

# Design and Realization of Solar-Powered Forest Fire-Proof and Alarm System

Zhida Wang, Yongcheng Yu, Shuying Cheng

School of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou  
Email: chengsyng@yahoo.com.cn

Received: Mar. 9th, 2011; revised: Mar. 29th, 2011; accepted: Apr. 16th, 2012

**Abstract:** In order to prevent forest fire, a solar-powered forest fire-proof and alarm system is designed and realized in this paper with the power supply furnished by the energy of the solar-powered battery, which is not only eliminating the trouble of replacing the power supply, but also obtaining the advantage of environmentally friendly approach and convenience to install. When the solar cell module is charging the battery, the alarm will track the output voltage and current of the solar cell module to obtain the maximum power, thus, the battery could be fully charged with the fastest speed. The system takes STC12C4052AD as the main chip, and DC/DC converter circuit is designed. The smoke & temperature sensors are used to detect the fire, and it will be a high-decibel alarm. The fire-proof and alarm system can be applied in the forest with harsh terrain or areas where power line is hard to lay, and the system has practical and commercial value with low cost.

**Keywords:** Solar Power; Forest Fire-Proof; Alarm; MPP; DC/DC

## 太阳能森林防火报警器的设计与实现

王志达, 余永城, 程树英

福州大学物理与信息工程学院, 福州  
Email: chengsyng@yahoo.com.cn

收稿日期: 2012年3月9日; 修回日期: 2012年3月29日; 录用日期: 2012年4月16日

**摘要:** 本文以森林防火为应用背景, 设计一个太阳能森林防火报警器。该报警器的电源来自于太阳能电池对蓄电池的储能, 不但省去更换电源的麻烦, 而且环保、安装也方便。当太阳能电池板对蓄电池进行充电时, 该报警器能够对太阳能电池板的输出电压、输出电流进行跟踪, 使其以最大功率点(MPP)输出, 这样就可以以最快的速度将蓄电池充满。系统以单片机 STC12C4052AD 为主控芯片, 并设计 DC/DC 变换电路。利用烟雾传感器和温度传感器进行火灾探测, 实现高分贝报警功能。该项目可应用于森林地形恶劣, 或者电力线难以施工区域的防火报警, 系统成本低廉, 具有实用价值和商业价值。

**关键词:** 太阳能; 森林防火; 报警器; MPP; DC/DC

### 1. 引言

近年来森林火灾频现, 由火灾造成的人员伤亡也随之增加, 因此, 森林火灾成为一个需要预防的重要问题。然而森林中的许多地区地形险恶, 条件恶劣, 造成架设电力线困难以及成本高等诸多问题加大了森林防火的难度。太阳能作为一种清洁、高效和永不

衰竭的新能源, 完全可以为森林防火所用。

本文介绍一种太阳能森林防火报警器的设计。由于太阳能电池是一种非线性直流电源, 且输出特性受外界环境条件的影响很大<sup>[1]</sup>, 因此, 该系统不采用太阳能对蓄电池直接充电的传统方式, 而是加入了恒压法和扰动观察法相结合的算法对太阳能电池进行最

大功率点跟踪(MPPT),它可使太阳能电池的输出功率稳定在最大功率点附近,从而最大化地利用太阳能电池的效率,这样就可以以最快的速度将蓄电池充满。系统在供电足够的情况下,通过MQ-2烟雾传感器和DS18B20温度传感器检测火灾的发生,进而在单片机的控制下进行报警。该报警器的特色是使用太阳能为系统供电,不但省去更换电源的麻烦,而且环保、无污染,安装也方便。

## 2. 系统硬件设计

### 2.1. 系统电路结构

太阳能森林防火报警器的电路结构如图1所示。该系统以STC12C4052AD为控制核心,通过DC/DC变换电路控制10W太阳能板对12V蓄电池的充放电。蓄电池的电压经LM2576开关电源电路降压至5V,对系统进行供电。若烟雾检测模块检测到烟雾,或者温度检测模块检测到环境温度超过设定的阈值时,MCU产生中断,最后进行火灾报警。

