

# 高效率 LED

- 随着 LED 生产成本下降，越来越多应用于和建筑照明等。LED 拥有高可靠性、良好光源。虽然白炽灯泡的成本很低，更换一个故障灯泡往往需要出动多位人员和泡的效率大致相等，许多街灯却采用可靠性更高且有电的 LED。



**LIMA**  
夏普 COB 光源

羅子強  
Sales Manager  
S.Z. Mobile: 137-1457-2551  
MSN: luoziqiang@hotmail.com

QQ: 107521149

利瑪電子(新加坡)有限公司  
Add: 深圳市華強北電子科技大廈A座3908室  
Tel: 0755-8836 5152 Fax: 0755-8836 4656  
E-mail: lima@limaworld.com  
Website: www.limaworld.com

白炽灯虽能发出连续光谱，却常用于交通号志等只需绿光、红光和黄光的场合。这类应用须在白炽灯外加装一个特定颜色的滤片，但它会造成六成的光能浪费。LED 则能产生特定颜色的光，而且只要接通电源即可立即发亮，不像白炽灯需要 200ms 的反应时间，因此汽车产业早就将 LED 用于车灯。另外，DLP 视讯应用也以 LED 作为光源，利用高速开关的 LED 取代原有机械组件。

## LED 的 I-V 特性

图 1 是典型 InGaAlP LED 的正向电压特性。LED 电路模型可表示为一个电压源串联一个电阻，这个简单模型与实际测量结果很吻合。电压源为负温度系数，因此正向电压会随着接面温度升高而下降。InGaAlP LED（黄色与琥珀红）的温度系数在 -3.0~ -5.2mV/K 之间，InGaN LED（蓝、绿和白色）则介于 -3.6~ -5.2mV/K 之间。负温度系数是造成 LED 很难并联的原因之一，因为越热的组件会汲取越多的电流，越多的电流又会让它的温度进一步升高，最后就变成热失控。

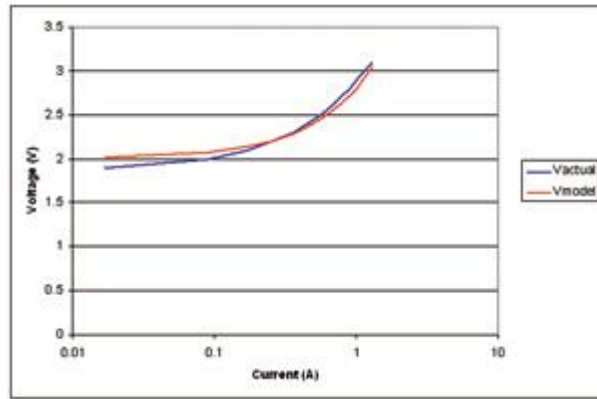


图 1 以电压源和串联电阻作为 LED 电路模型后得到的 I-V 特性曲线

图 2 是输出光强度（光通量）与操作电流的关系，可以看出输出光强度与二极管电流的关系很密切，只要改变正向电流就能调整 LED 的亮度。另外，这条曲线在电流较小时很像是一条直线，但其斜率在电流升高时会变得较小。这表示当电流较小时，只要二极管电流加倍就会让输出光强度加倍。电流较大时则非如此，此时电流加倍只会让输出光强度提高八成。这项特性对 LED 很重要，因为它是由交换式电源所驱动，所以可能会遇到很大的纹波

