

大功率 LED 恒流驱动电路的设计实例

关键词:LED,LED 驱动电路,光电器件,无源元件

摘要:一般来说,大功率 LED 的功率至少在 1W 以上,目前比较常见的有 1W、3W、5W、8W 和 10W。恒流驱动和提高 LED 的光学效率是 LED 应用设计的两个关键问题,本文首先介绍大功率 LED 的应用及其恒流驱动方案的选择指南,然后以美国国家半导体(NS)的产品为例,重点讨论如何巧妙应用 LED 恒流驱动电路的采样电阻提高大功率 LED 的效率,并给出大功率 LED 驱动器设计与散热设计的注意事项。



虽然大功率 LED 现在还不能大规模取代传统的白炽灯,但它们在室内外装饰、特种照明方面有着越来越广泛的应用,因此掌握大功率 LED 恒流驱动器的设计技术,对于开拓大功率 LED 的新应用至关重要。LED 按照功率和发光亮度可以划分为大功率 LED、高亮度 LED 及普通 LED。一般来说,大功率 LED 的功率至少在 1W 以上,目前比较常见的有 1W、3W、5W、8W 和 10W。已大批量应用的有 1W 和 3W LED,而 5W、8W 和 10W LED 的应用相对较少。预计大功率 LED 灯会在 2008 年奥运会上大量应用,因此电子和照明行业都非关注 LED 照明新技术的发展应用。

恒流驱动和提高 LED 的光学效率是 LED 应用设计的两个关键问题,本文首先介绍大功率 LED 的应用及其恒流驱动方案的选择指南,然后以美国国家半导体(NS)的产品为例,重点讨论如何巧妙应用 LED 恒流驱动电路的采样电阻提高大功率 LED 的效率,并给出大功率 LED 驱动器设计与散热设计的注意事项。

驱动芯片的选择

LED 驱动只占 LED 照明系统成本的很小部分,但它关系到整个系统性能的可靠性。目前,美国国家半导体公司的 LED 驱动方案主要定位在中高端 LED 照明和灯饰等市场。灯饰分为室内和室外两种,由于室内 LED 灯所应用的电源环境有 AC/DC 和 DC/DC 转换器两种方式,所以驱动芯片的选择也要从这两方面考虑。