### 2.2. DC/DC 变换电路

DC/DC变换电路采用的是基于IR2104的同步buck电路<sup>[2]</sup>,其电路原理图见图2。该电路具备MPPT跟踪功能,首先对太阳能电池板的输出电压和电流进

行采样,并计算出功率值,在MCU智能控制下,调节输入给IR2104的PWM波的占空比,控制MOS管的导通与截止比例,达到控制后级阻抗的目的。当后级阻抗达到最佳阻抗时,太阳能电池板输出的功率为最大功率<sup>[3]</sup>。

### 2.3. 火灾检测电路

当发生火灾时,会产生浓厚的烟雾并且周围的环境温度会骤然上升。因此,必须对烟雾浓度和环境温度进行检测,来判断是否发生了火灾。

1) 烟雾检测采用的是MQ-2气体传感器。当所处环境中存在可燃气体时,烟雾传感器的电导率随空气中可燃气体浓度的增加而增大。MQ-2气体传感器具有在较宽的浓度范围内对可燃气体有良好的灵敏度、寿命长、成本低的特点。系统中的MQ-2气体传感器主要检测的是CO气体,当森林火灾发生时,树木的燃烧不完全,将产生CO气体,CO气体浓度增加时,

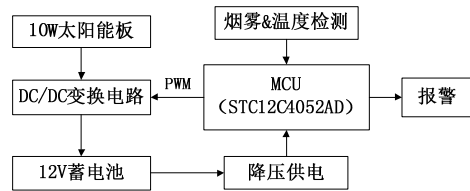


Figure 1. Circuit structure of alarm  
图1. 系统电路结构

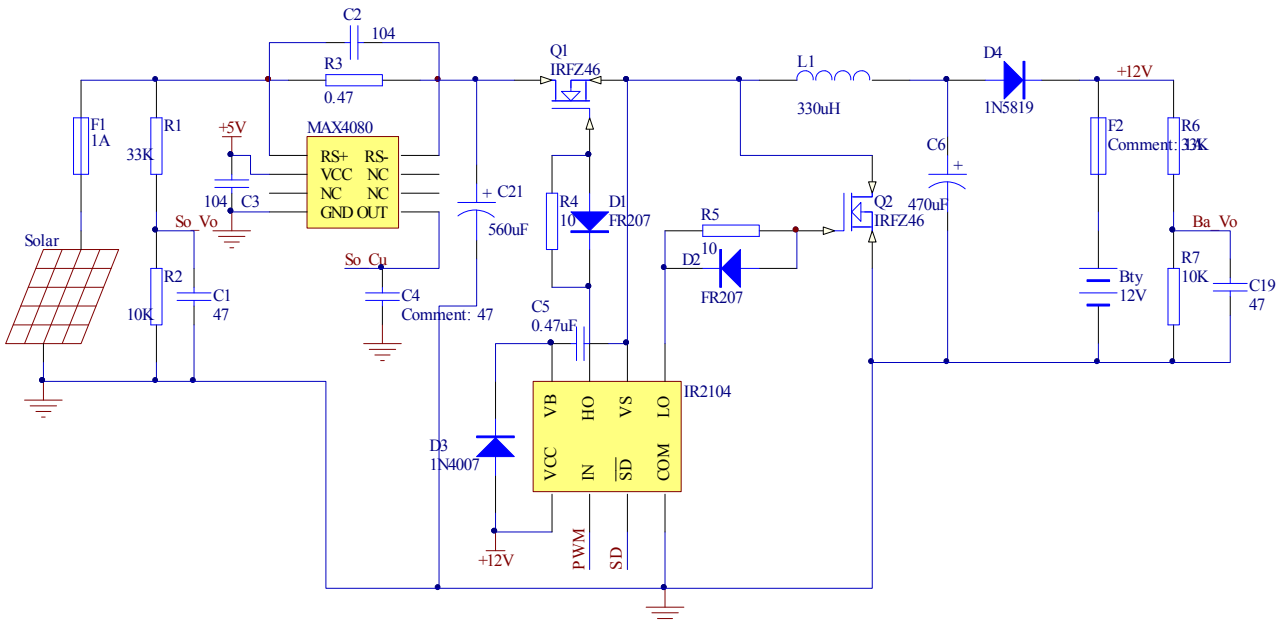


Figure 2. Synchronous buck circuit based on IR2104  
图2. 基于IR2104的同步buck电路

MQ-2 气体传感器阻值将下降。因此，可以通过电压比较器检测 MQ-2 气体传感器阻值是否降低到一定阈值来判断是否发生森林火灾，烟雾检测电路如图 3 所示。

2) 温度检测采用的是 DS18B20 数字温度传感器。它具有一线总线的特点，体积小、抗干扰能力强，精度可达 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。当深林火灾发生时，系统周围的环境温度上升很快，这时 DS18B20 检测到的温度值不断增大，当温度值超过设定的阈值时，通过单片机控制报警，DS18B20 检测电路如图 4 所示。

