

基于 ZigBee 的太阳能 LED 照明系统的设计*

胡治伟, 郭震宁, 杨菲菲, 陈俄振, 曾海
(华侨大学 信息学院光电系, 福建 厦门 361021)

摘要: 设计了一种基于 ZigBee 技术的太阳能 LED 照明系统, 充分考虑了电、热、光的设计。系统结合 AVR 单片机设计的太阳能控制器具有防止过充过放等保护功能, 通过相关传感器采集数据并通过 ZigBee 无线网络传给监控中心, 实时显示采集到的数据, 实现无线远程监测与智能控制; 通过建立 LED 热模型, 仿真分析了灯具的热均匀分布; 通过 Matlab 计算及 Tracepro 仿真等过程合理地布置了高低色温 LED 灯珠间距, 并得到了近场照度均匀面。系统测试表明, 该系统设计可提供节能高效的、智能稳定的、温馨健康的照明环境。

关键词: ZigBee; 太阳能控制器; 热均匀分布; 近场照度均匀

中图分类号: TM914.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)06-0028-04

Design of solar LED lighting system based on ZigBee

Hu Zhiwei, Guo Zhenning, Yang Feifei, Chen Ezhen, Zeng Hai

(School of Institute of Information Science & Technology, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: This paper designs a kind of solar LED lighting system based on ZigBee technology, which has fully considered the electrical, thermal, optical design. The system combined with AVR single-chip designs the solar energy controller, which can prevent the overcharge and over discharge. Through the relevant sensor to collect data that transmitted by the ZigBee wireless network to the monitoring center, realizing the real-time display of the collected data, in order to realize the wireless remote monitoring and intelligent control; through the establishment of LED thermal model, conducting simulation analysis of the uniform heat distribution of the lighting; through the Matlab calculation and Tracepro simulation, arranging the high and low temperature LED reasonably and obtained near-field intensity uniform surface. System test shows that this system can provide energy efficient, intelligent stable and sweet healthy lighting environment.

Key words: ZigBee; solar controller; uniform heat distribution; near field uniform illumination

太阳能 LED 照明系统是新能源与新光源技术相结合的热门研究课题, 备受世界各国高度关注。目前市场上的大多数照明系统都是孤立的、不可控的^[1], 普遍存在着管理低效、发热严重、照度不均匀等问题。现有相关参考文献^[2-3]在改进系统充放电方式、蓄电池保护、散热等方面做了相应的研究, 在一定程度上改善了以上问题。对比传统太阳能照明系统, 智能化管理整个系统及远程监测与控制等方面还缺少相关综合研究。本文设计的基于 ZigBee 的太阳能 LED 照明系统综合研究了电、热、光的设计, 以实现对光强、温度等信息的无线远程监测及灯的开关、调光调色温等无线远程控制, 以实现灯具发热均匀、散热良好和出光照度均匀等为目的。

* 基金项目: 福建省自然科学基金项目(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(fc200905)

1 系统总体设计

系统采用高发电效率的单晶硅太阳能电池, 通过自行开发的控制器给免维护的胶体铅酸蓄电池充电。该控制器集成了充放电控制电路、可 PWM 调光的 LED 恒流驱动电路及相应采集器件。负载灯具采用了高光效的高低色温 LED 灯珠, 所有灯珠合理地布置在散热良好的铝基板上。对 LED 灯具进行热学和光学设计, 使其散热良好、出光均匀。控制器与 ZigBee 模块通过串口进行连接构成节点模块, 电脑及监控软件与 ZigBee 模块通过串口连接构成网关模块, 节点模块发送采集到的数据给网关模块或者接收网关模块端传来的控制命令, 进而作出相应的开关灯或调光调色温等动作。节点模块和网关模块框图如图 1、图 2 所示。

