

一种旋转遮光式辐射测量系统的设计

纪 晨¹, 杨志勇², 王建佳²

(1. 成都信息工程学院 电子工程学院, 成都 610225; 2. 中国华云气象科技集团公司, 北京 100176)

摘 要:提出了一种基于 MSP430F1611 单片机的太阳辐射测量系统设计方案。通过单片机控制电机带动遮光环间歇性遮挡光电传感器以达到测量总辐射、散射、直接辐射的目的。以 24 位高精度 A/D 芯片 ADS1255 进行数据采集, 保证数据的准确度。系统通过时钟芯片使数据具有时效性, 并且通过 RS232 通信输出分钟数据, 同时将有效历史数据存储到 FLASH 芯片中。该系统运行稳定, 可靠实用, 性价比较高。

关键词:太阳辐射测量; 光电传感器; 遮光环; 数据采集

中图分类号: TP414.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-009X(2015)01-0075-06

Design on a rotating shadow-band radiometer system

Ji Chen¹, Yang Zhiyong², Wang Jianjia²

(1. Electronic Engineering College, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225; 2. Huayun Meteorological Science and Technology Corporation of China, Beijing 100176)

Abstract: A solar radiometer system based on MSP430F1611 is designed. In order to measure global horizontal irradiance, diffuse horizontal irradiance and direct normal irradiance, the motor drives the shading band that blocks the photodiode intermittently through the MCU control. The 24 bit high-precision A/D chip ADS1255 collects the data to guarantee its accuracy. The system ensures the timing of data through the clock chip, outputs minute data with RS232 and stores the effective historical data into the FLASH chip. The features of the system are stable operation, reliable practice and high performance price ratio.

Key words: solar radiation measurement; photodiode; shading band; data acquisition

0 引言

太阳辐射测量是气象观测中的重要内容之一, 测量项目主要包括直接辐射、总辐射、散射辐射。太阳辐射的准确测量对研究地球气候条件和天气状况具有重要意义^[1]。

我国目前太阳辐射测量设备大多采用国外进口, 国产率很低, 而且目前采用的测量方式有很多弊端^[2,3]: 一是传感器采用热电堆式, 价格昂贵,

维护复杂; 二是直接辐射测量采用太阳跟踪器, 结构复杂, 经常出现问题导致数据出现缺测、误测现象; 三是散射测量采用遮光环遮光测量, 遮光环需要利用订正系数进行数据修正, 测量误差较大。特别指出的是目前辐射测量系统在测量三种辐射时需要 3 个传感器同时测量, 这样会大大增加测量成本。

针对以上问题, 提出了一种基于光电半导体光伏效应制成的综合型辐射测量系统。一个传感

收稿日期: 2014-07-22.

基金项目: 科技部国家重大仪器设备开发专项: 多要素智能气象站的研制与应用项目 (2012YQ110205).

作者简介: 纪晨 (1988-), 男, 硕士研究生. 主要从事大气探测信号处理工作.

器可同时测量总辐射、直接辐射和散射辐射,这样减少了原先测量传感器之间相互影响带来的误差^[4]。传感器选用的是光电二极管,成本低^[5],响应速度快,维护方便。

本文提出了旋转遮光式辐射测量系统的总体设计思路,然后设计出各个模块的硬件电路及整体的软件系统,采用 IAR 编译器进行编译,用 TI-FET430UIF 仿真器进行调试。

1 系统总体设计思路

系统主体架构如图 1 所示,主要包括了遮光环、直流电机、光电传感器等。

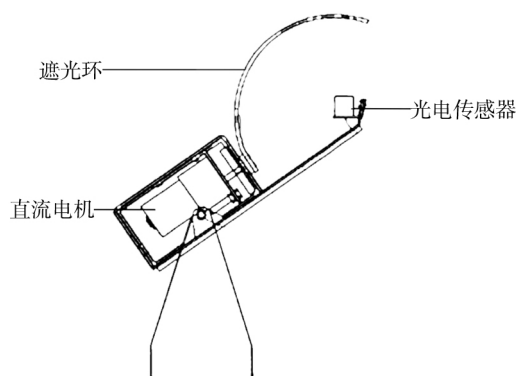


图 1 系统主体架构

遮光环不遮挡光电传感器时,测得的是太阳总辐射;遮挡时,测得的是太阳的散射。直接辐射是通过单片机程序计算得出的,计算公式如下:

$$GHI = DHI + DNI \cdot \cos(Z) \quad (1)$$

式中: GHI 为总辐射; DHI 为散射; DNI 为直接辐射; Z 是太阳天顶角。

单片机发出方波,控制直流电机正反转,每隔 30 s 遮挡 1 次传感器,1 min 遮挡 2 次,取 2 次的平均值得到分钟数据。遮光环每次转动所需时间为 1 s, A/D 每秒钟采集 1 000 个点,1 000 个数据中,最大值即为总辐射值,最小值即为散射值,通过公式(1)便可计算得出直接辐射。

