

飞兆半导体特稿

2009 年 6 月

## 通过初级端调节提高照明效率

作者：Peter Hsieh、Leon Lee 及 Kevin Hsueh

### 摘要

全球对实现低功耗和高效率技术的关注不断持续，由于照明应用占了全球近 20% 的电力资源消耗量，所以照明技术的进步，会对能源状况产生巨大的影响。LED 固态照明(solid state lighting, SSL) 是一种环保技术，具有出色的外形尺寸，使用寿命长，转换效率高，而且功耗相比传统的白炽灯低 80% 或 90%。在 LED SSL 中，LED 驱动器扮演着重要的角色，因为要靠它来提供保持稳定亮度所需的精确电流。不过，传统的 LED 驱动器方案采用次级反馈电路来驱动 LED 的电压和电流，而次级反馈电路会导致成本和尺寸的增加。本文将介绍一种“初级端调节”(Primary Side Regulation, PSR) 专利技术。这种 PSR 控制器无需次级端反馈电路，即能够精确调节变压器初级端中 LED 驱动器的电压和电流。它同时包含了频率抖动功能来降低 EMI，以及轻载待机模式来减小待机损耗。利用该方案，PSR 充电器可以实现比振铃扼流圈转换器 (Ringing Choke Converter, RCC) 和传统 PWM 等传统设计更小的外形尺寸、更低的待机功耗和更高的效率。

### LED 照明概述

由于能源需求失衡、能源成本增加，加上全球对环境问题的关注，节能绿色技术变得越来越重要。照明应用的能量损耗可高达 20%，因此利用创新性技术来降低能源浪费，对节能具有重大的影响。能效规范在全球各地区日益普及，例如，美国有能源之星(ENERGY STAR<sup>®</sup>)，而且澳大利亚、欧盟和美国加州也都宣布将逐步淘汰传统照明解决方案。

发光二极管 (LED) 实际上与整流二极管一样，都具有单向导电性。不同于传统照明技术，SSL LED 是利用半导体来把电能转换为光能。LED 照明相对传统技术的优势如下：

1. LED 由 DC 电压驱动，即使在低电压低电流条件下也能保持高亮度。在相同的照明应用中，相比其它照明方案，LED 可以实现 80% 的节能。高亮度 LED 的寿命可能长达 60,000 ~ 100,000 个小时；而白炽灯泡只有 1000 个小时。此外，LED 的反应速度很快(100ns ~ 1ns)。
2. LED 的单色性良好，常用颜色包括红、绿、黄和橙色。其颜色可通过改变电流来改变，而且不同于传统冷阴极荧光灯管 (CCFL)，LED 不含光谱中的紫外线和红外线辐射，而有害汞金属元素含量也较少，有利于环保。

3. LED 尺寸小、抗振动、冲击阻力大，另外还可以在灯泡中制备成各种形状。

与 LED、螺旋节能灯泡和 T5 荧光灯相比，白炽灯的照明效率只有 12lm/W，寿命少于 2000 小时；螺旋节能灯泡的照明效率为 60lm/W，寿命约 8000 小时；而 T5 灯泡的照明效率则为 96lm/W，寿命约 10,000 个小时。5mm 白色 LED 的照明效率为 20~28lm/W，寿命约 100,000 小时。显然，较之传统照明应用产品，LED 的使用寿命更长，且特性也更具吸引力。高亮度发光二极管 (High-Brightness Light Emitting Diode, HBLED) 是一种大功率高亮度的 LED，它的寿命更长、尺寸更小，而且设计灵活，已成为传统白炽灯和卤素灯的替代产品。HBLED 一般用于以下应用：

1. 屏幕显示和交通灯：各种广告牌、体育记分板和交通信号。
2. 车用照明灯：仪表板指示器、音频和外部 LED 刹车灯、尾灯、边灯等。
3. 背光：手机、数码相机和笔记本电脑背光。
4. 景观照明、建筑照明、装饰灯、街灯和住宅照明。

HBLED 作为一种新型的 LED 照明源绿色产品，必将是未来发展的新趋势。

### 采用初级端调节控制器的高亮度LED驱动器

如上所述，LED 照明拥有诸多优势，但若没有适当的电压和精确的电流，这些器件的寿命不仅会缩短，其功耗和热耗也会增加，最终对 LED 造成无法挽回的损害。考虑到 LED 与普通二极管在物理特性方面一样拥有斜率很大的 V-I 曲线，因而 LED 的工作电压对工作电流相当敏感，若变化很大，便会影响 HB-LED 单元的寿命。因此，LED 的电流对照明非常重要。基于这个原因，对 HB-LED 的寿命而言，带有出色的恒流技术的 PSR 就显得既重要又有益。LED 驱动器一般采用非隔离降压转换器或隔离反激式转换器。

