

· 电路与控制 ·

大功率LED照明的驱动和散热设计

范永金, 王东明, 吴刚

(中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300000)

摘要: 对大功率LED光源的驱动电源和散热特性进行了分析。通过对大功率LED驱动电源的应用效率和光源热量产生、热源传导方式及热流特性的研究, 提出了优化改进驱动电路设计和结构设计方法, 在驱动电路设计中通过升/降压恒流电路、采用工频变压整流设计提高电源的利用率, 降低电源耗热; 在结构设计中通过优化改进翅片材质及界面材料、改进翅片结构、加装热管和均温板几种方式进一步提高散热效果, 从而使产品的质量和性能得到全面提升。

关键词: 大功率LED; 恒流; 热阻; 散热片; 热管

中图分类号: TN705

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2014)-02-0075-04

Driving Circuit and Thermal Radiation Design for High Power LED

FAN Yong-jin, WANG Dong-ming, WU Gang

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300000, China)

Abstract: The characteristics of driving power and thermal radiation for high-power LED light source are analyzed. Based on the research on application efficiency, light source heat generation, heat conduction and heat current characteristics of high power LED driving power, a method of improving driving circuit and structure design is proposed. The efficiency of the power source is improved and the thermal loss is reduced through boost-buck constant current circuit as well as using the frequency transformer rectifier in the driving circuit. For structure design, thermal radiation effect is improved further through optimizing the materials for the fins and interfaces, improving the fins structure, installing heat pipes and temperature equalization plate. So the quality and performances of the product will be better.

Key words: high power LED; constant current; thermal resistance; radiating fin; heat pipe

随着大功率LED固态照明技术的日益成熟, 作为第四代LED照明光源越来越多的被更多人所青睐, 其寿命长、节能环保、响应速度快和指向性好等特点一直被人津津乐道, 但LED光提取效率低、发热量大、价格较高也是制约其发展的一个瓶颈。目前LED的发光效率可达20%左右, 另外80%左右的能量转换成了热量^[1], 而光能、光效不仅与结构散热有关, 还与LED的驱动电路有关, 所以大量功率LED照明的结构设计和驱动电路设计是决定产品性能和质量保证的关键。

1 大功率LED驱动电路设计

1.1 大功率LED驱动电路特性分析

大功率LED芯片是由多个小功率LED管芯集成封装在一个管芯之内, 由于LED是电流控制器件, 受其制造工艺和其本身的特点影响, 大功率LED芯片只能是多个中功率的LED芯片串联组合而成^[2]。因此集成后功率型LED的正向电压一般不会很高, 通常电压为10V级, 电流在安培级。鉴于LED的正向电流受应用条件和环境影响很大, 所以

收稿日期: 2013-12-04

作者简介: 范永金(1972-), 男, 高级工程师, 主要从事电光源开发技术和LED应用技术研究; 王东明(1962-)男, 工程师, 主要从事LED应用技术和自动化控制技术研究; 吴刚(1987-)男, 助理工程师, 主要从事LED应用技术和光源应用技术研究。

功率型LED最佳方式是采用恒流驱动。LED的驱动电路应根据提供的电源类型进行分别设计^[3]。在应用过程中提供的电源可分为直流和交流两种类型。其中直流电源一般为10~48 V,以蓄电池为主的电源形式居多,交流电源通常是220 V。

1.2 升/降压恒流电路设计

对于提供直流电源的情况下,当给定的直流电源电压高于大功率LED的正向电压时,应采用降压型恒流电路。而当给定电压低于LED的正向电压时,应采用升压型恒流驱动电路。而当给定电压与LED正向电压接近时则应采用升/降压复合驱动电路^[4]。

降压型恒流电路可采用模拟式或开关式两种电路形式。模拟型恒流驱动电路采用大功率晶体管或MOS管作为控制器件,将多余的功率通过发热消耗掉,从而保证功率LED的电流恒定,其效率很低,一般为60%以下,故现在大功率LED均采用高频开关型恒流电路进行驱动。开关型降压LED驱动电路为可选择变压器耦合降压(见图1)或BACK电路形式(见图2)两种电路形式。变压器耦合需采用高频变压器。BACK需电感进行平滑滤波。目前该两种电路市场上均有集成型芯片。其效率一般可达80%~90%。

