

方案设计：用于 MR16 LED 灯的简单、可配置 LED 驱动器

MR16 灯属于多面向反射灯的一种，广泛用于商业零售和家居的装饰性照明，由于它通常以卤素灯丝作为光源，故有诸多缺点如低效率、产生较多热量和卤素囊处理等问题。但当前的 LED 技术提供了与 MR16 兼容、高度可靠、具有高性价比的卤素灯替代方案。例如，安森美半导体能驱动 3 颗串联 LED 的驱动器 CAT4201 就为设计 MR16 LED 灯的工程师提供了一个新的选择。以下将结合 MR16 灯的特点，介绍用替代 MR16 卤素灯的高能效 MR16 LED 灯驱动器解决方案。

卤素灯与 LED 的特性

MR16 卤素灯凭借其独特的尺寸、可配置性、聚光能力、美观性和实用性，应用于很多零售和消费性应用的创意照明。常见的 MR16 卤素灯的光通量范围为 150 流明 (lm) 至 800 lm，光效约为 15 lm/W，或 15% 的发光效率。低效率、产生热量和卤素囊处理问题是这种技术的缺点。另外，典型的卤素灯泡寿命约为 2,000 小时。还可能由于猛烈的振动导致灯丝断路使灯泡过早损坏。

相比较，LED 具有节能环保的优点，耗电相当低，一般 LED 的工作电压是 2 至 3.6 V。LED 是一种冷发光技术，发热量比普通照明光源低很多；LED 完全封装在环氧树脂中，灯体内也没有松动部分，不易损坏，在恰当的电流和电压下，LED 的使用寿命可达 5 至 10 万小时；LED 由无毒的材料制成，没有污染。LED 目前的不足是价格相对较贵，发热量的处理有一定难度，因此驱动电源是 LED 灯整体寿命的一个关键要素。

用 LED MR16 灯替代低效 MR16 卤素灯

安森美半导体的 CAT4201 是一款能驱动 3 颗串联 LED 的 300 mA LED 驱动器，可应用于 MR-16 LED 灯设计。由于器件经过了优化，因此在外部元件数量和热性能方面都更臻完善。

电路特点

CAT4201 采用降压拓扑结构，不要求输入/输出 (I/O) 电气隔离，输入电压为 12 Vac，输出功率为 2.7 W；其他规格包括：输出电压为 9.1 V，额定输入功率 3.4 W，额定平均电流为 300 mA，最大平均电流 310 mA，最小平均电流 295 mA，典型能效为 83%。图 1 是采用 CAT4201 的 MR16 灯电路。

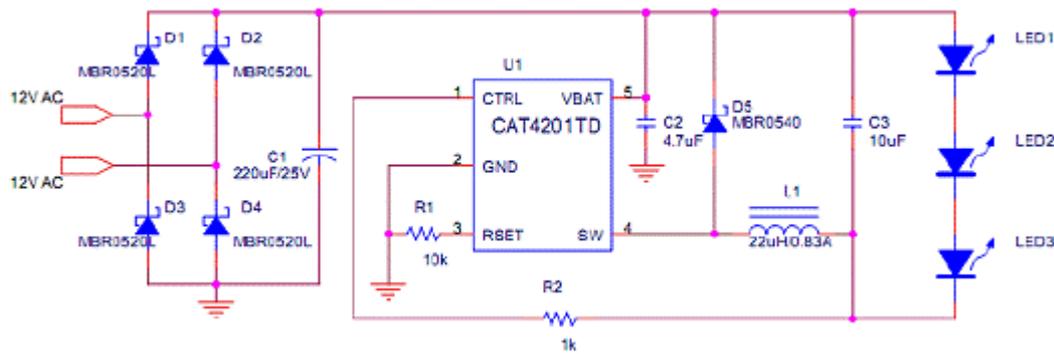


图 1：采用 CAT4201 的 MR16 灯电路

CAT4201 是一款降压型、易于配置的可调光 LED 驱动器。该器件采用 5 引脚 SOT-23 封装；分立元件不到 10 个(其中大部分是表面贴装元件)，整个电路板可小到足以放入 MR16 灯的灯座内。VBAT、CTRL 和 SW 引脚的额定电压为 40 V，所以可以用足够的电压驱动 12 个 LED。RSET 引脚决定输出直流电流；CTRL 用于调光信号输入。SW 是内部 MOSFET 的输出引脚。

