基于色温可调的LED汽车大灯驱动电路设计

针对当前复杂的行车环境以及日常频发的行车碰撞事件，本文测了一种基于PWM控制色温可调的汽车大灯驱动电路。本设计采用恒流驱动电路，同时考虑到人眼对于不同色温的感官差异，对LED汽车前照大灯的驱动电路、驱动方式及拓扑结构的选择进行了研究。与此同时，研制了试验样机并对其进行了调试和运行测试。测试表明，系统各单元运行正常，通过调节信号的占空比实现了大功率LED汽车大灯的色温可调，达到了预期的设计目标，有效地解决了雨雾天等复杂的环境带来的行车障碍和安全隐患，保障了行车安全。

杨贵洋　马国鹭　曾国英/西南科技大学制造过程测试技术省部共建教育部重点实验室

杨贵洋/硕士研究生

关键词/Keywords
大功率LED·
汽车大灯·
色温可调·
驱动电路·
拓扑·

0　引言

随着社会经济和汽车制造工业的迅猛发展，汽车保有量大幅上升，与此同时也带来了诸多的行车安全问题。据不完全统计，汽车在夜晚或自然光线不足（如雨雾天）的情况下，行驶的里程占总行驶里程的25%，而在此间发生的交通事故占到总事故的40%。汽车车灯作为汽车的“眼睛”，需要采用具有灵活可调的光源来适应不同的行车环境，不仅要求提供合适的光亮，而且还必须执行各种复杂的功能，以应对不断变化的行车环境。随着半导体发光新材料的发展和高功率LED集成驱动芯片的不断完善，高亮度LED照明光源以其节能环保、高光效、色域广和响应快等优点逐渐步入日常生活，同时也影响着汽车照明领域。

国家自然科学基金项目（No. 61505169），四川省教育厅重点项目（No. 15ZA0116），四川省与教育部共建重点实验室资助项目（No.13zxzk06），西南科技大学自然科学基（No.14zx7160）。

汽车前照大灯的主要功能是行车照明，需保证一定的光照强度与投射能力，而光束的投射能力由光束功率与光照色温二者共同决定。在色温一定的情况下，光功率越高，穿透能力越强；在功率一定的情况下，色温越低，穿透能力越强，照明效果越好。所以汽车大灯色温越高，穿透雨雾的能力就越差，因此在雨雾天应使用色温较低的黄光；而在晴天为保证光线的柔和舒适，应使用白光。现有的车灯大多为单色光，色温不可调，司机长期处于单色光中容易造成视觉疲劳，引发行车安全问题。为了应对复杂的行车环境以及适应人眼的视觉习惯，同时兼顾光线的穿透性和人眼的舒适性，本文提出了基于脉冲宽度调制（Pulse Width Modulation，PWM）控制色温可调的驱动电路设计。

1　色温可调驱动电路系统

将整个大灯的驱动电路系统划分为若干功能模块，确定模块之间的相互关系，已知各模块之间的相互联系如图1所示。

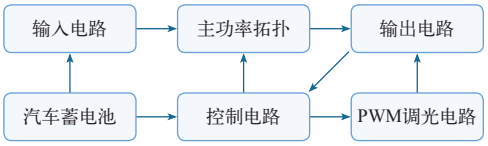


图1　色温可调汽车LED大灯的驱动电路设计系统框图

1.1　LED发光特性

LED是一种将电能转化为光能的半导体器件。其主要构成为一个PN结，具

有单向导电性，当正向电流通过PN结时，电子与空穴复合，产生辐射光以释放过剩能量。PN结具有以下特点：①具有负温度系数，温度越高，则PN结的势垒电压越低；②当通过PN结的正向电流越大时，产生的光通量越大，则LED发光亮度越高；③通过PN结的电流大小也对发光颜色有一定的影响，当电流降到一定程度时，发光颜色会发生改变。故可以通过调节电流来控制色温。照明中一般用相关色温来衡量白光的染色性，并以开氏温标（K）计量，白炽灯和暖白荧光灯等暖白光的色温范围为2 000～4 100 K，冷白光色温范围为4 100～6 500 K。