2 系统硬件

图 2 是系统硬件框图。系统硬件主要包括了电机驱动控制模块、信号采集模块、RS232 通信模块、时钟模块、电源模块和 FLASH 数据存储模块。

2.1 信号采集模块

(1) I/V 电路

本设计中,太阳辐射测量应用的传感器为光

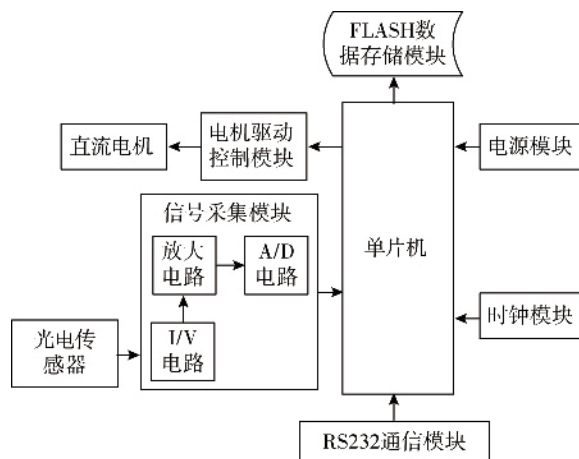


图 2 系统硬件框图

电二极管,光电二极管在一定光照下产生电流信号,为了便于采集,需要将电流信号转化为电压信号^[6]。因为光电二极管电流信号只有微安级,易受外界干扰,所以在 I/V 电路中采用了 ADI 公司生产的 AD8605 运算放大器,该芯片具有低噪声,高精度,低失调,极低的输入偏置电流等特点,适用于光电二极管放大电路。其硬件电路如图 3 所示。

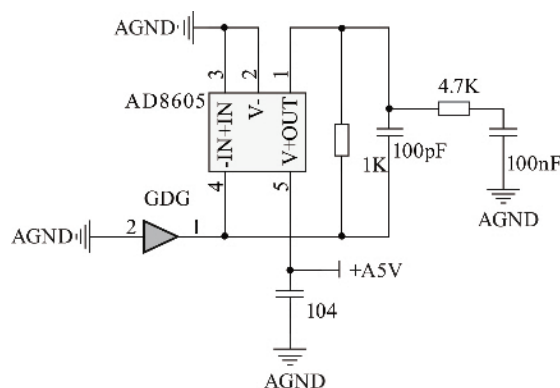


图 3 I/V 电路

(2) 放大电路

I/V 电路将光电二极管的电流信号转为电压信号,为了保证后端 A/D 采集的精度,还需要将电压信号进行放大^[7]。因为仪表放大器具有良好的共模抑制比,高输入阻抗等特性,所以本设计中选择了 TI 公司生产的 AD623 仪表放大器,其适合于单电源供电,从而简化了电路。为了提高电路的带载能力,在 AD623 输出后端搭建了由 OP350 运算放大器构建的跟随器。其硬件电路如图 4 所示。

(3) A/D 电路

本设计中 A/D 采集需要考虑 3 个因素,即: A/D 采集速率、A/D 数据通信模式(串行/并行)和 A/D 位数(即数据精度)。这 3 个因素往往相

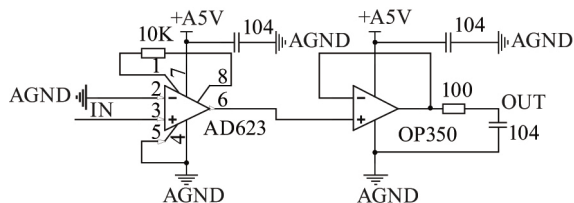


图 4 放大电路

互制约,所以 A/D 的选型是本设计的关键所在。

系统采用 TI 公司生产的 ADS1255 高精度 A/D 芯片^[8],其高达 23 位的无噪声分辨率和低

非线性度,保证了数据的精度和准确度。数据通信模式为 SPI 串行总线通信,节约了单片机 I/O 口。上文中提到了系统数据采集速率达到 1 Ksps,而 ADS1255 最大数据输出率为 30 Ksps,满足设计要求。ADS1255 供电分为模拟电压 5 V 输入和数字电压 3.3 V 输入,耗散功率最大为 57 mW,芯片的主时钟是由外部的 8 MHz 晶振提供。A/D 电路如图 5 所示。

