

文章编号: 1000-5013(2011)05-0515-05

低压太阳能草坪灯驱动控制器的设计与仿真

杨静^{1,2}, 凌朝东^{1,2}, 梁爱梅^{1,2}

(1. 华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 泉州 362021;
2. 厦门市专用集成电路系统重点实验室, 福建 厦门 361008)

摘要: 设计一种能在 0.8 V 下工作的低压太阳能发光二极管草坪灯驱动控制器. 控制充电回路通断的开关管集成在芯片内部, 系统只需外接一个电感和光敏电阻. 该驱动电路具有光开关自动控制放电、蓄电池过放迟滞保护等功能, 且发光二极管灯无闪烁. 仿真结果表明, 芯片的工作电压为 0.8~1.5 V, 输出平均电流在 3~300 mA 内可调, 发光二极管灯效率大于 85%, 能够满足各种不同发光二极管对电流的需求.

关键词: 控制器; LED 草坪灯; 太阳能; 光敏开关; 过放电保护
中图分类号: TM 571.2 **文献标志码:** A

太阳能光伏电池和发光二极管(LED)同为直流电、电压低,并且能相互匹配^[1-2]. 太阳能草坪灯很好地结合了太阳能和 LED 照明的各自的优点^[3],利用光伏发电技术把太阳能转换为电能驱动 LED 照明,具有环保无污染、使用寿命长、安装方便等特点,已开始广泛地应用于广场绿地、小区草坪等场所^[4]. 目前,LED 的芯片有能够单独使用,实现简单充放电保护功能的^[5];也有带微机控制接口,能够与处理设备协同工作,实现复杂功能的^[6-7]. 基于专用芯片的蓄电池管理和 LED 驱动,已成为太阳能光伏系统管理的最主要方式^[8-10]. 将太阳能光伏系统中的充放电控制和 LED 驱动集成于一体的控制芯片有着无可替代的作用,具有广阔的市场前景和可观的经济效益. 为了减少太阳能 LED 草坪灯控制系统的成本,降低对太阳能电池的要求,本文设计一种低压太阳能 LED 草坪灯驱动控制器.

1 电路设计

1.1 系统结构

太阳能草坪灯控制器的系统结构,如图 1 所示. 采用上华 0.35 μm 双多晶四层金属 N 阱 CMOS 工艺设计的芯片;控制器由充电控制电路、开关驱动电路、光开关控制电路、过放电保护电路等组成. 为使控制器能在 0.8 V 低压下正常工作,可采用一节 1.2 V 的 Ni-Cd 或 Ni-MH 蓄电池作为电源电压.

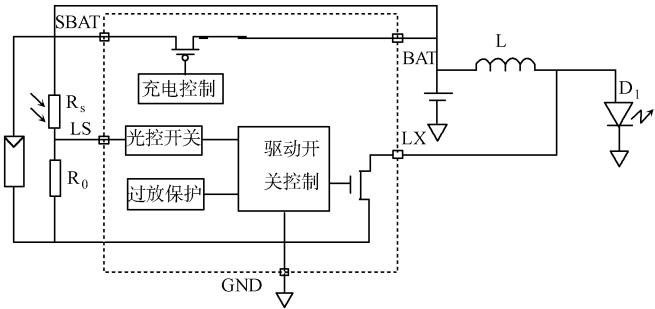


图 1 控制器的系统结构
Fig. 1 System structure of the controller

采用固定频率的脉冲宽度调制(PWM)方式来控制电感升压电路. 当与 LX 相连的 MOS 管导通时, 充电电池对电感 L 充电; 当与 LX 相连的 MOS 管关断时, 电感 L 对 LED 放电. 光开关控制和过放电保护电路具有迟滞功能, 欠压关断时将电路锁定在关断状态, 只有当太阳能电池电压达到一定电压时解锁电路, LED 重新点亮, 避免了欠压关断后电池电压马上回升导致 LED 灯闪烁的问题.

1.2 充电控制电路

通过对太阳电池的采样电压与蓄电池电压进行比较来控制充电过程, 如图 2 所示. 当太阳电池采样的电压大于 BAT 电压时, 比较器输出端 V_{pgate} 为低电平, PMOS 管导通, V_s 对 V_{dd} 充电; 当太阳电池采样的电压小于 BAT 电压时, V_{pgate} 为高电平, PMOS 管截止, 防止蓄电池对太阳电池的反充电.

