

消除在 LED 照明應用中的光閃爍

摘要

將 LED 用於離線式取代型燈泡 (retrofit lamps) 中，看似為一簡單直接的作法，但要達到和用戶想以之取代的傳統型燈泡類似的照明品質，仍有許多細節要注意。為避免來自各地客戶的抱怨，在設計 LED 燈時，就要特別考慮光閃爍問題。本應用須知介紹了和驅動器拓撲結構及 LED 特性相關的 LED 燈閃爍的現象，並提供了多種使用立錫 LED 驅動器與搭配專用 LED 燈串組合而成的解決方案。本文也將介紹說明用於測量 LED 燈之光閃爍的一實際測量方法。

本應用須知中提到相關的立錫的 LED 驅動器元件，有 PFC 返馳式拓撲結構的 RT7302，PFC 降壓拓撲結構的 RT8487，線性拓撲結構的 RT7321 和 PFC MR-16 LED 驅動器的 RT8479。

目錄

1. LED 燈之光閃爍之特性.....	2
2. 閃爍、LED 電流和 LED 電壓紋波之間的關係.....	3
3. 離線式 LED 驅動器的基本電路	5
4. 採用 RT7302 的 20W 隔離型高功率因數 LED 驅動器.....	7
5. 採用 RT8487 10W 非隔離型高功率因數 LED 驅動器.....	9
6. 100Hz / 120Hz 抑制閃爍解決方案.....	11
7. 減少線性離線式 LED 驅動器中的光閃爍.....	13
8. 分析 LED 燈的隨機型光閃爍.....	15
9. 簡易的光閃爍測量設備.....	18
10. 結論.....	20

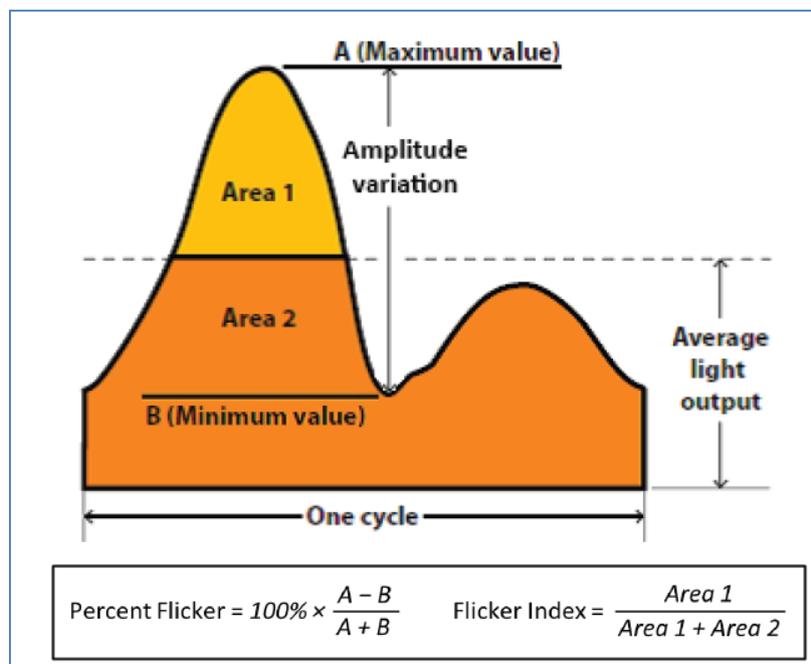
1. LED 燈的光閃爍之特性

優質的室內照明需要均勻分佈的光，而這是來自穩定的光輸出和合適的色溫。人眼對在較低頻率下光強度變化較敏感，而光強度的波動也會導致身體不適，眼睛疲勞或頭痛。

基本上 LED 燈有兩種可能會發生的光閃爍：

- 和交流電源頻率相關的光波動，通常是雙倍的電源頻率（例如：電源頻率是 50Hz，光波動頻率即為 100Hz，電源頻率 60Hz，光波動頻率即為 120Hz）
- 隨機型的光強度波動（往往由於 LED 燈和週邊照明元件的不相容而造成的）

雖然對大多數人而言，75Hz 以上的閃爍是不會被注意到的，但是閃爍的感知不只和頻率有關，也和光輸出的波峰和波谷的強度（即強度調變）及這些變化持續的時間有關。圖一顯示針對此效應的兩種量化方法：



圖一、閃爍的量化方法（IES 手冊第 10 版）

量測閃爍百分比是非常簡單的，而且它是可以用在一般具有週期性變化且波形相對對稱的光源。

然而，具有非對稱波形或呈現非週期性閃爍的光源，閃爍指數則是一個較好量化閃爍的方式，因為它有考慮到波形形狀的差異（即工作週期）。

傳統光源並非完全沒有閃爍：白熾燈的閃爍相對較低，其閃爍百分比約為 10 ~ 20%，而這是由於燈絲加熱的時間常數較長。用電磁式安定器的節能燈，它的閃爍則相當高：閃爍百分比高達 37 ~ 70%。現代使用電子式安定器的節能燈，它的閃爍較低：閃爍百分比只有 5% 左右。

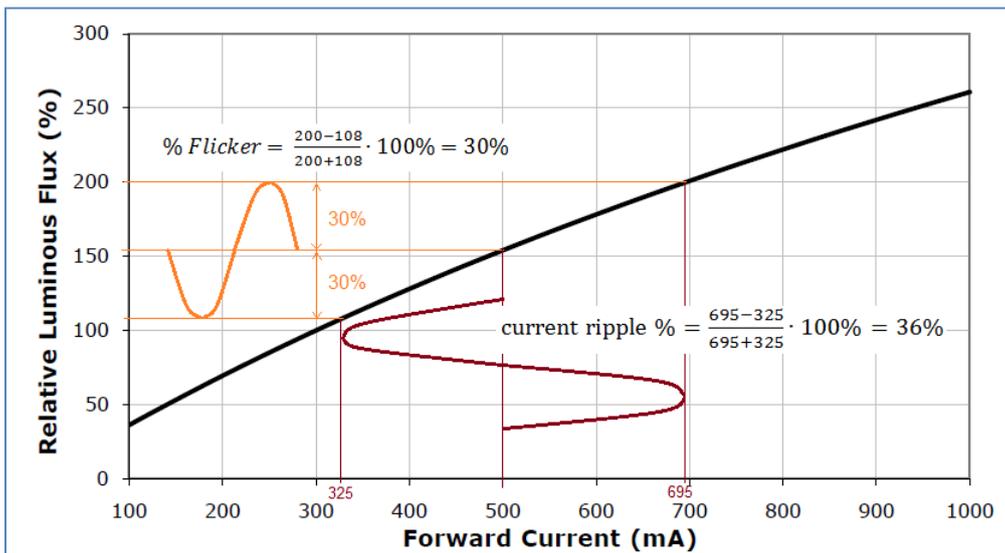
目前，針對 LED 燈最大可接受的閃爍還沒有明確的標準存在，但許多 LED 照明廠商則規定：在 100Hz - 120Hz 的頻率範圍內，閃爍百分比須小於 30%。

LED 的光輸出是和流過 LED 的電流有直接關係；也就是，LED 的光輸出會立即反應出變化的 LED 電流。因此，若希望 LED 燈完全無閃爍的話，首先須要有一穩定的 LED 驅動電流。

2. 閃爍、LED 電流和 LED 電壓紋波之間的關係

若要知道光閃爍、LED 電流紋波和 LED 驅動器輸出電壓紋波之間的關係，首先要先瞭解 LED 燈串的特性。

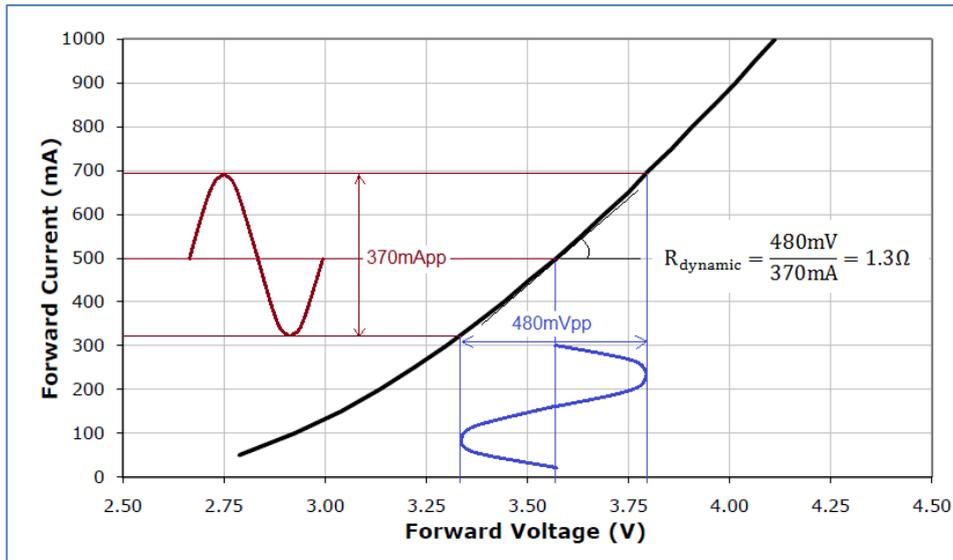
圖二顯示了 Cree 公司的高亮度 LED 產品，XLAMP MX-6 LED，它的電流和相對光通量之間的關係。



