

基于 MSP430F149 的温湿度测控仪设计

付华圆, 邹洪波, 鲁仁全*

(杭州电子科技大学 信息与控制研究所, 浙江 杭州 310018)

摘要: 针对市场上已有温、湿度仪功能单一, 电池使用时间短以及不能组网使用等问题, 提出了一种基于 MSP430F149 单片机设计的温、湿度测控仪, 重新设计了板上传感器接口电路、电源电路以及 RS232/RS485 通信电路, 克服了原有仪器在这上面的一些缺点, 此外该仪器还提供了 4 mA ~ 20 mA 电流接收转换电路、实时时钟电路以及继电器控制单板等扩展功能。最后讨论了主程序设计中断程序设计和 RS232/RS485 通信程序设计以及其他子程序设计。研究结果表明, 该仪器完成了基本的温湿度测量控制功能, 并且可以扩展其他功能, 使用方便, 性能可靠。

关键词: MSP430F149; 多种接口; RS232/RS485; 低功耗

中图分类号: TH811; TP216; TM13

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)04-0493-07

Design of thermohygrometer with control function based on MSP430F149

FU Hua-yuan, ZOU Hong-bo, LU Ren-quan

(Institute of Information and Control, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at solving the problems of single function, short battery life and no use in network for old thermohygrometer, a new thermohygrometer with control function based on MSP430F149 singlechip was presented. The sensor interface circuits, power circuit and RS232/RS485 communication circuit on the board were designed newly compared with other similar instruments, and so the problems on these circuits were solved in the new instrument. In addition, some extended functions were provided, like the circuit for receiving and converting 4 mA ~ 20 mA current, real-time clock circuit, single relay control board and so on. The program was discussed in the end, it consisted of main program design, interrupt programs design, program design for RS232/RS485 communication and other subfunctions design. The results indicate that the device has basic measurement function and control function through independent testing and networked testing, and other functions can be expanded by users, it is convenient in use and stable in performance.

Key words: MSP430F149; multiple interfaces; RS232/RS485; low power consumption

0 引 言

温、湿度与人们的生活及工业生产息息相关, 人们发明了很多仪器去测量它们, 如早期的水银温度计、干湿球湿度计和现在的基于传感器技术的电子测温测湿仪(如电子体温计)等。这些仪器都存在一些缺点, 如测量精度不够、功能单一。现在电子测温测湿仪一般利用传感器技术, 它的原理是: 温湿度传感器的电阻值

或电容量随温度、湿度的变化而变化, 用电路将这些变化的量转化成电压值, 利用 A/D 变换最终可将电压值变成数字信号, 从这些数字值可以反推出温度值或相对湿度值。现在有一些集成的温湿度传感器, 可以直接输出数字值, 省去了变换电路。

本研究提出了一种基于 MSP430F149 单片机的温湿度测量控制仪, 采用单独传感器加信号转换电路和 A/D 采样转换的形式采集温湿度数据^[1], 提供了数字

式温、湿度信号接收功能。它可以通过电池供电,精度高,还提供了 RS232/RS485 通信接口,可形成网络,另外提供了控制输出接口等扩展功能。

1 总体设计方案

该仪器参考市场上已经出现的测温测湿仪器,优化了一些基本性能,并在功能上作了一些扩展,总体包括以下几个部分:主控制部分、电源电路、4 路温湿度信号接收放大电路、4 mA ~ 20 mA 电流接收转换电路、RS232/RS485 通信电路、人机接口、存储报警电路、继电器控制单板以及时钟电路等。4 路温湿度接收放大电路分别是两路温度和两路湿度,其中一路温度和一路湿度既可以接收模拟信号,也可以接收数字信号;A/D 转换使用单片机内部的 A/D,配合一定精度的传感器,可以满足测量精度要求;板上平时采用蓄电池供电,当与上位机相连时可转为上位机供电,并对蓄电池充电;本研究采用 RS232/RS485 两种通信方式,两种通信方式共用一个 DB9 口,自动识别具体的通信方式;且扩展了外部 E²PROM 存储器,用于存储历史数据,板上有实时时钟,提供时间信息和周期性的中断信号;提供了 5 个按键,用于手持操作,显示采用三线制 LCD 方式;板上还有声光报警电路、4 mA ~ 20 mA 电流接收转换电路以及继电器单板控制接口(继电器板和主控制板分开,二者电隔离)。设计方案的系统框图如图 1 所示。