电流。其实电源供应的成本在某种程度上就是由所允许的电流决定：纹波电流越大，电源供应的成本就越低，只不过 LED 的输出光强度也会受到影响。

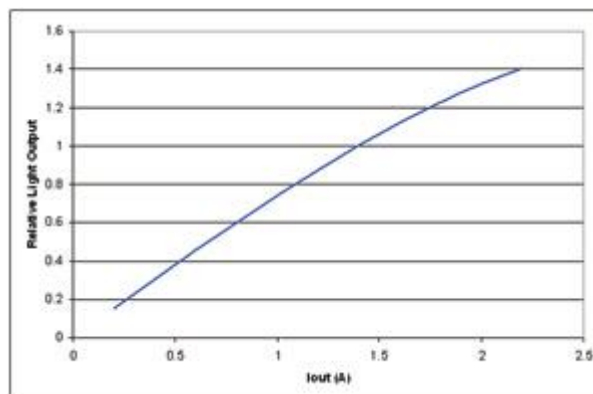


图 2 LED 效率在电流超过 1A 后开始下降

图 3 是把三角纹波电流加到直流输出电流后，输出光强度减少的情形。由于纹波电流的频率在多数情形下都远超过人眼所能分辨的 80Hz，再加上人眼对光强度的反应又呈现指数关系，只要光强度减少不超过 20%就不会被发现，因此就算 LED 电流的纹波很大，光强度也不会明显减弱。

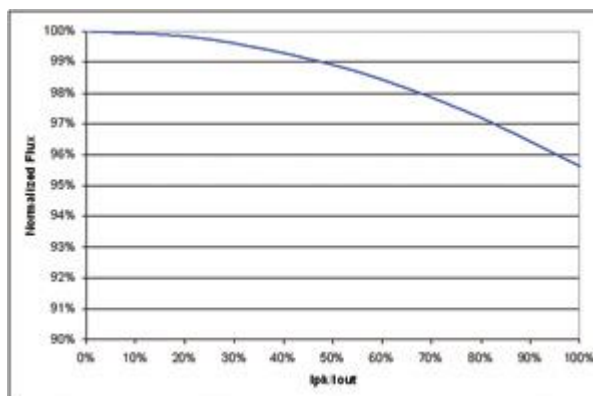


图 3 纹波电流造成 LED 输出光强度略为下降

纹波电流还会增加 LED 耗电量，造成接面温度上升，并对 LED 的使用寿命产生很大影响。图 4 显示 LED 输出光强度与时间及接面温度的关系。我们设定 80%的输出光强度为 LED 的使用寿命，则从图 4 中可看出，当温度从 74°C 降至 63°C 时，LED 使用寿命会从 10 000 小时增加为 25 000 小时。

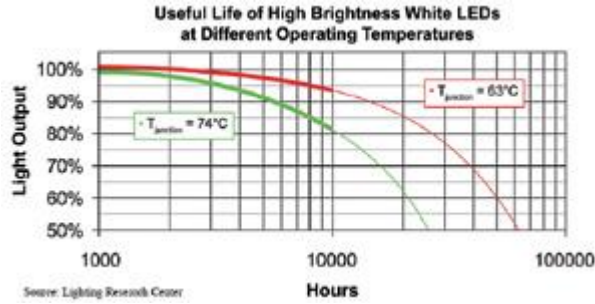


图 4 接面温度升高会缩短 LED 的使用寿命

图 5 是纹波电流造成 LED 功耗增加的情形。由于纹波频率比 LED 的热时间常数高，因此就算纹波电流很大（以及峰值功耗很大）也不会影响峰值接面温度——这个温度主要是由平均功耗决定。LED 的大部份电压降就像是一个电压源，所以电流波形不会对功耗造成影响。然而电压降中仍会有某些电阻分量，这部份的功耗等于电阻值乘以均方根电流的平方。