圖二、以 Cree 之高亮度 LED 產品為例，用 LED 電流紋波可推算其光通量之變化

圖中顯示一正弦形 LED 電流紋波，它的光通量的變化可因此被推斷出來。所以 LED 電流的改變會直接改變它的光輸出；但可以看出，兩者之間不是完全線性的關係。因此 LED 電流紋波和其衍生的閃爍百分比之間也不是線性的關係。對於大多數 LED 而言，光閃爍百分比是低於電流變化百分比的。

在大多數離線式 LED 驅動器中，電路參數會影響 LED 輸出電壓紋波，而 LED 電流紋波是則是受電壓紋波影響的。因此，重要的是要知道在整個 LED 燈串上的電壓紋波和流過 LED 的電流紋波之間的關係，他們之間的關係可以從圖三 LED 的 I / V 曲線得知。（相同的 Cree 公司產品，XLAMP MX-6 LED）



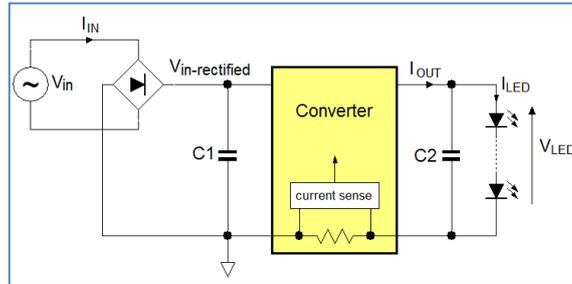
圖三、用 LED I / V 曲線來量測動態電阻

LED 在各工作點上的動態電阻決定了 LED 上的電壓紋波和由此產生、流過 LED 燈的電流紋波二者之間的關係。LED 的動態電阻相當小，所以這表示一個非常小的電壓紋波就已經可以產生很大的電流紋波。因為 I / V 曲線的斜率隨不同的工作點而不同，動態電阻是以 LED 的平均電流作為它的工作點來決定。

大多數 LED 燈泡用到數個 LED。當 LED 串聯時，動態電阻則需要乘上 LED 的數量。當 LED 並聯時，動態電阻則需要除以並聯的 LED 的數目。

3. 離線式 LED 驅動器的基本電路

要了解離線式 LED 燈有 100Hz / 120Hz 閃爍的原因，就須先了解由交流電源供電的 LED 驅動器的基本操作。其基本電路示於圖四：

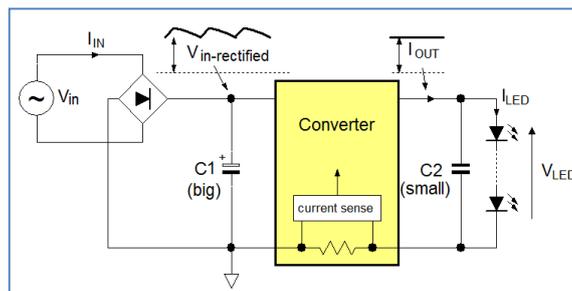


圖四、基本的離線開關式 LED 驅動器

在大多數單級離線式 LED 驅動器中，轉換器可以是由降壓，升降壓或返馳式轉換器構成的，它會將（整流過的）電源電壓轉換為合適的輸出電壓來驅動 LED 燈串。主要的反饋迴路是透過 LED 電流檢測，以提供定電流（平均值）至 LED 燈串。

若要 LED 沒有閃爍，LED 電流 (I_{LED}) 就必須是一個穩定的直流電流，而 LED 上的電壓 (V_{LED}) 也因此會是一個固定的直流電壓。由於電源電壓是一正弦波，所以 LED 應用電路中必須包含至少一個電壓緩衝元件來將交流電流轉換成直流電壓，圖四中的 C1 或 C2 都可以作為緩衝元件。

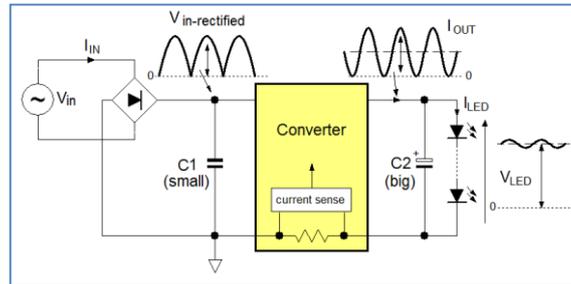
低功率因數的應用：



圖五、低功率因數轉換器

以 C1 作為緩衝元件（如圖五中，C1 用較大的電容值），可提供轉換器一個相對穩定的直流輸入電壓，並且因有快速電流反饋控制迴路，輸出電流 I_{OUT} 也較穩定。C2 只是用來過濾轉換器中的高頻開關雜訊，所以它可以用相當小的電容值。因為在 LED 電流中，和電源頻率相同的成份是較小的，所以 100Hz / 120Hz 的閃爍也較少。然而，選用一個大的 C1 電容值將造成脈衝狀的輸入電流，進而導致較差的功率因數，同時也造成電源電流 I_{IN} 會有較高的諧波失真。這種解決方案通常僅被使用於低功率 (< 6W) 的 LED 驅動器應用當中。

高功率因數的應用：



圖六、高功率因數轉換器

近來，大多數高功率的 LED 燈泡都要求有好的功率因數和低輸入電流諧波。所以如圖六中所示，C1 必須使用較小的電容，且轉換器需要一低頻寬的控制迴路才能儘可能維持正弦波形的輸入電流。高功率因數轉換器的輸出電流近似於正弦波二次方的函數，也就是倍頻的餘弦波波形，而 LED 的平均電流即為餘弦波的平均值(mean value)。現在電壓緩衝元件是 C2，它是用來降低整個 LED 燈串電壓上的紋波。明顯地，若要達到非常小的 LED 電壓紋波就需要非常大的 C2 電容值。輸出電壓紋波與 LED 的特性，共同決定了 LED 電流紋波及隨之而來的 LED 燈泡的 100Hz/120Hz 閃爍。

控制高功率因數校正 (PFC) 單級 LED 驅動器的閃爍的設計方法如下：

- a. 定出最大閃爍百分比的要求 (通常為 30% 左右)
- b. 從光通量與正向導通電流的關係曲線，決定最大 LED 電流峰至峰的變化(I_{LED_PP})
- c. 從 LED 的 I / V 曲線上，找出 LED 在該操作點的動態電阻 $R_{DYNAMIC_TOTAL}$
- d. 找出跨在整個 LED 燈串上，最大峰至峰的紋波電壓 V_{OUT_PP} ：

$$V_{OUT_PP} = I_{LED_PP} \cdot R_{DYNAMIC_TOTAL}$$

- e. 確定所需的輸出電容值：

$$C_{OUT} = \frac{I_{OUT_PP}}{V_{OUT_PP} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}$$

其中：

I_{OUT_PP} 為 2 倍 LED 的平均電流 (對高功率因數轉換器而言，是很好的一近似值)

V_{OUT_PP} 是跨在 LED 燈串上所允許的峰至峰輸出電壓紋波

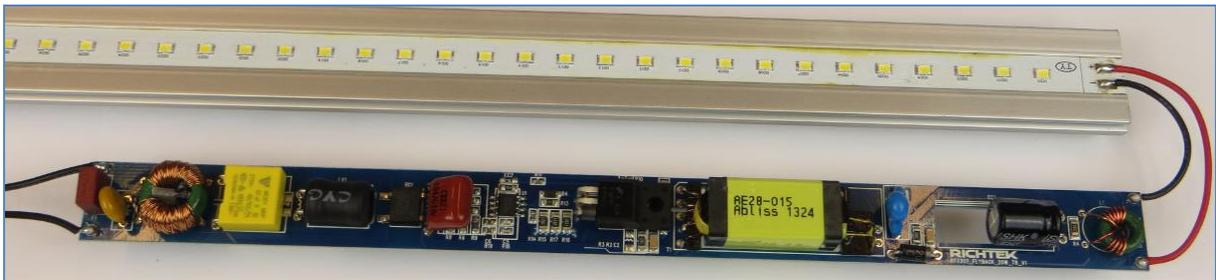
f 是兩倍的電源頻率。

以下的章節會介紹幾個用於特定閃爍百分比的離線式 LED 驅動器的例子。也將會解釋如何計算和測量，並且探討一些降低 LED 閃爍現象的解決方案。

4. 採用 RT7302 的 20W 隔離型高功率因數 LED 驅動器

RT7302GS 是一採用初級側調節和恆定導通時間拓撲結構的定流返馳式 LED 驅動器，為的是要有高功率因數。該轉換器是在邊界導通模式中切換。

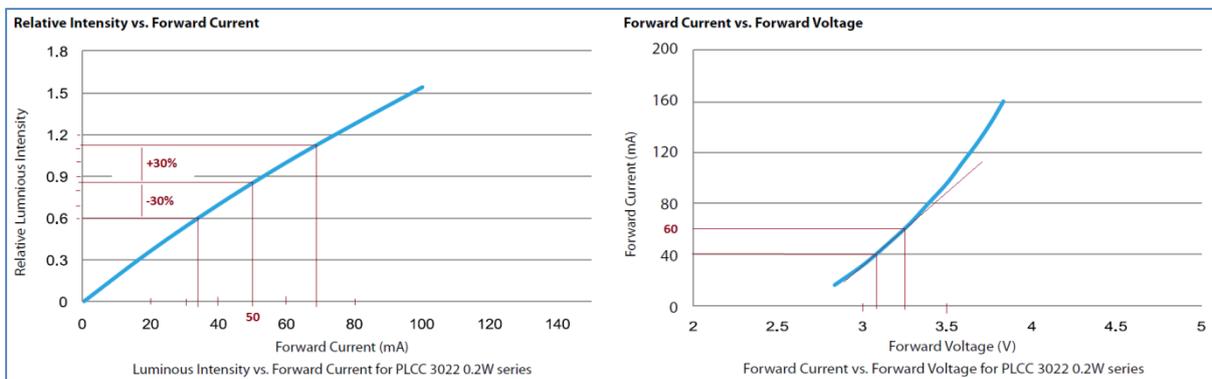
下圖顯示一個 20W 用於 T8 的參考設計。最大光閃爍定於 30%。



圖七、一狹長的外形尺寸，用於 T8 管的 RT7302 參考設計板

如圖所示，這個 20W T8 設計板用於一由 8 個並聯的 LED 燈串構成的長型 T8 燈具。每一燈串是由 16 個 LED 串聯而成，所用 LED 的類型是艾笛森光電 PLCC 3022 0.2W 系列。總 LED 燈串組合在 400mA 的電流下，正向電壓可達 49V，而每個 LED 燈串則流過 50mA 的電流。

