

# 车用 LED 照明技术及现状分析\*

仲元昌<sup>1</sup>, 周冬芹<sup>1</sup>, 贾年龙<sup>1</sup>, 何进<sup>1,2</sup>

(1. 重庆大学 通信工程学院测控中心, 重庆 400044;

2. 重庆工程职业技术学院, 重庆 400037)

**摘要:** 随着汽车工业的快速发展, 对汽车节能减排及安全性能的要求越来越高, 汽车照明系统的节能与安全已成为该领域研究的热点。作为第四代车用光源, LED 有很多优于其他传统光源的特点。为此分析了车用 LED 照明的可行性和先进性, 介绍了其典型的驱动电路, 并着重研究了 LED 以及 AFS 在汽车前照灯上应用现状。介绍了车用 LED 照明面临的问题及应对措施, 并对其未来发展进行了展望。

**关键词:** 车用 LED; 驱动电路; 前照灯; 自适应前照系统

中图分类号: TN364.2

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)23-0001-04

## LED lighting engineering in automobile and analysis of present situation

ZHONG Yuan Chang<sup>1</sup>, ZHOU Dong Qin<sup>1</sup>, JIA Nian Long<sup>1</sup>, HE Jin<sup>1,2</sup>

(1. Center of Tracking Telemetry & Command, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Chongqing Vocational Institute of Engineering, Chongqing 400037, China)

**Abstract:** With the rapid development of modern automobile industry, the request for energy saving and pollutant reduction and security in automobile is much bigger, so the energy conservation and security of automobile lighting systems has become hot spot in this research field. As the fourth generation light sources for cars, LED has much more advantageous characteristics than other traditional light source. Therefore, the feasibility and advanced nature of LED lighting engineering in automobile is analyzed and the typical driving circuits are introduced, emphasizing the present application of LED and AFS to the automotive headlamps. A list of problems and solutions, which automotive LED illumination technology is facing, are pointed out, prospecting the development of automotive LED illumination technology in future.

**Key words:** LED in automobile; driving circuit; headlamps; adaptive front lighting system(AFS)

随着全球经济的发展和人民生活水平的提高, 汽车在日常生活中的使用越来越多, 因此汽车节能减排及行车安全的要求日益提高。汽车照明系统是保障汽车安全行驶的关键部件, 光源又是汽车照明系统的关键。发光二极管(LED)作为第四代车用光源具有寿命长、能耗低、体积小、响应快、单色性好等诸多优点, 顺应了未来汽车的安全、节能、紧凑、时尚的发展趋势。相信随着汽车工业的成熟以及 LED 芯片、封装、散热等技术突飞猛进的发展, LED 在汽车照明系统中的应用会越来越广, 规模会越来越大。

### 1 车用 LED 照明的可行性和先进性

在汽车上使用照明光源大约开始于 20 世纪初。最先使用的是煤油灯和乙炔灯, 1910 年开始使用电光源, 先后经历了白炽灯、卤钨灯及高强度放电式气体灯 HID (Intensity Discharge Lamp), 自 1985 年开始进入了 LED 车用灯时代。同时 LED 灯应用于自适应前照系统 AFS (Adaptive Front Lighting System) 的技术随之出现<sup>[1-2]</sup>。

目前, LED 已被众多汽车厂商加以利用制造出各种车灯款式。宝马、福特、本田、丰田、奔驰、奥迪等著名品牌车为了提高各自的总体竞争力, 纷纷推出配有各式各样 LED 车灯的新款轿车以吸引顾客。LED 具有很多其他光源所不具备的优点: (1) 寿命长、抗震性好。LED 的

\* 基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 50875272, No. 50735008); 重庆市自然科学基金项目 (CSTC, 2008BB2340)

