

Design of a New Solar LED Lamp Controller Based on ZigBee*

Yongsheng Lian, Shuying Cheng

College of Physics and Information Engineering, Institute of Micro-Nano Devices & Solar Cells, Fuzhou University, Fuzhou
Email: chengsyng@yahoo.com.cn

Received: Dec. 1st, 2011; revised: Dec. 10th, 2011; accepted: Dec. 20th, 2011

Abstract: There are some problems in photovoltaic lighting systems, such as low efficiency, instabilities, short battery life, etc. To solve these problems, a novel type of ZigBee solar street lamp controller with wireless networking function is designed in this paper. The controller consists of five main parts: charging circuit, sensor module, LED driving circuit, wireless communication module and power management module. The real-time working state of battery is monitored and switched accurately to improve the efficiency of charging. Perturbation and Observation Method is used to realize maximum power point tracking (MPPT) of the solar panel. A constant-current control is taken to achieve energy-saving. The networking strategy combined ZigBee, GPRS, Internet is applied, so the solar lamps can establish network by themselves and be monitored and controlled by remote center. By testing the experimental result, it is proven that the solar LED lamps with this new controller can operate efficiently, stably, and be managed intelligently. It has a broad application prospect.

Keywords: ZigBee; Charging Control; MPPT; Constant-Current Control; Networking Monitor

基于 ZigBee 的新型太阳能 LED 路灯控制器设计*

连永圣, 程树英

福州大学物理与信息工程学院, 微纳器件与太阳能电池研究所, 福州
Email: chengsyng@yahoo.com.cn

收稿日期: 2011 年 12 月 1 日; 修回日期: 2011 年 12 月 10 日; 录用日期: 2011 年 12 月 20 日

摘要: 针对现有太阳能照明系统普遍存在的效率低、寿命短、运行不稳定等问题, 设计了一种具有无线联网功能的新型 ZigBee 太阳能路灯控制器。该控制器包括充电控制模块、数据采集模块、LED 灯驱动模块、无线通信模块和电源管理模块。对蓄电池充电状态实时监测并准确切换充电模式以提高充电效率, 采用扰动观察法实现太阳能板最大功率点跟踪, 采用 LED 恒流控制措施达到节能效果。联合 ZigBee、GPRS、Internet 的组网策略实现太阳能路灯自组网和远程智能监控。试验结果表明, 应用该控制器的太阳能照明监控系统效率高、运行稳定, 真正实现了太阳能 LED 照明的智能化管理, 具有广阔的应用前景。

关键词: ZigBee; 充电控制; MPPT; 恒流控制; 联网监控

1. 引言

太阳能 LED 照明是洁净能源利用与节能技术相结合的热门研究课题, 倍受全世界各国高度关注。目

前市场上的大多数太阳能路灯都是一盏盏孤立的路灯, 普遍存在着效率不高, 可靠性不高, 管理困难, 损坏或出现故障未能及时报修等问题^[1,2]。已经有一些文献^[1-3]在改进充电方式、蓄电池保护方面做了相应的研究, 在一定程度上提高了太阳能充电效率、延长了

*基金项目: 福建省自然科学基金项目 (2009J05146)和福州市科技项目 (2010-G-102)。

蓄电池的使用寿命。但是针对如何对太阳能路灯进行远程监控,实现智能化管理的研究还很少。本文设计了一种基于 ZigBee 的新型太阳能 LED 路灯控制器,既能有效控制太阳能路灯日常工作,也能控制太阳能路灯自组织无线监控网络。

此智能控制器采用了优化的设计以提高性能。例如, ZigBee 无线传感网在控制器中得到应用,使得每一盏路灯增加了无线联网通信功能。充电电路根据蓄电池状态提供改进型的三阶段充电方法和精确控制,提高了充电效率。放电电路采取恒流控制方法达到节能效果。整个控制器在 ZigBee 协议栈的基础上开发太阳能路灯控制程序,通过实时检测太阳能板输出和蓄电池电量,从而确定系统工作状态,实现太阳能路灯独立自动控制。并通过 ZigBee 网络和 GPRS 网络与远程监控中心进行交互,实现了太阳能路灯网络智能化管理。