在传统的 LED 控制电路中，离线恒定输出电流 LED 驱动器可使用隔离反激式 (flyback) 转换器配合次级端电路调节输出电流来实现，如图1所示。这里，LED 电流通过次级端的一个 sense 电阻  $R_o$  来测量，并通过光耦合器提供必需的反馈信息。光耦合器在初级端和次级端之间形成隔离，并把反馈信号耦合到初级端的 PWM 控制器。为达到更好的输出调节，PWM 控制器通过光耦合器接收次级端的反馈信号，决定 MOSFET 的占空比。这种方案可提供精确的电流控制，但缺点是器件数目较多，意味着需要更大的板上空间、更高的成本，而且可靠性也较低。同时，sense 电阻  $R_o$  还会增加功耗，降低恒流调节电源效率。近来，LED 驱动器的效率和节能要求变得越来越重要，同时 LED 应用也需要更小的尺寸，因此传统电路不再满足相关要求。本文将介绍一种能够减少器件数目并提高效率的初级端控制方法。

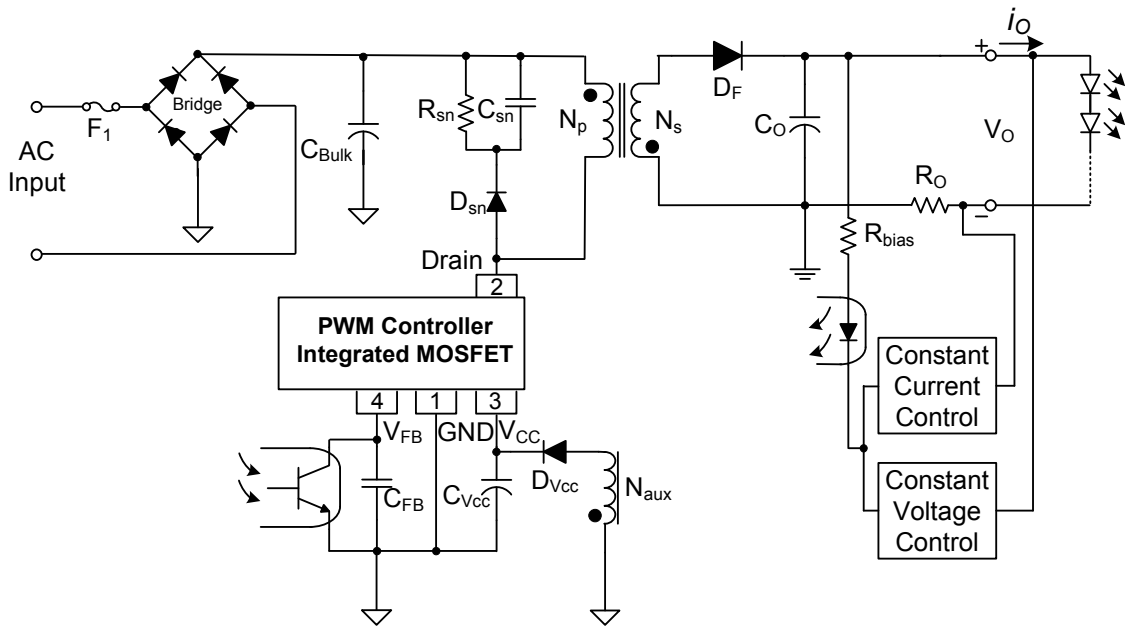


图1 采用传统次级端调节反激式转换器的 LED 驱动器

初级端调节 (PSR) 技术是把离线 LED 驱动器的成本降至最低的最佳解决方案，它无需在次级端使用光耦合器，就能够提供精确的电流控制。PSR的基本原理是采用一种创新性方法，通过辅助线圈取代次级端的光耦合器来检测输出信息，如图2所示。图2所示为一个采用初级端控制器的反激式转换器的基本电路示意图及其主要工作波形。

