

文章编号: 1000-5013(2013)01-0014-04

# 调光方式对 LED 色温和光通量的影响

刘祖隆, 郭震宁, 胡志伟, 林建南

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 通过发光二极管(LED)在模拟调光和脉冲宽度调制(PWM)调光两种不同调光方式实验中,研究其光色参数的变化情况.分析同一色温白光 LED 在不同调光方式的色温和光通量的变化趋势,并分别分析同一种调光方式下,两种不同色温 LED 混和之后的色温和光通量的变化趋势.结果表明:同一色温白光 LED 在 PWM 调光方式下,色温的变化较小,但其光效较模拟调光小;两种不同色温 LED 混色之后的色温可在较大范围内变化,可满足人们对 LED 不同光色的选择.

**关键词:** 发光二极管; 脉冲宽度调制; 调光; 色温; 亮度

**中图分类号:** TN 312.8

**文献标志码:** A

随着经济的高速发展,照明用电占社会总电能消耗的比重越来越大.提高照明效率、节约能源已经成为缓解用电紧张状况的重要手段.发光二极管(LED)素有“绿色能源”之称,产品不含汞、铅等对人体有害的物质,在同样亮度下,耗电仅为普通白炽灯的 1/10,寿命可延长 50 倍.然而,在 LED 逐步进入照明领域的同时,人们对 LED 灯光质量的要求也越来越高,如需要高的显色指数、照度和色温.LED 的响应时间为纳秒级,而白炽灯的响应时间为毫秒级,因此 LED 的响应速度更快,容易实现调光.目前,人们对灯具的要求不仅仅局限在能照明上,而且要求是智能化照明,能在不同环境下提供不同质量的灯光.基于此,本文在脉冲宽度调制(PWM)和模拟调光的技术上,研究两种不同色温的白光 LED 混色对色温和光通量的影响.

## 1 LED 调光方式

目前,LED 驱动主要采用恒流驱动,主要通过 Buck, Boost, Buck-Boost 等 3 种开关电源的拓扑结构设计 LED 恒流驱动电源<sup>[1]</sup>.

### 1.1 模拟调光

模拟调光是通过改变光源的电流值来调节光源的亮度,即通过调节串接在 LED 灯上的采样电阻的阻值来实现的.但由于采样电阻的阻值本身比较小,一般是小于 1  $\Omega$ ,而单纯调节一个小于 1  $\Omega$  的电阻不容易实现,需要通过一个反馈回路进行调节.模拟调光不会引入潜在的电磁兼容/电磁干扰(EMC/EMI)频率.其缺点在于 LED 电流的调节范围局限在某个最大值至该最大值的 10% 之间(10:1 的调光范围).由于 LED 的光谱与电流有关,因此模拟调光会改变光源的显色指数和色温,这种方法并不适合于要求日益提高的室内照明.

### 1.2 PWM 调光

PWM 调光是通过改变光源电流的通断时间来调节光源亮度.PWM 调光方案是以某种快至足以掩盖视觉闪烁的速率在零电流和最大 LED 电流之间进行切换,占空比改变了有效平均电流,从而可实现调光.这种调光的缺点在于要额外地引入一个 PWM 发生装置,无形中提高了成本,而且高频的 PWM

**收稿日期:** 2012-01-09

**通信作者:** 郭震宁(1958-),男,教授,主要从事半导体光电子学的研究. E-mail: znguo2003@yahoo.com.cn.

**基金项目:** 福建省自然科学基金资助项目(2010J01338);福建省科技计划重点项目(2009H0034);福建省发改委发明创造扶持基金资助项目(FC200905)

会引入潜在的电磁兼容/电磁干扰(EMC/EMI)频率;而优点在于 LED 电流要么处于最大值,要么被关断,不管调光程度有多大,LED 一直工作在恒定的电流. 所以,该方法还具有能够避免在电流变化时发生 LED 色偏的优点,而采用模拟调光时这种 LED 色偏现象是很常见的. 在 DC/DC 变换中,采用脉冲调光,可以使 DC/DC 变换器的效率保持在一个较高的效率,这是因为 DC/DC 变换器在满载或典型负载时效率最高,轻载时效率较低,如果选择线性调光,势必会降低效率<sup>[2-3]</sup>.

## 2 硬件结构设计

图 1 为系统的硬件结构;图 2 为系统电路图. 控制器为 AT89C51 单片机;降压型芯片 PT4115 为 LED 驱动 IC,其调光引脚提供 PWM 脉冲. 光源由 64 颗色温为 6 500 K 和 64 颗色温为 3 000 K 的小功率白光 LED 交叉排列组成,使得光源分布比较均匀.

