

工程师分享：数字 LED 驱动的道路照明系统

LED 厂商建议通过控制正向电流使发光二极管保持额定的光通量和特定的色温。鉴于 LED 的亮度与正向电流值成正比，这个控制方法是最佳的 LED 电源解决方案。此外，LED 的正向电压与输出功率受到结温的严格限制，特别是大功率 LED 更是如此；结温是众所周知的影响质量和使用寿命的关键参数。准确地说，随着结温升高，正向电压与输出功率会逐渐降低，热漂移会导致临界电流升高。

为了通过降低正向电压解决热漂移问题，提高系统总体能效，通过 PWM 和/或模拟调光技术控制亮度，获得防失效管理和过热控制功能，照明系统对具有特定控制功能的 LED 驱动器的需求不断提高。如果给建筑照明和街道照明等应用增加价值，还需要在 LED 驱动器内增加遥控功能。

因为大功率因数交流-直流变流器能够把电网交流电压转换成更高的输入直流电压，所以普通照明 LED 驱动器通常采用标准降压拓扑，这种驱动器基于集成一个功率开关的模拟单片解决方案，最大输出电流达到 350mA。如果电压高于 50/60V，因为芯片技术限制，单片解决方案将无法胜任。很多照明平台需要那些使用多个驱动器的多路输出系统，而这将会增加系统架构和版图设计的复杂性，结果导致设计成本增加。

标准解决方案的主要应用限制与基于并联电阻器和内部比较器的电流检测方法有关。比较器把从灵敏电阻器回馈的电流与内部参考电流值进行比较，然后产生一个用于控制栅极驱动电路的输出信号。这个常用的模拟控制方法实现了对峰流的控制，因为 LED 光色漂移在很多要求严格的照明应用领域是不准许的，所以这种方法并不是高品质照明的最佳解决方案。

1 创新的 LED 驱动器

意法半导体提出一个能够满足照明要求的高成本效益的道路照明平台解决方案。该方案具有优异的性能、超高能效（全负荷时总体能效大于 91%）、完整的防失效管理（过流保护、过压保护和短路保护）功能。该平台由两大部分组成：电源部分与电流控制器。其中，电流控制器是一个数字电流控制器。电源电路的最大输出功率达到 130W（48V，2.7A），该电路由两级电路组成：基于 L6562AT 的前端功率因数校正器（PFC）和基于 L6599AT 的 LLC 谐振转换器。

这个设计的特点如下：

- a 扩展的欧洲输入交流电压范围（177 ÷ 277 VAC - 频率 45 ÷ 55 Hz）
- b 超高能效（全负载是 93.85%）免除了对散热器的需求

c 无电解电容器，长久可靠

d 符合 EN61000-3-2 Class-C（交流谐波）、EN55022-Class-B（EMI）和 EN60950 的双绝缘（SELV）标准

电流控制器的核心是采用一个以地线为参考的电流检测方法，这个算法是由一个通用微控制器实现的，能够调整反向降压转换器的输出电流。该解决方案无需差分放大器或误差放大器，更不需要网络滤波器以及其它的外部无源器件。

该反向降压拓扑的模式为连续导通模式（CCM），选择 CCM 模式的原因是反向降压拓扑的功率开关与地线相连，而不是像标准降压拓扑那样连接上桥臂开关。因此，在这个解决方案中，可直接使用微控制器驱动一个逻辑电平（5V）或超逻辑电平（3.3V）功率开关，无需任何栅极驱动级，这使总体解决方案变得简单且成本低廉。图 1 所示是完整的照明解决方案。



图1:LED街道照明解决方案

灵活性是这个解决方案的研发目的，从低功率、低压到大功率、高压，该解决方案可单独驱动最多 16 个输出通道。意法半导体拥有街道照明专用产品组合，因此，该解决方案让设计人员只使用一个拓扑就能覆盖各种不同的 LED 驱动系统。

2 均流检测：专用的微控制器外设

电流控制是这个平台的与众不同之处。该解决方案利用微控制器外设（高分辨率定时器和快速模数转换器）来管理电流控制过程。触发器/时钟控制器是定时器架构的组件之一，模数转换器触发电路是触发器/时钟控制器内置的一个特殊功能，通过 TRGO 信号可以管理模数转换器的四个触发信源事件（Reset, Enable, Up/Down, Count）。