### 2.4. 降压供电

对于降压方案提出以下两种：线性降压、开关电源降压。线性降压消耗的功率大，在太阳能的应用系统中应尽量降低功耗，所以不宜采用。而开关电源降压具有功耗小、稳定等特点，非常适合用于太阳能系统中。因此本系统采用的是开关电源降压方案。

在开关电源降压中，考虑到系统的稳定性以及成本问题，提出以下两种方案：采用 MC34063 芯片降压、采用 LM2576 芯片降压。采用 MC34063 芯片降压时，芯片成本低；但当输入改变时，输出将产生变化；

如果蓄电池电压发生一些改变，那么降压后的电压也将产生变化，而不是稳定的 5.0 V；对于采用系统工作电压为基准电压的 A/D 转换器，采集的数据将是不准确的。采用 LM2576 芯片降压时，芯片成本高；输入发生变化时，输出非常稳定。考虑到系统工作的稳定性，这里采用的是 LM2576 芯片降压方案。

## 3. 系统软件设计

### 3.1. 最大功率点跟踪算法

由于太阳能电池既不是恒压源，也不是恒流源，而是一种非线性直流电源<sup>[1]</sup>。因此，只有当太阳能电池工作在某一特定的电压值和电流值时，才能输出最大的功率。同时，太阳能电池的输出受外界环境条件的影响很大，其主要的影响因素是日照强度和太阳能电池温度，不同日照强度和不同太阳能电池温度都会对太阳能电池的输出功率造成影响<sup>[4,5]</sup>。因此，必须实时调节太阳能电池的输出电压，使其以最大功率点输出，这个过程就是最大功率点跟踪过程。

目前，常见的最大功率点跟踪算法有扰动观察法、增量电导法、开路电压法、短路电流法<sup>[6]</sup>。后两种方法测量时会造成系统不稳定，不予考虑；增量电导法会减少最大功率点的振荡，但需要精密的感测器；扰动观察法结构简单，但会在最大功率点附近振荡。但最大功率点的振荡可以在软件上加以处理，因此选择结构简单的扰动观察法。

扰动观察法的基本思想如下：在寻找最大功率点过程中，主要情形有 3 种，如图 5 所示。其中，B 点对应的是当前的太阳能电池板输出功率  $P_B$ ，A、C 两点对应的是扰动后的输出功率  $P_A$ 、 $P_C$ 。在图 5 的第①种情形下，系统应该往 A 方向扰动；在第③种情形下，系统应该往 C 方向扰动；在第②种情形下，系统应保持 B 点工作状态不变，返回继续扰动。