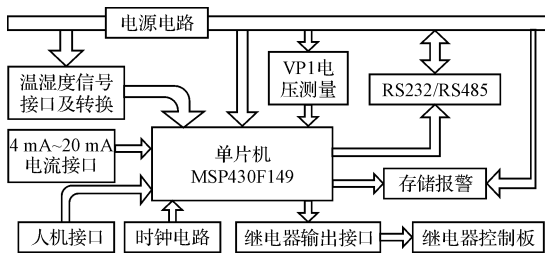


图 1 系统框图

该仪器在只作测量仪器使用时要体现低功耗的特点,所以选用的控制器是低功耗单片机,在不使用时它的耗电要极低,并且能关断其他模块电源。在所有低功耗单片机里,MSP430 系列的单片机表现出色,它已有十多年历史,技术成熟。它提供 5 种休眠模式,每种休眠模式可以关断不同外围模块,耗电都很低,并且在休眠时可以中断唤醒,唤醒时间小于 6 μs。这里采用 MSP430F149 单片机作为控制芯片,它有丰富的外部资源,能满足设计要求。

该仪器用于居室温湿度测量时可以选用精度稍差的传感器,温度误差可以控制在 0.5 °C 左右,相对湿度

误差在 6% 左右,另外,本研究选用了高精度的传感器,可以提高测量精度,如温度可达误差 0.1 °C 左右。继电器控制单板可以用来控制干燥器、电热炉等设备,以达到控制温湿度的目的。另外该仪器还可以组网,用于大型机房的实时温、湿度监控。

2 硬件设计

2.1 MSP430F149 及其外围电路

MSP430F149^[2]为 16 位 RISC 结构的低功耗单片机,其工作电压范围是 1.8 V ~ 3.6 V,等待方式的工作电流是 1.3 μA, RAM 关闭方式的工作电流更低至 0.15 μA,正常工作下的电流消耗也很低,最大为 250 μA,所以选用它能为系统带来低功耗。MSP430F149 片上资源包括 8 通道 12 位 A/D 转换器、两个 16 位定时器、片内电压比较器、片上乘法器、UART 通信接口和 SPI 通信接口等等,它有“60 KB + 256 B”FLASH 和 2 KB RAM,这些资源使它适合应用于数字电机控制、手持仪表、EE 仪表等工业场合。

MSP430F149 及其外围电路图如图 2 所示,温度和湿度模拟量信号分别从 P6. 4/A4、P6. 5/A5 脚及 P6. 0/A0、P6. 2/A2 脚输入,由内部 A/D 转换电路变为数字信号。数字信号则从 P1. 0/TACLK 及 P1. 2/A1 输入,由约定好的串行通信规则来接收。经过处理的温度和湿度数据保存在外部 E²PROM 芯片 AT45DB161D 里面,并通过 J10 接口处的液晶显示出来。MSP430F149 外接了一个 32 768 Hz 的晶振,芯片内部的工作频率通过倍频得来,每条指令的执行周期为 125 ns。图中的 PT_SHUTDOWN_1 和 PT_SHUTDOWN_2 信号用于关闭处理湿度模拟信号的运放 ISL2827-0IAZ,若接收的是数字湿度信号,则可以关闭运放,以降低功耗。TxD_EN 和 RxD_EN 用于 RS485 通信时使

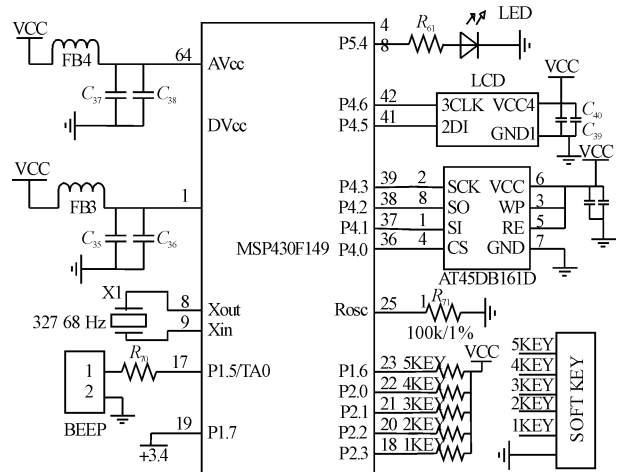


图 2 MSP430F149 及其外围电路

能接收和使能发送。1KEY ~ 5KEY 外接 5 个薄膜按键,用于手持操作,BEEP 用于蜂鸣器报警,LED 用于灯光报警。最后芯片第 25 脚要接上一个 100 kΩ,精度为 1% 的电阻,用于校正内部 DCO 振荡频率。

