



# 照明之閃爍現象與對策

## The Flicker of Lighting and Its Solutions

林士凱 S. K. Lin<sup>1</sup>、許超閔 C. M. Shu<sup>2</sup>、黃祺峻 C. C. Huang<sup>3</sup>、  
李清然 C. R. Lee<sup>4</sup>

工研院綠能所(GEL/ITRI) <sup>1</sup>資深工程師、<sup>2</sup>副工程師、<sup>3</sup>研究員/經理、  
<sup>4</sup>資深研究員

人工照明引起的週期性閃爍，可能會導致使用者不舒適及引發工安狀況，甚或影響人們身、心理及精神狀態。本文針對數種目前常用的照明電光源，透過實際量測與計算，分別分析其閃爍情況及對應的指標值，以探討閃爍發生的原因。最後，本文從電控技術的角度，提出改善閃爍現象的具體可行方法，作為開發人員進行產品設計及消費者進行產品選購之參考。

The periodical flicker from lighting fixture could make user be uncomfortable and cause the occupational risk. Furthermore it would impact the mental and physiological condition of people. For finding the cause of flicker from general lighting fixtures, the analysis of flicker and its index has been proposed in this article with measurement and calculation. In the result, the practical solution is proposed in this paper from the power technology point of view. This result will be the reference for product development and procurement.

### 關鍵詞/Key Words

照明(Lighting)、閃爍(Flicker)、發光二極體(Light Emitting Diode; LED)、電流漣波(Current Ripple)

## 前言

**閃**爍(Flicker)泛指光線強弱變化的現象，其特徵包括變化的幅度與速度，原本是自然存在的現象，但人工照明引起的週期性閃爍問題（一稱頻閃），卻在近期被熱烈討論，並被指出有危害健康之虞，因此成為照明(Lighting)的焦點議題之一。

人類是高度依賴視覺的動物，在日常生活中，視覺提供了我們七成以上的外來

資訊；而人們視覺對於光線的感受，除了明暗之外，還包括顏色及閃爍等。這些不同形態的光線進入眼睛後，除了提供人們辨識外在環境與物件的形狀之外，還會更進一步在腦中產生美醜、安危、冷暖，甚至時間的感覺。

在科技時代的今日，人們在人工照明環境的生活時間越來越長，對於人造光源也越來越依賴。拜供電系統技術成熟與普及應用之賜，使電燈在方便、安全、經

濟、效果等諸多方面的競比之下，成為現階段人工光源的技術領先者，並佔有絕對多數的使用量。但由於光源本身的物理特性、以交流市電供電，以及電控與電源轉換器的設計方式等因素，使得現行電燈經常存在週期性的閃爍現象。

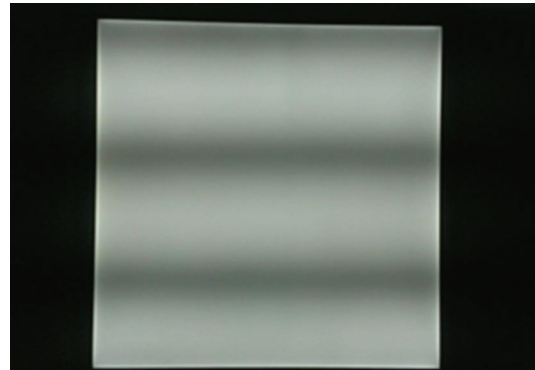
人眼對閃爍的察覺能力，依閃爍的振幅與頻率而異。一般而言，當閃爍頻率達到50 Hz以上，人眼就不易察覺；而光源亮度較高時，也比較不容易察覺。當閃爍發生時，人眼視覺會受到影響，例如運動中的物體影像會變模糊；旋轉中的物體可能會看成慢轉、反轉或停轉等錯覺，類似影片中看車輪轉動的現象。由於閃爍可能造成視覺對於物體的移動速度及對轉動方向產生錯覺，因此有導致工安狀況的疑慮。