为了消除能量采集系统在最大功率点附近振荡对充电效率的影响，本文在扰动观察法的基础上进行

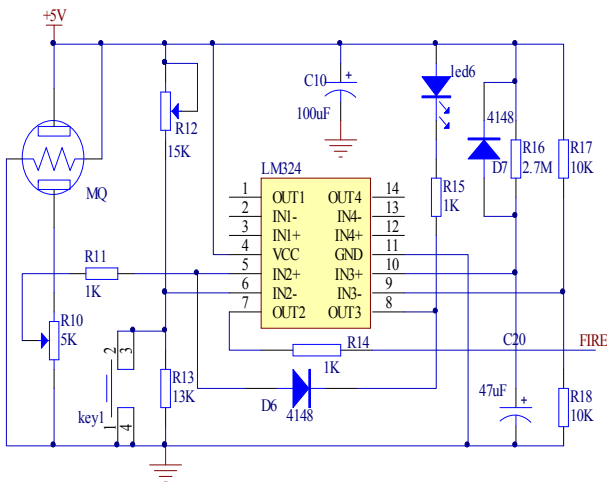


Figure 3. Smoke detection circuit  
图 3. 烟雾检测电路

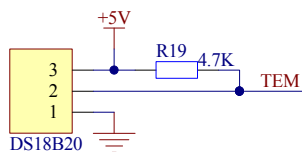


Figure 4. Temperature detection circuit  
图 4. 温度检测电路

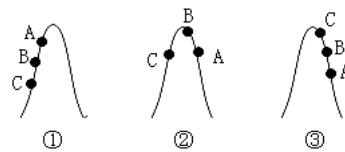


Figure 5. Three cases of perturbation & observation method  
图 5. 扰动观察法的 3 种情形

相应的改进，具体如下。首先，根据太阳能电池组件的参数，将初始最大功率点的电压定于开路电压  $U_{oc}$  的 80%，设定步长  $\Delta V$ 、调整量  $\Delta V_d$  和阈值  $\varepsilon$ 、 $\beta$ 。先检测当前的太阳能电池板输出功率  $P_B$ ，然后再减小 PWM 占空比，检测扰动后的输出功率  $P_A$  与  $P_B$  比较。如果  $P_A > P_B$ ，应当以 A 点为当前工作电压继续扰动，反之，应当增加 PWM 占空比，检测扰动后的输出功率  $P_C$  与  $P_B$  比较。如果  $P_C > P_B$ ，应当以 C 点为当前工作电压继续扰动，反之，应当保持 B 点工作状态不变，减小步长( $\Delta V = \Delta V - \Delta V_d$ )，返回继续扰动，当系统连续几次调整步长后发现 B 点还不是最大功率点时，必须重新初始化步长  $\Delta V$ ，当步长减小到设定的阈值  $\varepsilon$  时，说明此时系统的工作状态已经无限接近于最大功率点了，应当停止扰动，保持这个点工作，直到外界条件发生变化<sup>[7]</sup>。该算法在找到最大功率点后选择停止扰动，同时检测输出功率的变化，只有当输出功率变化超出设定的阈值  $\beta$  后，才进行扰动，因此，这种方式可以避免系统在最大功率点附近的振荡。

### 3.2. 系统软件结构

系统的软件模块主要分为：定时器模块、A/D 转换模块、PCAPWM 模块、MPPT 模块和主状态机模块。单片机的编程软件为 Keil C 编译器，编译器环境为 Windows 环境，采用语言为 C51 的高级编程语言。

定时器模块：由于系统中需要采集某些参数或等待某些事件的发生，为了防止程序的阻塞，需要用到一个时间限制的定时器。因此需要一个定时器模块供系统的定时使用。

A/D 转化模块：芯片 STC12C4052AD 自带了 8 路 8 位的 AD 转换器。因此通过编程操作内部寄存器来采集电压、电流的参数，继而获得功率参数。

PCAPWM 模块：芯片 STC12C4052AD 单片机集成了 2 路的可编程计数器阵列(PCA)模块。1 路用于脉宽调制模式(PWM)，用于调节同步 buck 电路中的 PWM 波占空比。1 路用于捕获模式，捕获火灾信号变化产生的高低电平沿。

MPPT 模块<sup>[8]</sup>：此模块主要是太阳能最大功率点跟踪算法的子程序。要注意的是，如果 buck 电路处于工作状态，蓄电池的电压将会出现 0~2 V 的上浮现象，因此，设计蓄电池电压 14.7 V 为 MPPT 充电和恒压充电的临界点电压。