## 综述与评论 Review and Comment

使用寿命理论上可达 5 万小时,实际寿命也可达 2 万小时(普通的卤素灯泡仅为 150~500 小时左右)<sup>[3]</sup>,一般都要超过汽车本身的寿命。另外,LED 的基本结构中无有易损可动部件,故抗震性能非常好。(2)节能环保。LED 在低电压小电流的条件下就能够获得足够亮度,其耗电量仅为相同亮度白炽灯的 10%~20%<sup>[4]</sup>;LED 光源中不含危害人体健康的汞,生产过程和废弃物不会造成环境污染。(3)响应速度快。与白炽灯相比,LED 灯的响应时间已经达到了几十纳秒<sup>[5]</sup>,这样,当采用 LED 作为汽车尾灯时,可以使后续汽车司机更早反应,以减少交通事故的发生。(4)体积小。小巧的 LED 可使汽车风格的设计更加自由、多样化,从而使车型更加时尚;与传统光源相比,LED 信号灯系统的安装深度可以减少 80 mm<sup>[6]</sup>,这一点对于汽车造型和内部零件布置具有重要意义。

目前汽车产业在全球经济中仍然是支柱产业,并处在飞速发展的关键时期,其必定会带动车用灯具的发展,为 LED 在汽车上的应用提供广阔的市场空间。

## 2 车用 LED 照明的驱动电路

LED 属于电流控制型半导体器件,图 1 是 LED 的伏安特性曲线。由图 1 可知,此曲线比较陡,在正向导通之前 LED 几乎无电流流过;当正向电压超过开启电压时,电流就急剧上升,发光亮度  $L$  与正向电流  $I_F$  近似成正比: $L=KI_F$ ,其中  $K$  为比例系数,故可以通过控制 LED 的  $I_F$  来控制其发光亮度<sup>[7-8]</sup>。因此,为了保证其亮度的一致性,通常采用恒流源驱动电路。

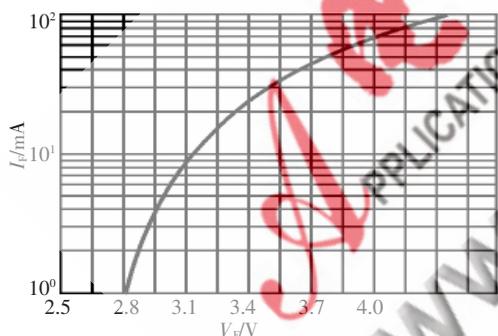


图 1 LED 伏安特性曲线

汽车电池工作电压范围为 9 V~16 V,通常情况下为 12 V,但是当汽车冷启动时蓄电池的电压可跌落到 4 V,而当蓄电池缺损由发电机直接供电时,此电压可达到 36 V 的高压。因此,对于车用 LED 灯具而言,要可靠地恒流驱动 LED 串,驱动控制器必须具备精确的电压和电流调节、保护电路和调光功能。因此,设计一种稳压性能良好而又恒流输出的驱动电路十分必要。

目前车用 LED 驱动器一般采用两种方法控制正向电流。(1)采用 LED 的  $V-I$  曲线确定产生预期正向电流所需要向 LED 施加的电压。其缺点为:LED 正向电压的任何变化都会导致 LED 电流的变化,其中的镇流电阻的压降和功耗会浪费功率和降低电池使用寿命。(2)利

用恒流源来驱动 LED。因为此方法需要将 LED 并联在电路中,而驱动并联 LED 需要在每个 LED 串中放置一个镇流电阻,这会导致效率降低和电流失配。因此,这两种方法都不能充分体现 LED 应有的优越性。为了克服现有车用 LED 驱动器的缺点,出现了车用 LED 阵列的高效智能驱动方法。该方法采用了半桥式 DC-DC 变换技术、全波整流技术、光电耦合技术等,确保了整个驱动电路的工作效率;提出了基于嵌入式系统的智能控制方案,此方案采用智能 PWM 稳流控制和调光控制,具有负载开路/短路保护和过流过压保护功能<sup>[9-10]</sup>。图 2 为 LED 阵列智能驱动实验电路。