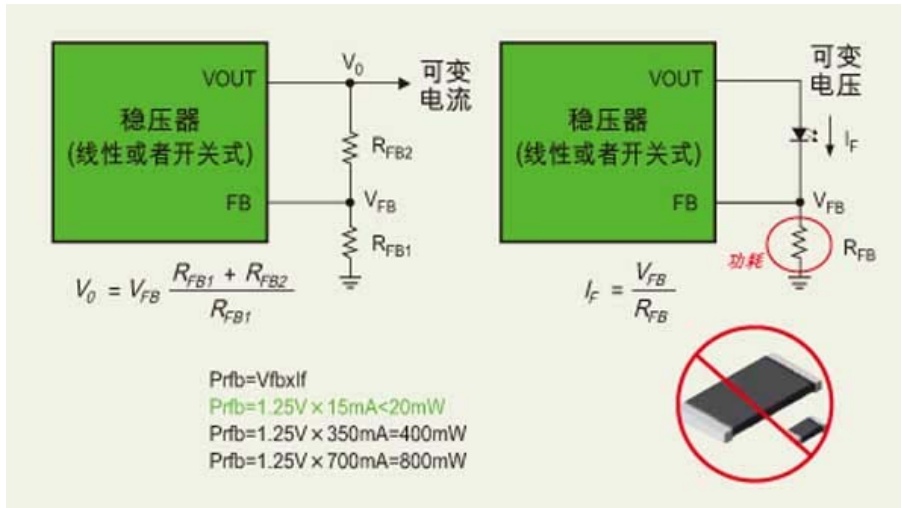


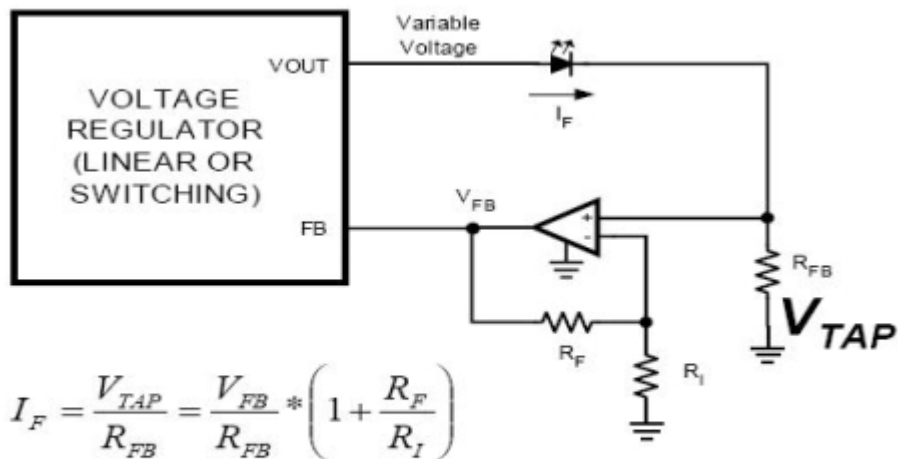
图 1: 利用 DC/DC 稳压器 FB 反馈端实现从恒压驱动(左图)到恒流驱动(右图)的转换。

1. AC/DC 转换器

AC/DC 分为 220V 交流输入和 12V 交流输入。12V 交流电是酒店中广泛应用的卤素灯的电
源，现有的 LED 可以在保留现有交流 12V 的条件下进行设计。针对替代卤素灯的设计，
美国国家半导体 LM2734 的主要优势是体积小、可靠性高、输出电流高达 1A，恰好适合
卤素灯灯口直径小的特点。

取代卤素灯之后，LED 灯一般做成 1W 或 3W。LED 灯与卤素灯相比有两大优势：(1)光
源比较集中，1W 照明所获得的亮度等同于十几瓦卤素灯的亮度，因此比较省电；(2) LED
灯的寿命比卤素灯长。

LED 灯的主要弱点是灯光的射角太窄，成本相对较高。但从长远来看，由于 LED 灯的寿
命较长，所以还是具有非常大的成本优势。220V AC/DC 转换器(例如 LM5021)主要锁定
舞台灯和路灯市场。



$$P_{RFB} = 0.35^2 \times 1 = 0.12W$$

图2: 在FB反馈端和R_{FB}之间放置一个运算放大器以降低功耗。

2. DC/DC 转换器

目前，LED 手电筒占据了 DC/DC 转换器的绝大部分需求量。手电筒采用的 LED 功率基本上是 1W，供电方式包括锂电池和镍锌电池、碱性电池等。3W 手电筒的应用一直还存在一些难点，因为 3W LED 灯本身需要散热，散热装置的体积大，从而在一定程度上削弱了 LED 灯体积小的优势。此外，由于 3W LED 灯的电流高达 700mA，一次充电后的电池使用时间缩短。尽管如此，对于上述应用国家半导体提供 LM3475、LM2623A 和 LM3485 等方案。

矿灯也是 LED 灯的主要应用领域之一，它属于特种照明行业，需要专业的认证标准，中国对 LED 在矿灯领域的应用一直都很重视。目前，LED 设计行业存在对特种行业的需求认识不足的问题，设计中常采用一些不切实际的、新奇的设计方案。例如，将 LED 灯和电池一起嵌入头盔，却没有考虑到矿灯特殊使用环境的各种需求，这可能是造成 LED 在矿灯市场的应用一直没有打开局面的重要原因。

对于矿灯 LED 应用，美国国家半导体提供了丰富的 DC/DC 稳压器产品，包括 LM3485、LM3478 和 LM5010。已经用户采用一颗 1W 的 LED 灯，周围再放 6 颗普通的高亮度 LED 灯，构成一种具有特殊闪烁功能的矿灯。