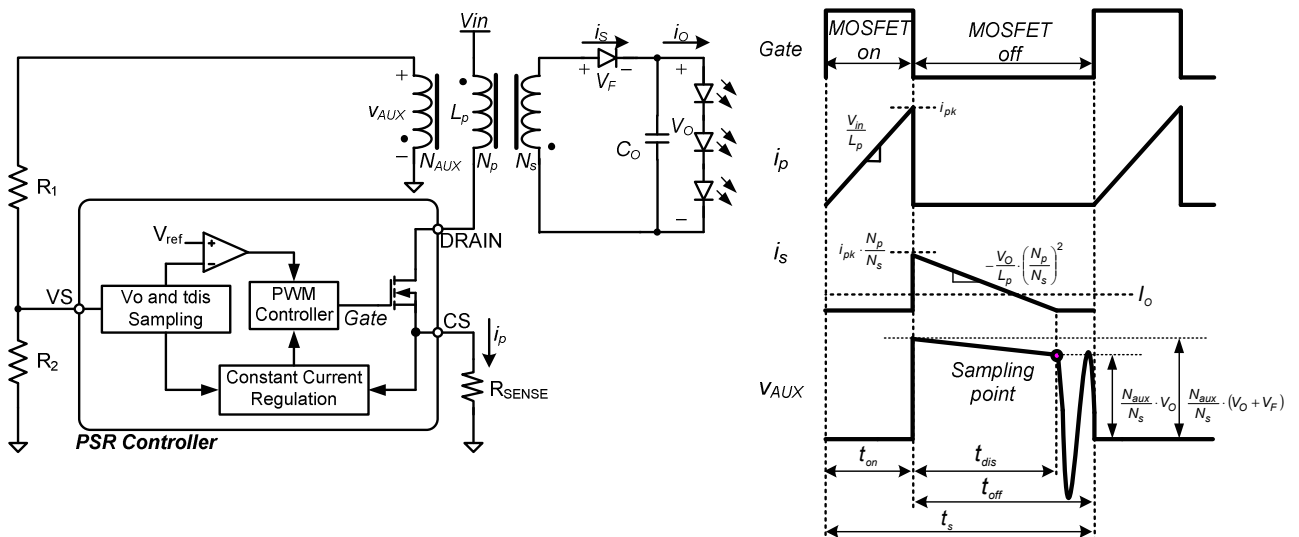


图2 采用初级端控制器的反激式转换器的基本电路示意图及其波形

当 PSR 控制器导通 MOSFET 时，变压器电流  $i_p$  将线性地从零增加到  $i_{pk}$ ，如算式 (1)。在导通期间，能量存储在变压器中。当 MOSFET 关断时 ( $t_{off}$ )，存储在变压器中的能量通过输出整流器传送到功率转换器的输出端。在此期间，输出电压  $V_o$  和二极管的正向电压  $V_F$  被反射到

辅助线圈  $N_{AUX}$ ，辅助线圈  $N_{AUX}$  上的电压可由算式 (2) 表示。这时可运用一种专有的采样技术来对反射电压进行采样，由于输出整流器的正向电压变得恒定，故可获得相关输出电压信息。然后，采样得到的电压与精确的参考电压进行比较，形成一个电压回路，从而确定 MOSFET 的导通时间，并精确调节恒定输出电压。

$$i_{pk} = \frac{V_{IN}}{L_p} \times t_{on} \quad (1)$$

$$V_{AUX} = \frac{N_{AUX}}{N_S} \times (V_O + V_F) \quad (2)$$

在这算式中， $L_p$  为变压器初级线圈的电感； $V_{IN}$  为变压器的输入电压； $t_{on}$  是 MOSFET 的导通时间； $N_{AUX}/N_S$  为辅助线圈与次级输出线圈的匝数比； $V_O$  是输出电压； $V_F$  是输出整流器的正向电压。

这种采样方案也使得变压器的放电时间 ( $t_{dis}$ ) 加倍，如图2所示，输出电流  $I_O$  与变压器的次级端电流有关。 $I_O$  还可通过  $i_{pk}$ 、 $t_{dis}$  求得，如算式 (3) 所示。PSR 控制器利用这个结果来确定 MOSFET 的导通时间，并调节恒定输出电流。Sense电阻  $R_{SENSE}$  用来调节输出电流的数值。

$$I_O = \frac{1}{2t_s} \left( i_{pk} \times \frac{N_p}{N_s} \times t_{dis} \right) = \frac{1}{2t_s} \left[ \frac{V_{CS}}{R_{SENSE}} \times \frac{N_p}{N_s} \times t_{dis} \right] \quad (3)$$

这里， $t_s$  是 PSR 控制器的开关周期； $N_p/N_s$  是初级线圈和次级输出线圈的匝数比； $R_{SENSE}$  为感测电阻，把变压器的开关电流转换为电压  $V_{CS}$ 。

