



陈 维<sup>1,2,3</sup> 沈 辉<sup>1</sup> 王东海<sup>1</sup> 邓幼俊<sup>1</sup>

(1. 中山大学太阳能系统研究所, 广州 510275; 2. 中国科技大学, 合肥 230026;  
3. 中国科学院广州能源研究所, 广州 510070)

**摘 要:** 结合太阳能光伏系统应用特点和大功率照明 LED 的驱动特性, 对太阳能半导体照明驱动技术进行了研究, 并研制了一种新的太阳能路灯控制器, 不但能够实现对光伏系统中的蓄电池防过充、过放保护, 而且还实现对 LED 光源的亮度可控调节。

**关键词:** 太阳能; 半导体照明; 驱动技术; 大功率 LED

## Research on Driving Technology of Semiconductor Illumination Light Source by Using Solar Energy \*

Chen Wei<sup>1,2,3</sup> Shen Hui<sup>1</sup> Wang Donghai<sup>1</sup> Deng Youjun<sup>1</sup>

(1. Solar System Research Institute of Sun Yat-SEN University, Guangzhou 510275;  
2. University of Science and Technology of China, Hefei 230026;  
3. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Guangzhou 510640)

### Abstract

Combining solar energy system with driving super power illumination LED characteristics, driving technology of semiconductor illumination light powered by solar energy is researched. And one novel solar street lighting controller is designed which not only can prevent the battery overcharge or overdischarge, but also can regulate the brightness of LED lamps.

**Key words:** solar energy; semiconductor illumination; driving technology; super power LED

## 引言

发光二极管 (LED) 是一种能够将电能转化为可见光的半导体发光器件, 具有节能、环保、长寿命、免维护等优点, 近十年来在电子仪器仪表、汽

车、交通信号指示、电子显示屏、城市景观照明等方面得到了广泛的应用。由于 LED 是使用直流电流, 且工作电压较低, 当利用常规供电系统 (交流电, 220V, 380V 等) 作为 LED 的电源时, 必须先要将电源转换成低压、直流电才能使用, 这不仅增加了照明系统成本, 同时又降低了能源的利用率。太阳能半导体照明是利用太阳能电池提供电源和 LED 作为光源的组合, 太阳能电池是直接将光能转化为直流电能的, 且太阳能电池组件可以通过串、并联的方式任意组合, 得到实际需要的电压。这些特点恰恰是与 LED 匹配而传统供电系统所无法比拟的。如

\* 基金支持: 2004 国家十五攻关项目, 采用光伏电源的半导体照明系统研发 (2004BA411A09); 2004 年广东省科技厅科技计划项目, 太阳能 LED 照明系统的集成技术研究 (2004A11005002)。

果将太阳能电池与LED结合,将无须任何的逆变装置进行交、直流转换,因此太阳能半导体照明系统将获得很高的能源利用率、安全性和可靠性。现在常见的太阳能照明半导体系统有太阳能草坪灯、太阳能信号灯和太阳能半导体路灯等,以及太阳能室内半导体照明系统。

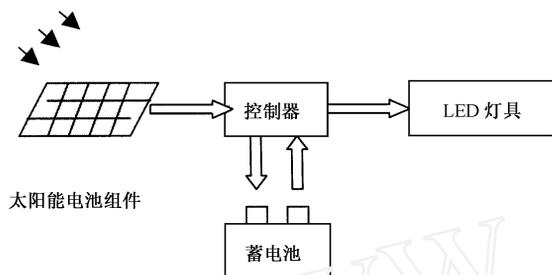


图1 太阳能半导体照明系统结构图

## 1 太阳能半导体照明系统工作模式

太阳能半导体照明系统如图1所示,由太阳能电池组件,控制器,蓄电池,LED光源四部分组成。太阳能半导体照明系统的工作原理,是白天通过太阳能电池给蓄电池充电,供晚上或白天室内LED光源负载使用。

## 2 LED照明工作特性

随着半导体技术的发展,尤其是白光LED的开发成功,使得LED在照明领域中的应用成为可能,被认为是新一代主流照明光源。白光LED通常是在发射蓝光的InGaN基材上涂荧光材料,荧光材料在受到蓝光激励时会发出黄光,蓝光和黄光的混合物形成白光<sup>[1]</sup>。