2. 控制器总体设计

ZigBee 技术是一种新兴的近距离、低复杂度、低功耗、低数据速率、低成本的双向无线通信技术,主要适合于自动控制 and 远程控制领域,可以嵌入各种设备中,同时支持地理定位功能^[4]。本文以适用 ZigBee 技术的 2.4 GHz 射频系统芯片 CC2430 为控制核心,通过设计充电控制模块、数据采集模块、LED 灯驱动模块、无线通信模块和电源管理模块,构成整个太阳能路灯控制器。

控制器的结构框图如图 1 所示,它集传统太阳能路灯控制器功能和无线联网通信功能为一体。能够有

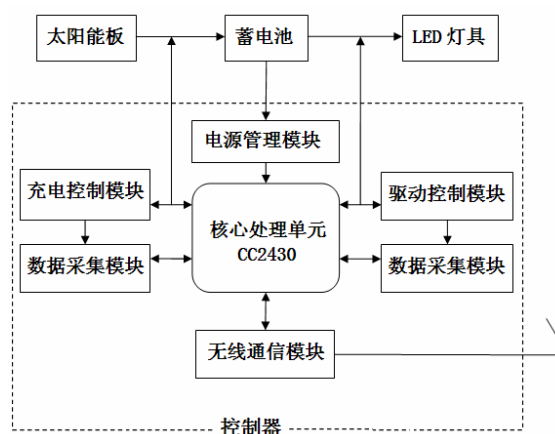


Figure 1. Structure of solar lamp controller
图 1. 太阳能路灯控制器结构框图

效控制太阳能路灯系统的日常工作,包括太阳能板最大功率点跟踪、蓄电池充放电管理、LED 灯恒流驱动等。也能充当 ZigBee 无线网络的一个节点(协调器,路由器或终端设备)控制太阳能路灯建立或者加入一个网络,实时检测太阳能路灯系统的工作状态和参数信息,并通过所建立的 ZigBee 网络和 GPRS 网络与远程监控中心进行交互。

3. 蓄电池充电策

在太阳能路灯系统中,蓄电池的充放电控制策略会直接影响系统的性能。对铅酸蓄电池的充电有恒流充电、恒压充电、恒压限流充电、两阶段充电、三阶段充电等方法。选择适当的充电方法,不仅可以延长蓄电池的使用寿命,而且还可以提高充电效率。本控制器的蓄电池充电控制电路如图 2 所示,主要由一个

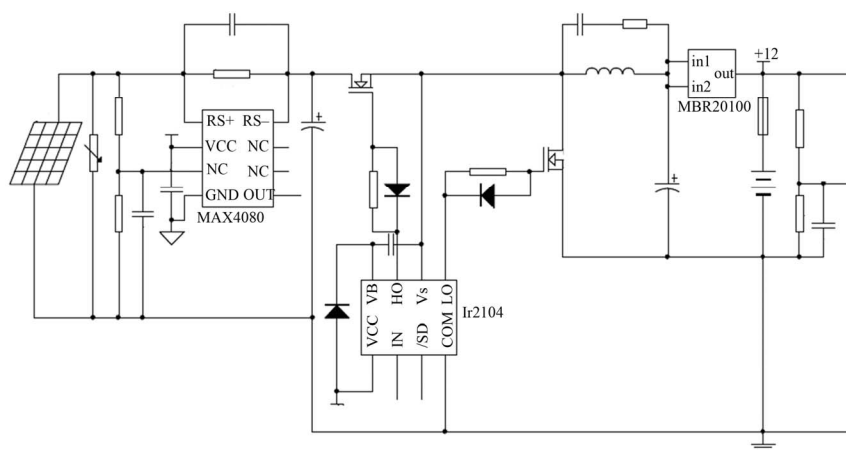


Figure 2. Charging circuit of the battery
图 2. 蓄电池充电控制电路

BUCK 电路、PWM 波驱动电路、电压电流采集电路组成。为了对蓄电池的充电进行更好的控制和保护，这就需要准确判断蓄电池的充电状态，结合太阳能板的输出特性和蓄电池充放电特性，选取充电电路的工作状态。本控制器采用改进型的三阶段充电方法：