近期的醫學研究即針對人眼不能察覺的閃爍現象，探討其對人們身、心理及精神狀態的影響。根據美國能源局(U.S. Department of Energy)在2013年公佈的閃爍說明，光源的低頻閃爍，可能與使用者頭痛、容易疲勞、視力模糊、視力減弱等不適有關聯，甚至可能會觸發癲癇發作。而醫學研究則認為，閃爍可能導致人體的不良生理反應，包括：視力、注意力受影響；眼睛容易疲勞，引起頭痛；引發光敏性癲癇病以及自閉症等<sup>(1-3)</sup>。

本文針對目前常用的數種人工照明燈具，實際量測分析其輸出光之閃爍現象，並透過比對其驅動電流的波形，尋找抑制閃爍的可行策略，提供作為照明電源轉換器設計之參考。

## 照明燈具閃爍現象綜合探討

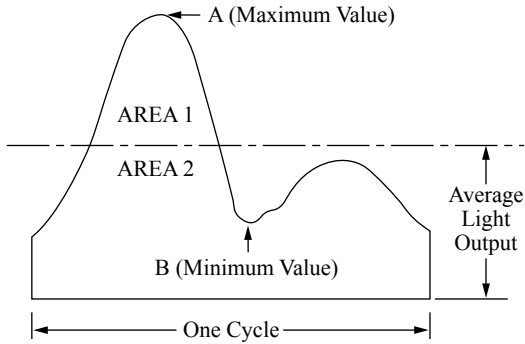
目前不同國家地區的交流電源系統，



▲圖一 數位鏡頭下的LED平板燈閃爍現象

其電源頻率有50 Hz與60 Hz兩種，燈具在此電源系統中工作，可能產生2倍頻率的閃爍，意即100 Hz與120 Hz，皆超過一般人眼能察覺的範圍；然而在高速攝影時，卻會發生相片的亮度明暗不定的困擾。現今大家習慣使用數位攝像器具，尤其智慧型手機幾乎已是人手一機，在數位鏡頭之下，當發生閃爍現象時，畫面會出現明顯的明暗條紋，俗稱水波紋，如圖一所示的LED平板燈。水波紋看似LED平板燈在不同區域產生不同的亮度，實際上是由於數位鏡頭是以掃描的方式對整個畫面由左而右、由上而下逐點取樣，因此不同區域是在不同時間下取樣的結果；當發生閃爍現象時，某些區域會取樣到較亮的畫面，而另一些區域則取樣到較暗的畫面。有趣的是，手機鏡頭也是現在LED燈具業界檢視閃爍現象的非正式方法。

美國國家標準協會(American National Standards Institute; ANSI)/北美照明工程學會IES(Illuminating Engineering Society of North America)將閃爍的指標以閃爍百分比(Percent Flicker)與閃爍指數(Flicker Index)兩項進行定義，分別對應於圖二的光變動波形<sup>(4)</sup>，



▲圖二 ANSI/IES對閃爍指標的定義<sup>(4)</sup>

在一個週期中：

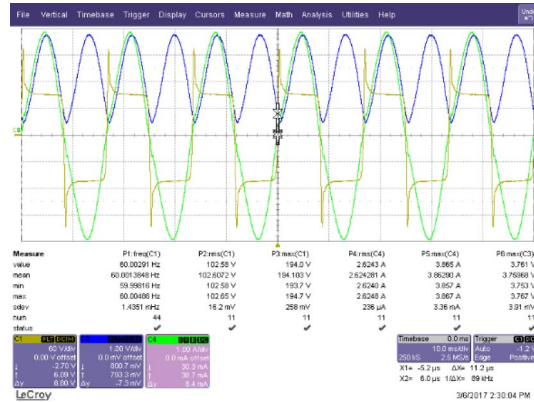
$$\text{Percent Flicker} = 100\% \times (A-B)/(A+B)$$