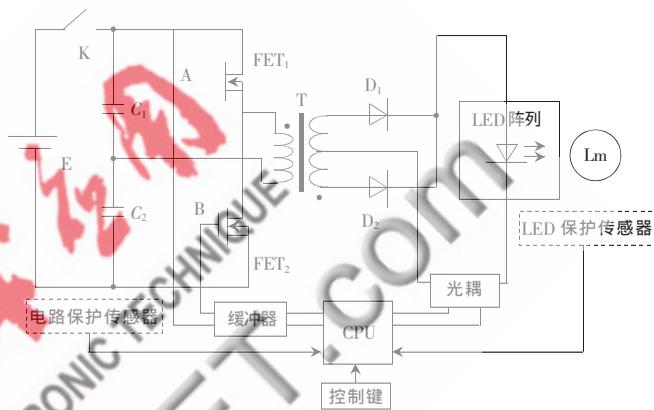


图 2 LED 阵列智能驱动电路

如图 2 所示,CPU 输出两路完全倒相对称的 PWM 信号 A、B,分别作用在开关器件上,使其轮流导通;通过高频变压器 T 将能量耦合到次级,再经快恢复二极管  $D_1$ 、 $D_2$  进行全波整流,以实现 LED 阵列的驱动。LED 阵列驱动回路的光电耦合器,完成对 LED 阵列驱动电流的监测,并反馈到 CPU,形成一种智能电流负反馈的闭环控制系统,以确保驱动电流的稳定的可靠性。

车用 LED 驱动电路的集成化和智能化程度越来越高。类似 PMU(电源管理单元)的芯片及封装的小型化将逐渐取代多个单一功能电路进行组合的方法,以适应板级空间非常有限的车载应用。同时,由于单片机、DSP 等控制芯片以及嵌入式技术的不断发展,可通过软件技术实现车用照明系统的自动化,这样 LED 的恒流驱动精度以及亮度的自动调节会更加准确。智能化控制已经成为新一代车用 LED 驱动器的设计理念<sup>[11]</sup>。

## 3 汽车 LED 前照灯

由于汽车前照灯在行车安全中具有重要的作用,因此 LED 前照灯是最难也是最后投入使用的。以前,LED 前照灯只应用在概念车上,随着 LED 照明技术以及汽车产业的不断发展,LED 前照灯的应用范围已从概念车、豪华车向中档车甚至一般车型过渡,并且照明发光强度已达到白炽灯的水平。

汽车前照灯包括远光灯和近光灯。在夜间行驶时,远光灯应保证照亮车前 100 m、高 2 m 处范围内的物

## 综述与评论 Review and Comment

体,且亮度均匀;近光灯不但要保证车前 40 m 司机能看清障碍物,而且不能让迎面而来的驾驶员或行人产生眩光,以确保汽车在夜间交会车行驶时的安全<sup>[12]</sup>。

传统汽车前照灯输出近光和远光两种功能的光束,且每种光束分布模式均呈静态分布,具体的光照分布也都符合国家标准<sup>[12]</sup>。但在实际应用中,此系统射出的光束分布于有限的角度范围,在一些较为复杂的路况下(如转弯)极易产生视觉盲区。另外,传统汽车前照明系统不具备自动调整光束分布的功能,近光光束和远光光束之间的变换需驾驶员手动操作实现,这样在来往车辆频繁的行车环境下,车辆之间容易产生眩目光。为了克服传统汽车前照灯的上述缺点,自适应前照系统 AFS 应运而生<sup>[12]</sup>。

AFS 是一种能使驾驶员更好地适应各种速度、道路类型和天气条件的变化,提高驾驶安全性的前照灯系统。其工作原理如下:当汽车进入特殊的道路状况(如弯道)时,由于方向盘和速度发生变化,角度传感器和速度传感器传输到电控单元(ECU)的信号就相应发生了变化。ECU 捕捉到这些信号变化,同时判断车辆进入了哪种弯道,并发出相应的指令给前照灯的控制单元,控制单元根据收到的指令操控装在 AFS 灯体内部的微电机带动发光三要素绕相应的旋转轴旋转,从而在非正规路面及天气下行驶时,改变照明方式,提供更好的安全保障<sup>[13-17]</sup>。