LED 驱动有恒流驱动和恒压驱动两种方式,因为 LED 存在的一致性问题 and 负温度系数特性,经分析表明恒流驱动在 LED 电源方面具有更大的优势. PT4115 是一款连续电感电流导通模式的降压恒流源,用于驱动一

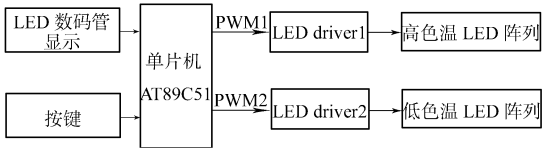


图 1 系统硬件结构图  
Fig. 1 System hardware composition

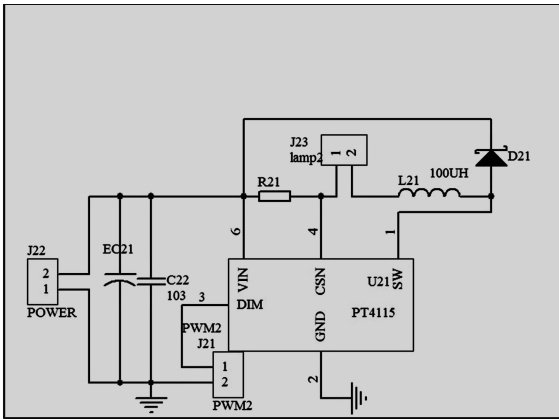
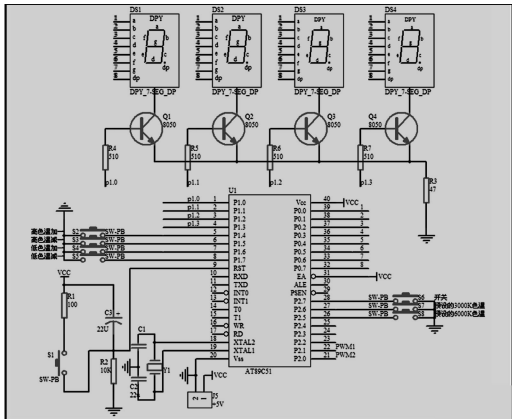


图 2 系统电路图  
Fig. 2 System circuit



颗或多颗串联 LED. PT4115 输入电压范围从 6 V 到 30 V,输出电流可调,最大可达 1.2 A,而且复用 DIM 引脚进行 LED 开关、模拟调光和 PWM 调光,符合实验需求,外围电路简单. 因此,实验以 PT4115 为例,设计 2 个 3.84 W 的恒流驱动电源,分别为 2 个不同色温的白光 LED 阵列供电<sup>[4]</sup>.

PWM 控制电路由单片机 AT89C51 产生,外围 4 个按键控制两路 PWM 脉冲的占空比,分别为加 10 个占空比和减 10 个占空比,4 个数码管分别显示当前 PWM 脉冲的占空比,这样测试方便直观,可以防止误操作.

## 3 结果与分析

### 3.1 色温和电流的关系

色温( $T_c$ )是表示光源光谱质量最通用的指标,是按绝对黑体来定义的. 即光源的辐射在可见区和绝对黑体的辐射完全相同时,此时黑体的温度就称此光源的色温. 低色温光源的特征是能量分布中红辐射相对多些,通常称为“暖光”;而色温提高后,能量分布集中,蓝辐射的比例增加,通常称为“冷光”<sup>[5]</sup>.

以 64 颗色温在 6 500 K 和 64 颗色温为 3 000 K 的白光 LED,通过 Tracepro 仿真 LED 阵列的排布,使其出光相对均匀. 实验在直径为 1.5 m 的测灯具的 LED 积分球中完成. 高色温和低色温白光 LED 在模拟调光和 PWM 调光下色温的变化曲线,如图 3 所示. 从图 3 可知:不论是高色温还是低色温的 LED 模拟调光色温的变化范围都比 PWM 调光范围大.