1) MPPT 充电：在充电初期，蓄电池的荷电状态比较低，为了让太阳能板输出最大功率对蓄电池充电，故采用 MPPT 充电^[5,6]。控制对象为太阳能板的输出功率，扰动 PWM 波的占空比，实时检测太阳能板的输出电压和电流，通过扰动观察法找到最大功率点所对应的 PWM 波占空比。当太阳能电池实现 MPPT 时，蓄电池也就实现了最大功率充电。

2) 恒压充电：当蓄电池端电压 U_b 上升到转换门限值 15 V 后，充电电路转到恒压充电。充电器的控制对象为 Buck 变换器的输出电压，使其稳定在 15 V。同时检测充电电流，当充电电流降低到低于转换门限值 I_{oct} 时，认为蓄电池电量已接近充满。

3) 浮充阶段：蓄电池一旦接近全充满时，其内部的活性物质大部分已经恢复成原来的状态，蓄电池对电流的接受能力减弱。这时候为防止过充，进入浮充状态。浮充电压根据蓄电池的实际要求设定。对 12 V 的 VRLA 蓄电池来说，一般在 13.4 V~13.8 V 之间。

4. LED 恒流驱动控制

传统 LED 控制器是直接在蓄电池两端并联负载 LED，此时流过 LED 的电流和蓄电池电压成线性关系。因此蓄电池电压波动大时 LED 电流波动也大，

而 LED 长期工作在大电流下有可能失效^[7]。为解决此问题，本文利用 PWM 技术并通过对负载稳压来实现对 LED 的恒流，从而保证了 LED 的可靠使用，并延长其使用寿命。LED 灯驱动控制电路如图 3 所示。

硬件上主要由另外一个 BUCK 电路和 PWM 波驱动电路(IR2104)组成。根据实时采集的负载电流值和蓄电池电压值，通过调节 PWM 波的占空比对 LED 灯进行恒流控制。同时，为了较好地实现 LED 的亮度调节与天气情况和蓄电池电量的自适应，达到节能效果，并防止蓄电池过放。对 LED 驱动设计全功率、半功率、三分之一功率等多种供电模式。

5. 组网监控策略

5.1. 单灯节点设计

单灯节点需要解决的问题包括：太阳能路灯系统工作状态的控制和检测、ZigBee 协议栈的实现、ZigBee 网络的组织和通信。核心部件 CC2430 集成了符合 IEEE802.15.4 标准的 2.4 GHz 的 RF 无线电收发机，只需要很少的外置元件设计天线电路，就可实现信号的收发功能。再将 CC2430 相应接口与太阳能路灯控制器的各个功能模块相连，构成所谓的单灯节点，见图 4。其中，由 CC2430 的 2 个内部时钟(T3 和 T4)产生 2 路频率为 20 kHz 的 PWM 波分别驱动蓄电池充电控制模块和 LED 灯驱动控制模块中的 MOSFET，4 个内部 ADC 通道用来对数据采集模块的输出信号进行 AD 转换。