$$\text{Flicker Index} = \text{AREA 1}/(\text{AREA 1} + \text{AREA 2})$$

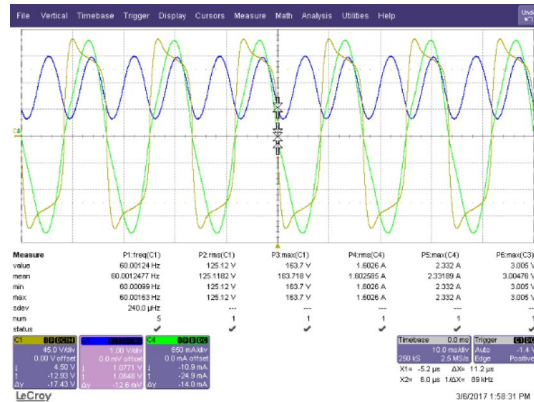
閃爍跟電光源種類及其電源轉換器之性能有直接的關係。以下將目前常用的人工光源，針對其驅動電壓、電流及輸出光之波形進行實際量測，並分別計算其對應的Percent Flicker與Flicker Index值，以呈現其閃爍現象(圖三~圖十四之彩圖請見材料世界網<http://www.materialsnet.com.tw>)。

圖三是高壓鈉燈搭配電磁耦合式安定器，在60 Hz電源供電下的量測結果。其中黃色波形為燈管電壓、綠色波形為燈管電流，而藍色波形則為其輸出光強度。燈管電流近似正弦波，在電流接近零交越的小區段內，輸出光強度大幅下降至峰值的10%左右，計算其Percent Flicker為88.2%，Flicker Index為0.2342。

圖四是水銀燈搭配電磁耦合式安定器，在60 Hz電源供電下的量測結果。其中黃色波形為燈管電壓、綠色波形為燈管電流，而藍色波形則為其輸出光強度。燈管電流近似正弦波，在電流接近零交越的區



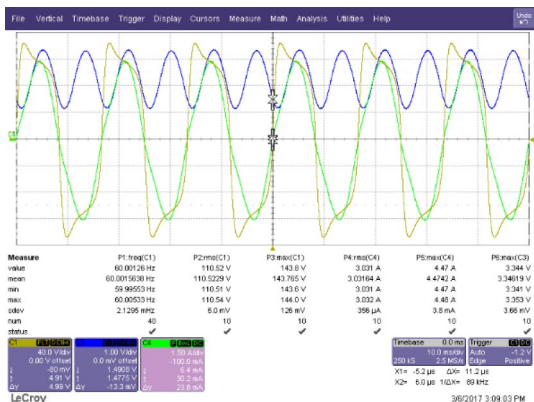
▲圖三 高壓鈉燈搭配電磁耦合式安定器之燈管電壓、電流及輸出光波形



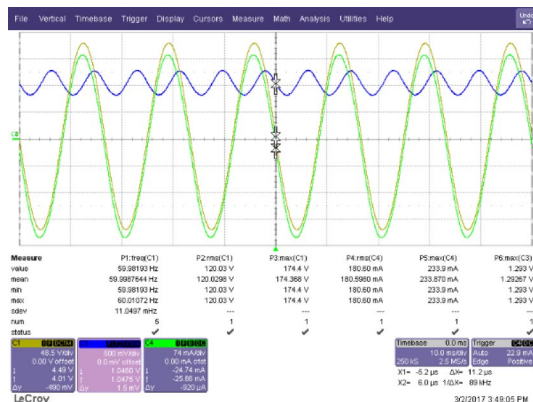
▲圖四 水銀燈搭配電磁耦合式安定器之燈管電壓、電流及輸出光波形

段，輸出光強度大幅下降至峰值的20%左右，計算其Percent Flicker為68.1%，Flicker Index為0.2158。

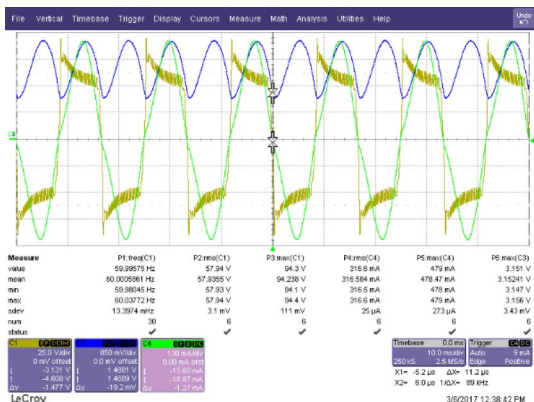
圖五是複金屬燈搭配電磁耦合式安定器，在60 Hz電源供電下的量測結果。其中黃色波形為燈管電壓、綠色波形為燈管電流，而藍色波形則為其輸出光強度。燈管電流近似正弦波，在電流接近零交越的區段，輸出光強度大幅下降至峰值的30%左右，計算其Percent Flicker為53.8%，Flicker