由单片机的 P2.1 和 P2.2 引脚产生 PWM 脉冲,用电流表测得不同档位下的电流. 为比较两种不

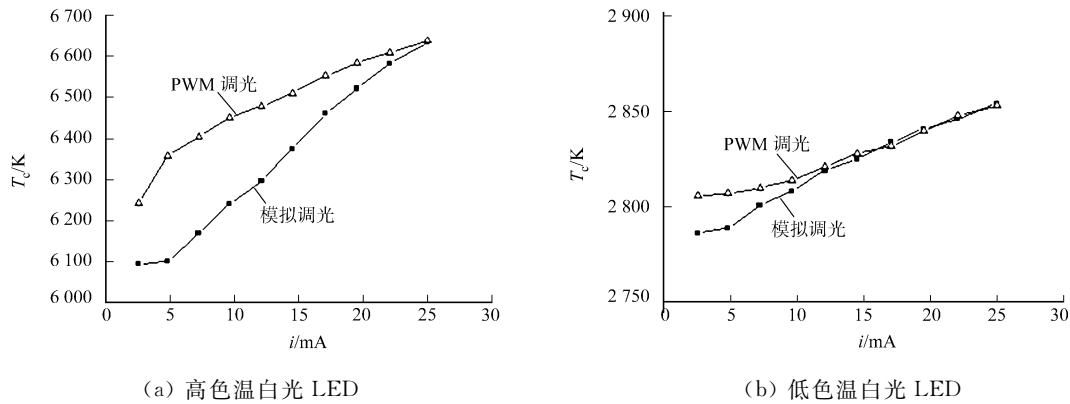


图 3 相同电流下 LED 模拟调光和 PWM 调光色温的变化

Fig. 3 Change of LED CT by the analog dimming and PWM dimming for the same current

同的调光的光学参数,模拟调光同样也分 10 档,通过调节 DIM 引脚的电阻使得两种不同调光的电流相同.通过图 3 可以看出:与模拟调光相比较,PWM 调光的色温变化范围比较小,而且色温与额定电流下的色温的差值也较小.这主要是因为 PWM 调光 LED 的工作电流可近似为两种状态,分别为额定电流和零电流;而模拟调光 LED 的工作电流有 10 种.这意味着在 PWM 调光时,LED 工作在额定电流下所产生的色温相对稳定,而模拟调光的稳定性较差.

两种调光的相同之处在于随着电流的增大,LED 色温也逐渐增大.这是因为实验所用的白光 LED 是由蓝光芯片激发黄色荧光粉产生的,当电流增大,芯片所激发的蓝光成分增多,由色温的定义可知,蓝光辐射的比例增加 LED 色温也就增大.

3.2 电流和光通量的关系

通过测试高色温和低色温 LED 阵列的光通量,比较两种不同调光方式的光效,结果如图 4 所示.实验要求模拟调光和 PWM 调光在相同档位下的平均电流一样,数据是在 LED 阵列预先点亮 30 min 左右及由积分球测试电流稳定后才开始测试,目的是为了减小外界环境对测试结果的影响.从图 4 可知:无论是高色温还是低色温调光,模拟调光的光通量都要大于同样电流下的 PWM 调光的光通量,即模拟调光的光效更高.