圖八是取自 LED PLCC 3022 規格書中的曲線圖，藉此可以得到所允許的電流紋波和 LED 燈串組合的動態電阻。



圖八、此特性圖取自低功率 LED PLCC 3022 規格書

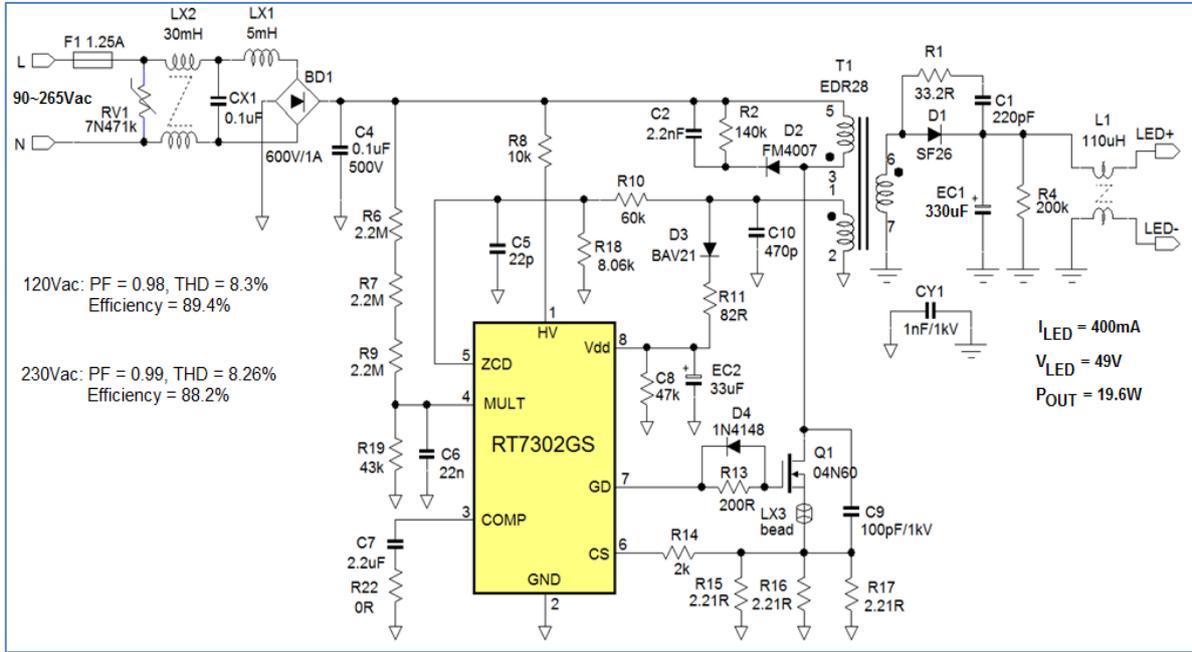
從亮度對電流的曲線圖：當 30% 的光閃爍時，LED 的電流變化可達 ± 17.5 毫安或 35%。總燈串組合（8 燈串並聯）中，LED 峰至峰的電流則可高達 280mApp。

從 I / V 曲線：在一 LED 50 毫安的操作點下，它的動態電阻是 7.5Ω。總 LED 燈串組合的動態電阻則是 $7.5 \times 16 / 8 = 15\Omega$

整個燈串組合所被允許的電壓紋波是可以計算出來的：

$$V_{OUT_PP} = I_{LED_PP} \cdot R_{DYNAMIC_TOTAL} = 280mApp \cdot 15\Omega = 4.2Vpp$$

圖九所示是一個 20W LED 驅動器的電路圖，是一個高功率因數設計，也就是在次級繞組的輸出電流有較多低頻率的紋波，其頻率為兩倍的電源頻率。主要的緩衝元件就是輸出電容 EC1。



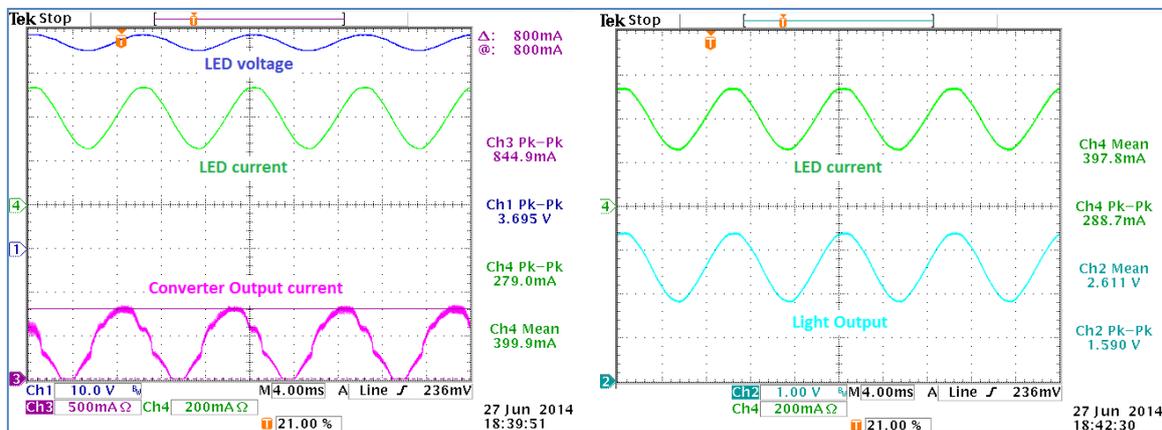
圖九、RT7302 於 20W 隔離型高功率因數的 LED 驅動器

對於電源頻率為 50Hz 的設計，輸出電容值可如下估計：

$$C_{OUT} = \frac{I_{OUT_AC}}{V_{OUT_AC} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{2 \cdot 400mA}{4.2V_{pp} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 100Hz} = 303\mu F$$

選用 330μF 作為 EC1 的電容值。

下圖十顯示在 230V / 50Hz 的輸入下，並使用 330μF 的輸出電容時，轉換器的輸出電流，LED 電壓，LED 電流和光輸出等的測量值。



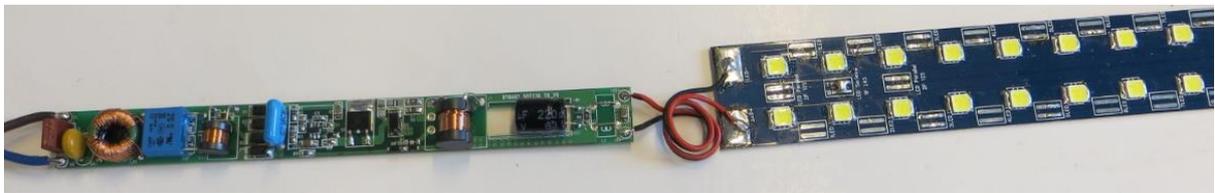
圖十

紫色波形是轉換器的輸出電流，所有高頻開關的成分都已除去。它的振幅為 LED 平均電流的兩倍且其頻率為 100Hz。由於有較大的輸出電容，LED 的電壓紋波是 3.7V_{PP}。LED 的平均電流為 400mA，而紋波為 279mA_{PP}，即 34.8%。LED 燈串組的動態電阻是略低於從 LED 圖表計算出來的值： $3.7V / 279 \text{ 毫安} = 13.6\Omega$ 。

在右側示波器圖形顯示的是 LED 電流和測得的光輸出（光量測是由自製的光感測器完成的，見第九章）。LED 電流紋波為 34.8%，測得的閃爍是 30.4%，非常接近所要求的值。