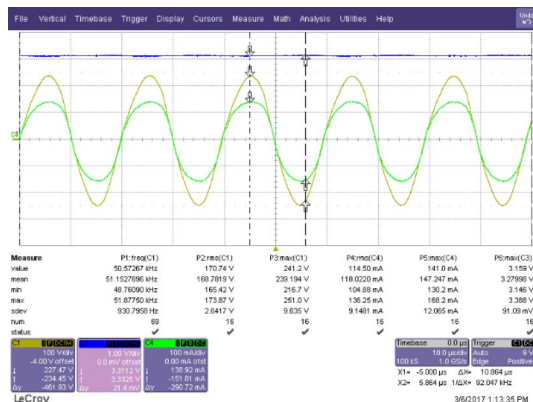
▲圖五 複金屬燈搭配電磁耦合式安定器之燈管電壓、電流及輸出光波形



▲圖七 白熾燈之燈泡電壓、電流及輸出光波形



▲圖六 T8螢光燈搭配電磁耦合式安定器之燈管電壓、電流及輸出光波形



▲圖八 螺旋燈管搭配內藏電子式安定器之燈管電壓、電流及輸出光波形

Index為0.1658。

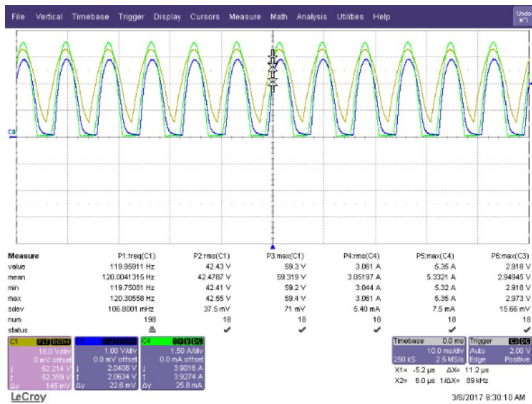
圖六是T8螢光燈搭配電磁耦合式安定器，在60 Hz電源供電下的量測結果。其中黃色波形為燈管電壓、綠色波形為燈管電流，而藍色波形則為其輸出光強度。燈管電流近似正弦波，在電流接近零交越的區段，輸出光強度大幅下降至峰值的33%左右，計算其Percent Flicker為50.4%，Flicker Index為0.1336。

圖七是白熾燈泡在60 Hz電源供電下的

量測結果。其中黃色波形為燈管電壓、綠色波形為燈管電流，而藍色波形則為其輸出光強度。由於白熾燈是以熱發光，雖然燈泡電流為正弦波，但燈絲的熱度跟不上電流的變動速度，因此其輸出光強度的變動量明顯小於T8螢光燈，在電流接近零交越的區段，輸出光強度仍可達峰值的60%以上，計算其Percent Flicker為21.4%，Flicker Index為0.069。

圖八是螺旋燈管搭配內藏電子式安定



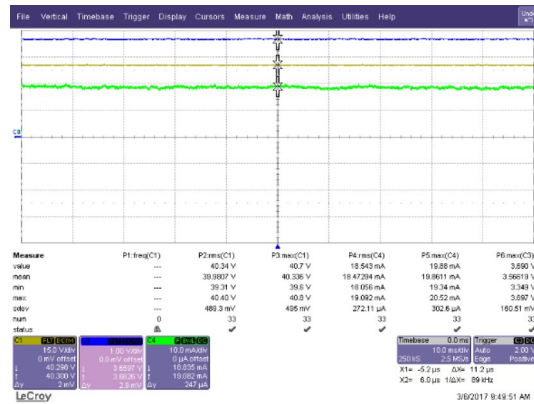


▲圖九 白光LED燈以市電交流電源整流後供電之燈條電壓、電流及輸出光波形

器，在60 Hz電源供電下的量測結果。其中黃色波形為燈管電壓、綠色波形為燈管電流，而藍色波形則為其輸出光強度。由於電子式安定器提供的燈管電流為高頻正弦波，螢光粉的殘留發光得以填補其發光間隙，大幅改善其輸出光強度的穩定度，計算其Percent Flicker為8.10%，Flicker Index為0.0137。