随着白光 LED 技术的发展及空气动力学和汽车造型的需求,汽车前部位置越来越低且呈流线型,为前照灯预留的空间越来越小。为了满足汽车照明智能化和人性化的需求,AFS 与 LED 灯的结合已经成为现代汽车前照灯的发展趋势。

### 4 车用 LED 照明面临的问题及应对措施

车用 LED 照明技术作为一项具有突破性意义的新技术,已经被大多数的汽车制造商以及消费者所接受,越来越多的高档汽车都配备了 LED 灯。但由于汽车应用环境的特殊要求,要真正实现车用 LED 代替传统光源,还有很多技术难题需要解决。

#### (1) 成本问题

全球范围内,车用 LED 生产成本的下降速度将是影响今后车用 LED 大规模应用的主要因素之一。就元件本身而言,LED 灯的价格普遍高于其他传统光源。如:1 W 大功率白光 LED 的市场价格约是白炽灯的十几倍到几十倍不等,故 LED 芯片还有很大的降价空间,其主要途径为:①发展大芯片大电流。现在的芯片一般在 0.5 mm~1.5 mm 之间,芯片小,电流难以加大,这是 LED 向单颗大功率发展的障碍。如果不降低光效的前提下把芯片做大以便通过更大的电流,大幅提高单颗 LED 的功率,这样灯具所用的 LED 数量将明显减少,有助于灯具成本的下降。②研发新型衬底材料。现在国内已经

启动了价格比较便宜的 Si 衬底材料的研究,希望能代替价格昂贵的蓝宝石或 SiC。除价格便宜外,Si 还可以制作出比蓝宝石或 SiC 衬底尺寸更大的衬底,以提高 MOCVD 的利用率,从而提高管芯产率<sup>[18]</sup>。此外,由于 Si 的硬度比蓝宝石和 SiC 低,在加工方面也可以节省成本。据国外某知名公司的估计,使用硅衬底制作蓝光 GaN LED 的制造成本将比蓝宝石和 SiC 衬底低 90%。③继续延长 LED 的寿命。理论上,LED 的寿命已经超过汽车使用寿命,但在实际汽车环境应用中,LED 使用寿命还有待进一步提高。如果 LED 实际使用寿命能达到整车的寿命,则在汽车寿命期内无需更换光源,免去了这方面的维修费用,就会更加经济。

就整个车用 LED 照明系统而言,必须降低 LED 驱动方案的系统级成本,以提高该项技术的市场竞争力。降低方案成本的途径之一是尽可能减少驱动器的元器件数量,同时这也有利于提高系统可靠性,因为 PCB 上的每个元件都可能是系统的一个失效点。

#### (2) 散热问题

通常大功率 LED 输入功率约 20% 转换成光能,剩下的 80% 均转换为热能,这比传统光源高很多。如果这部分热能无法导出,将会使 LED 界面温度过高,进而影响产品生命周期、发光效率及稳定性,由此整个汽车照明系统就会受到严重影响<sup>[19]</sup>。目前改善车用 LED 灯具散热的主要途径:①LED 自身的改进。首先,改进封装结构。传统直插式 LED 封装结构热阻高达 250℃/W~300℃/W,而新的封装结构采用低电阻率、高导热性能的材料粘结芯片,在芯片下部加铜或铝质热沉,并采用半包封结构,大大提高了 LED 的散热能力<sup>[20-21]</sup>。其次,改进 LED 的制作材料,采用超薄、高导热、高绝缘陶瓷薄片作基底,提高散热效果;开发量子转换效率高、能承受高温的荧光粉,提高允许的最大结点温度,增大允许的散热设计温差,以降低散热设计的难度。②散热装置的改进。主要有:考虑采用合适的散热形式,如热管、风扇、水冷等,要保证将热量迅速地散发出去,同时散热装置能够稳定地工作<sup>[22-23]</sup>;考虑散热片的结构形状尺寸,要保证足够的散热面积,同时散热效果要好;考虑电路板的设计格式,可将印制电路板设计为上下两层,下层专用于信号发生电路及驱动电路,上层为 LED 点阵电路,这样能够有效地避免因 LED 的热量传递到驱动芯片而使其损坏。