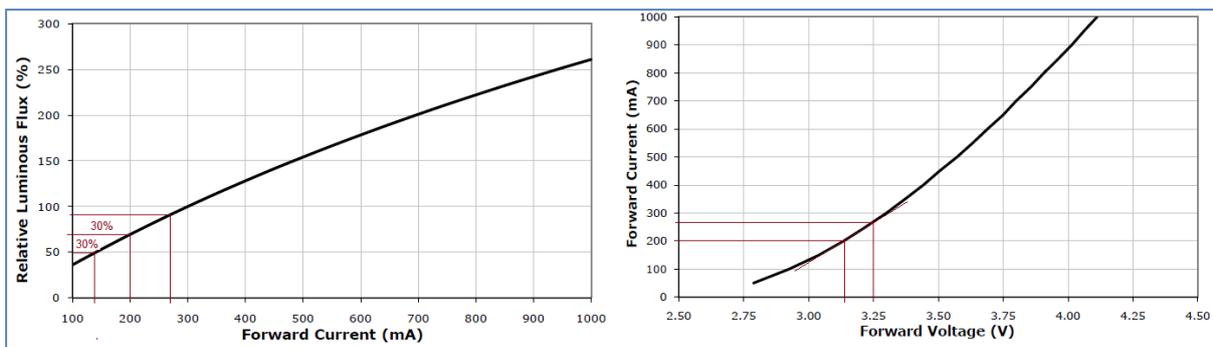
5. 採用 RT8487 10W 非隔離型高功率因數 LED 驅動器

RT8487 是一個可以用在非隔離降壓及升降壓型的應用中的高功率因數 LED 驅動器控制器。控制器是在邊界導通模式下使用諧振開關。下面的應用實例是 10W 的設計，它使用 16 個 Cree XLAMP MX-6 LED 串連在一起，LED 燈串電壓為 49V。



圖十一、 RT8487 非隔離型 10W 高功率因數 LED 驅動器

此驅動器是專為平均輸出電流 200mA 而設計，它的閃爍百分比定為 30%。LED 的紋波電流和電壓可以從下面的圖表而得知。



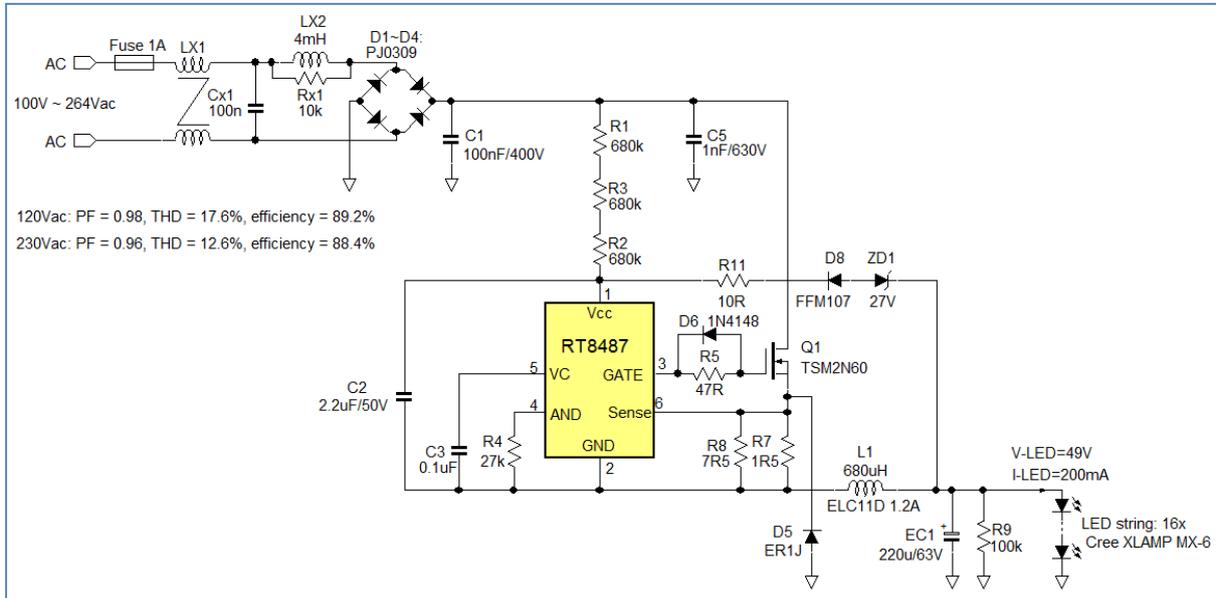
圖十二、 Cree XLAMP MX-6 LED 的特性曲線

從亮度對電流的曲線圖可知：30%的光閃爍，LED 電流的變化是 ±70 毫安(mA)或 35%。

從 I / V 曲線：在操作點為 200 毫安(mA)下 LED 的動態電阻是 1.7Ω。LED 燈串組的動態電阻則是 $1.7 * 16 = 27.2\Omega$ （注意，在低電流範圍下，LED 的動態電阻較高）。整體燈串組合被允許的電壓紋波可以計算如下：

$$V_{OUT_PP} = I_{LED_PP} \cdot R_{DYNAMIC_TOTAL} = 140mA_{PP} \cdot 27.2\Omega = 3.81V_{pp}$$

LED 驅動器的應用電路圖如圖十三。RT8487 是用於有浮接式控制器的降壓拓撲結構中。自舉電路 (bootstrap circuit) 用來提供 IC 電源且該電路只使用標準的鼓線圈電感器。



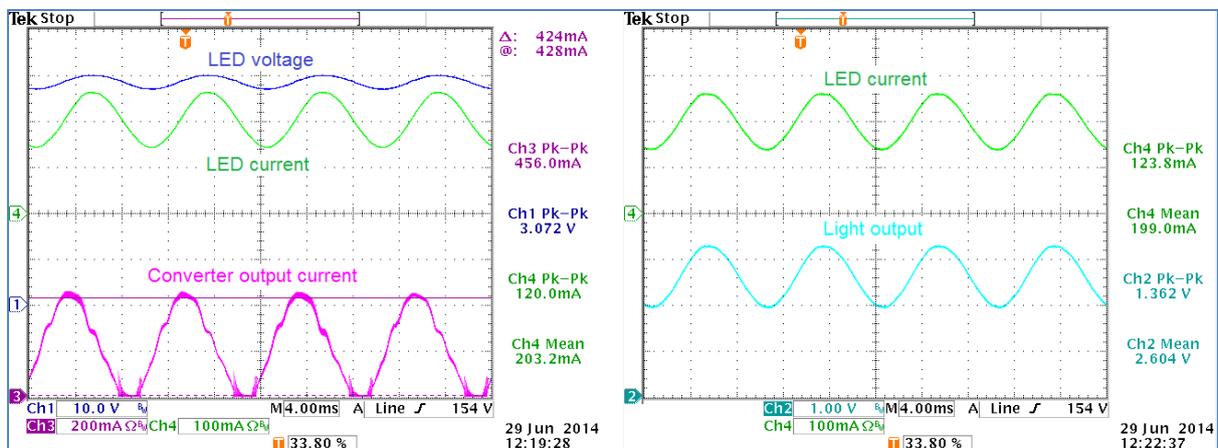
圖十三、RT8487 於浮接式降壓拓撲結構中 10W 高功率因數設計中

對於電源頻率為 50Hz 的設計，所需的輸出電容值可如下估計：

$$C_{OUT} = \frac{I_{OUT_AC}}{V_{OUT_AC} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{2 \cdot 200mA}{3.81V_{pp} \cdot 2\pi \cdot 100Hz} = 167\mu F$$

選用 220μF 作為輸出電容 EC1 的電容值。

圖十四為該轉換器的輸出量測結果。



圖十四

紫色波形是轉換器的輸出電流，所有高頻開關部分都已除去。它的交流振幅為 424mA_{pp}，比 LED 平均電流的兩倍還高出一些。由於用較大的輸出電容，LED 的電壓紋波是 3.07V_{pp}，比原先所計算的值稍低。LED 的平均電流為 200mA，其紋波為 120mA_{pp}，即 30%。LED 燈串組的動態電阻是略低於從 LED 圖表計算出來的值： $3.07V / 120 \text{ 毫安 (mA)} = 25.6\Omega$ 。

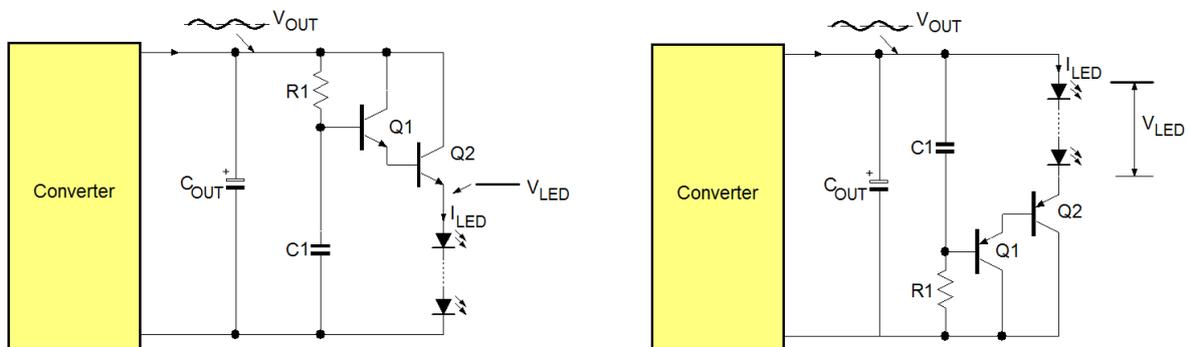
在右側示波器圖形顯示的是 LED 電流和測得的光輸出（光量測是由自製的光感測器完成的，見第九章）。所測得的閃爍是 26.1%，遠低於所要求的最大值。

6. 100Hz / 120Hz 抑制閃爍解決方案

從前面所討論的例子中，可明顯看出單級高功率因數校正的設計將會產生一些和電源頻率相關的閃爍。閃爍的大小取決於電源頻率，轉換器輸出電流的交流振幅，輸出電容的大小，亮度對電流的特性和 LED 燈串的動態電阻等。轉換器輸出電流的波形和功率因數有關。