白光LED是新近崛起的固態照明光源，其特性與上述的傳統光源截然不同，必須使用直流電源。若將市電交流電源整流後直接供電給白光LED光源，其量測結果如圖九所示，其中黃色波形為燈條電壓、綠色波形為燈條電流，而藍色波形則為其輸出光強度。由於LED特殊的電壓/電流特性，在電壓較低的區段內，燈條呈現無電流狀態，同時其輸出光強度也降為0，計算其Percent Flicker為99.9%，Flicker Index為0.4391。

若將同一LED光源改以直流電源供應器供電，其量測結果如圖十所示。其中黃色波形為燈條電壓、綠色波形為燈條電



▲圖十 白光LED燈以直流電源供應器供電之燈條電壓、電流及輸出光波形

流，而藍色波形則為其輸出光強度。燈條電流為一定值，輸出光強度也呈現穩定狀態，計算其Percent Flicker為0.06%，Flicker Index為0.0。

歸納前面的實驗結果，可發現氣體放電燈類，包含高壓鈉燈、水銀燈、複金屬燈及螢光燈，在60 Hz弦波電流驅動下，其Percent Flicker都在50%以上，而Flicker Index則超過0.1；相同的驅動電流下，白熾燈類的Percent Flicker和Flicker Index則分別可為20%和0.07左右，兩者差異相當明顯。然而搭配電子式安定器的螺旋燈管則可更低至10%和0.015以下。顯示除了光源本身的物理特性之外，電流是影響光源閃爍現象的最大因素；而比對LED的量測結果，也再次印證了上述的推論。

## 閃爍現象之對策

從前一節的分析結果顯示，調整光源的驅動電流波形，是改善閃爍現象的具體可行方法。氣體放電燈類必須使用交流電流，因此螢光燈類可用高頻電子式安定器

取代低頻的電磁耦合式安定器；而高壓鈉燈、水銀燈、複金屬燈等，若搭配電子式安定器以方波電流驅動，同樣可以明顯改善閃爍現象。

LED是以直流電源驅動，理論上應該不會發生閃爍現象，但由於交流電源轉成直流電壓後，無可避免的存在一些變動量，稱為電壓諧波，又由於LED特殊的電壓/電流特性，少量的電壓諧波即可引起大量的電流諧波，因而產生閃爍現象。另一個引發LED閃爍的常見原因是採用PWM電流調光方式，由於PWM電流本身就是間歇性電流，自然也導致LED是以閃爍的形式發光。

抑制LED閃爍的方法，首先是不能採用PWM電流調光方式，而是使用AM調光，以確保LED電流為連續性電流<sup>(5-6)</sup>。其次，在降低電流諧波量方面，一般會先考慮在直流端使用較大的電容，以降低直流電壓的諧波量，但在合理增加電容量的情況下，其電流諧波量減小的效果仍不盡理想，而且會因LED特性不同而有所差異。因此，根本的解決之道是直接對LED電流進行調整修正，使其維持為一穩定值。

現行單級架構的LED電源供應器產品，主要是一交流轉直流電路架構(AC-DC)，便直接對LED供電<sup>(7-8)</sup>，因此閃爍現象較明顯。為了對LED電流進行調整修正，必須在交流轉直流電路(AC-DC)之後，再加上一級直流轉直流電路(DC-DC)，專門負責LED電流的調整修正工作，形成兩級式電路。兩級式電源供應器固然解決了LED閃爍的現象，但其增加的電路與功耗也衍生了成本、體積、效率等方面的問題，在市場競爭上相對於單級架構的產品明顯吃虧。