1.2 LED色温可调原理

色温可调车灯采用两颗不同色温的LED作为光源色温可控的基础。在设计中，一颗色温为3 000 K的黄色LED灯珠与一颗色温为6 500 K的白色LED固结在基板上，各自发出不同色温的光经过车灯反射体等光学结构进行混光处理，再通过同步调节两颗灯珠各自的发光强度来控制输出黄光与白光的比例，实现色温可调。色温为3 000 K的黄色LED灯发出黄色光在雨雾天气状况下能够提升灯光的穿透力，增加雨雾天驾驶的安全性；色温为6 500 K的白色LED灯发出白色光，因为最接近自然光，故行车最舒适。这两种色温的灯光分别用于不同的环境与场合，满足不同的需求。除此之外，混光处理灯光的色温将介于3 000～6 500 K之间，则可满足驾驶员在驾驶汽车时对于灯光在细微之处的个性需求，解决大部分行车过程中的环境障碍。

1.3 驱动方式

驱动方式按提供给LED的电源类型可分为恒压驱动和恒流驱动。恒压源驱动的负载一般采用LED多支路并联，每个支路都要串联一个有一定阻值的镇流电阻，要求高电流输出时，电路的转化效率较低。由于LED是电流型器件，即使电压发生微小变化也可以引起电流的大幅度变动，恒压源驱动将影响LED的发光质量和稳定性。通过LED的电流将直接影响其光学特性，因此相比于加载在其两端的电压，通过控制流过LED的电流能更好地控制LED的发光特性。此外，恒流源驱动能稳定地控制输出电流，LED发光质量好，效率相对较高，适用于汽车前照灯LED驱动。同时，在驾驶过程中汽车大灯的照明应尽量保持两边亮度一致，故采用恒流源驱动方式。

1.4 主电路结构

LED驱动电路可分为线性稳压器电路和开关型变换器电路。线性稳压驱动电路结构比较简单，但是在芯片和限流电阻上的功耗大，效率较低；开关型变换器驱动又分为电荷泵驱动和电感式驱动。电荷泵驱动器是利用电容将电流从输入端传到输出端，它能提供的输出电压范围有限，不适用于多个大功率LED串联。故本设计采用电感式降压驱动，其驱动主电路如图2所示。

1.5 拓扑结构

LED采用各种电源拓扑结构来满足输入电压、输出电压和隔离需求的选择。其中，开关电源驱动器是将电源能量通过一个电感器传递给负载，通过改变电感器的充电时间和调制信号的占空比来调节输出电压与输入电压的比例。反馈电路可对输出进行监控，并对充电和放电占空比进行适当的调节，以保持恒定的输出。LED的开关电源驱动消耗越少，发热就越小，有利于提高LED的效率、寿命和稳定性。

主电路拓扑对驱动电源转化效率影响较大，特别是开关转换和高频变压器。LED主电路拓扑类型很多，从安全角度可划分为隔离式和非隔离式，而非隔离式开关电源的拓扑又分为Buck降压型、Boost升压型和Buck－Boost极性反转型。本设计由于输出电压小于输入电压，故选择Buck降压型拓扑结构。

1.6 调光方式

在汽车前照灯系统中，通过控制LED的亮度可以实现近光和远光的切换。而在自适应前照灯系统中，调节LED的亮度配合LED阵列不同位置的亮灭，可实现照射光束不同的照明距离和偏转角度。当输入电压有波动时，LED的电流也随着波