要減少在單級高功率因數校正的 LED 驅動器中 100 / 120Hz 的閃爍，就必須減少 LED 電流紋波。以下為幾種可能的方式：

1. 減少轉換器輸出電流的峰至峰振幅。這可以藉著減少設計中的功率因數，增加輸入電容，並增加了電流反饋迴路的速度等而達到。PF (power factor) 和 THD (Total Harmonic Distortion) 可能都無法符合要求，且這個解決方案通常只用於低功率設計中。
2. 增加輸出電容。為減小紋波至非常低的水平，就必須要有一個非常大的電容器，如此即增加了成本和體積。
3. 增加 LED 燈串的動態電阻：可以選擇有較高 R_{DYNAMIC} 的 LED，或 LED 操作在 I / V 曲線較低的區域。也可以在 LED 燈串上再串聯一電阻，然而這將增加額外的功耗，也會降低轉換器的效率。
4. 也可使用一個後線性穩壓器來消除輸出電壓紋波，從而減小了 LED 的電流紋波。圖十五是一個簡單的電路解決方案。

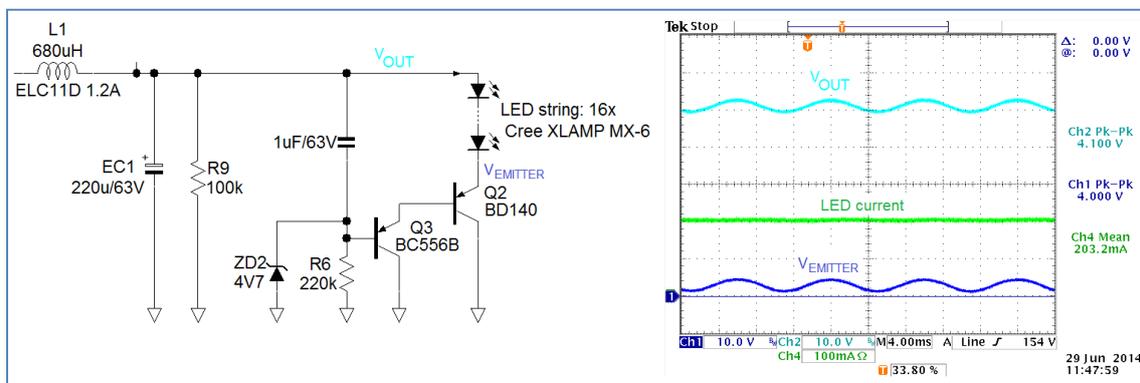


圖十五、用 NPN 或 PNP 電晶體所作的消除 LED 紋波電路

上圖的電路是一個自給偏壓的射極隨耦器。利用達林頓組態，可以使得基極的阻抗維持相當高，所以只需很小的電容即可以過濾 100Hz 的紋波。這個電路可以用 NPN 電晶體來作，放在 VOUT 端；或者是用 PNP 電晶體，則放在 GND 端。

加上這樣的電路可將 LED 電流紋波降到非常低的值，甚至接近 0%。而這消除 LED 電流紋波電路的缺點是會有額外的功耗，於是降低了 LED 驅動器的效率。在 Q2 上的功耗可以由 $(V_{OUTPP} / 2 + 1.2V) * I_{LED}$ 來估計。

圖十六顯示消除 LED 紋波電路和 10W 的 LED 驅動器一起測試的結果。圖中加入的稽納二極體 ZD2 是用來在啟動期間內，可加速濾波電容的充電。

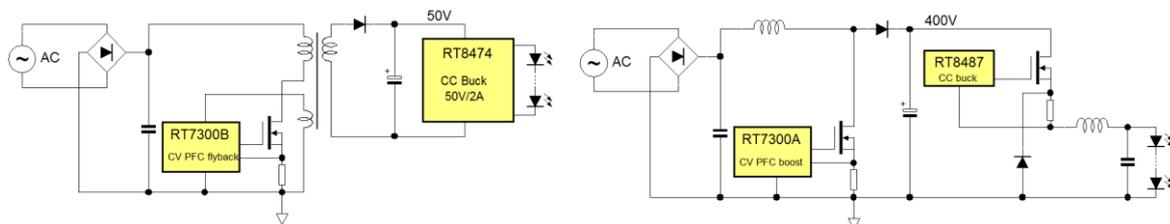


圖十六、紋波消除電路在 10W LED 驅動器中的應用與其測試的結果

放入紋波消除電路之後，LED 的電流可說是完全平穩的，也就是完全無閃爍。然就 10W 的 LED 驅動器而言，單單 Q2 的功耗即約 0.63W；LED 驅動器的效率，立即從 89% 下降到 84.5%。如此高的功耗使得紋波消除電路這樣的解決方案通常僅適用於較低功率的系統。

高功率 LED 驅動器無閃爍的工作情況：

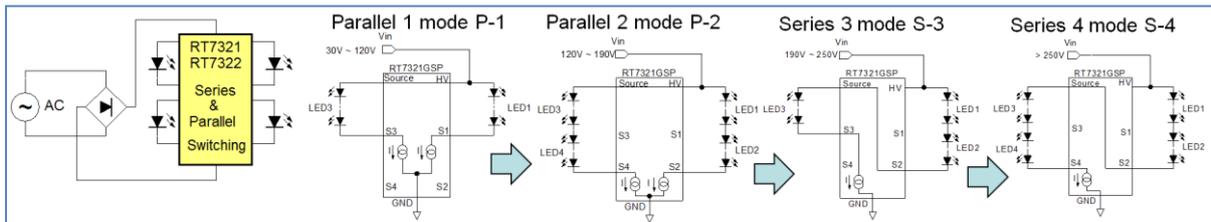
對於高功率 LED 驅動器且需要 LED 無閃爍的情況下，常需用到二級式設計：這可以是一個隔離型的 PFC 返馳式，加上在次級側分開的降壓級，或是非隔離型 PFC 升壓+降壓等不同的組態，可參考圖十七的例子。



圖十七、CC 降壓隔離型 PFC 返馳式與高壓 CC 降壓非隔離型 PFC 升壓的組態

7. 減少線性離線式 LED 驅動器中的光閃爍

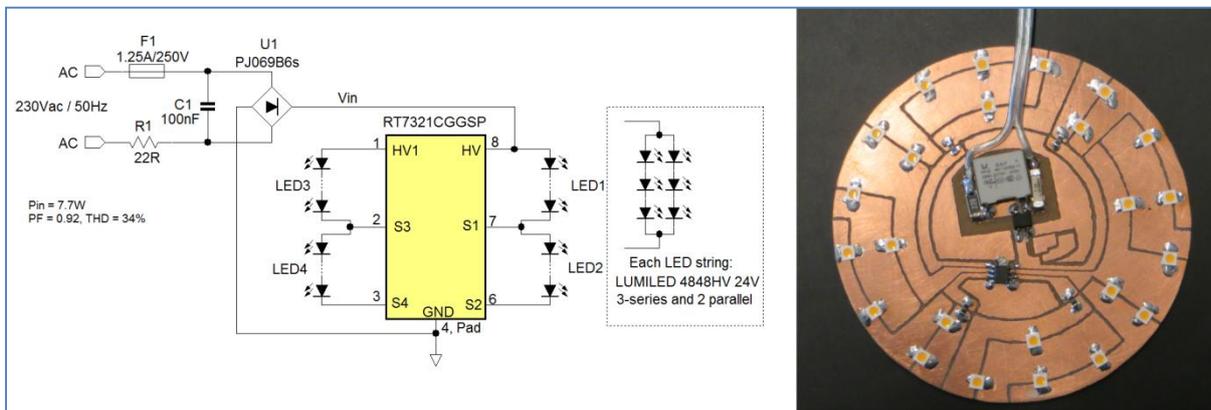
由於低成本高電壓的 LED 出現，線性離線式 LED 驅動器變得越來越普遍。立錡科技用於中等功率的線性 LED 驅動器 RT7321 和 RT7322 是使用四個高電壓 LED 燈串，可以並聯或串聯等動態方式連接，從而提高 LED 在整個電源週期中的使用。參見圖十八。