硬件纵横

Hardware Technique

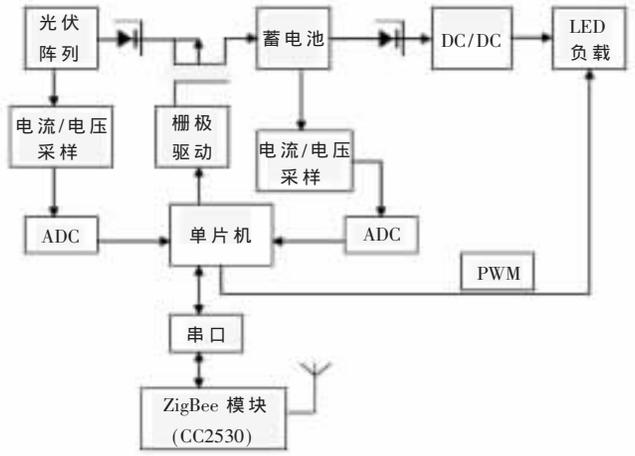


图1 节点模块框图

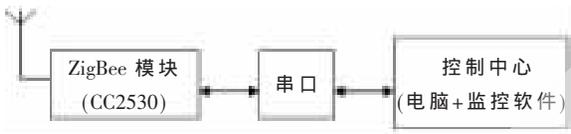


图2 网关模块框图

2 系统电路设计

电路设计部分是实现该系统功能最重要的部分,包括硬件设计与软件设计。其硬件设计主要是对太阳能控制器的设计,包括模拟充放电控制电路、数字控制电路及温度/光强采集电路、高色温和低色温LED驱动电路。

2.1 模拟充放电控制电路

该部分主要实现对蓄电池的充放电控制、太阳能电池充电电流和电压的采集、蓄电池放电电流和电压的采集,信号输入到AVR单片机进行ADC转换和相应程序控制,单片机输

出PWM驱动信号驱动MOS管实现对蓄电池的高效充电并检测蓄电池电压,防止过充过放。该部分电路如图3所示。

2.2 数字控制电路及温度、光强采集电路

该部分采用AVR单片机作为主控中心,控制整个系统的正常运行。其功能包括:输出充放电驱动信号,负载LED驱动信号及调光信号、DS18B20数字式温度传感器的温度采集,光敏电阻对光照强度的采集。各数据信息通过串口传给ZigBee模块并进行发送。该部分电路如图4所示。

2.3 高色温和低色温LED驱动电路

负载采用台湾隆达生产的高色温(6500K)和低色温(3000K)LED灯珠,每颗LED灯珠为0.1W,高色温和低色温两组各为6串16并。因调光时需要单独调节高、低色温且防止调节信号相互干扰,故采用两颗RT8480芯片单独进行驱动。RT8480是一款高效率的电流模式PWM型升压驱动芯片^[4],根据芯片手册及负载串并联数