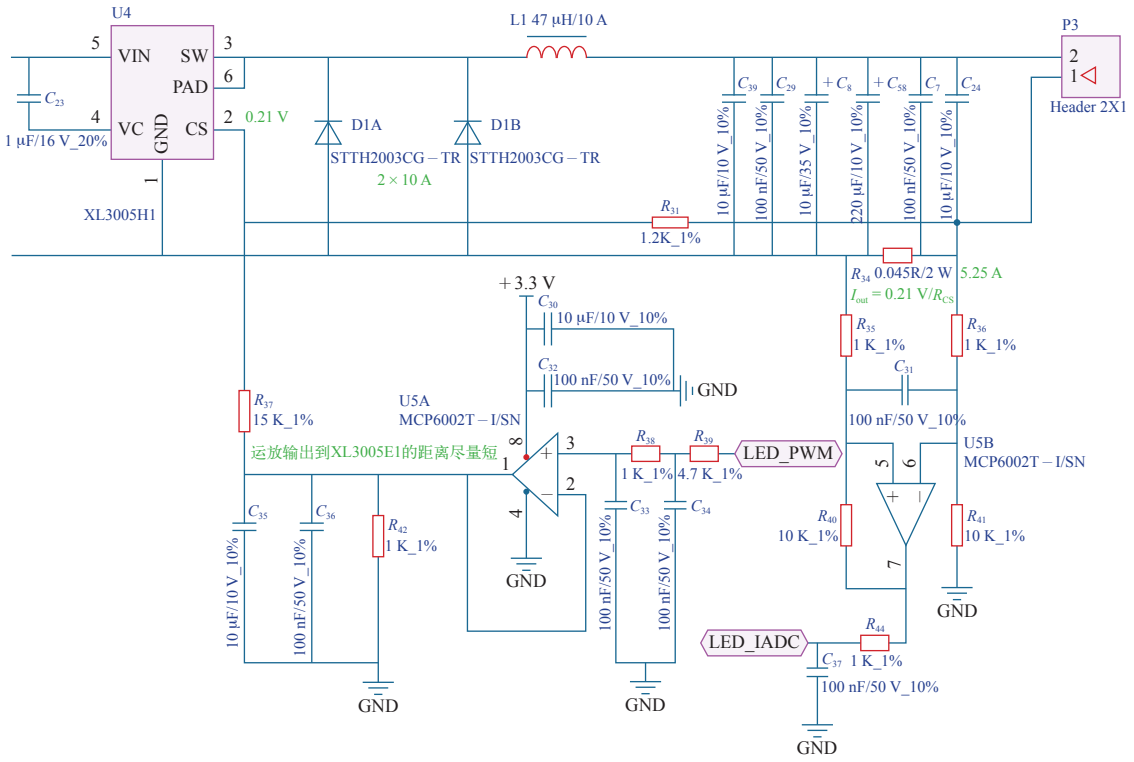


图2 色温可控汽车LED大灯的驱动主电路

动，通过电流反馈可进行调光控制。LED恒流源驱动方法有电阻限流、线性调节和开关调节三种。电阻限流的电路简单，但是恒流效果不好，而且效率不高；线性调节具有低成本、不存在电磁干扰等优点，但是效率低、体积大；开关调节是目前应用最广泛的恒流驱动方法，具有体积小、效率高等优点，因此LED恒流驱动选择开关调节。

通常情况下，可采用外部SET电阻、线性调节和PWM调节等技术来控制LED的亮度。当PWM脉冲为有效高电平或低电平时，LED输入电流分别为最大或0，其导通时间受控于PWM引脚输入脉冲的占空比。由于LED始终工作在相同的电流条件下，通过施加一个PWM信号来控制LED亮度，可以在不改变颜色的情况下实现对LED亮度的动态调节。

2 实现功能测试及电路测试

2.1 实际车灯驱动器设计版图

车灯驱动器设计版图如图3所示，图中a、b标志符所指向的板块具有对称结构，不仅降低了设计难度，而且提高了电路可靠性。板块a、b就是驱动器的两个输出通道的实体布局，由a、b板块电路进行独立的电流输出，并接受MCU的控制。每一个a、b板块就是一个驱动器单元电路的实体呈现。

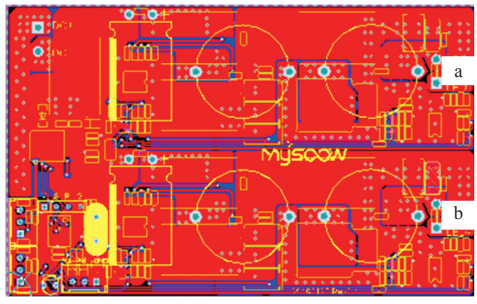


图3 驱动电路设计版图

图4为该驱动器实体。其中，电路板上的标号1、2即为电路板块a、b的实体模型，标号代表着驱动器的两个输出通道，从电路板上引出的四根输出线即为驱动器的输出通道，红色连接到LED灯