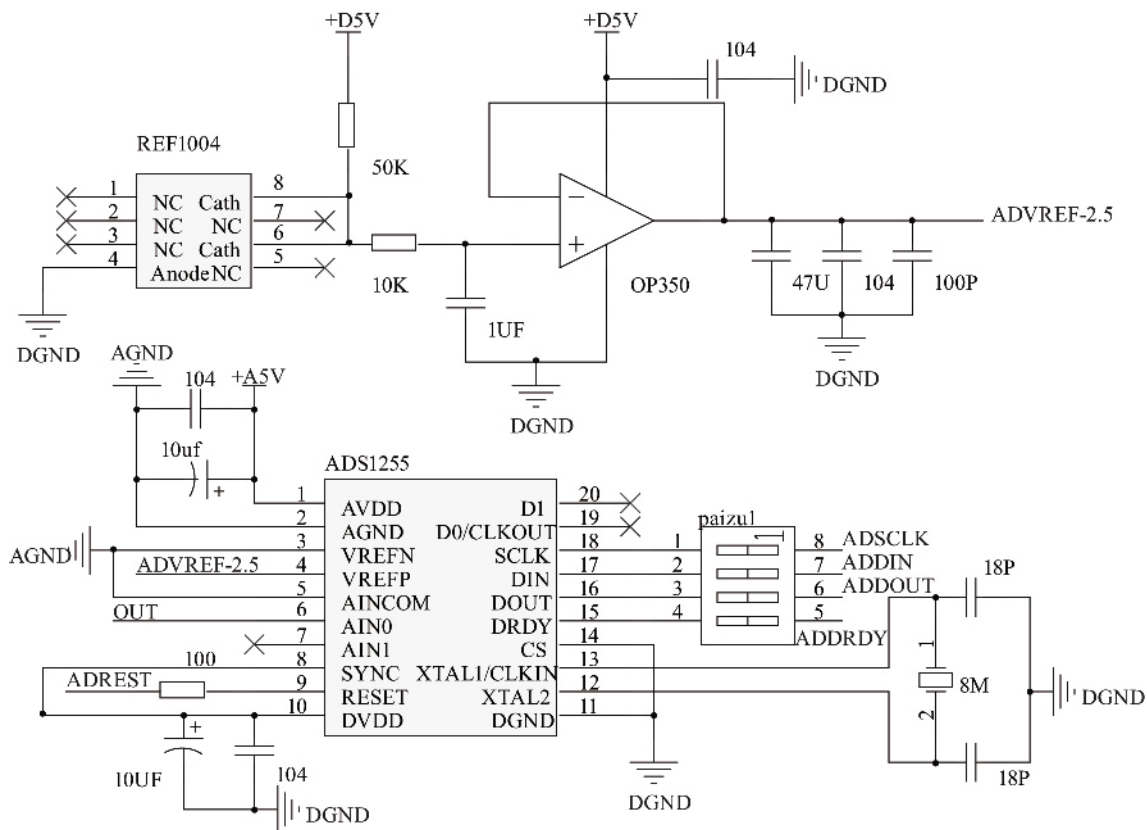


图 5 A/D 电路

ADS1255 采用 2 个信号输入口 AIN0 和 AIN1, AIN0 和 AIN1 可以作为差分输入, 但本设计中采用单端输入模式, 模拟信号输出给 AIN0, AIN1 悬空, 公共端口 AINCOM 接地。在数字接口处需要加上 100 Ω 电阻起到隔离作用。采用了 REF1004 芯片以得到 2.5 V 高稳定性的 A/D 基准电压。

2.2 电源模块

电源模块提供 12、5、3.3 V 电压,其中 12 V 为电机提供电压。5、3.3 V 电压分别用电源芯片 78L05、LM1117 得出。为了避免数字电路模块和模拟电路模块相互干扰,模拟电压和数字电压用磁珠分开,分别提供,模拟地和数字地最后用 0 Ω 电阻连接。电源模块电路如图 6 所示。