#### (3) 光效问题

提升 LED 光效是车用 LED 技术发展的关键,是车用 LED 产业化的出发点和原动力。从封装技术上来说,LED 的封装应该尽量减少光线在其内部的全反射,增加衬底基板反射率,从而使光线能够尽量多地透射出来,增加 LED 的发光效能。今年 2 月,Cree 公司已经宣布其实验室成果 LED 光效已经达到 2 081 m/W,相信这不是极限,还会有更高的提升空间,但需要有新的技术突破。

## (4)电磁干扰问题

汽车环境下同样面临电磁干扰问题(EMI(Electro Magnetic Interference))。车载电子产品对噪声很敏感,尤其是导航系统、无线电路和AM无线电波段接收机。为了最大限度地降低发生噪声干扰的可能性,有些LED驱动器IC中采用了恒定频率开关拓扑结构。另外,用户还可在200 kHz~2 MHz的范围内设置开关频率,以使开关噪声远离关键频段(如AM无线电波段)。

## 5 车用LED照明市场展望

LED在汽车照明系统中的应用虽然刚刚起步,但随着半导体照明技术和汽车工业的飞速发展,车用LED灯具的总体效率以及性价比将会得到很大的提高,应用规模将会逐渐扩大,并最终占据整个汽车车灯市场。

据调查,目前全球车内应用的LED年销售额大约在5亿到6亿欧元,在汽车内部,如汽车仪表盘、车内收音机、开关等已经100%采用LED,并且这一趋势正在加速从车内应用向车外应用。此外,近期欧盟委员会宣布,从2011年起,欧盟所有新生产轿车必须配置“白天驾驶自动照明系统”。与此同时,欧盟委员会已经批准奥迪和丰田将LED作为照明车灯在汽车上使用。由此可见,车用LED灯具在全球范围内具有极大的市场潜力。

车用LED照明技术也得到我国政府的大力支持。2010年1月,全国半导体照明电子行业标准发布及宣贯大会在广东江门市发布了LED行业第一批国家标准,这标志着我国LED产业发展开始进入标准化时代<sup>[4]</sup>。复旦大学教授、半导体物理专家方志烈说,2009年我国LED应用产品产值已经超过600亿元,全行业进入利润自主创新、实现跨越式发展的重大历史机遇,2015年产业规模有望达到5000亿元<sup>[23]</sup>。因此在我国LED将面临巨大的发展机遇,同样车用LED照明技术也会得到高速发展,科研、生产和商家对此都会给与高度关注。

车用LED灯具以其卓越的可靠性、环保性、节能性和时尚性,为汽车车灯的升级和变革注入了新生力量。随着产品成本的降低、生产技术的完善以及资金规模的扩大,车用LED照明技术的发展必将为汽车的行驶和安全提供更有力的保障,汽车灯具的LED化必将成为汽车照明系统发展史上的转折点。

## 参考文献

- [1] KARSTEN E. LEDs in automotive lighting [C]. SPICE, 2006.
- [2] 黄莹, 刘铮.LED技术及其在车灯系统中的应用[J].上海汽车, 2009, 12(1): 28-31.
- [3] WINDER S. Power supplies for LED driving [M]. Elsevier Inc. 2008.
- [4] NARENDRAN N, Gu Y M. Life of LED-based white light source [J]. IEEE J. Display Technol., 2005, 1(1): 167-171.
- [5] 谭功伟.发光二极管(LED)在汽车灯具上的应用[J].光源

与照明, 2009(2): 5-7.