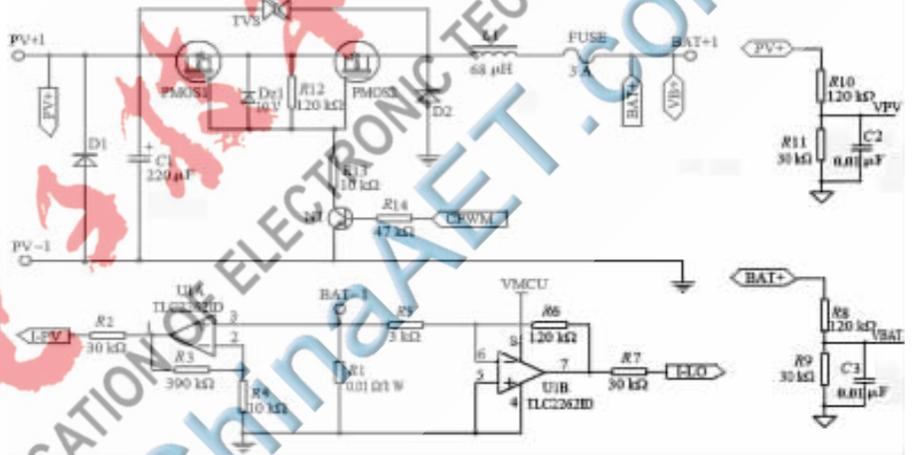


图3 模拟充放电控制电路

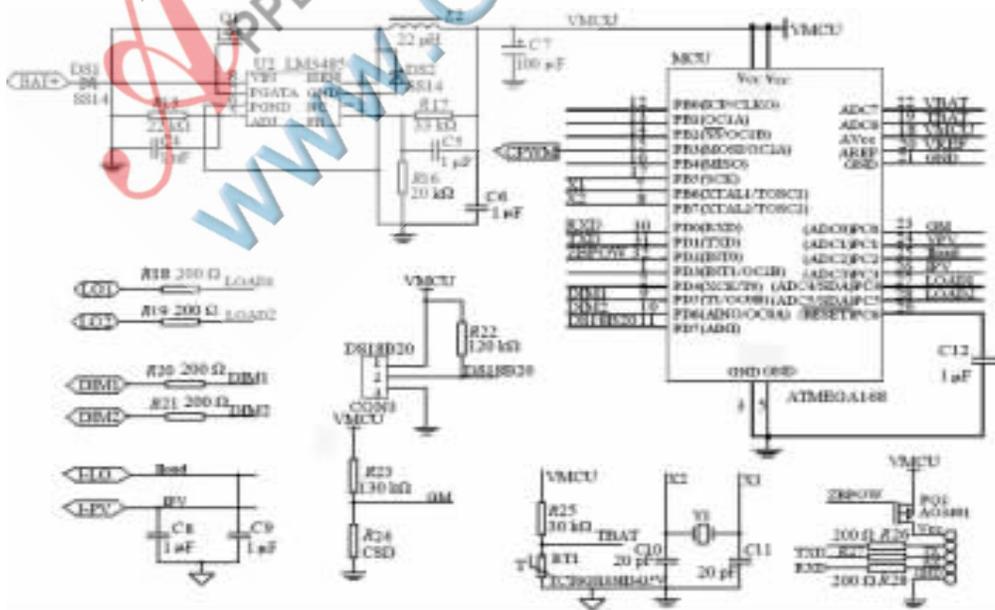


图4 数字控制电路及温度/光强采集电路

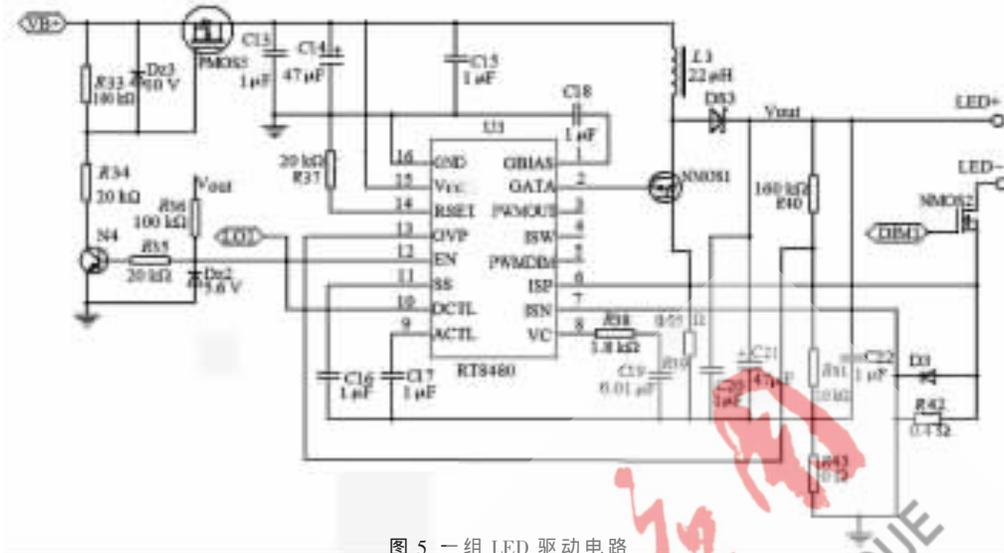


图5 一组 LED 驱动电路

设置输出电压为 19.8 V, 输出电流 0.48 A。其中一组驱动电路如图 5 所示。

3 系统热学设计

LED 的发光效率及使用寿命与其工作温度息息相关, 目前 LED 芯片电光转换效率只有 20%~30%, 输入功率的 70%~80% 转化为热能而使芯片工作温度上升。因此, 散热对任何 LED 灯具来说都是非常重要的。对于小功率的 LED 灯具来说, 几乎绝大多数都采用了铝基板进行散热。