目前调节LED亮度的方式有两种:(1)调节工作电流方式,除了红光LED随着电流的升高亮度会饱和外,一般其他LED的亮度都会随着其工作电流的增大而增大,因此可以通过调节LED的工作电流的方法在较大范围内控制LED的亮度;(2)脉宽调制(PWM)方式。LED的响应时间一般只有几纳秒至几十纳秒,适合于频繁开关以及高频运作的场合,因此可以方便地通过周期性的改变脉冲宽度,亦即控制占空比的方式来实现对LED亮度的调节,例如

要将亮度减半,只需在50%的占空周期内提供电流就可以实现了。我们选择200~300Hz的开关频率来进行PWM亮度调节,这是因为人眼无法分辨超过40Hz的频率的变化<sup>[2]</sup>,而太高的频率又会引起白光颜色发生移位<sup>[3]</sup>和亮度调节非线性<sup>[4]</sup>,从图2可以看出LED发出的白光是由蓝光和黄光混合而成,其色彩通常是由色彩坐标来进行定义,当LED的开关频率较高时(例如几十kHz),在用来切换LED开关的短暂时间间隔内色彩坐标会发生变化,这样将引起白光颜色发生移位<sup>[5]</sup>。

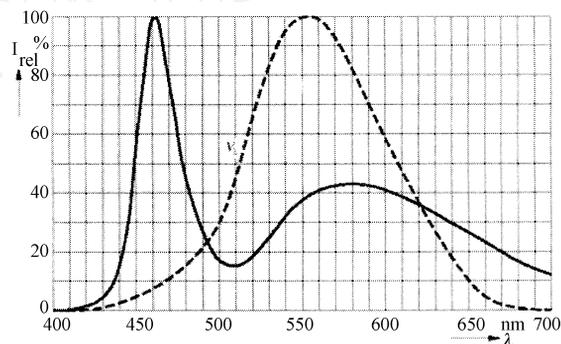


图2 白光LED的相对波长对应的光强分布(实线)以及人眼的相对光敏感性(虚线)曲线图

比较以上两种亮度调节方式,使用第二种方式更合适于半导体照明,原因是:1)在某个特定的正向电流下LED能显示出最纯的白光,随着工作电流偏离这个值,白光LED发出的光可能偏蓝或偏紫,因此通过改变LED工作电流的方式调节会使光的颜色发生偏移,而使用PWM控制方式则不会有这样的问题。2)现在通常使用的大功率白光LED都是工作在大电流下,因此其在工作时会产生大量的热量。随着工作温度的升高,LED器件的性能会降低,因此散热对LED器件工作性能影响很大<sup>[6]</sup>,在使用PWM控制方式时其脉冲平均电流和直流电流大小相等的情况时,LED器件会有更低的温度,所以有更高的发光亮度。3)PWM方式使用控制电路实现起来也比较容易。

## 3 太阳能半导体照明驱动方式

LED工作驱动方式主要有电阻限流和恒流源工作两种方式(如图3)。

(1)电阻限流驱动方式,如图3a所示,在蓄电池和LED通过串接一个电阻限流,这种方式是通常

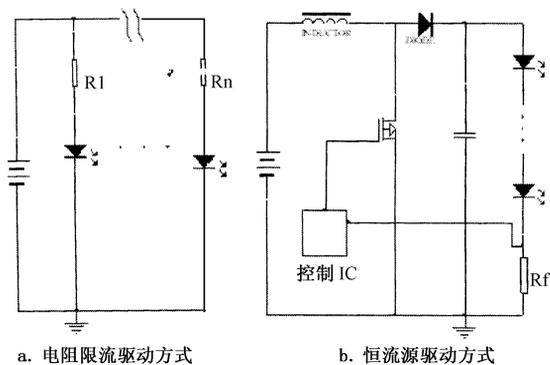


图 3 LED 工作驱动方式

的 LED 驱动方式，广泛应用 LED 指示电路。(2) 恒流源驱动方式，如图 3b 所示，是由 DC-DC 电路组成的恒流源驱动方式，通过对电流检测电阻  $R_s$  的两端电压进行检测，若检测到的电压偏离控制 IC 设定的参考电压，控制 IC 输出 PWM 控制信号的脉宽也将发生改变，控制开关管的开关占空比也就发生变化，而使检测电阻  $R_s$  上的电压保持在设定参考电压上。此时通过白光 LED 的电流是由参考电压值和电流感测电阻值来决定，可以通过对检测电阻  $R_s$  的改变来调整 LED 电流。