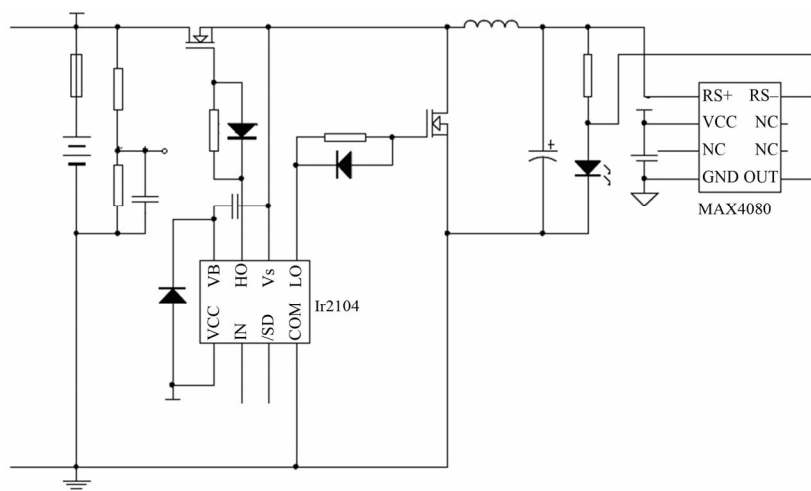


Figure 3. Driving circuit of LED lamp
图 3. LED 驱动电路

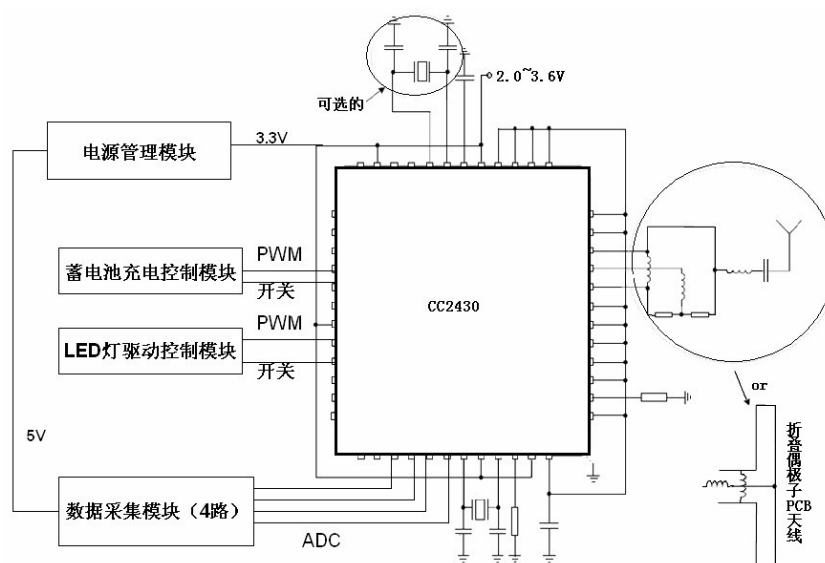


Figure 4. Structure of single solar lamp node
图 4. 单灯节点设计

ZigBee 协议栈运行在一个 OSAL 操作系统上, 该操作系统基于任务调度机制, 通过对任务的事件触发来实现任务调度, 每个任务都包含若干个事件, 每个事件都对应一个事件号^[8]。单灯节点的软件设计是在 ZigBee 协议栈(Z-Stack)基础上开发太阳能路灯的控制程序, 将蓄电池充电控制算法和 LED 恒流控制算法嵌入到 ZigBee 协议栈的应用层中。每盏路灯完成初始化之后, 加入由协调器建立的 ZigBee 网络。之后 MCU 大部分时间用来控制和检测太阳能路灯系统的工作状态, 无线网络中的数据通信采用中断方式触发。

5.2. 太阳能路灯组网监控实现

基于以上单灯节点的设计, 控制器具备了无线联网通信功能。采用此新型控制器的太阳能路灯照明监控系统的结构框图 5 如图所示。当带有该控制器的太阳能路灯(可以成千上万盏)分布安装在一片区域(城镇, 校园, 街道, 公园, 广场等)时, 所有太阳能路灯自主组建一个树状或网状的 ZigBee 无线网络。其中有一盏太阳能路灯带有的控制器配置为协调器, 负责网络的建立、维持和管理。其他太阳能路灯根据地形和路灯分布情况配置为路由器或者终端设备, 它们通过信道扫描加入由协调器建立的网络。ZigBee 无线网络中的所有路灯节点之间可以互相通信和进行数据转发, 各个太阳能路灯系统的工作状态信息以数据包

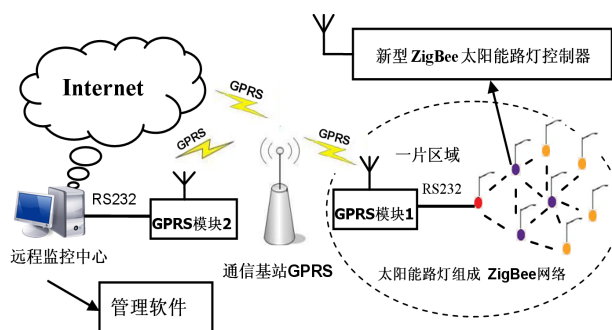


Figure 5. Architecture of solar lighting and monitoring system
图 5. 太阳能路灯照明监控系统结构