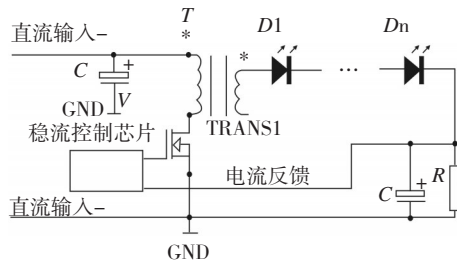


图1 变压器耦合降压驱动电路

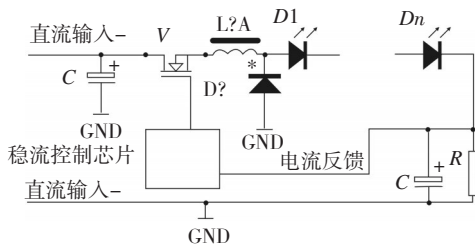


图2 BACK降压驱动电路

升压形式的恒流驱动电路只能选择开关形式

的驱动电路。其驱动方式也可选择变压器耦合(图1)及BUST电路(图3)。其效率同于降压恒流电路。

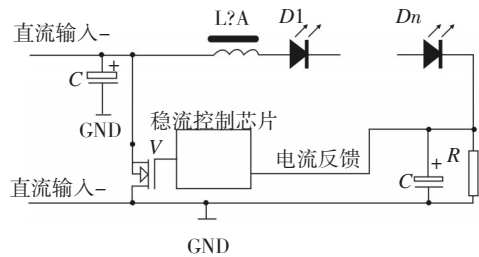


图3 BUST升压驱动电路

升降压复合驱动电路,可由降压型驱动电路和升压驱动电路加以控制实现。其效率只能是80%~90%。目前还有集成型升降压集成控制芯片。它通过同步开关整流方式控制电流。其效率可达90%~98%。

1.3 交流电路设计

当提供电源为220 V交流电源时,有两种方式实现功率LED驱动。第一种方法是采用工频变压器将220 V交流电降压并整流,其后按直流电源方式进行设计。这种驱动电路的效率应在70%~85%左右。第二种方法是直接将220 V交流电转换成直流高压,再利用高频变压器将高压直流直接变换为恒定驱动电流。采用第二种方式时为了防止瞬间电压将LED损坏和保护功率开关管,必须有过压保护和过流保护电路。

由于功率型LED发热严重,且高温可能损坏LED。在可能的情况下功率型LED需有热保护功能。

2 大功率LED散热设计

2.1 LED散热特性分析

大功率LED有80%左右的能量转换为热能,使得大功率LED的热流密度超过120 W/cm²,而常规的铜/铝散热翅片一般仅能满足50 W/cm²散热需求,如果热量不能及时有效地散发出去,将会使LED芯片结温升高,从而导致输出光功率减小、芯片蜕化、波长“红移”、器件寿命缩短等不良后果^[5],因此如何解决散热问题成为LED推广应用的关键。

解决大功率LED照明散热问题实际就是通过

设计合理的散热结构,改善传统的散热条件,有效控制LED的P-N结的结温^[6]。在大功率LED散热设计过程中主要考虑两方面散热问题,一是芯片内部热沉铝基板的散热能力,二是铝基板对外部环境的散热能力。LED散热主要通过热传导和热对流实现,在进行大功率LED分析时,由于器件对温度的敏感性强,芯片温度受限(125℃为拐点),所以辐射忽略,因此大功率LED照明灯散热的主要方式可分为散热片散热、自然对流散热、热管散热和风扇散热等方式^[7]。