圖十八、RT7321(230V) / RT7322(110V)線性 LED 驅動器可切換成各種 LED 串、並聯的連接方式

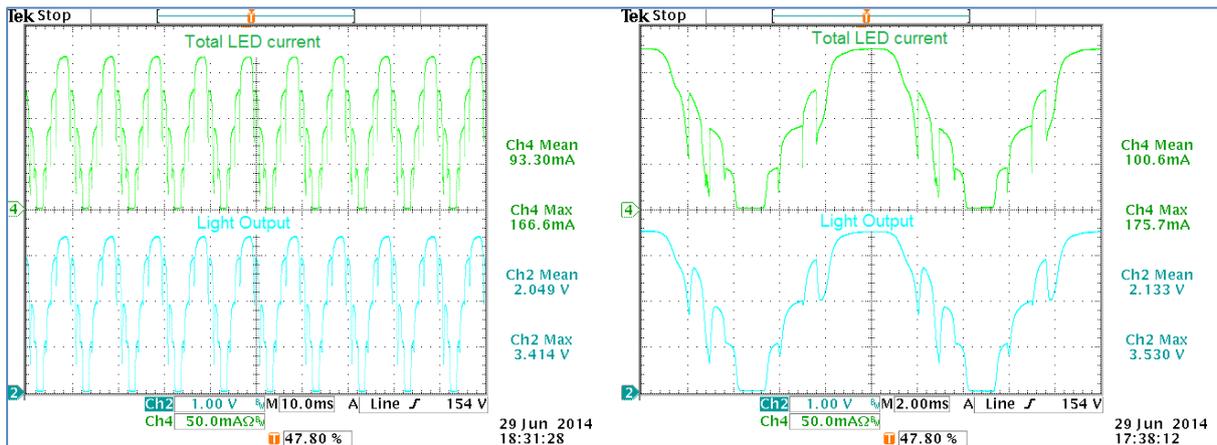
由於該電路不包含任何電壓緩衝元件，所以 LED 電流在整個電源週期中是無法連續的：在正弦波過零點時，會有一段時間 LED 電流是降為零，這將導致閃爍。因光輸出的變化不是正弦波曲線，一般所用的閃爍百分比的量化方式是非常不適合這種類型的 LED 驅動器。以下的例子可用來說明這一點。

圖十九顯示了使用 RT7321CGGSP 和飛利浦 LUMILED 高壓 LED 於一個 7W 線性 LED 驅動器的設計。



圖十九、RT7321CGGSP 在 7W 應用中的電路圖

RT7321CGGSP 在並聯模式和串聯模式中會分別提供 20 毫安 (mA) 和 40 毫安 (mA) 的電流。每個 LED 燈串是先串聯 3 個 24V LED，再並聯另一組 LED 燈串，且兩串維持在相同的 LED 電流額定值。每一燈串大約將有 72V 的正向電壓，而這是符合 RT7321 230V 的應用。該電路還需要一個小的 X 電容和串聯電阻以過濾 EMI 雜訊，且所有元件都可安裝在 LED 板上。圖二十顯示在 7W 應用中，LED 的總和電流和光輸出的測量結果。

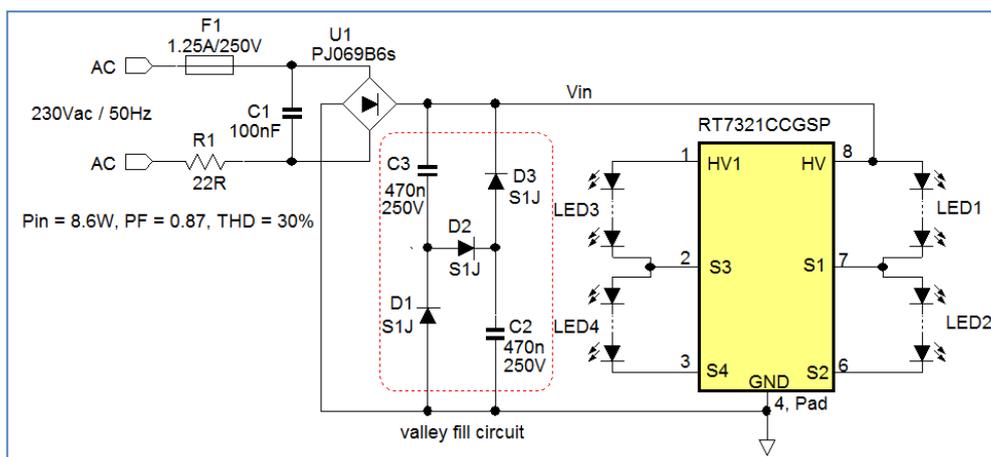


圖二十、RT7321 在 7W 的應用中，LED 的總和電流和光輸出

由上圖可得知，這種設計會產生很大的 LED 紋波，當整流過的輸入電壓低於 LED 燈串的電壓時，LED 電流會變為零。若用以計算閃爍百分比，則總會得到 100% 的結果。因為它的波形不是正弦波形，用閃爍指數是較為恰當的量化方法。

在平均值上方和下方的面積是可以被測量出，所以可以算出這種波形的閃爍指數約為 0.28，而這仍然是一個相當大的值。

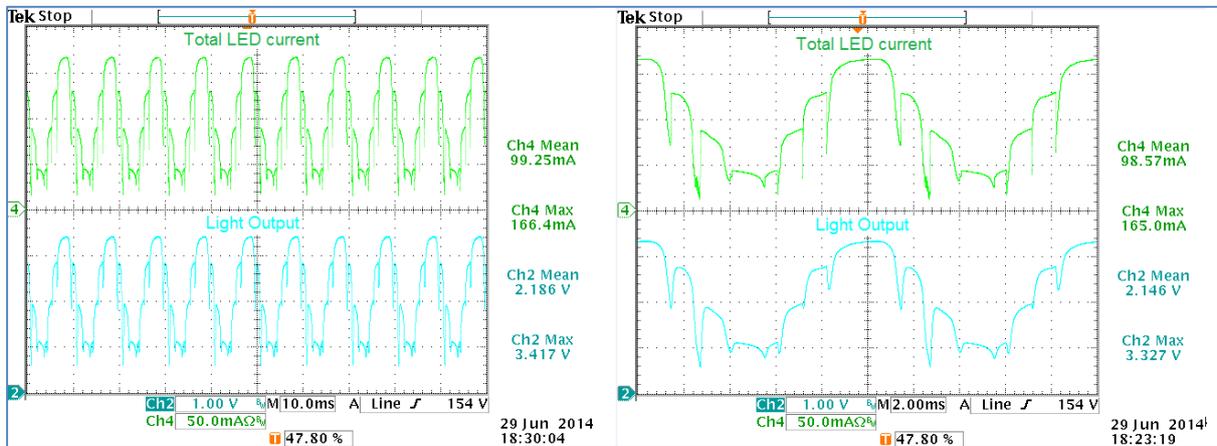
可以藉著加上一個小的緩衝電路來降低這種電路設計上的閃爍。由於這種線性驅動器的設計是為了提供好的功率因數，所以若只簡單地加上一個大的輸入電容作為緩衝，並不是一個好的解決方案。也可以加上一個用小薄膜電容器作的填谷電路，使得當正弦波過零點期間，它能提供足夠的緩衝以讓 LED1 和 LED3 維持導通，也同時讓功率因數保持在一個可接受的值。圖二十一為此種解決方式的電路。



圖二十一

由於填谷緩衝電容器看不到全部的整流過的電源電壓，所以 250V 的各類型都可以使用。二極體和薄膜電容器都夠小，可放在 LED 板上；而功率因數為 0.87，還是可以接受的。

圖二十二是這個解決方案的總合併 LED 電流與光輸出的測量結果。



圖二十二、填谷電路解決方案的合併 LED 電流和光輸出

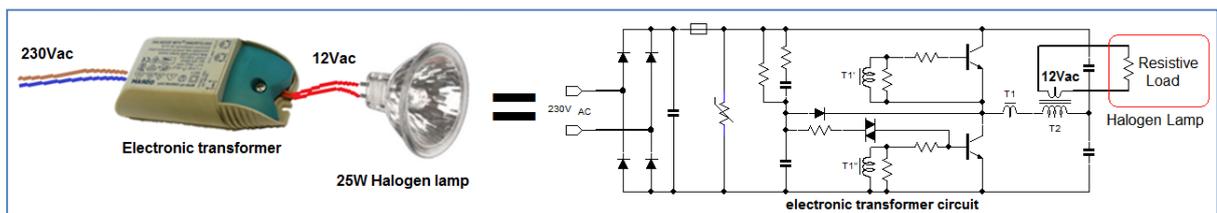
現在可以看出，LED 電流和光輸出在正弦波過零點的期間仍是連續的，光輸出波形的閃爍指數約在 0.2 左右。雖然它當然不如主動開關模式的解決方案好，但對於許多需要非常小外形尺寸的應用來說，它是一個非常有吸引力的替代開關模式 LED 驅動器的方案。

8. 分析 LED 燈的隨機型光閃爍

在一些 LED 燈的應用中，可能會發生隨機型的閃爍。這個隨機閃爍是間歇性的光變化，其頻率不一定與電源頻率相關。這種閃爍的情況通常發生在當 LED 燈與現有的照明週邊設備，如調光器或電子變壓器，一起結合使用時。

大多數現有的照明設備是針對使用傳統的白熾燈或鹵素燈而設計，而它們在系統中如同有相當高功耗的電阻性負載。大多數 LED 燈卻不像是電阻性負載，並且由於其較高的能源效率，它們消耗的功率非常少。把 LED 燈接上照明設備時，電路可能會發生錯誤，或間歇性地工作，而這就會造成燈的閃爍。若要找到解決方法，必須先瞭解週邊設備的基本電路功能，且 LED 燈的電路也需配合作出一些修改，使其適合於原來的照明設備。