主状态机模块：用于控制整个程序的流程走向。图 6 为系统的软件控制流程图，其中休眠延时 5 分钟，主要是考虑到乌云遮住的情况。

## 4. 实验结果

DC/DC 变换电路中的双 MOS 管驱动波形如图 7 所示，它们是一对互补并带有 500 ns 死区时间的 PWM 波形，波形良好，功率损耗小。系统根据太阳能电池板的输出功率，自动地改变 PWM 占空比，实现太阳能电池板的最大功率点追踪。

表 1 给出了 MPPT 充电电路的实验测量数据。其中， $U_{arr}$  为太阳能电池的输出电压， $I_{arr}$  为太阳能电池的输出电流， $I_{in}$  为蓄电池充电电流， $U_{bty}$  为蓄电池充电电压， $I_{out}$  为放电电流， $\eta$  为充电效率， $P_{out}$  为系统总功耗。

由表分析，当蓄电池工作在 MPPT 充电情况下，系统能够稳定地工作在最大功率点，并且充电效率  $\eta$  达到 89% 左右，其计算方法见公式(1)。要注意的是这里的充电电压  $U_{bty}$  是蓄电池在 MPPT 充电下上浮的电压，也是系统工作的电压，并不是检测蓄电池是否过充的真实电压。

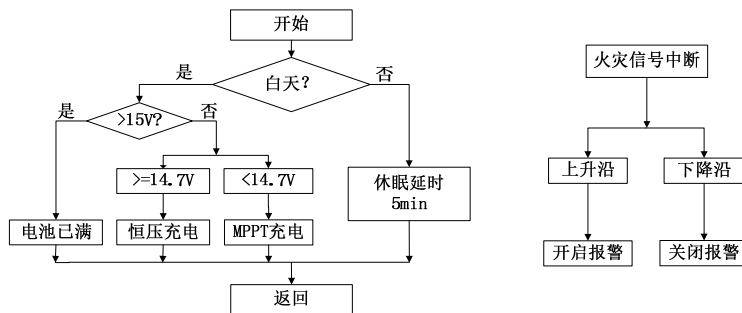


Figure 6. Software flow chart of the system  
图 6. 系统软件控制流程图

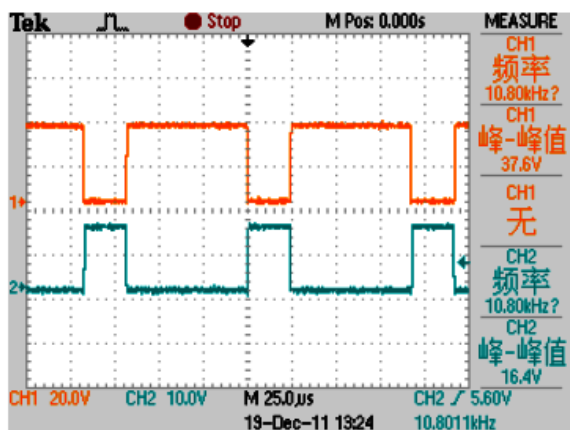


Figure 7. Driving waveforms of the dual MOS transistor  
图 7. 双 MOS 管的驱动波形

Table 1. Experimental data of MPPT charging circuit  
表 1. MPPT 充电电路实验测量数据

$U_{arr}/V$	$I_{arr}/A$	$I_{in}/A$	$U_{bty}/V$	$I_{out}/A$	$\eta$	$P_{out}/W$
17.14	0.371	0.398	14.53	0.106	90.9%	2.1161
17.06	0.369	0.401	14.32	0.109	91.2%	2.1136
17.59	0.294	0.335	13.73	0.110	88.9%	2.0822
17.26	0.239	0.269	13.65	0.111	89.0%	1.9684

$$\eta = \frac{U_{arr} \times I_{arr}}{U_{bty} \times I_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

在温和的阳光下，太阳能电池板的输出功率一般在 6 W 以上。系统功耗包括 buck 电路前级功耗和系统后级功耗，总功耗一般在 2 W 左右，其计算方法见公式(2)。因此还有 4 W 左右的功率用于对蓄电池的充电，完全满足蓄电池储能的需求。

$$P_{out} = U_{arr} \times I_{arr} - U_{bty} \times I_{in} + U_{bty} \times I_{out} \quad (2)$$