总而言之，LED 灯在灯饰和特种照明行业有着广泛的发展前景，国家半导体为此提供完整的新型 LED 驱动解决方案。

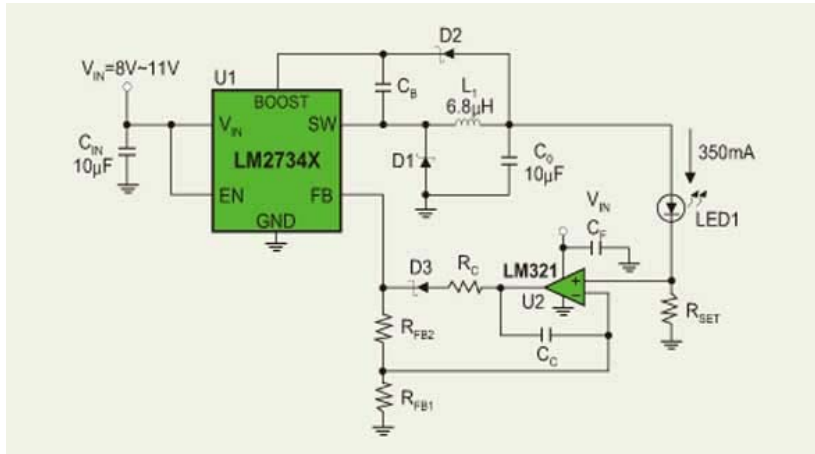


图 3: 基于 LM2734 的恒流驱动电路。

高效的恒流驱动电路

恒压供电的基本电路(图 1 左)采用反馈电阻 R_{FB1} 和 R_{FB2} ，当负载电流发生变化时， V_{FB} 也随之变化，DC/DC 稳压器通过感知 V_{FB} 的变化，使输出电压维持在一个固定的电平：

$$V_0 = (V_{FB} * (R_{FB1} + R_{FB2})) / R_{FB1} \quad (1)$$

在图 1 右边电路中，DC/DC 稳压器的 FB 是高阻输入端，流经 LED 的电流 I_F 为：

$$I_F = V_{FB} / R_{FB} \quad (2)$$

为保持 I_F 恒定，DC/DC 稳压器感知 V_{FB} ，然后调整 LED 正端电压，使流经 LED 的电流保持恒定。这就是利用 DC/DC 稳压器 FB 反馈端实现恒压到恒流转换的原理。

一般来说，DC/DC 稳压器对 V_{FB} 的变化有一个感知的范围，一旦 LED 选定，其工作电流 I_F 的大小也就确定了，所选的电阻要保证 V_{FB} 落在 DC/DC 稳压器容许的范围内。

以 V_{FB} 等于 1.25V 为例，假设 I_F 分别为 15mA、350mA 和 700mA，采样电阻的功耗将分别小于 20mW、400mW 和 800mW。对于 1W 的 LED 来说，采样电阻的功耗分别占到总电源消耗的 2%、40%和 80%。因此，采样电阻的设计对提高 LED 的能效至关重要，它应该选取尽可能小的数值。

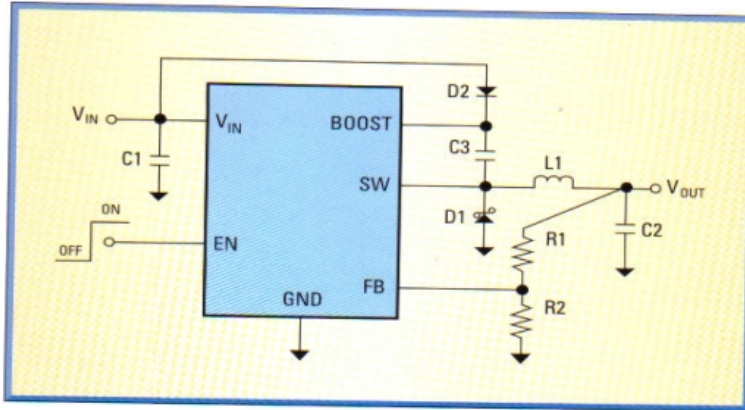


图 4: 从采样电阻直接获取反馈电压的设计。

由于直接将 R_{FB} 连接 FB 端会造成 R_{FB} 的功耗过大，所以在 FB 端和 R_{FB} 之间放置一个运算放大器，以放大 R_{FB} 采集到的电压 V_{TAP} (图 2)。