本系统负载灯具布置了高、低两种色温的 LED 灯珠共 192 颗。根据曾海和胡治伟等人的研究^[5]及 LED 灯珠排布规则和本文光学设计部分的光分布要求所确定的每颗 LED 灯间距, 最终确定铝基板尺寸为 150 mm×108 mm, 合理排布两组 6 串 16 并的灯珠为 12 行×16 列, LED 间距为 (12 mm, 6 mm)。根据其研究理论, 各 LED 芯片的质心过余温度 (CTEC) 相同, 此结论有利于保证负载灯具上各 LED 灯珠工作的一致性, 即电光参数的一致性, 从而也保证了调光调色温时出光的一致性。通过 PROE 及 EFD 建模仿真, 模拟结果如图 6 所示。仿真模拟结果表明, 芯片最高温度与最低温度相差 0.3℃。排除理论计算时的简化过程, 仿真模拟结果与其研究结论较为吻合。

4 系统光学设计

LED 照明系统所形成的光斑一般分为照度均匀的

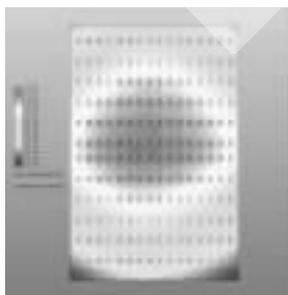


图6 EFD 热仿真结果

圆斑和矩形斑, 本系统选定的光源是台湾隆达生产的朗伯型光源 PC30N05, 根据已知光源的辐射特性和目标板上所需的均匀照度分布要求, 进行了如下设计。

根据 MORENO I 等人的研究^[6], 对于一个 $N \times M$ 方形阵列的 LED, 其总的照度为:

$$E(x, y, z) = z^m A_{LED} L_{LED} \times \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \{ [x - (N+1-2j)(d/2)]^2 + [y - (M+1-2j)(d/2)]^2 + z^2 \}^{-(m+2)/2} \quad (1)$$

式中, A_{LED} 是 LED 芯片的发光面积 (m^2); L_{LED} 是 LED 法线上的光照度 ($w/(m^2 \cdot sr)$); 对于朗伯型光源, 其中 $m=1$ 。对式(1)进行二次求导, 使 $x=0, y=0$ 处 $\partial^2 E / \partial x^2 = 0$, 得:

$$f(D) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \{ [(N+1-2j)^2 + (M+1-2j)^2] (D^2/4) + 1 \}^{-(m+6)/2} \times \{ 1 - [(m+3)(N+1-2j)^2 - (M+1-2j)^2] (D^2/4) \} \quad (2)$$

其中, $D=d/z$, d 为 LED 灯珠排布间隔, z 为 LED 发光面到目标板上的距离。根据最大平坦条件, 令 $N=12, M=8$, 在 Matlab 里进行编程计算所得: $D=0.8686$, 设定 $d=12$ mm, 则可得 $z=13.8$ mm, 即在距离 LED 发光面 13.8 mm 处为近场最大均匀面。在 Tracepro 中建模并进行仿真, 其结果如图 7 所示。

5 系统测试

根据设定厦门地区两个阴雨天的最小间隔为 20 天及负载消耗情况, 选定太阳能板功率为 40 W, 蓄电池容量为 65 Ah。经过以上设计过程及所开发的控制器、负载灯具, 与购买的 ZigBee 模块进行整个系统的搭建, 并在开发的监控软件里进行监测与控制。现以一个节点进行测试, 如图 8 所示, 系统运行在天黑后(光照微弱时), 蓄电池放电稳定, 其输出功率大约为 14.5 W, 所检测的温度为 18.4℃。整体测试表明, 该系统数据监测与调光调色温等控制正常, 灯具散热良好, 出光效果照度均匀。