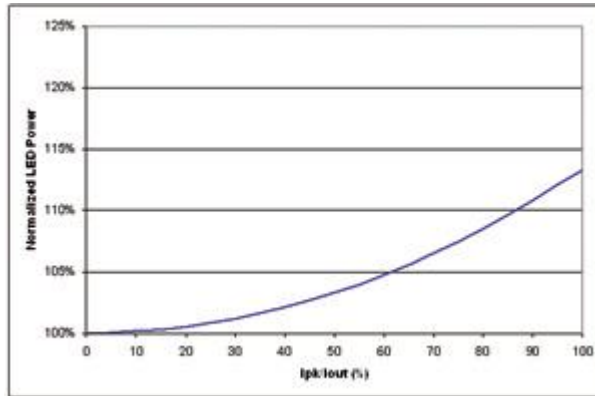


图 5 纹波电流导致 LED 耗电增加

从图 5 还能发现就算纹波电流很高，也不会对 LED 功耗造成太大影响。举例来说，当纹波电流达到输出电流的一半时，耗电量只会增加不到 5%。但若纹波电流远远超出这个水平，设计人员就必须减少电源提供的直流电流，避免接面温度升高而影响组件寿命。一个简单的经验法则是：接面温度每降低 10°C，半导体组件寿命就会延长一倍。另外，多数设计由于受到电感的限制，都会尽量降低纹波电流，因为大部分电感只能应付 20% 以下的  $I_{pk}/I_{out}$  纹波电流比。

- 典型应用

LED 电流常由安定电阻或线性稳压器控制，但本文主要讨论交换式稳压器。LED 驱动架构基本上可分为降压、升压和升降压等三种类型，实际架构则应由输入电压与输出电压的关系决定。

如果输出电压永远低于输入电压，则可采用图 6 所示的降压稳压器。在此电路里，输出滤波电感 L1 的平均电压是由功率开关的负载周期所控制。TPS5430 内含的 FET 开关导

通时会将输入电压连接到电感 L1 并产生电流，逆向电压保护二极管 D2 则会在开关截止时提供另一条电流路径。L1 电感可以稳定 LED 电流，因为电路会透过电阻监控 LED 电流，然后比较电阻电压与控制组件内部的参考电压以判断电流大小：如果电流太小，就增加功率开关的负载周期来提高 L1 电感的平均电压，以便让 LED 电流升高。这个电路的工作效率很高，因为功率开关、逆向电压保护二极管和电流感测电阻的电压降都很小。

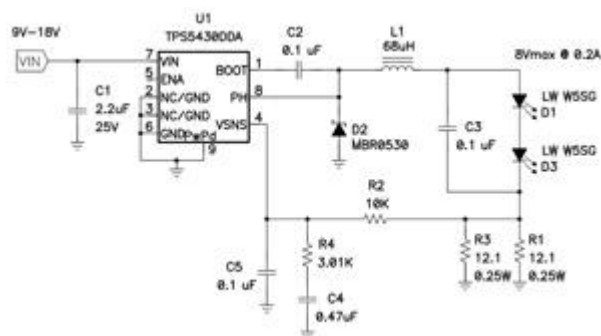


图 6 降压式 LED 驱动器会将输入电压转换为较低电压

如果输出电压永远大于输入电压，图 7 所示的升压转换架构就是最佳选择。这个设计除了控制电路外，同样会使用内含功率开关的组件 U1。功率开关导通时，电流会通过电感到地。开关截止时，U1 接脚 1 的电压会上升直到 D1 导通，电感也会经由输出电容 C3 和多个串联的 LED 开始放电。多数应用会利用 C3 稳定 LED 电流，若没有该电容，LED 电流会变成在零与电感电流之间交替切换的不连续电流，不仅会降低 LED 的亮度，还会产生更多热量而缩短 LED 寿命。此电路也和前面一样利用电阻感测 LED 电流，再根据结果调整负载周期。注意，此架构很大的缺点是没有提供短路保护，输出端短路会造成庞大电流通过电感与二极管，将导致电路故障或输入电压大幅下降。

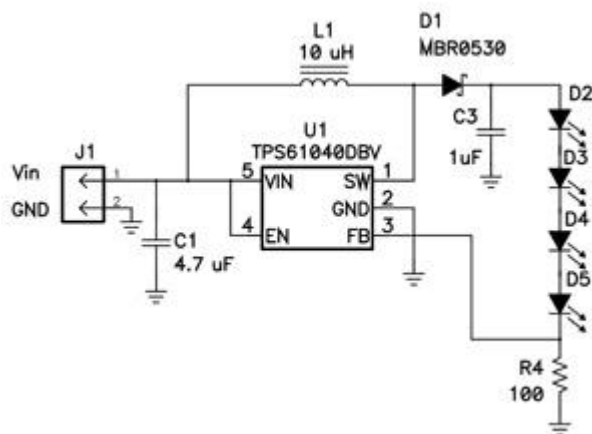


图 7 整合式升压 LED 驱动器将输入电压转换为高电压

如果输入电压的变动范围很大，有时高于输出电压，有时又低于输出电压，那么单纯的降压或升压架构就不适用。除此之外，升压应用还可能需要短路保护功能。在此状况下，设计人员应采用图 8 所示的升降压架构。这个电路与升压转换架构很类似，会在功率开关导