在散热片散热方式中,热量通过热传导来传递,遵循傅里叶定律

$$q = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

其中, q 为热流密度(单位为 W/m^2); k 为导热系数(单位为 $W/m \cdot K$),“-”表示热量流向温度降低的方向。

热对流是指固体表面与它周围接触的流体之间因为热差的存在而引起的热量交换。热对流可以分为两种,即自然对流和强制对流。热对流用牛顿冷却方程来描述

$$q = h(T_1 - T_2) \quad (2)$$

式中, h 为对流换热系数; T_1 为固体表面的温度; T_2 为周围流体的温度。

热阻是导热介质两端的温度差与通过热流功率的比值,热阻可表示为

$$R = \frac{T_j - T_x}{P_h} \quad (3)$$

式中, R 为热阻; T_j 为结温参考点温度; T_x 为测试参考点温度; P_h 为热耗功率。

电子和空穴的辐射复合发生电致发光,在P-N结附近辐射出来的光还需经过晶片本身的半导体介质和封装介质才能抵达外界(空气)。综合电流注入效率、辐射发光量子效率以及晶片外部光取出效率等,而晶片温度的升高,则会增强非辐射复合,进一步削弱发光效率,产生的热量累计增加,解决散热问题乃当务之急。大功率LED照明光源需要解决散热问题主要需要注意三个方面,一个是晶片PN结到外延层,其次是外延层到封装基板,最后是封装基板到外部冷却装置直至空气。这三个环节构成大功率LED光源热传导的主要通道。通道上的任何环节出现问题都会对散热造成很大影响,根

据热的特性可将传播方式分为三种:

(1)传导:热量是通过逐个原子传递的,所以不能采用高热阻的界面材料;

(2)对流:热量通过流转的介质(空气、水)扩散和对流,从散热器传递到周围环境中去,所以不要限制或阻止对流;

(3)辐射:热量依靠电磁波经过液体、气体或真空传递。

传导是大功率LED照明光源最主要的散热方式,采用热管技术对散热会取得很好的导热效果,选用热导系数高的材料,可大幅度提高对流散热能力。

2.2 散热结构改进设计

作为大功率LED的外部热沉,微通道散热器的结构设计非常关键,直接影响整个系统的散热能力,传统的散热方式就是通过散热片依靠空气自然对流方式散发热量,散热效果不理想。经过多次试验表明,对大功率LED照明灯具散热结构改进设计应首先考虑翅片材料及界面材料对散热效果的影响,其次是研究对散热片尺寸优化设计选择,提高散热效率,最后是通过加装热管、加装风扇、并将散热片改用均温板材质等方式,进一步提高散热效率,通过对以上几种散热方式的研究可为大功率LED灯具设计提供参考。

2.2.1 翅片材料及界面材料优化设计

金属散热材料通常采用的是导热系数较高的铜或铝制材质,铜制材质虽导热效果很好,但考虑加工及成本等原因,目前多数散热翅片还是选用导热系数较高的铝板(如杜拉铝)作为散热的主要材料,采用锻造等手段来增大翅片材料密度。热阻是反映阻止热量传递能力的综合参数,等于热流通道上的温度差与耗散功率之比。当热量在物体内部以热传导的方式传递时,遇到的热阻成为导热热阻,当热量流过两个接触固体的交界面时,由于缝隙产生的热阻为接触热阻,在灯具的制造过程中,导热硅胶或银胶等界面材料就是用来降低接触热阻的,但是这些界面材料本身的导热效率不高,造成了热传导过程中的瓶颈,所以提高界面材料导热率对LED散热有着非常大的作用,应把更多精力放在设计和选用更好的界面材料上,从而降低界面材料这一导热瓶颈的影响,这些都是在优化改进设计