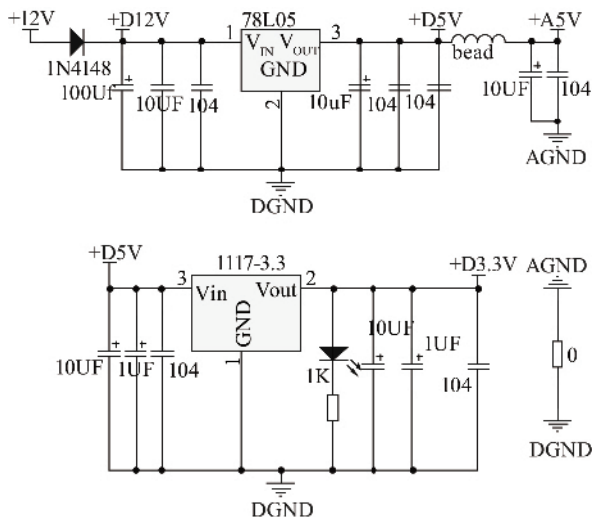


图 6 电源模块

2.3 RS232 通信模块

采用了 MAX3232 芯片,使用了 4 个 $0.1\ \mu\text{F}$ 的外部电容,通信速率为 9 600 bps,硬件电路如图 7 所示。通过串口通信以便将数据上传于上位机显示存储。

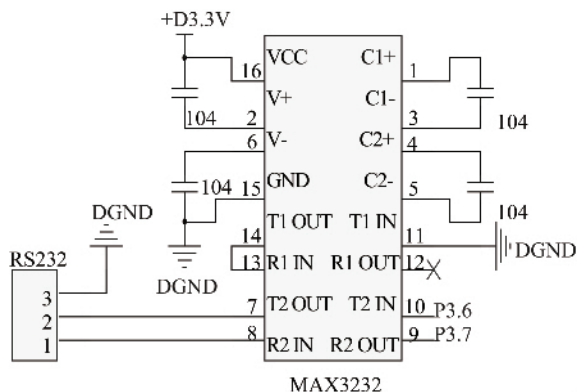


图 7 RS232 通信模块

2.4 FLASH 数据存储模块

为了存储历史有效数据且掉电不丢失,系统采用华邦 W25×16 芯片,其数据通信为标准的 SPI 接口,使用灵活方便,功耗低。W25×16 有 8194 可编程页,每页 256 字节,用“页编程指令”每次就可以编程 256 个字节,对于系统数据存储能够到达要求。其硬件电路如图 8 所示。

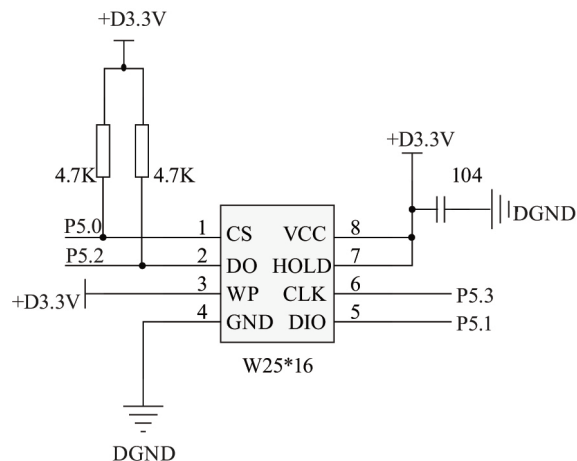


图 8 FLASH 数据存储电路

2.5 时钟模块

数据时效性对于气象探测有很重要的意义,在系统中采用了软时钟和硬时钟。本设计中硬时钟采用了 PCF8563 实时时钟芯片,提供了 1 个可编程时钟输出,1 个中断输出和 1 个掉电检测器。所有的地址和数据通过 I²C 总线接口与单片机通信。在系统掉电的情况下,依然能保存时间信息。其硬件电路如图 9 所示。

