

大功率白光 LED 在照明器具中的应用研究

朱建华,岑盈盈,陆华洋,杨志卫

(浙江科技学院 工程实践中心,杭州 310023)

摘要: 根据一组 1 W 30 lm 的大功率白光 LED 的实测参数,结合 PWM 调制技术、Buck 变换技术及电子器件散热技术,采用 JY1604、SG3524 集成电路,设计了大功率 LED 照明系统。实验结果表明:该系统控制的 LED 电流稳定,控制精度可达 $\pm 1\%$;驱动电路输出电流可达 1 A,可同时驱动多只大功率 LED,且亮度可调;系统散热效果良好,LED 连续工作后测量其温升,结果显示温升约为 30°C ,满足系统散热要求。

关键词: 大功率白光 LED; Buck 变换; PWM; 散热

中图分类号: TN312.8; TP303.3

文献标识码: A

文章编号: 1671-8798(2007)04-0269-04

Applied Study of High Power White Light LED in Illuminate Appliance

ZHU Jian-hua, CEN Ying-ying, LU Hua-yang, YANG zhi-wei

(Center of Engineering Experiment, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: According to actual parameter of a group of 1 W 30 lm high efficiency white light LED, the authors designed a high efficiency LED lighting system unifying technology of PWM modulation, buck transformation and the electronic device heat radiation, and using JY1604, and SG3524 integrated circuit. The experimental result indicated that the system control LED electric current is stable, the control precision may reach $\pm 1\%$, the actuation electric circuit output current may reach 1 A. It may simultaneously actuate several high efficiency LED with brightness adjustable; the system radiation effect is nice, survey after continuous working the LED rising temperature and the result shows that the temperature rises approximately for 30°C , which satisfies the system radiation request.

Key words: high efficiency white light LED; buck transform; PWM; heat radiation

发光二极管(LED)是一种发光器件,其物理过程是电能向光能的转变。LED 应用已有很多年,早期的 LED 光效很低,一般用作状态指示,随着技术的进步,它们正逐渐成为照明市场中强有力的竞争

者。可以取代传统照明光源的是大功率白光大功率 LED,它主要有两种发光机理:一种是结合蓝色 LED 和黄磷,通过蓝光和磷发射的黄光的混合产生白光;另一种是通过紫外光 LED 和红、蓝、绿磷的组

收稿日期: 2007-09-03

基金项目: 浙江科技学院科研基金资助项目(ZF200610)

作者简介: 朱建华(1966—)男,浙江淳安人,工程师,主要从事自动控制研究。

合产生白光^[1]。白光 LED 魅力四射,优点多多。除了寿命长、耗能低之外,白光 LED 更大的长处有四点^[2]:一是应用非常灵活,可以做成点、线、面各种形式的轻薄短小产品;二是环保效益更佳,由于光谱中没有紫外线和红外线,没有辐射,属于典型的绿色照明光源,而且废弃物可回收,没有污染;三是控制极为方便,只要调整电流,就可以随意调光;四是响应速度快。新的大功率白光 LED 有 10 万 h 理论寿命,市场上已有销售的大功率白光 LED 光效已能达到 100 lm/W,美国加州大学固态发光及显示中心已开发出发光效率为 200 lm/W 的白光 LED,这意味着一只 1 W 的白光 LED 和一只 20 W 白炽灯发出的光是等效的,而白光 LED 能量消耗只有白炽灯的 1/20。目前,LED 已经进入一些应用领域,应急灯、太阳能路灯、草坪灯、装饰灯等产品相继问世。虽然目前价格较贵,暂时难以普及,但是可以预期,在 LED 形成一定市场规模后,LED 技术将飞速发展,LED 价格的大幅度下降将指日可待。因此,LED 在照明领域的应用前景不可估量。本文根据大功率 LED 的实验特性,设计了大功率 LED 驱动系统及散热系统,期望上述系统使 LED 效率和寿命接近理论值。

1 大功率 LED 实验特性

1.1 大功率 LED 的光电特性

尽管大功率 LED 器件在不断的发展,光效在不断提高,但其基本特性是相同的,因此,用现有的大功率白光 LED 测得的特性具有普遍的意义。用一组 1 W30 lm 的 LED 在一个特定的环境下测量 LED 的电流、功率、照度^[3]之间的关系,结果如图 1 所示。