- [6] FU Xiao Yuan, LIU xiao Jian, WU Yan. Research and analysis of the design development and perspective technology for LED lighting [J]. Computer -Aided Industrial Design & Conceptual Design, 2009. CAID & CD2009. IEEE 10th International Conference on. 2009:1330-1334.
- [7] 罗静华.半导体照明驱动技术的应用与展望[J].电子元器件应用, 2010, 12(2): 85-87.
- [8] LIU Yu, YANG Jin Ming. The topologies of white LED lamp's power drivers [J]. Power Electronics Systems and Applications, 2009 PESA 2009. 3rd International Conference on. 2009:1-6.
- [9] 李建华.车用LED控制技术探讨[J].应用科学, 2009(16).
- [10] CHANG Liang Chen, LEE Da Sheng, CHEN Ping Hei. A novel LED driving circuits development for decorative lighting system energy saving [J]. Microsystems, Packaging, Assembly and Circuit Technology Conference, 2009, IMPACT 2009. 4th International. 2009:734-737.
- [11] Wing Yan Leung, Tsz Yin Man, Mansun Chan. A high-power-LED driver with power-efficient LED-current sensing circuit [J]. Solid-State Circuits Conference, 2008. ESSCIRC 2008. 34th European. 2008:354-357.
- [12] 吴仍茂.自适应前照系统(AFS)中的LED前照灯设计[D].上海:上海大学, 2009.
- [13] XU Ping Ping, SONG Jia Gou, SHEN Guang Di. The design on Adaptive Front Lighting System (AFS) based on brushless DC motor [J]. Electrical Machines and Systems. 2008. ICEMS 2008. International Conference on. 2008:17-20.
- [14] RONG Hui, GONG Jin Feng, WANG Wu Lin. Kinematics model and control strategy of adaptive front lighting system [J]. Proceedings of the 2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. 2009:70-74.
- [15] CHAN C K, CHENG K W E, HO S L, et al. Development of electric vehicle with advanced lighting system and all electric drive [J]. Power Electronics System and Application, 2009. PESA 2009. 3rd International Conference on. 2009:1-8.
- [16] 房旭, 姚勇, 刘军, 等.智能汽车前照灯系统(AFS)研究[J].汽车技术, 2006(4): 17-20.
- [17] HUANG Ming Shyan, HUNG Chuan Cheng, FANG Yi Chin. Optical design and optimization of light emitting diode automotive head light with digital micromirror device light emitting diode [J]. Optik-International Journal for light and Electron Optics, 2010, 121(10): 944-952.
- [18] WANG Jian, HUANG Xian, LIU Li, et al. Effect of temperature and current on LED luminous efficiency [J]. Chin. J. Lumin., 2008, 29(2): 358-362.

综述与评论 Review and Comment

- [19] 冯华云,孟庆恩.LED 汽车前照灯散热研究现状[J].灯与照明,2009,33(4):41-43.
- [20] Donahoe D N. Thermal aspects of LED automotive headlights [J]. Vehicle Power and PropulsionConference, 2009. VPP0'9. IEEE. 2009: 1193-1199
- [21] CHEN Huanting, LU Yi Jun, GAO Yu Lin, et al. The performance of compact thermal models for LED package [J]. Thermochemica Acta. 2009, 488(1-2): 33-38
- [22] LU Xiang You, LIU Mei Jing, CHENG Yuan Xia. Thermal analysis of loop heat pipe used for high-power LED [J]. Thermochemica Acta, 2009, 493(1-2): 25-29.
- [23] LAI Yan, CORDERO N, BARTHEL F, et al. Liquid cooling of bright LEDs automotive applications [J]. Applied Thermal Engineering, 2009, 29(5-6): 1239-1244.
- [24] 艾贤.LED 首批国家标准在广东发布[N].广东科技报, 2010-1-29(002)科技要闻.
- [25] 刘刚,孟华.专家:LED 产业需高起点理性发展[N].中国高新技术产业导报,2010-3-29(C07)光电子.  
(收稿日期:2010-08-15)

作者简介:

仲元昌,男,1968年生,博士,副教授,主要研究方向:通信与测控、LED 技术及以应用。

周冬芹,女,1981年生,硕士,主要研究方向:LED 技术及应用。