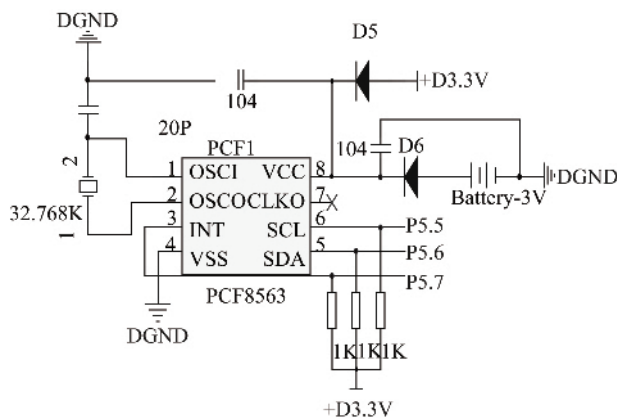


图 9 时钟模块电路

2.6 电机驱动控制模块

电机驱动控制模块主要由两部分组成^[9]:数字逻辑控制电路和 H 桥电机驱动电路。如图 10 所示,数字逻辑控制电路有 1 个非门 74LVC2G04 和 1 个与门 74HC08 构成,电机驱动电路是由 4 个 MOS 管构成的 H 桥电路组成。

为了控制电机的定位,在电机 300° 夹角两端安装了霍尔元件,通过霍尔元件发出两路反馈信号从而控制电机的停转。单片机定时发出方波信号控制电机的正反转,电机的停转状态也会通过反馈信号发给单片机。表 1 为电机驱动控制模块真值表。

表 1 电机驱动控制模块真值表

输入				输出		状态
S1	S2	C1	C2	M+	M-	
0	0	0	1	0	0	无效
0	0	1	1	0	0	
0	1	0	1	0	1	电机启动反转
0	1	1	1	0	0	电机停
1	0	0	1	0	0	
1	0	1	1	1	0	电机启动正转
1	1	0	0	0	1	电机转动中
1	1	1	0	1	0	

注:S1,S2 为霍尔元件反馈信号;C1 为单片机输出信号;C2 为电路反馈给单片机的信号;M+,M- 为电机正反转信号。

2.7 单片机核心电路

本设计采用 MSP430F1161 为控制核心^[10],其核心硬件电路如图 11 所示。因为本设计中缓存数据较多,1 s 中采集 1 000 个数据,单片机需要较大的 RAM 空间,而 MSP430F1611 的 RAM 达到 10 KB,能满足设计要求。