本文设计了一种应用 ZigBee 无线通信技术的太阳能 LED 照明系统, 对电、热、光等部分进行了详细设计

《微型机与应用》2013 年 第 32 卷 第 6 期

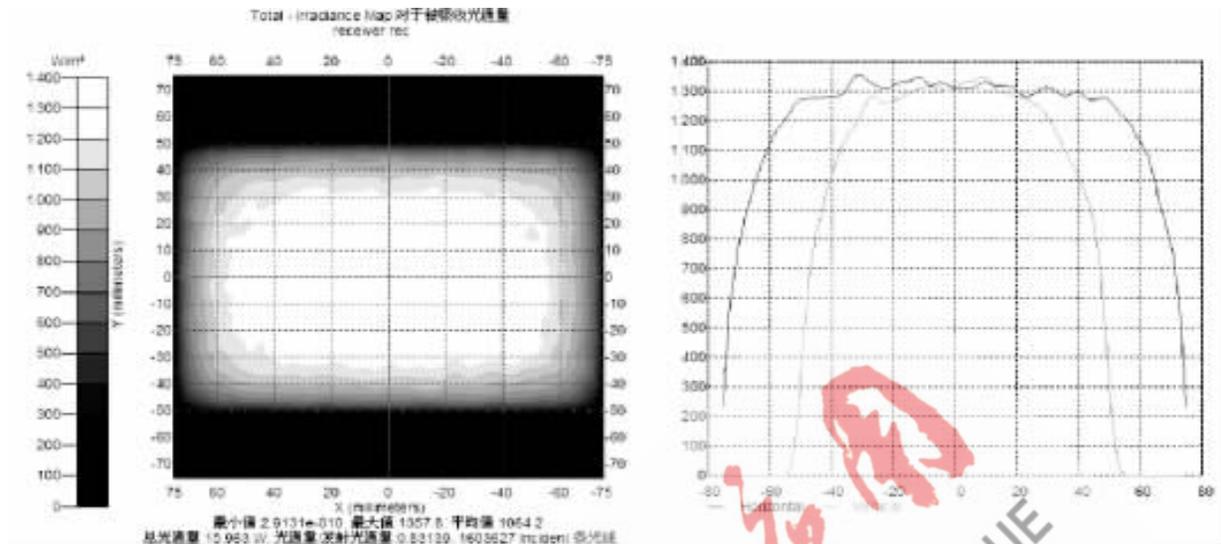


图7 Tracepro 出光亮度仿真结果

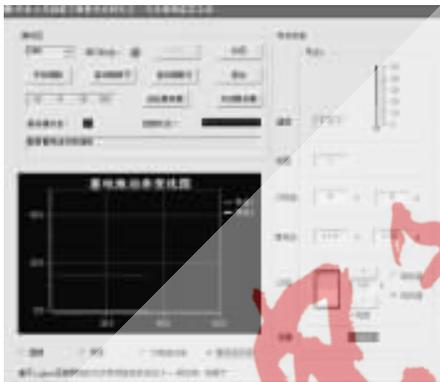


图8 系统运行测试图

与分析,开发了高效管理充放电及防止过充过放、采集相关数据、远程控制开关灯及调光调色温等功能的控制器,在应用相关理论的基础上设计开发了散热良好、照度分布均匀的LED灯具,搭建了整个系统并进行系统测试。该系统为以后搭建基于GPRS与ZigBee技术的进一步开发提供了相应基础,有望促进太阳能LED照明系统更大范围的推广应用。

参考文献

[1] 连永圣,程树英.基于ZigBee的新型太阳能LED路灯控

制器设计[J].智能电网,2012,2(1):10-15.

[2] 张鸿博,蔡晓峰,赵慧光.独立光伏系统高效充电策略研究[J].电测与仪表,2010,47(10):29-31,58.

[3] 李鹏.发光二极管(LED)灯具的热分析与散热设计[J].光源与照明,2008(4):10-11.

[4] Richtek Technology Corporation. RT8480 datasheet[EB/OL]. [2011-xx-xx][2013-01-29]. <http://www.richtek.com>.

[5] 曾海,郭震宁,胡治伟,等.矩形基板上LED芯片阵列热分析[J].华侨大学学报(自然科学版),[已录用未发表].

[6] MORENO I, ALEJO M A, TZONCHEW R I. Designing light-emitting diode arrays for uniform near-field irradiance[J]. Applied Optics, 2006, 44(10):2265-2272.

(收稿日期:2013-01-29)

作者简介:

胡治伟,男,1986年生,硕士研究生,主要研究方向:半导体照明技术。

郭震宁,男,1958年生,教授,主要研究方向:半导体光电子材料与器件。

杨菲菲,女,1989年生,硕士研究生,主要研究方向:半导体照明技术。