在烟雾测试中，该报警器可通过调节传感器的烟雾浓度阈值来调节系统对烟雾的灵敏性，能够在烟雾达到一定的浓度时，实现报警功能。当烟雾浓度小于浓度阈值，报警器关闭报警，恢复正常工作。在温度测试中，当系统周围的环境温度超过设定的阈值时，该报警器可以实现报警功能。

本文研制的太阳能森林防火报警器的适用条件：12 V/4.5 AH 以上蓄电池，20 V、10 W 及以上太阳能电池板，其外观如图 8 所示。

## 5. 结论

本文设计了一个太阳能森林防火报警器，它实现了太阳能电池板对蓄电池的充电管理、对森林中的

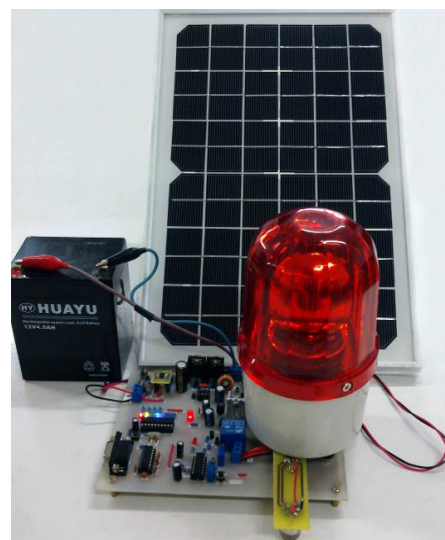


Figure 8. Objects of solar-powered forest fire alarm  
图 8. 太阳能森林防火报警器实物图

火灾信号检测以及报警功能。该报警器可应用于乡村附近或者有人烟的森林中，这样发生火灾时，报警器能够起到及时报警的作用。

由于警报声在大型森林中传输距离较短，警报作用不明显。一旦系统产生误报，将会造成人力物力的极大浪费。因此，提出以下两点改进方法及建议：

1) 为了减小系统应用的局限性，系统可以加上无线传输模块(此系统将作为终端)，将火灾信号通过无线传到控制室，由控制室的系统(中心系统)进行报警。无线传输模块有两种方案：一是采用 GSM 将信号发送出去；二是在森林中构建一个 Zigbee 无线网络。

2) 为了提高系统的可靠性，可采取如下两个措施：一是采用多传感器的配合检测，可以考虑加入模糊神经网络算法以获取可靠信息，提高系统的可靠性；二是在检测到火灾时，将现场图像数据传输出去，进行人工确认是否发生火灾，提高系统可靠性。

## 6. 致谢

本项目得到福州市科技局市校合作项目以及国家大学生创新实验计划的资助，在此表示感谢。

## 参考文献 (References)

- [1] 刘荣. 自然能供电技术[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 56-61.
- [2] 刘庆新, 程树英. 双 buck 太阳能 LED 路灯照明控制系统[J]. 电子技术应用, 2011, 37(5): 142-145.
- [3] 振荒祯. 太阳能最大功率追踪器之研究[D]. 大同大学, 2008.

- [4] 张化德. 太阳能光伏发电系统的研究[D]. 山东大学, 2007.
- [5] 谢磊, 余世杰, 沈玉梁. 光伏充电器中最大功率点跟踪的设计[A]. 第8届全国光伏会议论文集[C]. 杭州: 中国轻工杂志, 2004: 519-522.
- [6] 李政勋. 小型太阳光电能量转换系统之研制[D]. 国立中山大学, 2002.
- [7] C. HUA, J. LIN. An on-line MPPT algorithm for rapidly changing illuminations of solar arrays. *Renewable Energy*, 2003, 28(7): 1129-1142.
- [8] 陈敏, 陈尚伍, 钱照明. 太阳电池最大功率点追踪的控制策略[J]. *太阳能学报*, 2007, 28(12): 1317-1320.