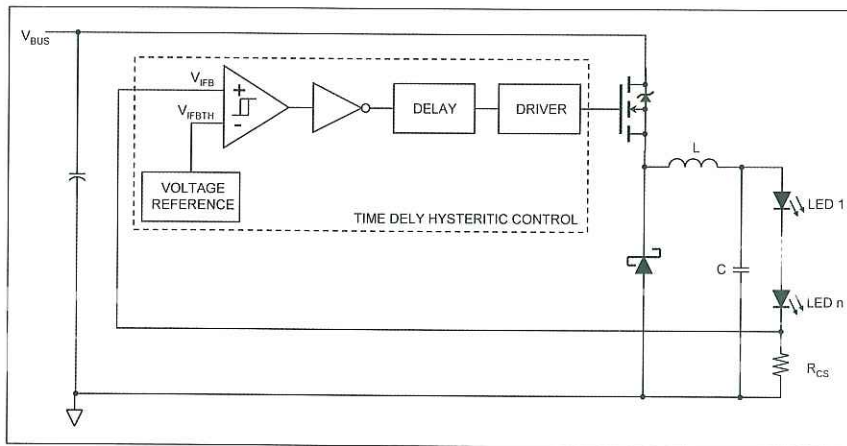


圖1 延時遲滯控制電路方塊圖

維持恆定精準電流

這個電路的控制器透過將回授電壓 V_{IFB} 與0.5伏特基準內部參考電壓 V_{IFBTH} 比較來進行輸出電流的控制，當 V_{IFB} 低於 V_{IFBTH} 時，MOSFET導通，由直流匯流排提供高亮度LED電源，同時LC諧振電路也在 V_{IFB} 上升時儲存能量，當 V_{IFB} 到達臨界值 V_{IFBTH} 時，MOSFET就會在電路內部固定時間延遲後斷開。

這個時間延遲讓 V_{IFB} 可以在MOSFET斷開前提升到超過臨界值，當MOSFET斷開時，諧振電路會釋出儲存的能量來提供LED線串電源。在此期間， V_{IFB} 會以線性方式下降直到到達固定的臨界點。雖然比較器會在臨界點交越時切換，但電路的延遲會讓 V_{IFB} 在MOSFET導通前繼續下滑，然後接著進行下一個週期。

採用固定時間延遲以及電路持續切換的結果是，控制器會將線串電流調整在一個平均值 $I_{OUT(AVG)}$ ，也就是 V_{IFBTH} (通常為0.5伏特)除以感測電阻 R_{CS} 的值，這個相對關係只要在LC儲存能量的容量大到足以維持夠低的漣波，例如低於0.1伏特時都有效。

這樣利用控制器的延遲來達到遲滯空間的調節方式，讓降壓式轉換器能夠在輸入與輸出電壓位於合理比例範圍下都能夠自動調整運作。而提高輸入輸出電壓比會加大電流漣波，輸入電壓以及限流要求決定了有效週期率，這樣的拓撲結構提供持續且精確的電流控制，同時不受輸入以及高亮度LED前向電壓變動的影響。