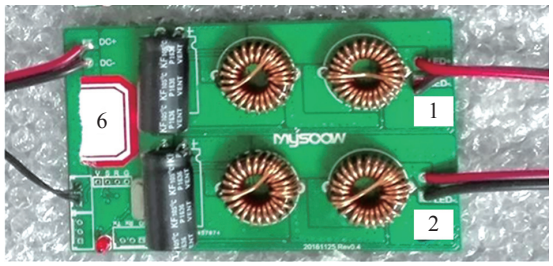


图4　驱动器样品实物

珠的正极，黑色线连接到LED灯珠的负极。左端为驱动器的输入端，从汽车蓄电池过来的电流从左端流入驱动器，从a、b两端流出。通过手动调节电位器旋钮来改变接入驱动器的电阻值大小，进而调节a、b两端的输出电流比例，从而同步调节车灯的输出光色温，实现色温可调。

2.2　单端口电流稳定性测试

单端口电流稳定性测试方案如下：双灯珠并联于单端口，连接电流表。首先以6～15 V电压为基准，调节电流调节器至各电流档位；然后再调节输入电压，测量电流输出值。测试结果如下表所示。

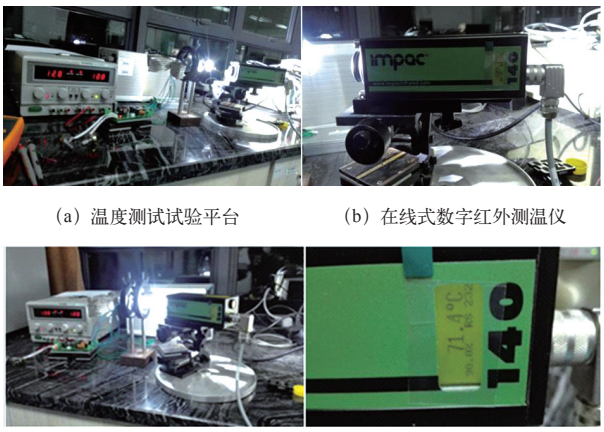
表　驱动器输出关系测试（a和b端口输出）

输入电压/V	V_a/V	I_a/A	V_b/V	I_b/A
6.00	5.21	0.10	5.32	0.09
8.00	5.90	1.59	5.86	1.70
10.00	6.09	2.02	6.08	2.03
12.00	6.10	2.01	6.11	2.02
15.00	6.12	2.01	6.10	2.03
20.00	6.11	2.03	6.09	2.04
24.00	6.12	2.04	6.15	2.03
26.00	6.10	2.05	6.13	2.04

由上表可知，当电源提供不同的输入电压时，输出的电压与输出的电流波动较小，电路运行平稳，经多次测试系统工作正常，达到了预期的设计要求。

2.3　温度测试

测量时环境温度25 ℃，利用温度计测试电路板最高温度，持续时间20 min，温度测试设备采用IMPAC140在线式数字红外测温仪，试验测试现场如图5所示。



（a）温度测试试验平台　（b）在线式数字红外测温仪

（c）工作运行测试　（d）测试结果

图 5 电路系统运行温度测试

当电路板输出电流为2.20 A时，电路板上最高温度70.10 ℃，持续时间20 min后，稳定输出为2.31 A，最高温度为83.3 ℃。经过长时间测试，电路板温度大致恒定，波动较小，没有出现发热特别严重情况，LED结温处于正常范围内，而且输出电流较为稳定，达到了预期设计目标。

3　结束语

本文基于脉冲宽度调制设计了色温可控的大功率LED汽车大灯驱动电路，从LED的结构和发光特性出发，详尽分析了色温可调原理，论述了LED的各种驱动方式，并以恒流驱动为基本导向，确定了Buck降压型拓扑结构来满足工作电压和隔离需求，选择开关调节作为线路恒流源驱动方式，通过调节输入脉冲的占空比实现了大功率LED汽车大灯的色温可调。同时，制作了驱动电路实物并进行相关工作运行测试，试验结果表明电路运行平稳，发热正常，效率高达85%以上，系统具有高调光比调光、低功耗和响应快等特点。本次设计有效地解决了功率在宽占空比变化情况下的浮动问题，实现了LED光强和相关色温的连续可调，面对各种复杂的行车环境，有效地保障了行车安全。

（收稿日期：2017－09－16）EA