以 MR-16 的應用來作例子說明。圖二十三是一典型的 MR-16 燈的應用和其等效電路。



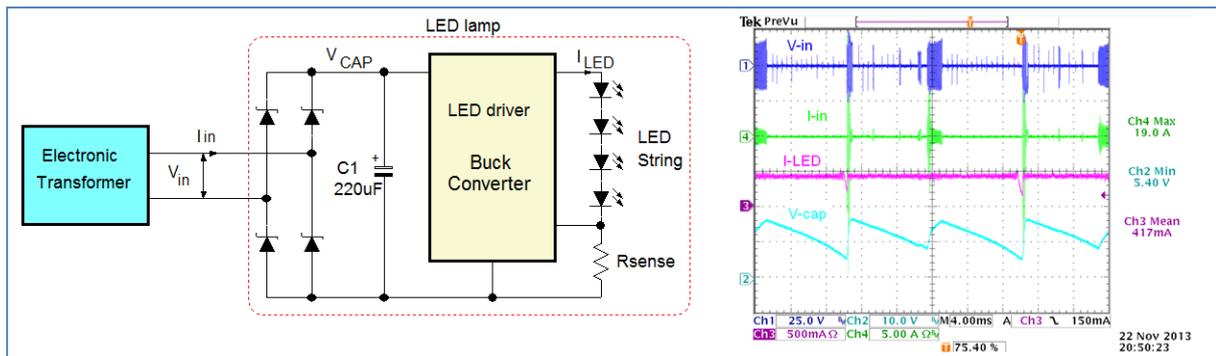
圖二十三、MR-16 燈的應用和其等效電路

電子變壓器電路是一自激振盪半橋諧振轉換器。功率電晶體是被一個與輸出變壓器串聯的小變壓器來驅動，以取得和負載成比例的基極驅動電流。這些電路用在電阻性負載時，都工作地非常好，因為能提供一個穩定的負載電流。由於電晶體的驅動和負載相關，所以該電路需要一個最小的負載電流來啟動。功率從 20W 到 60W 鹵素燈都可滿足這些條件。

把 LED 燈接上電子變壓器時，各種不相容的問題都可能發生：

1. LED 燈在輸入整流級時，完全不像電阻性負載，反而較一個電容器。
2. LED 燈較低的功耗無法保證電子變壓器穩定的啟動。
3. 電容性負載會導致高突起尖峰電流，這會因此觸發電子變壓器的過流保護，並且可能造成反覆性運轉停止/重新啟動的循環。

圖二十四所示是一個連於電子變壓器，典型低成本的 MR-16 LED 燈，其中也包括整流級和一個降壓型 LED 驅動器。相關的波形顯示於右邊的示波器圖形。

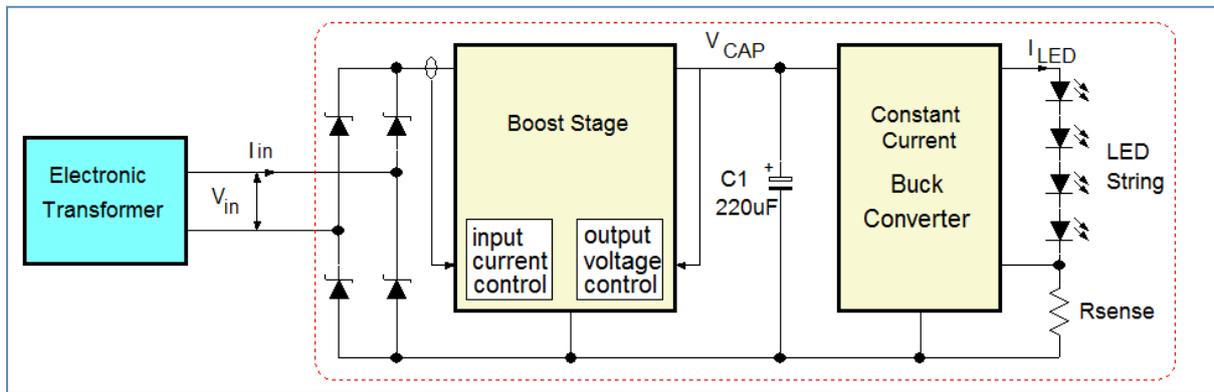


圖二十四、典型低成本的 MR-16 LED 燈應用與其相關波形

在理論上，電子變壓器的 12V 交流電輸出電壓應足以將 V_{CAP} 充電到 16 ~ 17V 直流電，並且降壓型 LED 驅動器應有足夠的輸入電壓，以提供一個定電流給四個發光二極體 (LED)。然而實際上，由上圖波形可看出，電子變壓器只有很短的時間在工作。因為 LED 燈電容性負載的特性不能使電子變壓器穩定工作，所以緩衝電容僅偶爾被高電流脈衝充電。由於這種間歇性工作的情況，降壓型轉換器的輸入電壓偶爾會低於 LED 燈串的正向電壓，而 LED 電流有一短暫的向下凹陷，這就導致非常清晰可見的隨機型低頻閃爍。注意：某些電子變壓器比其他的變壓器對電容性負載更為敏感。LED 燈有時較適合搭配沒有保護功能、簡單型的電子變壓器。但在一般情況下，許多低成本的 LED 燈在連接到各種電子變壓器時，都會有相容性問題。

為解決這種不相容的問題，LED 燈需要重新設計使其特性更像鹵素燈：即輸入電流必須是穩定的，並且必須滿足電子變壓器的最低操作電流。

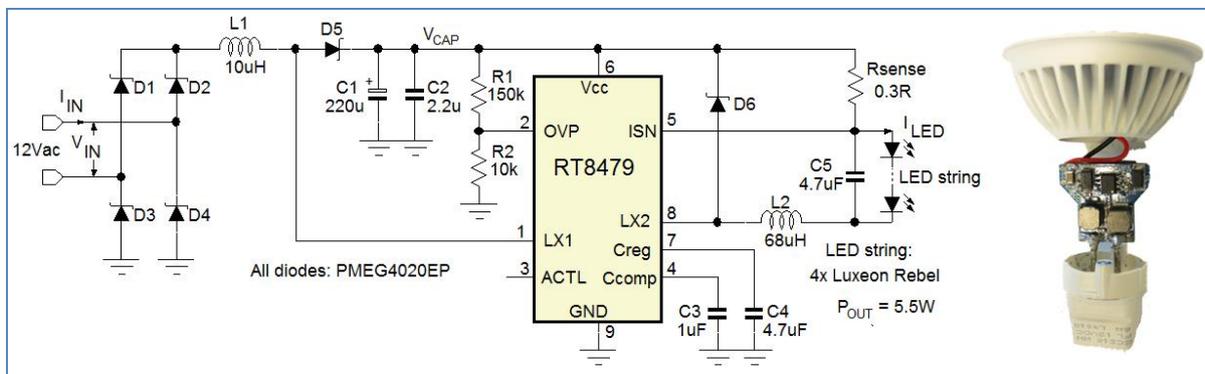
立錡已開發了一些特殊的 MR-16 LED 驅動器，以期和電子變壓器能有最佳的相容性。這些 LED 驅動器都使用兩級式的設計，可參見圖二十五：



圖二十五、兩級式的 MR-16 LED 驅動器

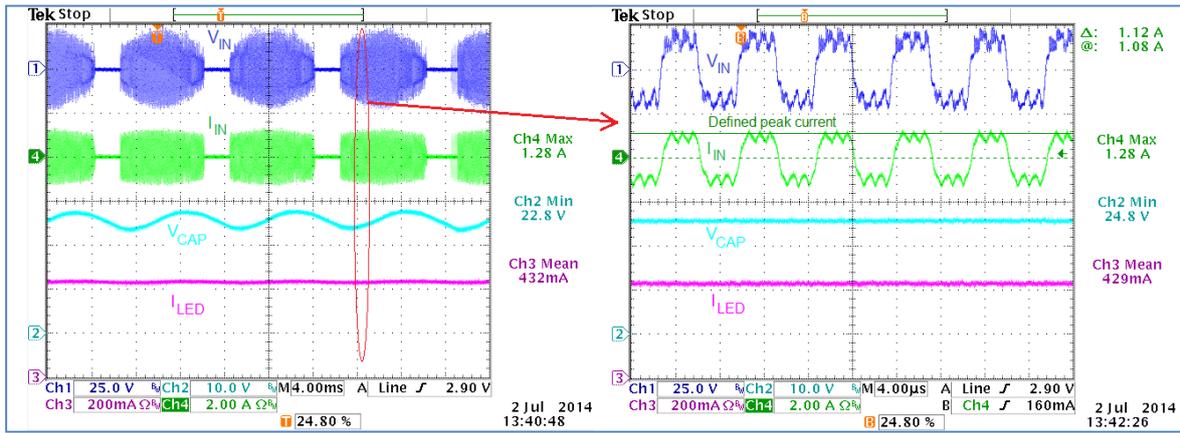
第一級是一個有輸入電流控制與輸出電壓控制的升壓轉換器。第二級是定電流降壓轉換器。升壓級可控制輸入電流的大小，以滿足電子變壓器最小負載的要求，並藉著使電子變壓器在整個電源週期中保持在工作狀態，得以提供 PFC 功能。如此，它的輸入阻抗對電子變壓器就如同電阻性負載。升壓級的輸出電壓直接給降壓級，其中 C1 作為緩衝元件。該升壓電壓穩定且夠高，足夠供應由 5 個高亮度 LED 串聯起來的 LED 燈串。

圖二十六所示，為一個典型 5W MR-16 的應用，其中所用的 RT8479C 是一個二級式 MR-16 LED 驅動器晶片。此應用中所使用的 LED 燈串是由 4 個飛利浦 LUMILED LUXEON Rebel LED 串聯而成的。