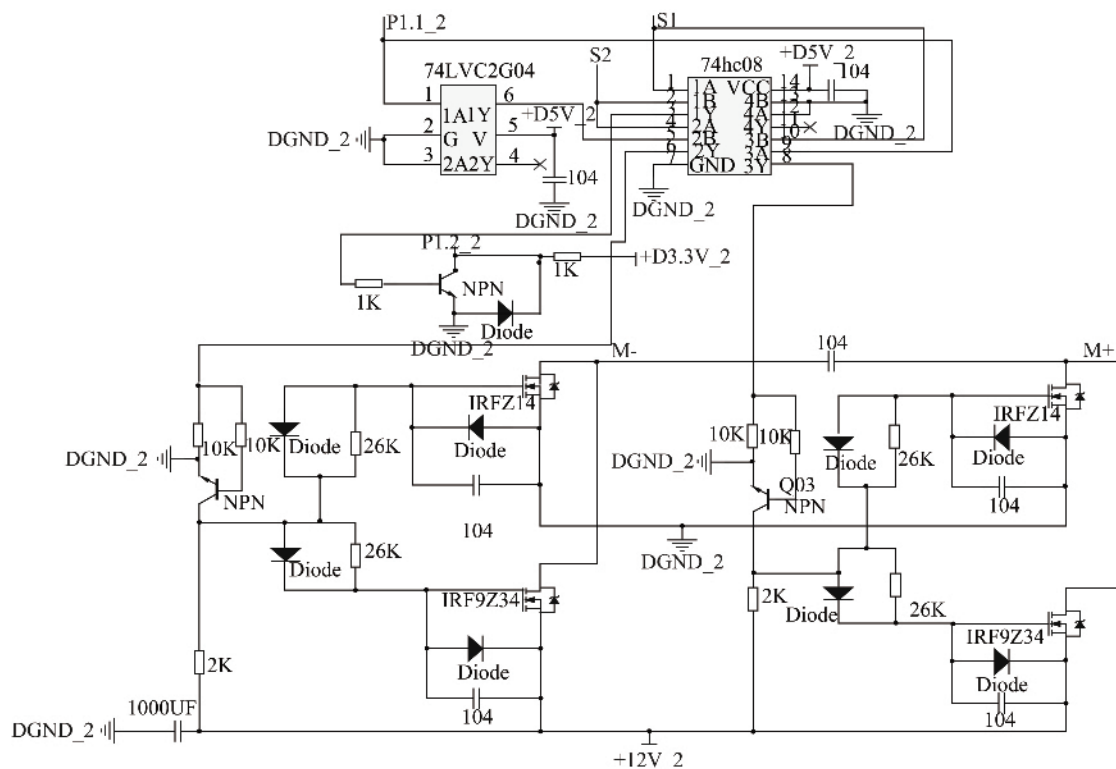
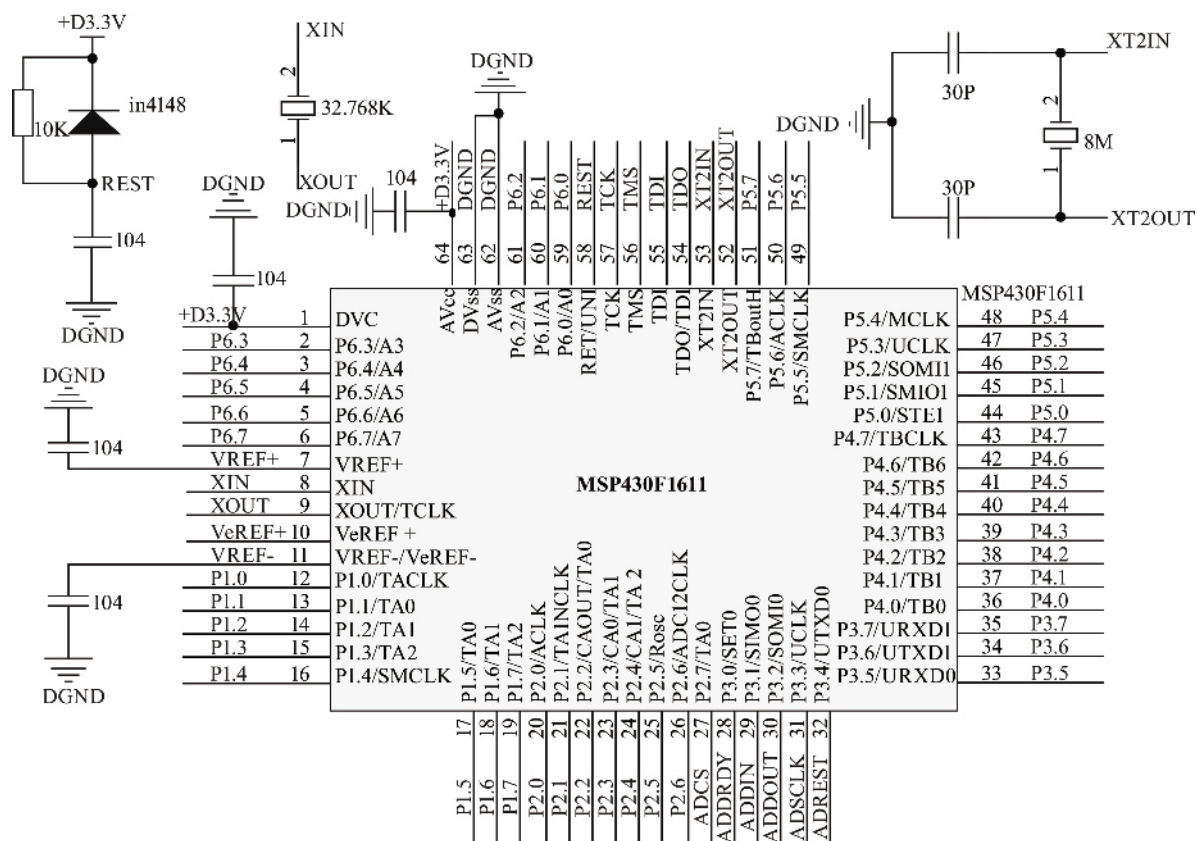


图 10 电机驱动控制模块



单片机 P3.6, P3.7 作为 RS232 串行通信端口; P3.1~P3.5 为 ADS1255 提供 SPI 总线接口; P5.0~P5.3 为 FLASH 芯片提供 SPI 总线接口; P5.5, P5.6 为 PCF8563 时钟芯片提供 I²C 总线接口。单片机 P1.1 定时 30 s 发出方波, 控制电机正反转, P1.2 接收反馈信号来判断电机状态。单片机引出 JTAG 口, 用于在线调试软件和下载程序。