## 利用 PSR 控制器实现 HB LED 驱动器

这里使用了一个 HB LED 驱动器来驱动三个串联 HB LED，输出规格为 12V/0.35A。若采用集成了一个 PSR 控制器和一个 600V/1A MOSFET 的 PSR 控制器 FSEZ1016A，将有助于减少外部组件数目，减小 PCB 面积，降低功耗和 MOSFET 驱动器电路上的信号噪声，还能够减少干扰。而专有的绿色模式功能可在轻载和无载条件下提供非导通时间调制，来线性降低 PWM 频率，使待机功耗最小化，从而轻松满足大多数绿色规范的要求。此外，其内置抖频功能也进一步提高了 EMI 性能。

实验显示，采用这种方法，恒流 (CC) 调节精度可达 1.8%，折回 (fold-back) 电压为 4V (如图 3 所示)，适用于很大的 VDD 范围，而且 CC 能力与输出电压有关。115Vac 输入时效率为 77.66%，230Vac 输入时效率为 77.40%，空载时最大功率为 0.115W。由此可见，利用 FSEZ1016A 便可以获得一个外部组件最少、成本最低的照明解决方案。

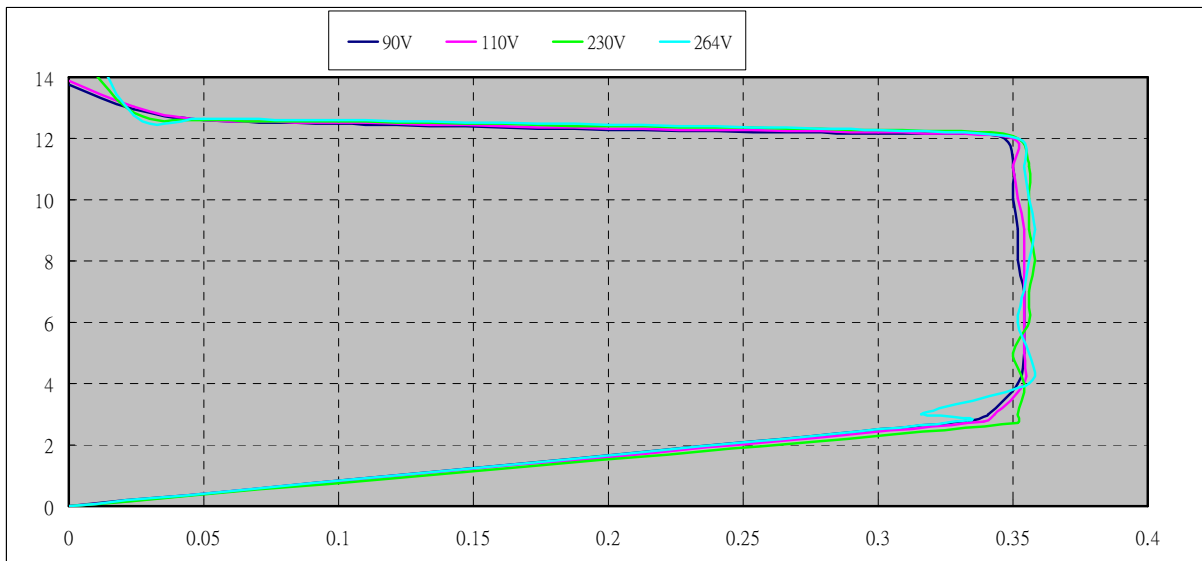


图3 使用PSR控制器的V-I曲线

### 总结

随着业界对高效电子产品开发投放更多力度，照明应用需要创新性技术来取代传统白炽灯和卤素灯。HBLED 的优势在于尺寸小、亮度高、寿命长，并且环保。这些优势都是推动该产品逐渐取代传统照明产品的有利因素。为了提高 HBLED 的能力，控制电路必须利用恒流来实现 LED 驱动。本文介绍的“初级端调节”(PSR) 专利技术，只须通过 PSR 控制器，即能够精确调节变压器初级端中 LED 驱动器的电压和电流，无需次级端反馈电路，从而实现尺寸更小、寿命更长、更环保的产品。实验显示 PSR 能够提供 1.8% 的恒流 (CC) 调节精度，在115Vac 输入时效率为 77.66%，230Vac 输入时效率为77.40%，空载时最大功率为0.115W。这种 PSR技术是把离线 LED 驱动器成本降低的最佳解决方案。