工作原理

该应用电路的工作原理并不复杂，是一个简单的降压转换器。在交流应用情况下，输入经整流桥进行整流。VBAT 和 GND 直接连接至大容量电容 C1 的两个端点，从而降低了电流纹波。在第一开关相位期间，内部 MOSFET 随线性上升电流对电感器充电，直到 MOSFET 关闭；在第二相位期间，MOSFET 被关断，而储存在电感器中的电流将通过肖特基二极管(D5)放电，同时电流衰减，直至下一个开关周期。输出电容用来减少 LED 中的电流纹波。RSET 引脚的电压被调节在 1.2 V，因此连接至 RSET 的电阻决定 RSET 电流。RSET 电流与 CAT4201 的恒流输出大致成正比。

电路配置

在电路配置方面，VBAT 的额定电压为-0.3 至+40 V，因此整流桥上的输入电压高达 24 Vac 也是安全的。要保持较高输入电压水平就需要一个大容量的 C1。大幅波动的经整流的 AC 电流将在双倍 AC 线路频率条件下把输出电流拉至零，因此减少了输出电流。220 µ F 的电容对这个设计已经足够了。对于 12 Vac 输入，C1 额定电压应该是 25 V。由于需要较低的正向电压，整流桥选用了 MBR0520L 表面贴装肖特基二极管。

输出电容 C2 建议至少为 4.7 µ F，以减少输出纹波。较大容量的 C2 将有效抑制输出纹波，同时可提高几毫安的输出电流。不过，由于其对总能效的贡献微不足道，且人眼无法感知高频波动，没有必要使用大于 10 µ F 的电容。L 的值

建议为 22 μ H, 以将开关频率设置在约为 150 kHz。LED 电流范围为 0 至 350 mA, 所以 800 mA 左右的电感有效额定电流就足够了。

流经整流器的总连续电流始终低于 400 mA, 即使提供的输出电流为 350 mA。因此, 对整流器来说 0.5 A 的连续额定电流就足够了。仔细观察续流二极管 D5 两端的电压可以发现, 尽管有 12 Vac 输入, 也会出现超过 20 V 的电压尖峰。较高的输入电压(如 15 V)进一步加大了二极管的应力, 增加了故障风险。所以 D5 上的额定电压应为 30 V 或 40 V。安森美半导体的肖特基整流器 MBR0540 可用作 D5。

RSET 引脚用来配置输出电流值。RSET 电压调节在 1.2 V。在 RSET 和 GND 之间增加一个电阻可以决定 RSET 电流, 该电流与输出恒压为近似的线性关系:

$$I_{LED} = 2500 \cdot I_{RSET}$$

计算得出, 对于 300 mA 输出, $I_{RSET} = 0.12$ mA。RSET 电阻值应该是 10k Ω 。较小的 RSET 电阻可能会增加输出电流, 为了稳定运行建议使用至少 8.0 k Ω 的电阻。如果输入电压足够高(如 15 Vac), 可以设置 RSET 为 8.2 k Ω , 因此可保证至少 350 mA 的输出电流。CTRL 经 R2 从 LED 的阴极获得电压。R2 的值并不重要。

性能及特点

从以下图 2 至图 4 显示的波形可以了解电路的基本性能及特点。其测试设备包括: Global Specialties 1506 AC 隔离型电压可变 AC 线路电源; Voltech PM1000 电源分析仪; 泰克 TDS754D 数字荧光示波器; 泰克 TCP202 电流探头; 安捷伦 34401A 万用表。