圖2與圖3以及表2與表3反映了這個電路以350毫安培推動兩片以

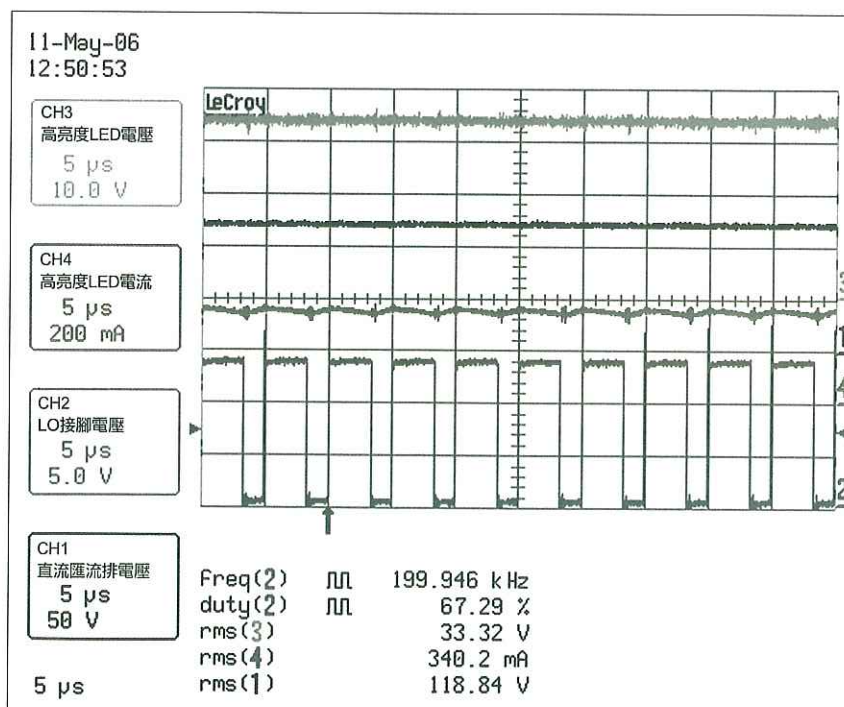


圖2 十二顆高亮度LED在350毫安培、90VAC輸入情況時的示波器輸出圖。

串列方式連接，內含六顆Luxeon Flood 25-0032高亮度LED電路板，輸入電壓為90~265VAC萬用輸入電壓範圍的結果。表2顯示在整個輸入電壓範圍內良好的電流調節效果，圖2與圖3則顯示和原理預測相同，較高輸入電壓會有較高漣波的結果，原因是相對較小的有效週期率，這意味在市電

電壓較低的地區，如北美與日本會有較佳的效能表現。不過，就算是在最差的情況下，控制器都能夠在90~265VAC的交流電源輸入範圍內維持良好的電流穩定效果。另一個採用一片六顆高亮度LED電路板的測量結果顯示，負載電壓由33.4伏特變化到16.4伏特時，電流會有±1.3%的變動(表3)。

這個採用六顆高亮度LED的系統在效率上要比使用十二顆元件的組態表現要差，原因是這個拓撲結構的效率為匯流排到輸出電壓比的反函數(表3)，不過，六顆高亮度LED系統的效率還是能透過修改諧振電路來加以改善。

採同步結構提升電路效率

將轉換器修改為同步降壓式拓撲結構可以改善電路的效率，特別是在較高負載電流與輸入電壓的情況下，電路複雜度與成本方面的增加並不高(圖4)。由於匯流排到輸出電壓間的比值控制了降壓式轉換器的有效週期率，因此在高比率系統中低電壓端元件大部分時間都在導通狀態，MOSFET的 $I^2R_{DS(on)}$ 導通耗損通常會比二極體的VI耗損值還小。不過為了能夠適當地比較兩種拓撲結構，也必須考慮到因二極體反向回復時間以及MOSFET本體二極體耗損的差距。

當高電壓端MOSFET導通時，共模點 V_S 會快速由地電位變化到匯流排電壓(V_{BUS})，低電壓端MOSFET或二極體的導通電流會在反向回復時間讓它由 V_S 下滑到接地，這個動作會帶來功率耗損、發熱以及對低電壓端切換元件的壓力。二極體的