的形式通过路由器发送到协调器, 由协调器统一发送给远程监控中心。

ZigBee 无线网络与远程监控中心之间的通信通过 GPRS 网络和 Internet 实现^[9,10]。ZigBee 协调器连接一个 GPRS 模块 1; 充当远程监控中心的 PC 机连接到 Internet, 并通过串口连接一个 GPRS 模块 2。这样配置可以使监控中心具有灵活移动性, 当监控中心被移动时(其 IP 和端口号通过 GPRS 模块 2 发送给远方的 GPRS 模块 1, 告知 ZigBee 协调器)。所以任何一台连有 Internet 网络的 PC 机都可以充当远程监控中心, 路灯用户或者管理人员随便找一台能上网的电脑, 就能查看或控制区域中太阳能路灯的工作状态和运行状况。

网络连接和通信建立采用基于 TCP/IP 协议的客户端/服务器模式作为通信模式, 远程监控中心充当服

务器, ZigBee 协调器充当客户端。第一次建立连接时, 由远程监控中心(服务器)的管理软件建立一个网络 Socket 套接字, 并通过 GPRS 模块 2 将当前的 IP 和端口号以短信息(SMS)发送给 GPRS 模块 1, ZigBee 协调器根据收到的 IP 和端口号通过 GPRS 网络和 Internet 连接到监控中心主机。至此, ZigBee 无线网络与远程监控中心之间的网络通信信道已经被建立, 之后由 ZigBee 协调器与监控中心管理软件协调工作, 对远方的所有太阳能路灯进行监控管理。

6. 测试与结果

测试时, 建立了图 5 所示结构的太阳能路灯照明监控系统。8 盏太阳能路灯放置在学校操场组成一个 ZigBee 网络(灯与灯间距 70~120 米), 选择实验室的一台 PC 机(安装设计的管理软件)充当监控中心。每盏路灯包括: 120 W 太阳能板, 12 V 铅酸蓄电池, LED 灯具, 新型 ZigBee 太阳能路灯控制器。主要对控制器的运行、组网的稳定性、管理软件的性能进行测试。

图 6 为控制器充放电电路中 MOSFET 的驱动波形, 在 MPPT 充电阶段, PWM 波的占空比随着最大功率点的实时跟踪而实时改变。

图 7 为太阳能板对蓄电池充电时的输出曲线(每隔一小时记录一次), V_s 、 I_s 、 P_s 分别为太阳能输出电

压、电流、功率。一天中, 太阳能板的输出最大功率点随着阳光的强弱而变化, 在中午 11 点到 14 点之间达到最大值。

图 8 为监控中心管理软件的管理界面, 太阳能路灯控制器设置为每隔 2 秒向监控中心发送一次数据(包括: 太阳能板输出电压、电流、功率, 蓄电池端电压, LED 灯电流)。测试表明, 监控中心接收到的数据与控制器的实测数据一致, ZigBee 太阳能路灯控制器与管理软件成功进行交互, 通过发送控制命令可以改变任意一盏太阳能路灯的工作状态, 实现了太阳能路灯的集中便捷管理。