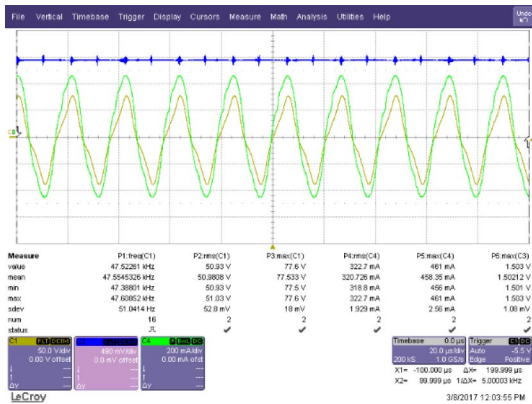
▲圖十一 複金屬燈以方波電流供電之燈管電壓、電流及輸出光波形

有鑑於此，工研院綠能所LED照明研究團隊，依LED的電氣特性，開發出類單級架構的電源供應器設計方式，以一輔助電路負責進行輸出電流調整修正，可達到和直流轉直流電路一樣的穩流效果，而主要的LED功率則由交流轉直流電路直接供應<sup>(9)</sup>。輔助電路相較於傳統的直流轉直流電路，其體積與功耗均大幅減小，市場競爭力可望大幅提升。

## 實驗驗證

針對前述的可能對策，本文以實例分別進行光源之電流與輸出光強度波形量測，同時計算其Flicker Index與Percent Flicker，以驗證電流調整修正，對閃爍現象之改善效果。

透過電子式安定器以方波電流驅動複金屬燈，其量測結果如圖十一所示。其中黃色波形為燈條電壓、綠色波形為燈條電流，而藍色波形則為其輸出光強度。相較於圖五的量測結果，輸出光強度呈現相當穩定的狀態，計算其Flicker Index為0.0081，

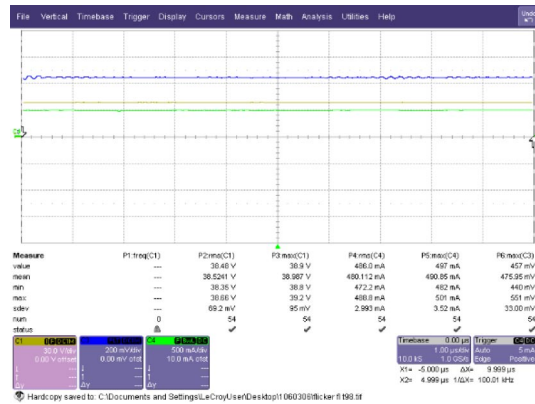


▲圖十二 T8螢光燈搭配高頻電子式安定器之燈管電壓、電流及輸出光波形

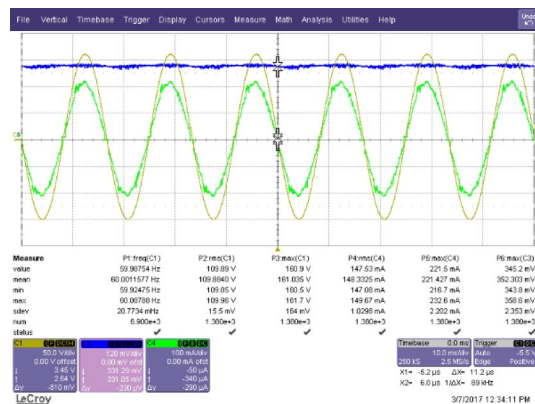
已遠優於白熾燈，但Percent Flicker仍為與白熾燈相近的22.2%。這是因為電流換相時短暫的不連續，造成光輸出有暫振現象，而Percent Flicker是以瞬時值作定義，所以和Flicker Index有不一致的結果。

透過電子式安定器以高頻弦波電流驅動T8螢光燈管，其量測結果如圖十二所示。其中黃色波形為燈條電壓、綠色波形為燈條電流，而藍色波形則為其輸出光強度。相較於圖六的量測結果，輸出光強度呈現相當穩定的狀態，計算其Percent Flicker為2.94%，Flicker Index為0.0064，證實螢光燈搭配高頻電子式安定器，確實可以大幅改善閃爍現象。