圖二十六、RT8479C 於 5W MR-16 的應用

RT8479C 內含兩個功率電晶體 (MOSFET)：一個用於升壓級 (LX1)，另一個用於降壓級 (LX2)。升壓級的操作如同固定關閉時間的峰值電流控制，它提供最限定輸入峰值電流和自然的 PFC 電流調變。升壓級穩定該電壓，並且包括過壓保護。降壓級是一個快速遲滯定紋波電流的拓撲結構，它可藉著高端感測電阻調節至一穩定無閃爍的 LED 電流。ACTL 可通過外部的調光信號來控制 LED 電流，也允許藉 NTC 電阻來達到溫度控制的電流折返。



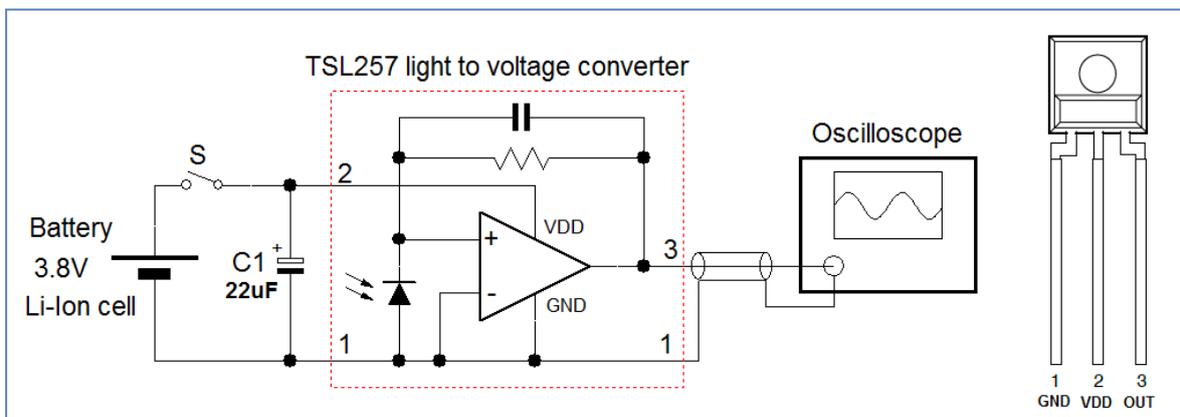
圖二十七、二級式的 RT8479 於 MR-16 應用的輸入和輸出波形

圖二十七顯示了 RT8479 LED 驅動器連接到電子變壓器時的輸入和輸出波形。電子變壓器在電源電壓很大部分的工作週期中是工作狀態的。(只有在正弦波過零點，該電路因 DIAC 觸發啟動而有一小段在非工作狀態)。在右側的放大波形顯示了合併的變壓器開關週期和所施加升壓級的開關：該升壓級的輸入電流控制使輸入峰值電流保持在限定的電流值，足以使變壓器電路保持在工作狀態。該升壓級還可使 V_{CAP} 的電壓穩定在 25V；此電壓值提供足夠的裕量給降壓級來驅動四個 LED 有穩定無紋波的電流。這種操作模式的另一個優點是，輸入功率因數相當高，約在 0.97，且因為它沒有高尖峰電流，所以整個應用電路的可靠性也提高了。

9.簡易的光閃爍測量設備

雖然測量 LED 電流的變化可瞭解 LED 的閃爍情形，但是最好是可以測量 LED 燈串上實際光的變化。因為要計算閃爍百分比只需要測量相對的光變化，所以可以使用簡單具有內置放大器的光感測器。輸出波形可以在示波器上看到。

圖二十八是使用 TSL257 IC 的一簡單光電壓轉換器的線路示意圖。



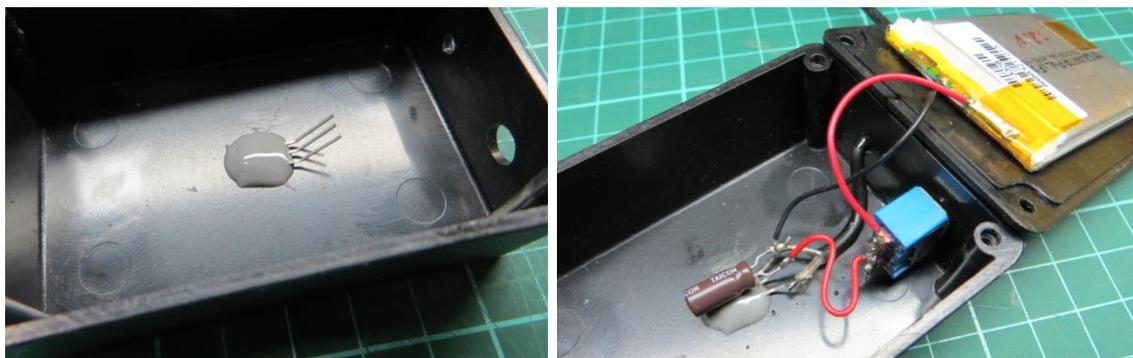
圖二十八、光閃爍的測量裝置示意圖

電路中的 TSL257 是一個簡單具有良好的線性度的光電壓轉換器 IC。它可由單鋰離子電池供電，使其成為可攜式的測量工具。輸出電壓和光強度（照射）直接成正比，也可連接到示波器上，由此可以把光波動的情形直接以波形的方式顯示在示波器屏幕上。TSL257 的頻寬 2kHz 用於光閃爍的測量是足夠的且它的價錢並不貴，可在 Farnell 或 Digikey 買到。

下面的圖片說明如何構建這樣的一個工具。



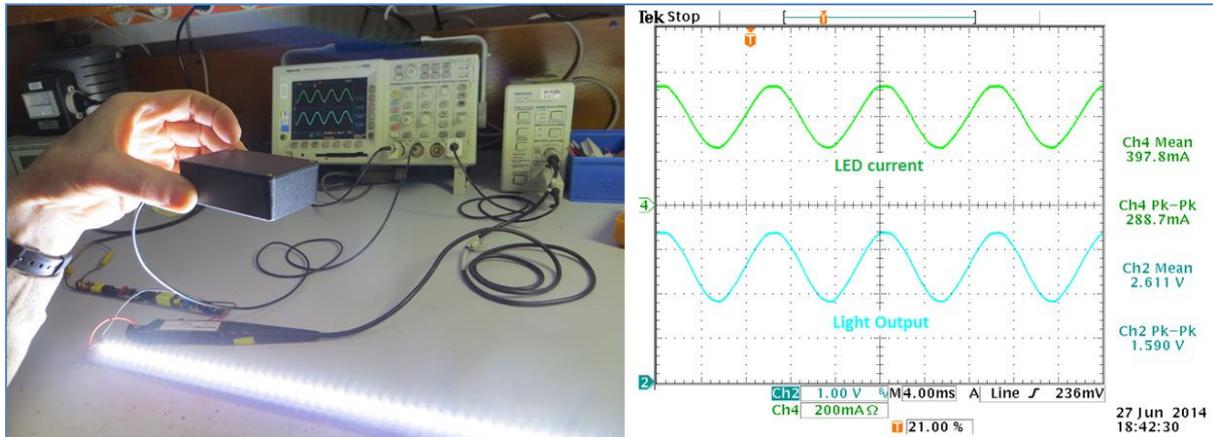
所需的零組件：同軸電纜線，鋰離子電池，TSL257 IC，一個開關，22 μ F 25V 電解電容，和黑色塑膠盒，並在它的頂部鑽一 3mm 的孔。將 TSL257 和感測器放置一起並朝向該孔。



然後將感測器用非透明的環氧樹脂膠固定。最後，連接所有其它零組件。



由於 TSL257 的高光感度，入射到感測器的光需要被衰減相當多，才能適合於直接量測 LED 燈串的光。將數層 A4 紙張放置在該孔以產生足夠的光衰減。本測試裝置，共使用了 8 層的紙。



圖二十九、實際的光閃爍測量

為了避免周遭光線的影響，應該把室內燈都關閉。將該裝置放在 LED 燈的上方，使得所讀出光輸出的最大值約 3V 左右。當波形發生限幅的情況時，應增加光與工具的距離，或加更多層的紙，以達到更多的光衰減。量測感測器峰至峰的輸出值和平均值。用平均法降低雜訊。以正弦波信號而言，閃爍百分比可由下公式計算：

$$\% \text{ Flicker} = \frac{\text{peak-peak value}}{2 \cdot \text{average value}}$$

10. 結論

若要消除 LED 燈的光閃爍，首先要對驅動器的拓撲結構及 LED 的特性有充分的瞭解。對於單級高功率因數 LED 驅動器，光閃爍可以量化，測量，也可藉著選擇適合的元件或加入抑制 LED 紋波的電路而減少光閃爍。大多數的隨機型閃爍是因 LED 燈和週邊照明設備之間的相容性問題而導致的。要解決這類光閃爍的問題，就需要對整個系統有徹底的了解。立錡提供了多種功能很強的離線式 LED 驅動器解決方案，他們都能提供非常好的系統相容性，且能滿足目前 LED 驅動器市場中對光閃爍的要求。

相關資源

[立錡科技電子報](#)
[訂閱立錡科技電子報](#)

Richtek Technology Corporation

14F, No. 8, Tai Yuen 1st Street, Chupei City

Hsinchu, Taiwan, R.O.C.

Tel: 886-3-5526789

Richtek products are sold by description only. Richtek reserves the right to change the circuitry and/or specifications without notice at any time. Customers should obtain the latest relevant information and data sheets before placing orders and should verify that such information is current and complete. Richtek cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Richtek product. Information furnished by Richtek is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Richtek or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Richtek or its subsidiaries.