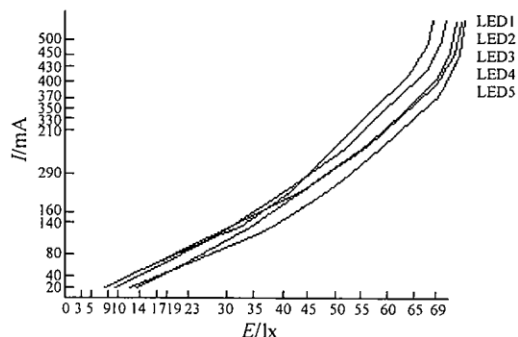


图 1 大功率 LED 的电流与相对照度的关系

从图 1 中可以看出,在 LED 电流小于 430 mA 时,光输出和电流的关系基本呈线性关系,当 LED 电流大于 430 mA 时,光输出趋于饱和。这一特征

是确定 LED 工作电流的依据之一,确定 LED 工作电流应综合考虑光效、结温等因素。

1.2 结温对 LED 性能的影响

LED 的光输出强度明显依赖于器件的结温,图 2 表明,当结温在 125℃ 以下时,LED 的光输出和电流呈线性关系,当结温大于 125℃ 时,器件的输出光强度将逐渐减小,此时如降低结温,光输出强度将增大。这表明,在一定的条件下,光随结温的增加而减小的效应是可逆的。

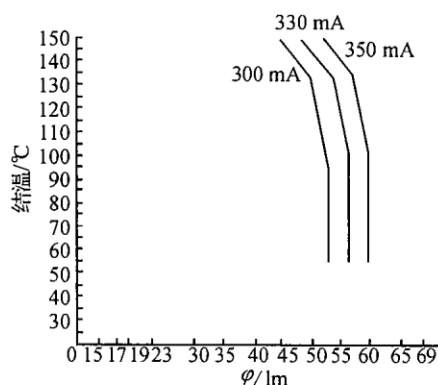


图 2 结温对 LED 光通量输出的影响

结温对光输出影响的数学表达式如式(1)所示:

$$\varphi_v(T_2) = \varphi_v(T_1)e^{-K\Delta T} \quad (1)$$

式(1)中, $\varphi_v(T_2)$ 表示结温 T_2 的光通量输出; $\varphi_v(T_1)$ 表示结温 T_1 的光通量输出; K 为温度系数, K 值可由实验测定; $\Delta T = T_2 - T_1$ 。

LED 的光输出特性在高温下除会发生可恢复性的变化外,还将随时间产生一种不可恢复的永久性的衰变^[4]。这种衰变是影响 LED 寿命的根本原因。

正向电压随温度的变化而变化,这种变化是可恢复的,但如在高温情况下,会造成额外复合电流的增加,而使正向电压下降,电压下降将导致正向电流增加,并形成恶性循环,最终导致器件损坏,因此,LED 不宜工作在恒压条件下。通常,恒流是 LED 工作的较好模式。

2 大功率 LED 控制的优化设计方案

2.1 电源方案选择

根据上述 LED 光电特性及温升效应,在设计电路时适当地选择 LED 的工作电流是十分必要的,工作电流过低将使光效降低,工作电流过高将导致 LED 温升过高。根据实测结果,当 LED 正向电流为 330 mA 时正向电压约为 3.5 V,此时 LED 消耗的电功率为 1.12 W,光效较高。LED 要获得更高

2.3 主要参数设计

2.3.1 Buck 变换器电感设计 电感是 Buck 变换器的关键元件,电感选择过小将导致电感磁饱和而产生过电流,电感选择过大将使电路体积增大成本上升。由式(2)可得: $D = U_o/U_i = 28/310 = 0.09$,设 Buck 变换器 PWM 驱动信号频率为 200 kHz,则一周期内高电平所占的时间为:

$$T_{ON} = \frac{D}{f} = \frac{0.9}{200 \times 10^3} = 4.5 \mu s,$$

根据前已确定的 LED 电流得 $I_{LED} = 330 \text{ mA}$,则电感量为:

$$\begin{aligned} L &= \frac{U_i - U_o}{0.3 \times I_{LED}} \times T_{ON} \\ &= \frac{310 - 28}{0.3 \times 330} \times 4.5 = 12.8 \mu H. \end{aligned}$$

2.3.2 采样电阻阻值 外部采样电阻 R_s 和 JYT604 的 CS 端相连,CS 端内部设定值为 250 mV,超过设定值时,GATE 端输出低电平,功率管 V_7 关断。设电感峰值电流为 150 mA,LED 最大电流为 500 mA,则采样电阻值为:

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{U_{CS}}{I_{LEDmax} + 0.5 \times I_{Lmax}} \\ &= \frac{250}{500 + 150 \times 0.5} = 0.43 \Omega \end{aligned}$$

2.3.3 振荡电路参数 JYT604 的震荡频率 f_1 由外接电阻 R_7 决定。设 $f_1 = 200 \text{ kHz}$,则

$$R_7 = \frac{22000 - 22f_1}{f_1} = 88 \text{ k}\Omega (\text{取 } R_7 = 86 \text{ k}\Omega)$$