$$I_F = V_{TAP} / R_{FB} = (V_{FB} / R_{FB}) * (1 + R_F / R_I) \quad (3)$$

通常，1W 大功率 LED 的典型工作电流为 350mA，如果选择 R_{FB} 等于 1 欧姆，则 R_{FB} 的功耗为：

$$P_{R_{FB}} = I^2 * R = 0.35^2 * 1 = 0.12W \quad (4)$$

考虑运算放大器本身的功耗， R_{FB} 及其附属电路的功耗大约为 1W LED 功率的 12%。这样就能在确保 LED 获得恒流供电的同时，将 R_{FB} 的功耗降低到可以接受的水平，从而使 LED 两端的电压尽可能大，流经的电流也尽可能大。国家半导体按照这个原理工作的稳压器有 LM2736 和 LM2734。

LM2734 是 1A 降压型稳压器。基于 LM2734 的恒流驱动电路 (图 3) 利用 LM321 运算放大器获取采样电阻 R_{set} 上的电压，结合其它电阻和电容就可以构成一个完整、高效率的大功率 LED 恒流驱动电路。在实际使用中，有些 LED 恒流驱动电路可以直接从采样电阻获取反馈电压，如图 4 所示。

图 3 中采样电阻 R_{set} 决定了恒流驱动电路的设计，而且对整个系统的效率有重要影响，因此仔细设计 R_{set} 对节省能源至关重要。图 3 和图 4 的详细设计文件请向国家半导体当地授权分销商索取。

一般来说，如果要求 LED 驱动电流的变化不超过标称值的 5% 至 10%，那么采用精度为 2% 的电阻就足够了。LED 驱动电流的典型波动范围是正负 10%。由于采样电阻消耗的功率较大，

应避免使用功率较小的贴片电阻。此外，LM3478 方案适用于多个大功率 LED 的恒流驱动，而基于 LM5021 的恒流驱动设计方案则针对 220V AC/DC 转换器的应用。

恒流驱动与散热的考虑

就电子系统设计而言，工程师在设计 LED 恒流驱动电路时首先要了解 LED 的恒流参数。目前 LED 芯片的制造商很多，国内外 LED 的差异主要在于相同电参数的情况下，流明数可能不同，因此设计工程师要清楚地认识到 LED 功率并不是决定发光效率的唯一参数。例如，同样是 1W 的 LED，有的 LED 可以达到 40 流明的亮度，而有的只能达到 20 流明的亮度，这是因为 LED 光学效率还取决于材料和制作工艺等诸多环节。

有些设计工程师为提高发光效率而采取加大驱动电流的办法，例如，对于同一颗 1W LED，加大驱动电流后，亮度可以从 20 流明提高到 40 流明，但是 LED 的工作温度也相应升高了。一旦温度超过 LED 的限温点，就会影响 LED 的寿命和可靠性，这是设计恒流驱动过程中需要注意的重要问题。

此外，LED 照明系统的光学效率不仅仅取决于 LED 恒流驱动方案，还与整个系统的散热设计密切相关。为缩小体积，某些 LED 恒流驱动系统将 LED 驱动电路与散热部分贴近设计，这样容易影响可靠性。

一般来说，LED 照明系统的热源基本就是 LED 灯本身的热源，热源太集中会产生热损耗，因此 LED 驱动电路不能与散热系统紧贴在一起。建议采取下列散热措施：LED 灯采用铝基板散热；功率器件均匀排布；尽可能避免将 LED 驱动电路与散热部分贴近设计；抑制封装至印刷电路板的热阻抗；提高 LED 芯片的散热顺畅性以降低热阻抗。

光源种类	光效 (lm/W)	显色指数 (Ra)	色温 (k)	平均寿命 (h)
普通照明白炽灯	15	100	2800	1000
卤钨灯	25	100	3000	2000~5000
普通荧光灯	70	70	全系列	10000
三基色荧光灯	93	80~98	全系列	12000
紧凑型荧光灯	60	85	全系列	8000
高压汞灯	50	45	3300~4300	6000
金属卤化物灯	75~95	65~92	3000/4500/5600	6000~20000
高压钠灯	100~120	23/60/85	1950/2200/2500	24000
低压钠灯	200		1750	28000
高频无极灯	55~70	85	3000~4000	40000~80000
1W~3W LED	38(白光) ~ 120 (红光)	85	全系列	20000~100000