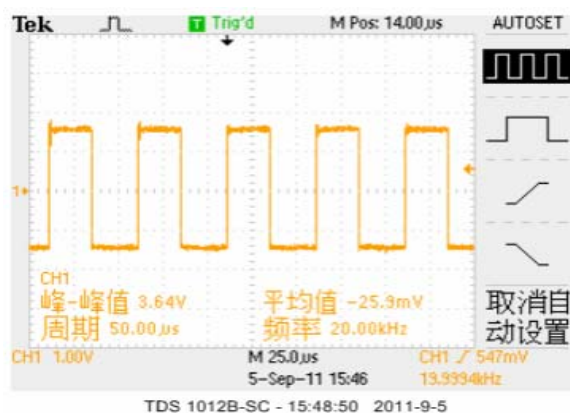


Figure 6. Driving waveform of MOSFET
图 6. MOSFET 的驱动波形

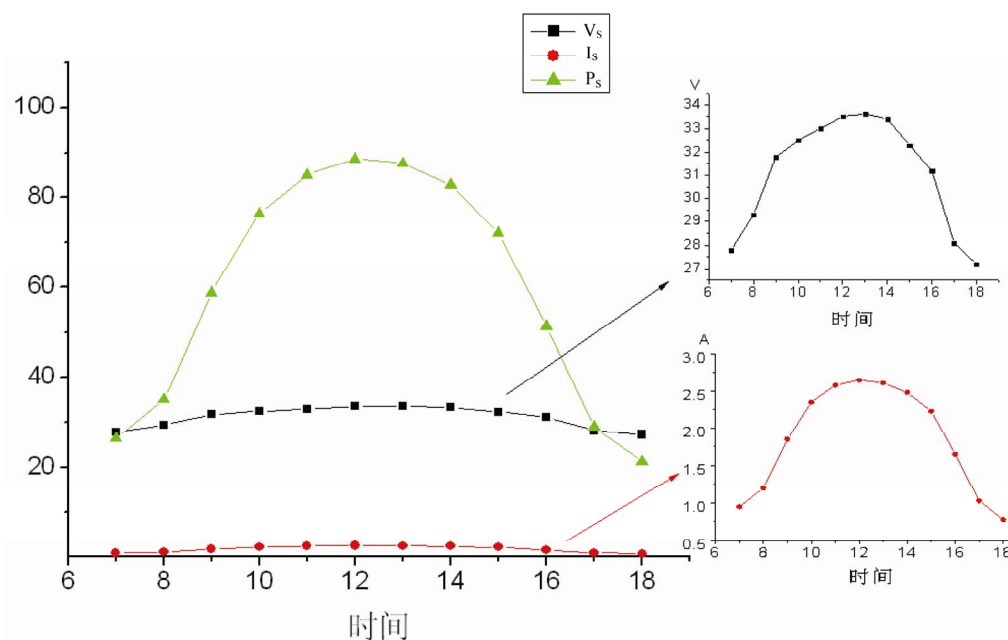


Figure 7. The daily changing parameters curve of solar panel monitored by the system
图 7. 太阳能板输出曲线



Figure 8. Management software of remote monitoring center
图 8. 监控中心管理软件

7. 结语

本文设计了一种新型的 ZigBee 太阳能路灯控制器，并对蓄电池充电策略、LED 恒流驱动控制、路灯组网监控策略的具体实现进行分析。通过系统测试表明，该控制器既能独立稳定运行，也能接受远程监控中心的监控。ZigBee 无线网络与 GPRS、Internet 的联合，真正实现了太阳能路灯的网络智能化管理。应用此控制器的太阳能路灯照明监控系统具有广阔的市

场前景，有望促进太阳能路灯更大范围的推广应用。

8. 致谢

在此感谢福建省自然科学基金(2009J05146)和福州市科技项目基金(2010-G-102)的资助。

参考文献 (References)

- [1] 吴理博, 赵争鸣, 刘建政. 用于太阳能照明系统的智能控制器[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2003, 12(37): 1195-1198.
- [2] 卢琳, 夙国华, 张仕文. 基于 MPPT 的智能太阳能充电系统研究[J]. 电力电子技术, 2006, 41(2): 96-98.
- [3] 史云鹏, 王莹莹, 李培芳. 光伏系统中蓄电池充放电方案的探讨[J]. 太阳能学报, 2005, 26(1): 86-89.
- [4] 李文仲, 段朝玉. ZigBee 无线网络技术入门与实战[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [5] 郭勇, 孙超, 陈新. 光伏系统中最大功率点跟踪方法的研究[J]. 电力电子技术, 2009, 43(11): 21-23.
- [6] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo and M. Vitelli. Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method. IEEE Transaction on Power Electronics, 2005, 20(4): 963-973.
- [7] 余发平, 张兴, 王国华. 基于自适应 PI 控制的太阳能 LED 照明系统 PWM 恒流控制器[J]. 太阳能学报, 2006, 27(2): 132-135.
- [8] Zig Bee Alliance Board of Directors. ZigBee Specification, 2008: 29-30.
- [9] L. Shen, X. Q. Shi and M. Ling. A wireless network based on the combination of Zigbee and GPRS. Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, Hainan, 6-8 April 2008, 267-270.
- [10] P. Jiang, H. B. Xia and K. H. Wu. Design of water environment data monitoring node based on ZigBee technology. International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering, Wuhan, 11-13 December 2009: 1-4.