时需要重点考虑的因素。

2.2.2 散热片结构优化设计

大功率LED灯使用最多的是通过散热片散热。散热片是利用较大的散热面积来对流散热,对于散热片而言,形状、加工工艺、尺寸及材料是决定散热性能的几个重要因素。

散热片主要尺寸包括翅片厚度 W 、翅片间距 L 、翅片高度 H 及底板厚度为 F ,如图4所示。

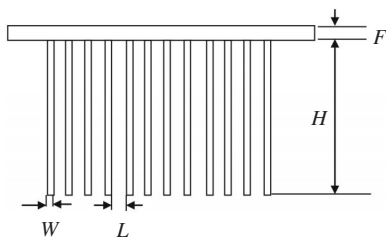


图4 散热片结构示意图

随着翅片的高度增加,结温也随着翅片改变而改变,可见适当增加翅片高度对于结温的降低作用很大,经过反复试验验证,当 $H=60\text{ mm}$ 时,结温效果最好,当 $W=2\text{ mm}$ 、 $L=6\text{ mm}$ 、 $F=6\text{ mm}$ 时,散热效果达到最优,此时结温可降为 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,结构优化设计效果明显^[8]。

2.2.3 加装热管优化设计

热管是一种优良的导热元件,内部有吸液芯和冷凝液,通过液气转换的循环变化,将LED发出的热量导出并通过散热器散发掉。大功率LED照明采用热管技术散热是最直接有效的散热手段,热管换热主要分为蒸发段、传热段和冷凝段三个部分,材质采用紫铜,管内填有高真空状态的工质(纯水或其他液态物质)。蒸发段嵌入均热板中,将LED芯片直接安装在热管吸热端的顶部,加强蒸发化热,冷凝段通过特殊设计的翅片进行快速散热。热管的特点是能够将热量传输到较远的、容易散热的位置,在实际应用中导热更加方便。

通过加装热管后的芯片结温降温效果会更加明显,热管把LED散发的热量传导到远端,远端散热装置可以通过风扇等方式把热量快速带走,使热传导方式变得更加灵活。

2.2.4 加装风扇和均温板优化设计

风扇属于风冷强制散热,可较大幅度地提高散

热片散热效果,在翅片垂直端面上分别加装轴流风扇,加装风量大于 0.02 kg/s 型风扇散热效果明显。加装风扇虽然具有很好的效果,但还是存在两个问题:一是风扇寿命和LED寿命不匹配,LED寿命一般为几万小时,而风扇寿命仅仅为几千小时,另外加装风扇会使灯具显得很笨重。如果能解决上述问题,将风扇运用到LED灯具上,也是一种很好的选择。

均温板的原理与热管相似,但是热管的传热是一维单向,而均温板是二维的面传热方式,均温板可以使热量分散,降低扩散热阻,散热片采用均温板材料制成,会使散热片在平面上均匀散热,降温效果会更加明显。

3 结束语

通过对大功率LED照明的驱动电路和散热设计研究,进一步表明,驱动电路设计和散热结构设计是决定产品质量的关键,采用升/降压恒流电路优化设计可提高电源的使用效率,减少电源热能的消耗,进一步提高了光电转换效率。通过对散热结构优化设计、散热材料优化选取以及通过热管和均温板的散热方式设计可大幅度提高灯具的散热效率,但同时也要考虑因散热设计对产品结构产生影响和对使用带来的不便及产品寿命存在矛盾等一系列问题,这需要在设计中根据实际情况进行有针对性设计。但同时带来的高成本投入,也是制约大功率LED推广的一个瓶颈。开展大功率LED研究,降低产品成本,提高光电转换效率,针对不同用户的使用需求,开展针对性设计研究,也不失为推广大功率LED应用的有效手段。

参考文献

- [1] 李勇,李鹏芳. 大功率LED典型热沉结构散热性能分析[J]. 半导体光电,2010,10(5):723-728.
- [2] 周志敏,纪爱华. 大功率LED照明技术设计与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2011.
- [3] 白利文,张子桥. 降低大功率LED灯温升及控温技术的研究[J]. 中国照明电器,2010(5):11-14.
- [4] 张涛,秦大为. 大功率LED路灯驱动电源的设计[J]. 灯与照明,2009(3):33-36.
- [5] 李如春,方迎联. 大功率LED阵列的热沉结构设计和参

(下转第86页)