表 1: 大功率 LED 在寿命上具有很大优势。

新应用对驱动器的要求

大功率 LED 被称为“绿色光源”，它将向大 LED 电流(300mA 至 1.4A)、高效率(60 至 120 流明/瓦)、亮度可调的方向发展。

由于大功率 LED 在寿命上具有很大优势(表 1)，所以发展前景非常广阔，其中最被看好的照明应用是汽车、医疗设备和仪器仪表及其它特种照明环境。但这些应用对 LED 驱动系统设计也提出了新的要求，包括：输入电压范围一般要求为 6V 到 24V；具有冲击负载保护、反相和过压保护；待机功耗非常低；低带隙基准以减少电流检测损耗以及具有 PWM 调整亮度的功能等。

针对这些需求，美国国家半导体公司提供了全系列 LED 驱动器设计方案(见表 2)，可以为用户提供全面的 LED 驱动器解决方案。

LED 照明系统需要借助于恒流供电，目前主流的恒流驱动设计方案是利用线性或开关型 DC/DC 稳压器结合特定的反馈电路为 LED 提供恒流供电，根据 DC/DC 稳压器外围电路设计的差异，又可以分为电感型 LED 驱动器和开关电容型 LED 驱动器。电感型升压驱动器方案其优点是驱动电流较高，LED 的端电压较低、功耗较低、效率保持不变，特别适用于驱动多只 LED 的应用。在大功率 LED 驱动器设计中，主要采用开关电容型 LED 驱动方案，其优点是 LED 两端的电压较高、流过的电流较大，从而获得较高的功效及光学效率。先进的开关电容技术还能够提高效率，因而在大功率 LED 驱动中应用广泛。

Part#	应用	性能
LM2623/A	手电筒应用	碱性/镍氢电池供电($V_{in}=1.2\sim 3.0V$) 峰值电流 1.2A(LM2623)/2.2A(LM2623A)
LM3478	汽车, 医疗, 户外灯等应用	高效率低位 MOS PWM 控制器, V_{in} (2.95V-40V), 100kHz 至 1MHz 可调开关频率, 10 μ A 关断电流 (全温度范围)
LM2733	汽车—仪表盘等	亮度控制, V_{in} 范围 (2.7V-14V), 输出范围 (20V-40V), 输出电流达 1A, 驱动串联白光 LED
LM5000	汽车应用	80V 内置开关, V_{in} 范围 (3.1V-40V), 输出范围 (2.5V-73V), 输出电流 500mA
LM3485	汽车应用, 手电筒, 矿灯等应用	迟滞 PFET Buck 控制器, V_{in} 范围 (4.5V-35V), V_{out} 范围 (1.24V- V_{in}), 最大工作频率 > 1MHz, 高效率
LM5007 (5008、5010)	汽车—刹车灯等	内置 80V, 0.7A N-沟道降压开关, V_{in} 范围 (9V-75V), V_{out} 范围 (2.5V-73V), 输出电流 500mA, 低成本, 高效率
Simple Switcher 系列	各种领域应用	0.5-5A 输出能力, 高达 63V 输入电压 (HV 版本)。

表 2: 美国国家半导体的 LED 驱动器解决方案一览表。

本文小结

大功率 LED 照明技术有着广阔的发展前景，因而受到普遍的关注和投资者的追捧。现阶段，由于 LED 芯片设计和制造技术及材料等诸多因素的限制，它暂时还不能完全取代传统的白炽灯，因而人们更为关注大功率 LED 在特种照明中的应用。

本文首先介绍了特种照明的应用环境，然后，详细阐述了利用 DC/DC 稳压器实现恒压转恒流设计的基本原理和实际案例，并说明了大功率 LED 驱动器设计与散热部分设计应该注意的事项，最后指出了大功率 LED 新应用对驱动器设计提出的新要求，给出了国家半导体公司的完整解决方案的指南，它有助于从事 LED 照明行业的电子设计工程师全面掌握最新的 LED 驱动器系统设计技术。