在这个架构内有一个与 PWM 周期中心对准的三角形载波，当达到最大计算值时，该三角形载波利用 TRGO 信号触发模数转换器，这个最大值正好是导通时间（ $T_{on}/2$ ）波形周期的中间。

如果能够保证连续导通模式运行，这个触发操作与随后的模数转换过程将会计算出均流值，而不是在电流增大期间通过软件处理过程来估算均流，如图 2b 所示。

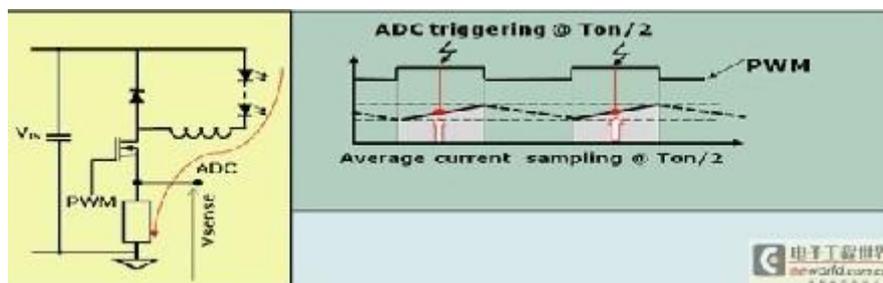


图 2:a) 在导通期间 (T_{on}) 的 LED 电流； b) 在 $T_{on}/2$ 期间的模数转换器触发操作

这个触发功能嵌入在定时器架构内，因为在转换数据能够用于电流回路通过标准 PI 控制器调整电流前，转换操作都是由软件管理的，所以不会给 CPU 增加负荷。

此外， $T_{on}/2$ 电流值不受开关操作的影响（图 3a），因为没有阻容滤波器引起的延时，所以电流检测精度不再是问题。具有 PWM 调光功能的电流调整波形如 3b 所示。

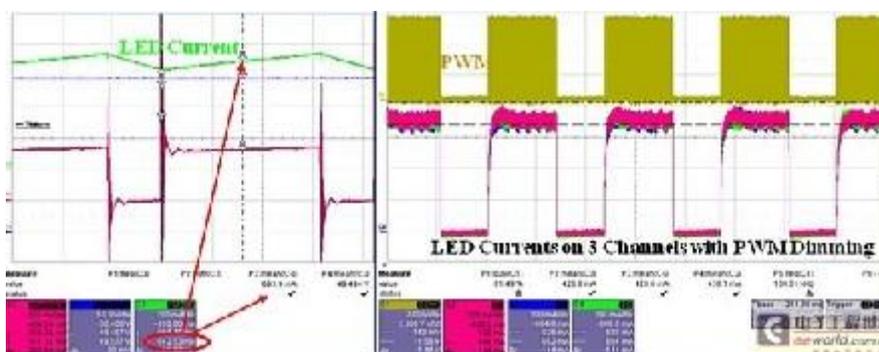


图 3:a) LED 电流（绿色波形）和并联变阻器上的电压（紫红色波形）； b) LED 灯串上的均流控制

一旦转换操作结束，电流控制立即逐个通道地每 3 个 PWM 周期执行一次转换结束中断服务处理程序

(End Of Conversion Interrupt Service Routine)，以确保适合的控制器带宽。为最大限度地减少因控转换时间造成的通道之间电流失匹，当控制器对其中一个通道进行转换和调整操作时，同时还利用不同的采样时间控制其余的通道。

为了在白天改变输出光通量，调整照明系统的总体亮度，该平台还在 LED 整流电路内增加调光功能。

为了全面地分析采用反向降压转换器拓扑实现的数字电流控制器，图 4 对能效与电流负载进行了对比分析。在全负载时，四条通道可实现 97% 的总能效，这可满足主要的节能要求。



图 4：能效曲线

最后，过压保护、过流保护和 LED 短路保护（有维修人员检修的应用情景）进一步完善了这个街道照明平台的性能和市场竞争力。

3 结语

该平台的优点包括：可以轻松实现 1 到 16 路输出通道，用软件和灵活的数字控制器控制的 1W、3W 或大功率 LED 的电源模块，为可调光的多灯串架构的高能效街道照明系统提供最佳的解决方案。