由于要保证在 0.8 V 的低压下电路能够正常工作, 比较器采用折叠式共源共栅低压结构, 由于整个控制器电路均由 BAT 供电, 功耗显得尤为重要. 该比较器对速度的要求比较低, 在设计时, 使输入对管支路的电流与折叠支路的电流设置相同, 这降低了比较器的速度但也降低了功耗.

与传统的控制器不同, 充电控制电路集成了 PMOS 开关管, 简化了外围电路. 为了减小开关管的导通电阻, PMOS 开关管采用了大的宽长比, 使得整个充电电路等同于一个极低导通压降的肖特基二极管. 即能防止夜间蓄电池对太阳电池的反向充电, 又提高了太阳电池的充电效率.

1.3 光开关控制电路

图 3 为光开关控制电路. 其中: LS 为光检测输入端, 外接一个光敏电阻和一个普通电阻. 光敏电阻随着光照强度变化, 其电阻发生变化, 使得 LS 输入端的产生变化. 通过比较器, 对 LS 端电压与设定电压值的大小来控制 LED 等的开关. 该电路中的比较器结构与充电控电路类似, 由于要求其在较低的输入信号下能工作, 采用 PMOS 管作为输入对管. 在 LED 灯点亮之后(光控开关电路输出端 LS_OUT 为低电平, 经过后面的驱动开关控制电路变为高电平去驱动控制 LED 点亮).

为了防止由于其他非日光瞬间光源干扰而误关断 LED 灯, 电路通过 LS_OUT 控制 M1 管关断, 使得比较器的翻转阈值降低, 即具有迟滞功能. 由仿真结果可知, 当 V_{LS} 高于 $0.3 \times V_{dd}$, LS_OUT 为高电平, 经过驱动开关控制电路输出低电平, 关断驱动开关管, 使得 LED 灯关闭; 当 V_{LS} 低于 $0.22 \times V_{dd}$ 时, LS_OUT 为高电平, 使驱动开关管导通, LED 灯点亮.

1.4 开关驱动控制电路

图 4 为开关驱动控制电路. 其中: 输入信号 ORP_OUT, LS_OUT, OUT 分别为过放电保护电路、光开关控制电路、逻辑控制电路的输出控制信号. 当过放电关断信号 ORP_OUT、光开关关断信号 LS_OUT、上电复位的逻辑控制信号中任一信号有效时, 将会对驱动开关管进行关断, 关闭 LED 灯.

LED 正常点亮时, 开关管导通的时间由充电电容 C_r 充电时间决定; 开关驱动信号的反馈信号, 经迟滞比较器翻转进入 RS 触发器的清零 R 端后, 决定驱动管的关断时间.

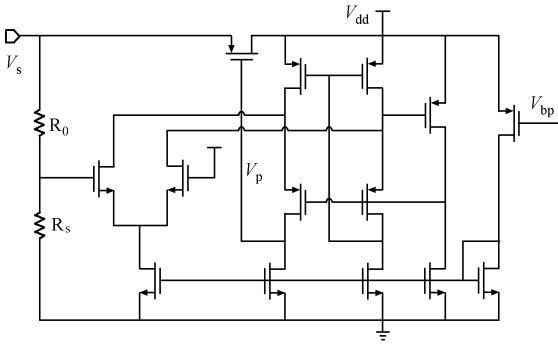


图 2 充电控制电路

Fig. 2 Charge up control circuit

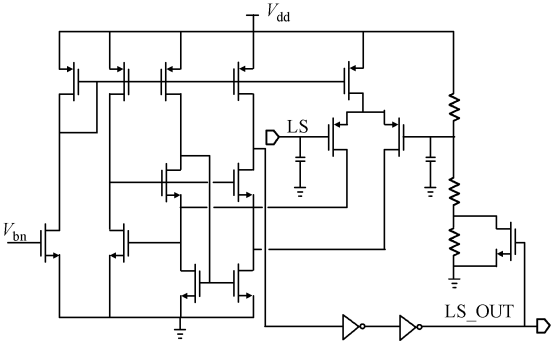


图 3 光开关控制电路

Fig. 3 Schematic of light switch control

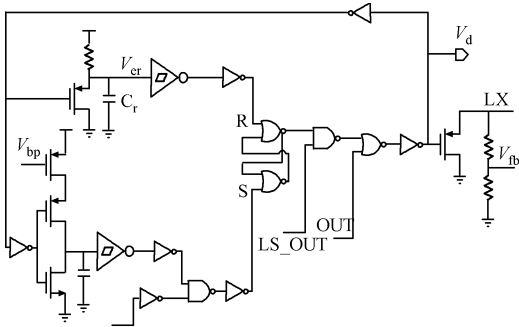


图 4 开关驱动控制电路

Fig. 4 Schematic of switch driver circuit

图 9 为整体仿真电路. 图 9 中: 外接电感 L 为 $110 \mu\text{H}$; D_0 为短反向恢复时间的二极管; 仿真模型

为 1N5817;输出滤波电容 C_0 为 $2.2\ \mu\text{F}$;发光二极管模型为白光 20 mA.