2.4 散热系统设计

LED 输入的电能一部分变成了辐射光能,另一部分转变为热能,从而抬升了器件的温度。因此,要减小 LED 温升效应,首先要提高 LED 的光效,使尽可能多地输入功率转变成光能,对于一个确定的 LED 器件,具体的做法是选择一个适当的电流值并使之工作于恒流模式,另一个重要的途径是设法提高器件的热散失能力,使结温产生的热通过各种途径散发到周围环境中去。

设大功率 LED 最高环境温度为 40°C ,最高允许结温为 125°C ,那么允许温升是 85°C ,考虑到温升效应对 LED 性能的影响,将允许温升下降至 40°C 。则总热阻 R_{ja} 为:

$$R_{ja} = \frac{\Delta T}{P_D} = 40^\circ\text{C/W}$$

式中 P_D 为器件耗散功率, ΔT 为接温与环境温度之差。

设由器件管芯传到器件底部的热阻为 R_{jc} ,器件底

部与散热器之间的热阻为 R_{sa} ,散热器将热量散到周围空间的热阻为 R_{sa} ,则总热阻^[7]: $R_{ja} = R_{jc} + R_{sa} + R_{sa}$ 。

资料显示,1 W LED 的热阻 $R_{jc} = 20^\circ\text{C/W}$;在器件与散热器之间涂敷导热油脂或导热垫后,再与散热器安装,其 R_{sa} 典型值为 $0.1 \sim 0.2^\circ\text{C/W}$,取 0.2°C/W ;求得 R_{sa} 为 19.8°C/W 。由于散热器上装有 8 只 LED 故要求散热器的热阻为 2.5°C/W 。查有关手册可得,要满足热阻 2.5°C/W 的要求可选用表面积为 400 cm^2 的 1 mm 厚的铝板作为散热体。具体的做法是将铝板做成圆锥形,底部为一平面,大功率 LED 直接安装在平面上,这样,铝板一方面作为散热体另一方面又可作为灯罩。

3 实验结果

用 8 只 1 W 30 lm 的 LED 作为实验对象,根据上述驱动电路设计方案及散热系统设计方案,制作了一盏大功率 LED 灯。实验结果表明:交流电压在 $160 \sim 250 \text{ V}$ 之间波动时,LED 电流值相当稳定,控制精度为 $\pm 1\%$;与 25 W 白炽灯在同等条件下的对比实验显示,在高度为 2 m、半径为 2 m 的范围内白炽灯的照度为 6 lx,大功率 LED 灯照度为 6 lx,这表明 25 W 白炽灯和 8 W LED 灯产生的光能相当;让 LED 灯工作 8 h 后测量其温升,结果显示温升约为 30°C 。以白炽灯为参考对象将 LED 与常见光源性能进行比较可以看出,LED 在能耗、寿命、控制、可靠性等方面和传统光源相比有明显的优势。表 1 为 LED 与常见光源的性能比较。

表 1 LED 与常见光源的性能比较

光源种类	光效/ lm	可靠性	协调控制	发热量	使用寿命/h
30 lm LED	30	极高	易	低	100 000
200 lm LED	200	极高	易	低	100 000
白炽灯	10	低	不易	高	<2 000
日光灯	40	低	不易调光	较高	>5 000
节能灯	80	低	不易调光	低	<8 000

4 结 语

大功率 LED 驱动系统应用 PWM 调制技术及 Buck 变换技术,提高了驱动电路的效率,降低了电路的成本,保证了电流的稳定,其电流稳定精度可达 1% 。合理的散热系统设计可使系统温升远小于允许温升,使得 LED 的光效得到了保证,使用寿命得以延长。

(下转第 321 页)

(上接第272页)

参考文献:

- [1] 郑代顺,钱可元,罗毅.低色温高显色性大功率白光LED的制备及其发光特性研究[J].光电子·激光,2006,17(12):1422-1423.
- [2] 周志敏,周纪海,纪爱华.LED驱动电路设计与应用[M].北京:人民邮电出版社,2006:136-138.
- [3] 朱小清.照明技术手册[M].北京:机械工业出版社,2003:365-367.
- [4] 黄俊,王兆安.电力电子变流技术[M].北京:机械工业出版社,1999:111-113.
- [5] 郑代顺,钱可元,罗毅.大功率发光二极管的寿命试验及其失效分析[J].半导体光电,2005,26(2):88-89.
- [6] LIN B R, HAFT R G. Real-time digital control of PWM inverter with fuzzy logic compensator for nonlinear loads[J]. IEEE-LAS,1993,93:862-869.
- [7] 余建祖.电子设备热设计及分析技术[M].北京:北京航空航天大学,2000:120-125.