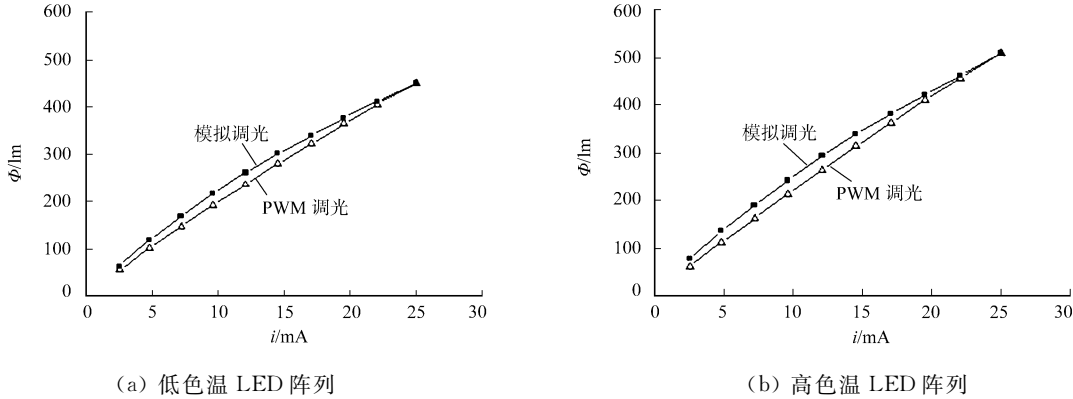


图 4 LED 电流和光通量的关系

Fig. 4 Relationship between LED current and luminous flux

以日亚化学工业株式会社的某款额定 100 mA 白光 LED 为例,其在 25 ℃ 的电流( $i$ )-相对光通量( $\Phi_r$ )特性曲线,如图 5 所示.从图 5 可知:该 LED 发出 100% 的光通量需要 100 mA 的电流,而以 LED 单位周期内发出 50% 的光通量仅需约 40 mA 的电流.由此可得到 LED 的光效最大点不是在 LED 的额定电流点,而是在 0 到额定电流值中间的某个值.当电流大于这个值之后,LED 的光效会随电流的增大而减小. PWM 调光 LED 只工作在额定电流和零电流模式下,因此其光效不如模拟调光.实验测得模拟调光的光通量比 PWM 调光的光通量大与理论分析得到的结果一致<sup>[6]</sup>.

3.3 混色结果

通过调节高色温和低色温白光 LED 的亮度实现色温亮度可调.理论依据是,高色温和低色温白光

LED 在不同的电流下,其光谱分布不同,通过两种不同光谱的叠加可是实现色温可调;LED 光通量与电流近似成正比关系,调节 LED 的电流可以实现亮度可调.

测试结果表明:在任意档位下,模拟调光和 PWM 调光的色温都在 2 786~6 639 K 范围内,光通量均在 60. 275 2~508. 908 8 lm 范围内. 即两种调光方式均可实现色温和亮度可调,调整范围为色温的最低值到最高值和亮度的最低值到最高值.

#### 4 结束语

以 51 单片机为核心,配合 LED 驱动芯片 PT4115,通过研究高、低色温 LED 阵列在不同调光方式下的色温和光通量的变化,以及混色后的色温和光通量的变化,得到在 PWM 调光 LED 的色温变化范围较小. 此外,通过用调节两种不同色温白光 LED 的电流,可以实现色温亮度的可调. 虽然模拟调光的光效会更高,但是相比于模拟调光 PWM 调光具有更大的优势,PWM 调光方便与数字化系统接轨,具有更大的应用前景.

#### 参考文献:

[1] WINDER S. LED 驱动电路设计[M]. 谢运祥,王晓刚,译. 北京:人民邮电出版社,2009.

[2] 周志敏,周纪海,纪爱华. 现代开关电源控制电路设计及应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2005.

[3] 李渊,李宝营,穆艳. LED 可调光自动控制系统设计[J]. 液晶与显示,2011,26(1):96-99.

[4] 郑久云,韩志刚,罗胜钦. 白光 LED 的应用与驱动[J]. 现代显示,2009(103):43-46.

[5] 王安祥,翟学军. 光源相关色温计算方法的研究[J]. 西安工程科技学院学报,2006,20(4):490-493.

[6] 潘建根. CIE D2 和光辐射测量动态[J]. 照明工程学报,2005,16(2):87-91.

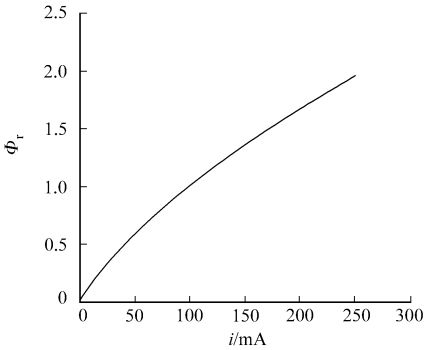


图 5 白光 LED 的电流-  
相对光通量的特性曲线

Fig. 5 Characteristic curve between  
the white LED current and the luminous flux

### Effect of Dimming on LED Color Temperature and Luminous Flux

LIU Zu-long, GUO Zhen-ning, HU Zhi-wei, LIN Jian-nan

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** According to the light emitting diode (LED)'s performances respectively in the simulation dimmer way and pulse width modulation (PWM) dimmer way, this paper studies the changes of the LED's photochromic parameters, analysis the change tendency of the color temperature and luminous flux in the same white LED with above two different dimmer ways, and the change tendency of the color temperature and luminous flux for two different color temperature LED mixed in the same dimmer way. The result shows that for the simulation dimmer way, both the color temperature's change and its efficiency is smaller at the same color temperature white LED in PWM dimmer way; and after two different color temperature LED mixed, the color temperature's change range is bigger, which meets the LED's different color temperature's demand for the people.

**Keywords:** light-emitting diode; pulse width modulation; dimming; color temperature; lightness

(责任编辑: 黄晓楠 英文审校: 吴逢铁)