全芯片电路仿真波形,如图 10 所示. 从图 10 可知,在电源上电初始时刻,驱动开关管是关闭的,LED 灯熄灭,经过大约 $400\ \mu\text{s}$ 的启动时间,电路进入正常工作状态;当电池电压降低到过放保护门限后电路进入锁定状态,关断放电回路. 待电池电压回升,且光控再次开启后,电路才解除锁定状态,LED 灯重新点亮. 图 11 为功率开关管驱动波形. 图 11 中:频率约为 $100\ \text{kHz}$.

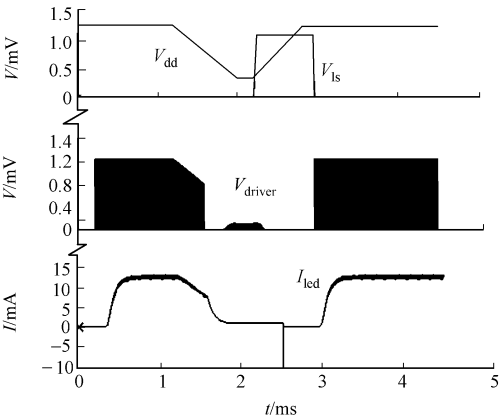


图 10 整体电路仿真波形

Fig. 10 Simulation curve of top circuit

在工艺角模型 TT 条件下,整个芯片电路的 LED 输出电流和电压曲线,如图 12 所示. 图 12 中:外接电感为 $22\ \mu\text{H}$;输出滤波电容为 $47\ \mu\text{F}$. 由图 12 可知,LED 电流随着 V_{dd} 的变化而变化,增加电源电压可以增大 LED 电流,电流纹波小于 5%. 当电源电压为 1,1.25,1.5 V 时,经计算 LED 灯效率分别为 86.55%,88.13%,88.63%. 由此可知,LED 具有 85% 以上的效率.

当电源电压 V_{dd} 为 1.25 V, $C_0=68\ \mu\text{F}$ 时,改变外接电感的值,仿真得出的 LED 电流和电压曲线,如图 13 所示. 对 LED 输出电流和电压求平均,当外接电感为 15.7,35.7,55.7 μF 时,可计算出 LED 消耗的功率分别为 243.92,108.27,69.57 mW. 通过以上计算可得出,对于给定的电源电压,LED 消耗的功率可由外接电感设定,即

$$P_{\text{led}} = 2.4 \frac{V_{\text{dd}}^2}{L} \times 10^{-6}.$$

由此可知,LED 的输出平均电流范围为 3~300 mA,工作电压范围为 0.8~1.5 V.