在LED燈方面，圖十三是以工研院綠能所開發的低閃爍LED電源供應器，對LED電流進行調整修正後的量測結果。其中黃色波形為燈條電壓、綠色波形為燈條電流，而藍色波形則為其輸出光強度。三組波形都達到非常穩定的狀態，計算其Percent Flicker為0.5%，Flicker Index為0.0009，已接近完全抑制了閃爍的現象。



▲圖十三 LED以工研院綠能所開發的低閃爍電源供應器供電之燈條電壓、電流及輸出光波形



▲圖十四 LED以工研院綠能所開發的低閃爍電源供應器供電之輸入電壓、電流及輸出光波形

圖十四是該低閃爍LED電源供應器之輸入電壓、電流及輸出光波形，可看出輸入端之功因修正的效果。在輸出功率27.3 W時，實測其功率因素(PF) = 0.996，電流總諧波失真率(ATHD) = 6.9%，轉換效率達88.07%。

圖十五是上述低閃爍LED電源供應器之雜型產品，負責輸出電流調整修正的輔助電路位於圖片右側，共有三組，可獨立



▲圖十五 工研院綠能所開發之LED低閃爍電源供應器雛型產品

推動、調控三組LED燈條，達到調光、調色甚或調光譜的功能。輔助電路的體積很小，整組雛型產品的外觀尺寸為 $32.5\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ ；在總輸出功率 $27.3\text{ W}$ 時，實測其 $\text{PF} = 0.996$ ， $\text{ATHD} = 6.9\%$ ，轉換效率達 $88.07\%$ 。

## 結 論

閃爍對人們的影響是多方面的。人眼可察覺的閃爍現象，可能會影響視覺能力或產生錯覺，進而引起不舒適感或導致工安狀況。至於不可察覺的閃爍對人們身、心理及精神狀態的影響，相關研究仍然廣泛進行中，預期會是持續受到關注的議題。

閃爍跟電光源種類有直接的關係，然搭配設計良好的電子式電源轉換器，確實可以大幅度改善閃爍的現象，甚至到接近完全消除的程度。相關技術的難度不高，成本也在合理的範圍，消費者宜應仔細選購。

目前較通用的閃爍指標以Percent Flicker與Flicker Index兩項分別定義，在大部分的情形下，該兩種指標值具有一致性的變化，但仍有例外的情況，尤其當光強度波形

中存在高頻突波時，Flicker Index並無法反應出來。因此，未來關於閃爍的規格制定，究竟以哪一項指標為準，或是兩項並存，仍待討論。🔗

## 誌 謝

本論文感謝能源局專案計畫「LED照明與系統節能技術研發計畫」在經費上之支持與協助，使本論文能順利完成產出。

## 參考文獻

1. Michael Poplawski and Naomi Miller, "SSL Flicker Fundamentals and Why We Care," U.S Department of Energy. Electronic document, 2014.
2. Rebekah Mullaney, "Studies Published on Minimizing Flicker from SSL Systems," ASSIST to Release Related Recommendation. Electronic document, 2014.
3. U.S Department of Energy, "Solid-State Lighting Technology Fact Sheet," Electronic document, 2014.
4. IES Lighting Handbook 10th Edition-2011.
5. H. Chiu, Y. Lo, J. Chen, and S. Cheng, "A high-efficiency dimmable LED driver for low-power lighting applications," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 57, no. 2, pp. 735-1743, Feb. 2010.
6. TEXAS INSTRUMENTS, LED驅動器的選擇和設計。
7. Y. Jang, and M. M. Jovanovic, "Bridgeless High-Power-Factor Buck Converter," in Proc. IEEE Trans. Power Electronics, vol. 26, no. 2, pp. 602-611, 2011.
8. Q. Hu and R. Zane, "LED driver circuit with series-input-connected converter cells operating in continuous conduction mode," IEEE Trans. Power Electron., vol. 25, no. 3, pp. 574-582, Mar. 2010.
9. "LED 照明與系統節能技術研發計畫 FY105 執行報告", 106 年。