通时建立电感电流，等到功率开关停止导通，电感电流就会通过输出电容和 LED。这种设计与升压转换架构的区别在于输出电压不是正值，而是负电压。此架构还能在输出短路时将开关 Q1 切断，所以可以避免升压架构发生的短路问题。此电路的另一特点是尽管输出为负电压，感测电路却不需执行电压位准转换——因为控制组件的地线连接到负输出端，并直接测量感测电阻 R100 两端的电压。图 8 中虽然只有 1 个 LED，实际应用却可串联多颗。另外要注意的是，输入电压与输出电压的总和不能超过控制组件的最大电压额定值。

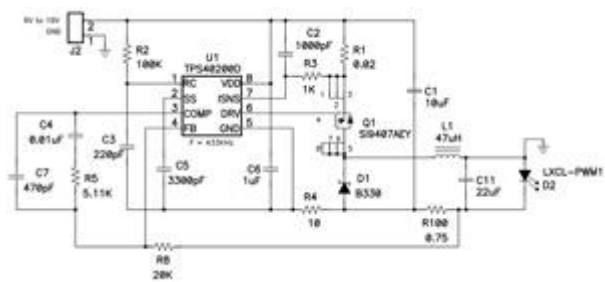


图 8 升降压架构支持很大的输入电压范围

### 控制回路设计

LED 电源供应的电流回路设计要比传统电源供应的电压回路简单。电流回路的复杂性是由输出滤波架构决定的。图 9 就是三种常见架构，分别是单纯的电感滤波器 (A)、典型的电源供应滤波器 (B) 和改良型滤波器设计 (C)。

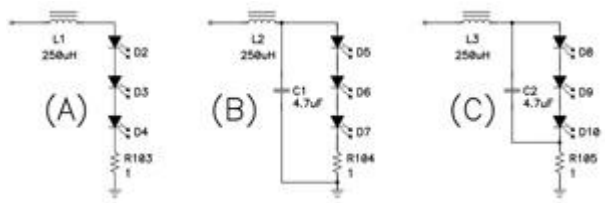


图 9 三种不同的输出滤波架构

为每个功率级电路建立简单的 P-Spice 模型，以说明其控制特性的个别差异。其中降压转换功率 FET 与二极管的开关动作由一个 10 倍增益的压控电压源代表，LED 由一个 3Ω 电阻串联 6V 电压源代表，LED 与接地之间还有一个 1Ω 的电流感测电阻。模拟结果如图 10 所示。

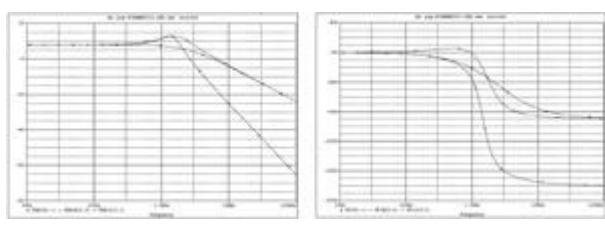


图 10 三种滤波器架构的增益与相位图

电路 A 是相当稳定的一阶系统响应，其中，直流增益是由压控电压源、LED 阻抗所构成的分压器以及电流感测电阻所决定，系统极点则由输出电感与电路阻抗决定。补偿电路设计也很简单，只要使用乙类放大器即可。