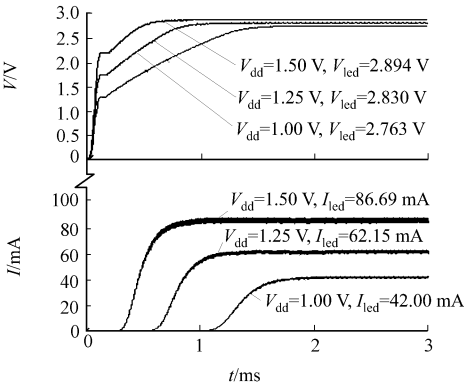


图 12 LED 电压、电流变化曲线

Fig. 12 Curve of the voltage and current of LED

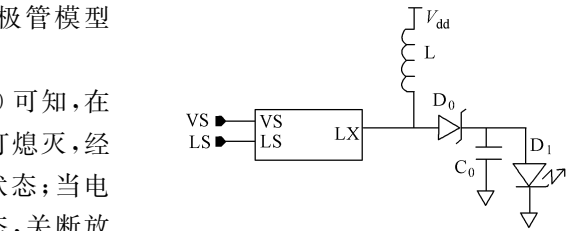


图 9 整体电路仿真框

Fig. 9 Simulation diagram of top circuit

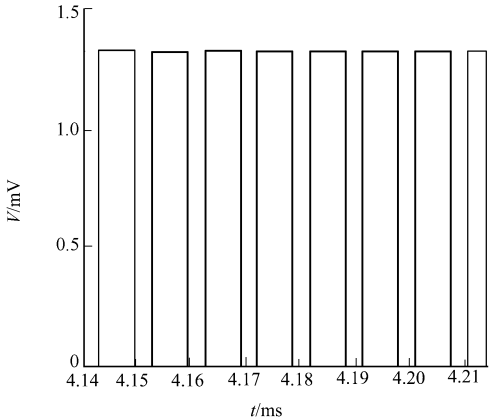


图 11 功率开关栅极电压波形

Fig. 11 Gate voltage waveform curve of power switch

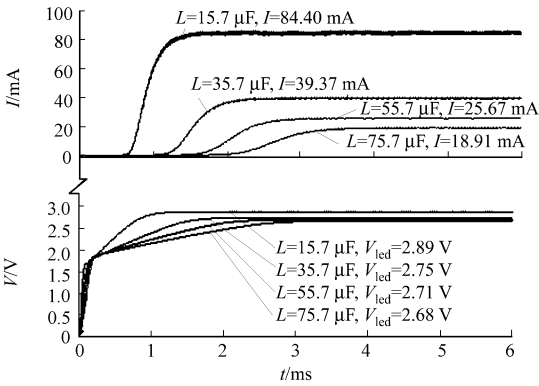


图 13 LED 输出电流和电压曲线

Fig. 13 Curve of the LED output current and voltage

3 结束语

所设计的低压太阳能发光二极管草坪灯驱动控制器,其电路的输出电流可在 3~300 mA 范围内调节,能够满足各种不同发光二极管对电流的需求. 该驱动电路具有光开关自动控制放电、蓄电池过放迟滞保护等功能,且发光二极管灯无闪烁. 电路仿真表明,采用该驱动电路发光二极管灯效率大于 85%.

参考文献:

[1] 滨川圭弘. 太阳能光伏电池及其应用[M]. 张红梅,等译. 北京:科学出版社,2008.

[2] DUNLOP J P,FARHI B N. Recommendations for maxmizing battery life in photovoltaic systems: A review of lessons iedarned[C]//Proceedings of Forum 2001 Solar Eergy: The Power to Choose. Washington D C:[s. n.]. 2001: 1-7.

[3] 胡立业. 太阳能 LED 照明系统[J]. 上海电力,2004(5):402-406.

[4] 张跃. 白色发光二极管光伏照明灯驱动电路设计[J]. 太阳能,2005(2):33-34.

[5] 陈维,沈辉,王海东,等. 太阳能半导体照明驱动技术研究[J]. 照明工程学报,2005,16(3):7-10.

[6] 孙有有. 单片机在太阳能草坪灯上的应用[J]. 农业装备技术,2003,29(5):37-38.

[7] ZENG Wen-xian,MA Jie,ZHAI Ying. Rapid charge system for lead-acid battery of solar energy street light based on single-chip microcomputer[C]//International Conference on Computer Science and Information Technology. Baoding:[s. n.],2008:337-341.

[8] 朱红,刘廷章,王建. 基于太阳能发电的 LED 照明控制技术[J]. 工业仪表与自动化控制,2008(1):82-84.

[9] WANG Yong-qing,HAO Chun-cheng,ZHANG Suo-liang,et al. Design of solar LED street lamp automatic control circuit[C]//International Conference on Energy and Environment Technology. Guilin:[s. n.],2009:90-93.

[10] 凌朝东,曾德友,李国刚,等. 铅酸蓄电池充电与保护集成电路的设计[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2008,29(3):338-341.

Design and Simulation of a Low-Voltage Driver
for Solar LED Lawn Lights

YANG Jing^{1,2}, LING Chao-dong^{1,2}, LIANG Ai-mei^{1,2}

(1. College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China;
2. Key Laboratory of ASIC and System, Xiamen 361008, China)

Abstract: A driver controller for low-voltage solar light-emitting diode (LED) lawn lights which is able to operate at 0.8 volts is designed. The PMOS transistor controlling the on and off of charge circuit is integrated in the chip, so the system only needs one inductor and light sensor resistor outside. The driving circuit has functions of the light activated switch controlling electric discharge automatically, the battery's over-discharge hysteresis protection, and LED lights' flicker-free. The simulation results show that the working vottage of chip is 0.8~1.5 V, the output current can be adjusted from 3 mA to 300 mA and the efficiency of LED lights is more than 85%, which can meet current demand of all kinds of LED.

Keywords: controller; LED lawn lights; solar; light activated switch; over discharge protect

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 吴逢铁)