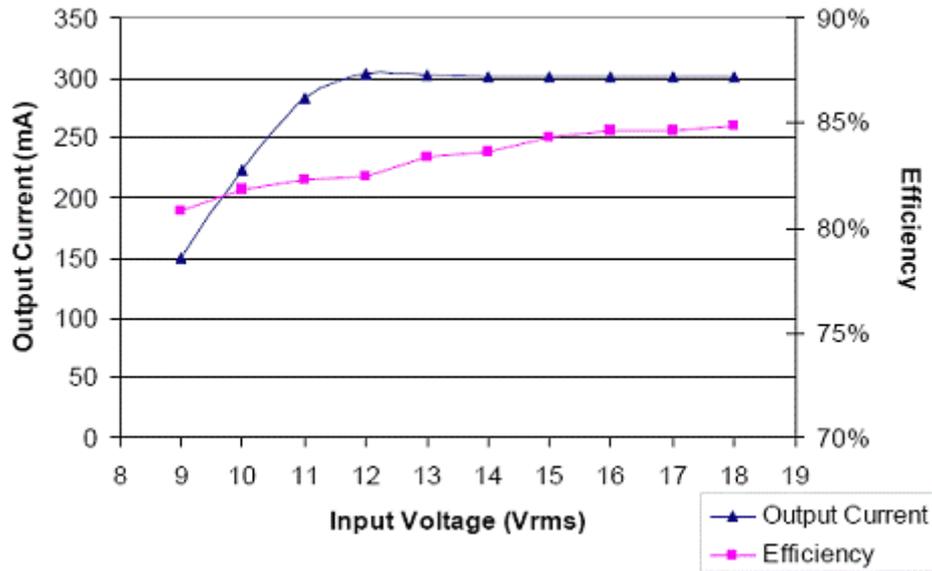


图 2：输入电压、输出电流与效率的关系

在根据图 1 的电路图配置的电路中， $V_{in}=12\text{ Vac}$ 50Hz。由于 AC 线路输入，LED 电流出现了很轻微的低频(AC 频率的两倍， $2 \times 50\text{Hz}$)波动。使用较大容量的 C1 或较高的 V_{in} 将进一步平稳与 AC 相关的纹波电流。

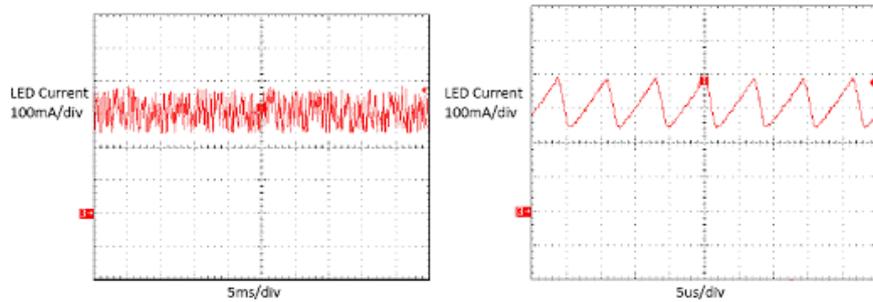


图 3：LED 电流波形

在根据图 1 的电路图配置的电路中，启动和断电瞬态如图 4 所示。

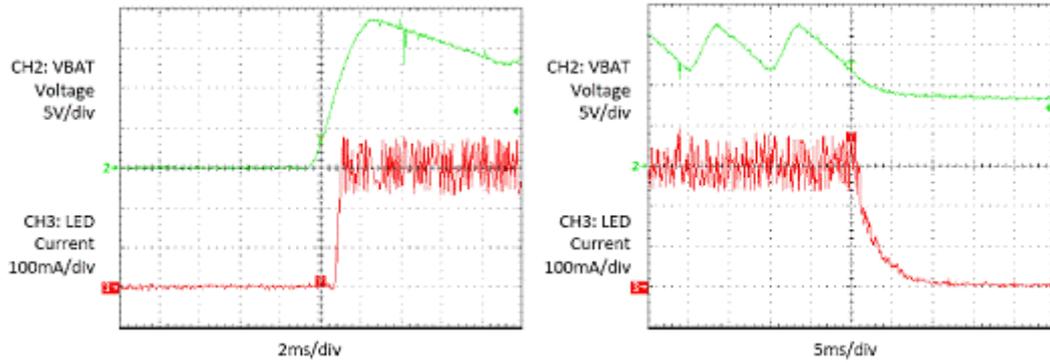


图 4：启动和断电瞬态

设计紧凑

CAT4201 驱动器的优势是紧凑的电路和高能效，使得它非常适合替代基于灯丝的灯泡，如射灯应用。这款超小设计可以放进 MR16 型 LED 射灯的标准连接器 (灯座) 空间内，将这些对温度敏感的元件与发热的 LED 尽量分隔开。

由于经过了优化，该设计在元件数量和热性能方面都更臻完善。这款设计一般可在镜面部分使用 3 个 1 W LED，还可以做出调整，满足照明系统设计人员的要求。在最终的解决方案中，LED 电流及电容器的大小都要有所取舍，以达致最理想的能效、精度、尺寸及元件数量。



图 5：微型 LED 驱动板可以嵌入灯座内

总结

该设计中提供了使用 CAT4201 设计驱动 3 颗 LED 的 MR-16 灯所需的各种要素。CAT4201 有助于实现 MR-16 兼容适配器更小的尺寸和更少的元件。

减少电容器和电感值，或不使用 CTRL 电阻有可能进一步降低成本和缩小 PCB 尺寸。使用小容量电容器会导致平均输出电流的大幅下降，因此不推荐这样做，

但适用于亮度较低的 (200 至 250 mA) 的应用。选择较小正向电压的高品质 LED 对实现更大输出电流的设计非常重要。