3 系统软件设计

单片机程序是在 IAR 下用 C 语言进行编写。系统上电后, 首先对单片机进行初始化, P1.1 口定时 30 s 发出方波信号, 低电平时电机带动遮光环正转 300°, 高电平时电机带动遮光环反转 300°。判断单片机 P1.2 电平是否为低, P1.2 为低说明电机正在转动, 电机转动 300°所需时间为 1 s, 在转动过程中, A/D 采集数据, 等到采集 1 000 个数时, 单片机对数据进行处理、存储, 并通过 RS232 通信向上位机发出分钟数据。

图 12 为主软件流程图, 整个过程遮光环来回遮挡光电二极管, 系统循环采集数据, 处理数据。

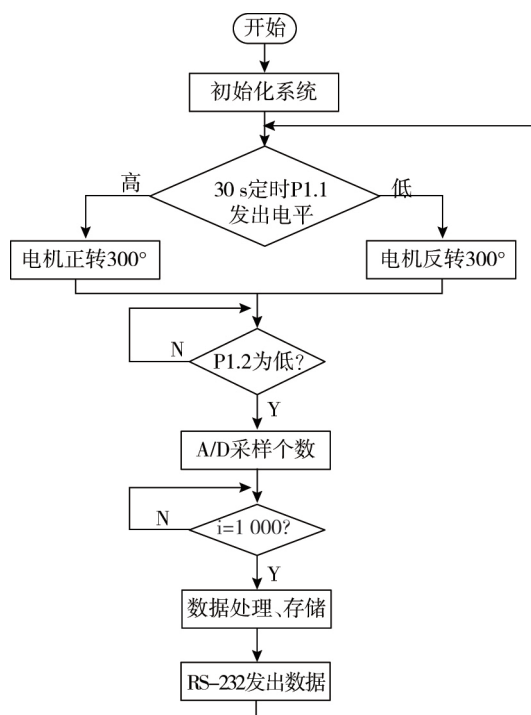


图 12 主软件流程图

4 结束语

太阳辐射的探测对于气象观测十分重要, 日前, 所用设备大多依赖进口, 为此本文提了该系统的设计方案并进行研究设计。

该系统的设计以 MSP430F1611 为核心, ADS1255 高精度采集数据, 电路模块简单, 但这只是初步设计研制, 后期还有待一步地对数据进行分析, 对结构进行进一步改进, 以到达预期所设想的目的。

参考文献:

- [1] 王炳忠, 莫月琴, 杨云. 现代气象探测辐射测量技术 [M]. 北京: 气象出版社, 2008.
- [2] 杨云, 权继梅, 丁蕾, 等. 太阳能资源观测仪器(总日射表)性能测试方法 [J]. 气象科技, 2012, 40(6): 878-884.
- [3] 沙奕卓, 边泽强, 吕文华. 我国太阳能资源观测站的设计 [J]. 气象水文海洋仪器, 2010, 27(3): 6-9.
- [4] VIGNOLA F. Removing systematic errors from rotating shadowband pyranometer data [C]//Proceedings of American Solar Energy Society Annual Conference July, 2006: 9-13.
- [5] KING D L, BOYSON W E, HANSEN B R. Improved accuracy for low-cost solar irradiance sensors [R]. Sandia National Labs, Albuquerque, NM (United States), 1997.
- [6] 张燕, 曾光宇, 洪志刚. 硅 PIN 光电二极管探测系统的研究 [J]. 核电子学与探测技术, 2008, 28(2): 391-393.
- [7] 杨宁, 惠晓强. 微弱信号高精度数据采集技术研究 [J]. 现代电子技术, 2013, 36(9): 71-72.
- [8] 孙沁梅, 卢益民. 高精度模数转换器 ADS1256 的原理和应用 [J]. 计算机与数字工程, 2005, 33(3): 94-97.
- [9] 罗小兵, 曹养书, 何福庆, 等. 步进电机正反转的自动控制 [J]. 成都大学学报(自然科学版), 2002, 21(3): 27-29.
- [10] 胡大可. MSP430 系列超低功耗 16 位单片机原理与应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000.