- [J]. 网络与信息, 2010(4).
- [2] 高超, 贺志强, 游志刚. 雷达对抗系统训练效果评估方法研究[J]. 雷达科学与技术, 2013, 11(5): 527-536.
- [3] 周升响, 张兵. 基于空闲处理的模拟训练成绩评判方法[J]. 空军雷达学院学报, 2012, 26(5): 331-333.
- [4] 郭培, 高俊雄, 王耘波. 基于序列匹配的自动评分算法设计[J]. 计算机应用, 2011, 31(2): 78-80.
- [5] 任重, 张永, 徐池. 模糊综合评价法在模拟训练评分系统中的应用[J]. 电脑编程技巧与维护, 2012.
- [6] 魏培智. 复杂电磁环境下航空兵训练评估系统研究[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(31): 236-243.
- [7] 杨晓超, 张宏军, 马勇波, 等. 合同战术训练评估系统体系结构[J]. 计算机工程, 2008, 34(15): 54-59.
- [8] 王万请, 王德泉, 岳春生, 等. 信息采集技术在模拟训练中的应用[J]. 指挥信息系统与技术, 2012, 2(3): 67-70.
- [9] 尹朝庆. 人工智能与专家系统[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [10] 曹汉卿, 聂伟. 基于专家系统的轮机模拟器自动评分系统研究[J]. 船电技术, 2013, 2(33): 37-39.

(上接第78页)

- 数优化[J]. 浙江工业大学学报, 2009, 37(2).
- [6] 苏达, 王德苗. 大功率LED散热封装技术研究的新进展[J]. 电力电子技术, 2007 41(10): 13-15.
- [7] 刘胜, 陈明祥, 罗小兵. 大功率LED封装技术与发展[P]. 中国半导体照明产业发展年鉴, 2006.
- [8] 余彬海, 王垚浩. 结温与热阻制约大功率LED发展[J]. 发光学报, 2005, 26(6): 761-766.

(上接第82页)

此设计了电流环、速度环与位置环的转台模型。对比传统PID控制, 改进后的重复控制克服了频率范围窄、第一周期无响应等缺点, 使得三轴转台的位置控制响应更快、精度更高、抗干扰性更强。同时, 考虑了三轴转台的三个框架转动时互相产生的耦合影响, 并分析三个框架同时转动时三轴转台的内框的快速性与稳定性。结果表明, 采用复合控制策略时三轴转台的位置控制稳态输出快, 动态性能和跟踪精度得到大大的提高, 并具有较强的鲁棒性, 在实际的应用中取得了满意的结果。对科研和生产应用有一定的指导意义。

参考文献

- [1] 汪临伟. 单神经元PID的三轴转台控制系统设计[D]. 九江: 九江职业技术学院, 2011, 13.
- [2] 崔栋良. 三轴摇摆台动力学仿真与复合控制[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009: 51-54.
- [3] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M](3版). 北京: 机械工业出版社, 2007, 8: 76-84.
- [4] 董婷. 直接驱动数控转台永磁环形力矩电机及其控制策略的研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2010: 60-62.
- [5] 丛爽. 一种改进的重复控制系统及其应用[J]. 中国科学技术大学学报, 1998, 28(3): 292-296.
- [6] 黄卫权, 刘文佳. 三轴仿真转台耦合问题的研究[J]. 弹箭与制导学报, 2009, 29(1): 99-103.
- [7] 蒋晓刚, 倪彬, 徐月明. 三轴惯导测试转台的交叉耦合问题及对策[J]. 2011(6): 266-267.
- [8] 邓雪云, 曹力, 史忠科. 实时飞行再现转台的建模与解耦[J]. 2009, 28(6): 721-725.
- [9] 刘晓东, 吴云洁, 田大鹏, 等. 基于干扰观测器的飞行仿真转台滑模控制器[J]. 2011, 45(3): 393-398.
- [10] QING Wei-jia. Disturbance rejection through disturbance observer with adaptive frequency estimation [J]. IEEE Transaction on Mechatronics, 2009, 45(6): 2675-2678.