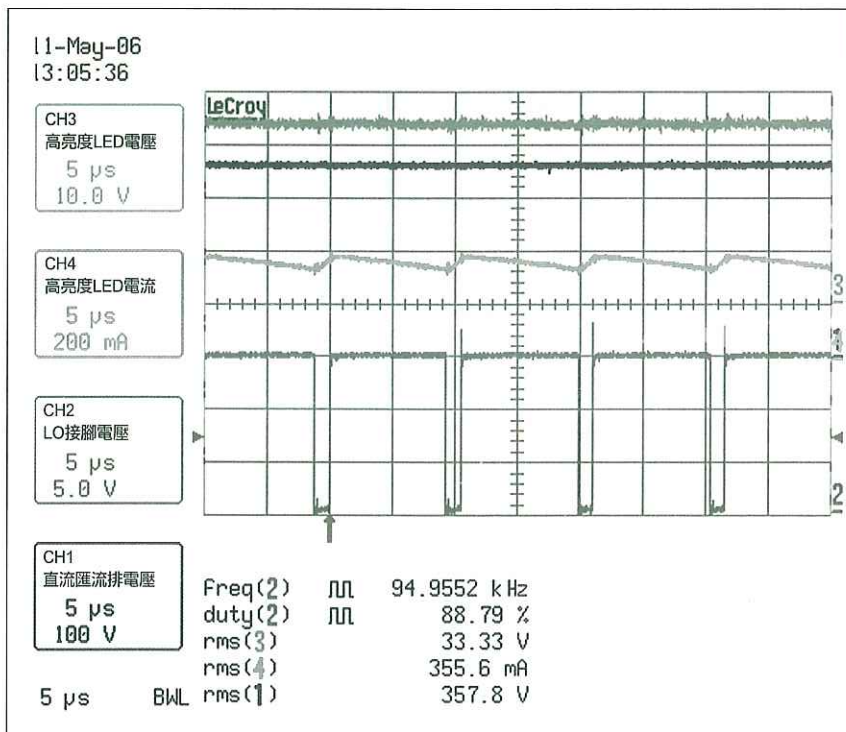


圖3 十二顆高亮度LED在350毫安培、265 VAC輸入時的示波器輸出圖。

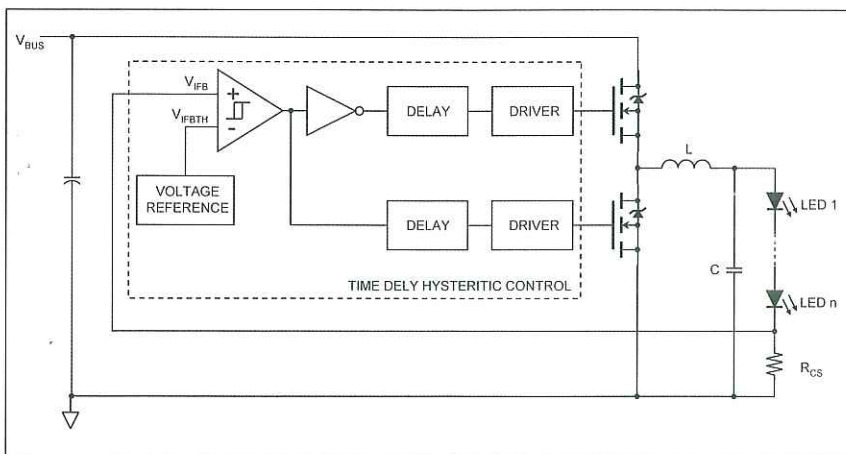


圖4 同步降壓轉換組態中的延時遲滯控制導入情形

表2 以350毫安培驅動十二顆高亮度LED(兩片Luxeon Flood 25-0032電路板)的實驗結果。

VAC Input (VAC)	P _{in} (W)	I _{in} (mA)	I _{led} (mA)	V _{led} (V)	LO freq (kHz)	V _{BUS} (V)	Efficiency V _{led} × I _{led} / P _{in}
90	14.8	241	340	33.4	200	120	76.7%
120	15.5	207	342	33.4	180	165	73.7%
140	16.1	190	345	33.4	160	190	71.6%
180	17.4	168	348	33.4	137	245	66.8%
220	19	157	356	33.4	115	300	62.6%
265	20.8	150	362	33.4	95	360	58.1%

表3 六顆高亮度LED(一片LUXEON flood 25-0032電路板)以350毫安培驅動的實驗結果。

VAC Input (VAC)	P _{in} (W)	I _{in} (mA)	I _{led} (mA)	V _{led} (V)	LO freq (kHz)	V _{BUS} (V)	Efficiency V _{led} × I _{led} / P _{in}
90	8.1	144	344	16.4	146	120	69.6%
120	8.7	126	351	16.4	120	165	66.2%
140	9.1	118	352	16.4	105	190	63.4%
180	10.4	110	356	16.4	86	254	56.1%
220	12	108	365	16.5	72	300	50.2%
265	14	107	369	16.5	58	360	43.5%

反向回復時間通常要比MOSFET的本體二極體短，在較低頻率與較小負載電流時，MOSFET本體二極體較長的回復時間雖然不會造成問題，但在較高頻率與較大電流下，則必須要比較各種拓撲結構低電壓端元件的整體耗損，以便進行設計的最佳化。

為了降低MOSFET本體二極體反向回復所造成的耗損，可在MOSFET上並聯一顆蕭特基二極體。由於兩個元件順向電壓的差異，電感器將會在切換的遲滯時間內透過蕭特基吸入電流，當高電壓端FET導通時，蕭特基較快的反向回復時間將主宰整個電路，因為本體二極體沒有在順向導通模式下運作，不過在低電壓端導通期間，MOSFET的低導通電阻將能夠確保較低的導通耗損。^[1]

(本文作者任職於國際整流器公司)

參考資料

1. Limileds Luxeon III DS45
2. K.H. Billings, Switch mode power supply handbook(交換式電源設計手冊) McGraw Hill, 1989
3. O. Ronat, P. Green; International Rectifier, El Segundo, CA; Selecting the Right Driver Topology for an LED System(如何為LED系統選擇正確的驅動拓撲結構); Intertech LED 2005 Proceedings; Oct. 2005
4. O. Ronat, P. Green, S.Ragona; International Rectifier, El Segundo, CA; Accurate current control to drive high power LED string(推動高功率LED線串的精確電流控制設計); APEC 2006 Proceedings; Mar. 2006