比较两种驱动方式的优缺点，第二种方式更适合于太阳能半导体照明。电阻限流驱动方式虽然电路结构简单、可靠，然而使用在太阳能半导体照明中有它的明显不足。从图 4，我们实测的美国 Lumileds 公司的 Luxeon (1 W) 大功率 LED 正向导通电流 - 电压曲线，可以看出，当外加电压大于阈值电压 2.8V 后，发光二极管导通，工作电流随电压提高变化很快，同时 LED 的亮度随着通过 LED 的电流近似线性提高。太阳能光伏发电系统最常用的是铅酸蓄电池，如图 5 铅酸蓄电池充放电曲线所示，蓄电池充放电电压变化幅度很大。12V 铅酸蓄电池接近满充时充电电压可以达到 14.5V，而在放电时，当放到充电状态 (SOC) 的 80% 时，放电电压接近 11.5V。若采用第一种方式，由于蓄电池充放电电压的变化会使 LED 灯具的亮度也发生很大的波动，而在使用第二种驱动方式时，能够使 LED 在 PWM 调制的恒流源下工作。对比两种驱动方式，由于太阳能半导体照明中一般使用大的工作电流驱动大功率 LED，如果采用电阻限流方式的话，在电阻上消耗的能量也是非常大的，相对来说第二种方式将具有更高的工作效率。

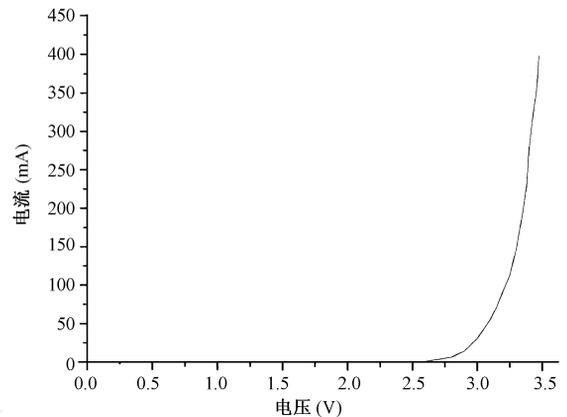


图 4 1W 大功率 LED 正向导通电流 - 电压曲线

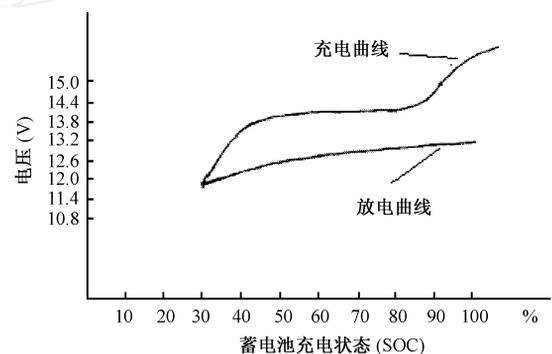


图 5 铅酸蓄电池的充放电曲线

## 4 太阳能半导体路灯控制器设计

根据太阳能半导体照明的特点，设计了一种新型的太阳能半导体路灯控制器。控制器能够实现对接蓄电池充放电管理，防过充、放过放，其由微处理器电路、DC - DC 升压电路、实时时钟电路、充放电保护电路、路灯开关电路等五部分组成。

微处理器芯片采用的是 PHILIPS 的 P87LPC768，它有 4 路 10 位脉宽调制器 (PWM) 通道和 4 路 8 位 A/D 转换器通道<sup>[7]</sup>，能够很好的实现我们设计的功能。微处理器通过其输入/输出 P0、P1 I/O 口实现与其他各功能电路的连接，其 A/D 输入口实现对蓄电池、太阳能电池板电压的采样测量，实现蓄电池的过充、过放保护，以及路灯光控开关；实时时钟电路通过串行总线 SCL、SDA 与微处理器的 P1 口连接实现读写功能；充电开关电路由一根控制线与微处理器的 PWM 端口相连接，当蓄电池电压达到设定值时，能够输出 20kHz 的 PWM 脉冲调制信号，实现 PWM 控制脉冲充电，能够极大地提高了系统充