电路 B 由于包含输出电容，所以会有二阶响应。增加输出电容是因为某些应用在电磁干扰或散热因素的考虑下，不能容忍 LED 出现太大的纹波电流，因此需要输出电容来消除纹波电流。这个电路的直流增益与前面的电路相同，但它会在输出电感和电容所决定的频率点上产生一对复数极点。由于滤波电路的总相位移为  $180^\circ$ ，因此补偿电路设计必须谨慎以免系统不稳定。补偿电路设计与采用丙类放大器的传统电压模式电源供应很类似，但比电路 A 多出两颗零件和输出电容。

电路 C 则会重新安排输出电容的位置，使电路补偿更容易。LED 两端的纹波电压与电路 B 很类似，只不过电感纹波电流会通过电流感测电阻 R105，这在计算功耗时必须考虑。此电路的补偿设计几乎和电路 A 同样简单，直流增益也与前面两种电路相同。电路共有 1 个零点和 2 个极点，零点由电容和 LED 串联电阻产生。第一个极点由输出电容和电流感测电阻决定，第二个极点由电流感测电阻和输出电感决定。当频率很高时，此电路的响应与电路 A 相同。

## 调光

许多应用都需要 LED 调光功能，像是显示器亮度控制和建筑照明调整。LED 调光方式有两种，一种是减少 LED 电流，另一种是让 LED 快速导通和截止。由于输出光强度不全与电流成正比，LED 光谱在电流低于额定值时还常会移动，所以减少 LED 电流不是很有效率的做法。另外，人类的亮度感受还与光强度成指数关系，需大幅改变电流才能达到调光效果，这对电路设计造成很大影响，例如，电路容差（circuit tolerance）就能让 3% 的满负载电流误差在 10% 负载时增为 30% 以上。

电流波形脉冲宽度调变（PWM）虽然提供更精确的亮度调整，但响应速度要特别注意，如照明和显示器应用就必须让 PWM 速度超过 100Hz，否则看起来会有闪烁的感觉。假设 PWM 频率为 100Hz，那么 10% 的脉冲宽度就已进入毫秒范围，是故电源供应必须提供 10kHz 以上的带宽。图 9 中的 A 和 C 简单回路都能轻易达到此要求。图 11 是包含 PWM 调光功能的降压转换功率级电路，会不停接通和切断 LED 与电路的联机。这种架构让控制回路永远处于工作状态，故能提供非常快速的瞬时响应（见图 12）。

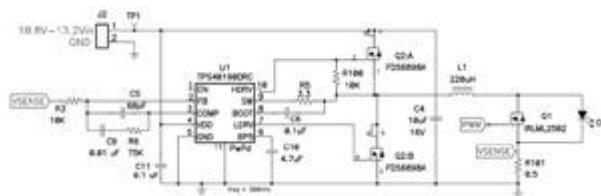


图 11 利用 Q1 对 LED 电流进行脉冲宽度调变

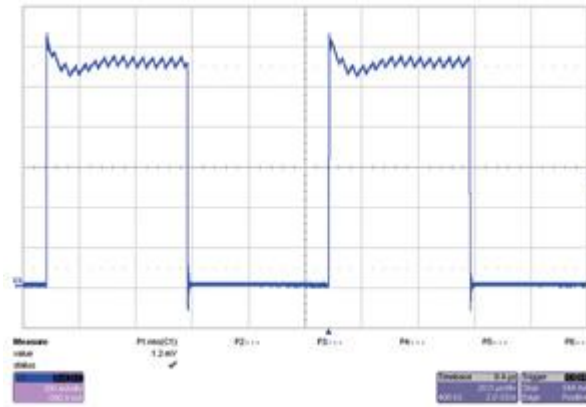


图 12 PWM 技术提供  $1\mu\text{s}$  以内的 LED 切换速度

## 结语

尽管 LED 应用日益流行，仍有许多电源管理问题需要解决。例如，LED 在注重可靠性与安全性的汽车市场的应用虽已大幅成长，但汽车电路系统的电源环境其实相当严苛，所以保护电路设计必须能够承受 60V 以上的电压突降。