电效率。放电开关电路也由一根控制线与微处理器 P1 口相连，由软件模拟波形输出控制信号，控制开关动作，它能够实现 LED 光源的亮度和功耗调节，例如：控制器能够控制，在天黑时到晚上 12 点，为

全功率输出，到 12 点以后为半功率输出，调整此时输出的波形占空比全功率输出的一半，适当降低 LED 光源的亮度，这样可提高能源的利用效率，减小系统配置和降低系统成本。

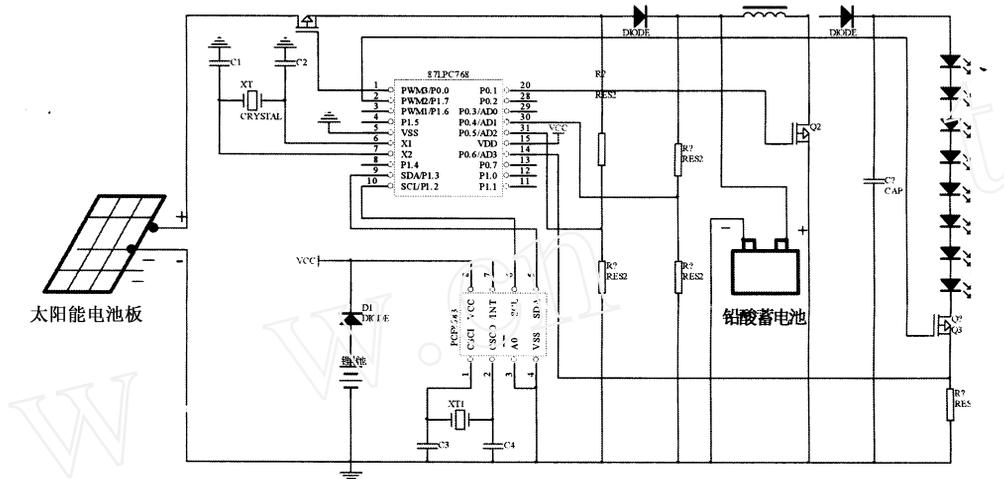


图 6 一种新型太阳能半导体路灯控制器电路原理图

建立了图 1 所示结构的太阳能半导体照明系统，并进行了实验测试。系统组成包括 40Wp 太阳能电池组件，12V/40AH 免维护铅酸蓄电池，一串 8 个 1W 大功率 LED 灯负载和我们设计的太阳能路灯控制器。该系统已经正常运行近三个月，一直都能够保证正常的开、关灯；在蓄电池的各种充电状态 (SOC) 下测试 LED 负载的工作电流都能保证恒定；对蓄电池的过充、过放电保护功能也能完好的实施，测试结果充分证实该型控制器的可靠性。

## 5 总结

本文对太阳能半导体照明驱动技术进行了研究，并且结合太阳能光伏系统应用特点和大功率照明 LED 的驱动特性，研制了一种新型的太阳能路灯控制器，不但能够实现对光伏系统中的蓄电池防过充、过放保护，而且还实现对 LED 灯具的亮度可控调节，实验和运行的结果表明，该型太阳能半导体路

灯控制器具有稳定性和可靠性好的优点，并且能在免维护状态下长期运行，具有广阔的应用前景。

## 参考文献

- [1] Mach R M, Mueller G O. White light emitting diodes for illumination [J]. SPIE, 2000, 3938: 30~41.
- [2] 庞蕴凡. 视觉与照明 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1993, 3.
- [3] Gerhard Schaf. Driving InGaN-Based LED in Parallel Circuits, OSRAM Opto Semiconductors, November 2001.
- [4] Dave Kim. Tiny regulators drive white backlights. <http://www.linear.com/pc/download>.
- [5] Standard and White LED Basics and Operation. <http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote-number/3070>.
- [6] 金尚忠, 张在宣等. 白光 LED 灯温度特性的研究 [J]. 发光学报, 2002, 23 (4): 399~402.
- [7] 周杭慈. PHILIPS 51LPS 系列单片机原理及应用设计 [M]. 北京航空航天大学出版社, 2001, 5.

2006年《照明工程学报》全国邮局征订  
邮发代号：80-436