2.2 温、湿度信号接收转换

该仪器的测温测湿各有两套电路^[3],一套用于接收数字信号或模拟信号,向外提供插入式接口,另一套只接收模拟信号,使用时可以把温度或湿度传感器直接焊接在电路板上。

测温电路 1 如图 3 所示,当 R_{48} 不焊时,若焊上 R_{33} ,可以接收数字信号,也可以接收模拟信号,两种信号分别由单片机不同管脚接收。若 R_{48} 焊上,且焊上 R_{32} 和 R_{33} ,则只能接收数字信号,此时可以用单片机关掉运放 ISL28270 或者直接不用焊上。图 3 中的铂热敏电阻接在电桥一臂上,热敏电阻的阻值随温度的变化而变化,导致运放两个输入端电压发生变化,热敏电阻的阻值 R 和运放的输出 U 的关系为:

$$U = \left(\frac{10 + R}{20 + R} - \frac{10 + 0.825}{20 + 0.825} \right) \left(1 + \frac{RF_1}{RG_1} \right)$$

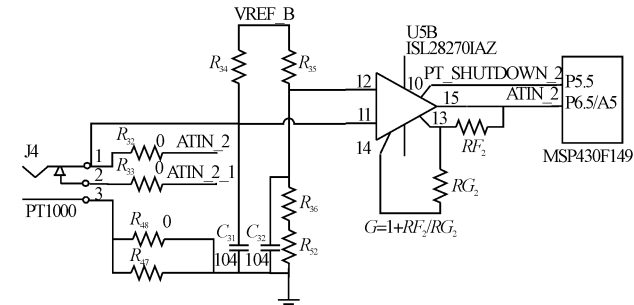


图 3 测温电路 1

测温电路 2 如图 4 所示,同图 3 基本相同,但只能接收模拟信号,此时可以把热敏电阻直接焊在板子上。

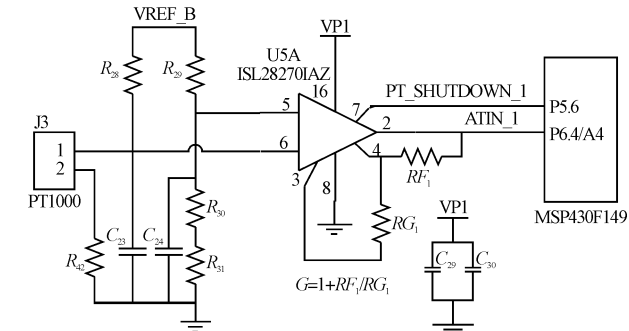


图 4 测温电路 2

测温电路 1 如图 5 所示,板上电源部分的升压电路为湿度传感器提供 5.1 V 电源电压。图 5 中的电路也可以接收数字、模拟两种信号,即:焊上 R_{46} ,不焊 R_{49} 和 R_{50} 时,可以接收模拟信号,经运放滤波放大后送入

单片机 A/D 转换接口;若焊上 R_{49} ,可以接收数字信号,若不需要接收模拟信号,则运放及其外围电路不用焊上;当焊上 R_{49} 和 R_{50} 时,数字信号可以送往单片机的两个管脚。

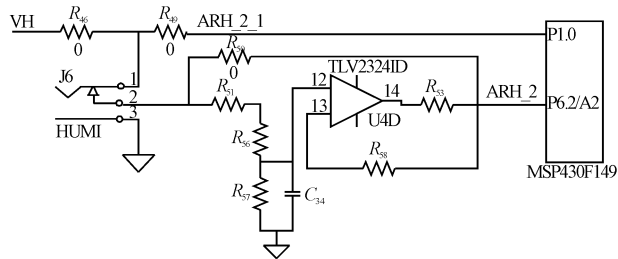


图 5 测湿电路 1

测温电路 2 如图 6 所示,同图 5 基本相同,但只能接收模拟信号,可以把湿度传感器直接焊在板子上。

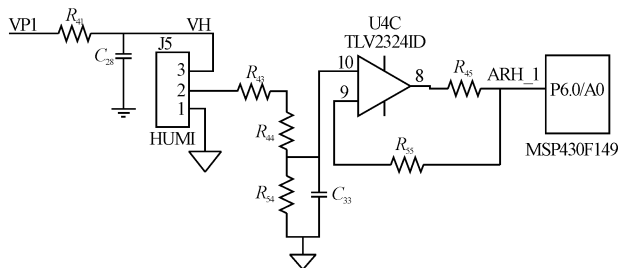


图 6 测湿电路 2

图 3 ~ 图 6 中的运放选择的是低电压、低功耗运放 ISL28270IAZ 和 TLV2324ID,二者都是为电池供电设计的仪表运放,其中 ISL28270IAZ 具有 Rail-to-Rail 特性,可以在 2 V 供电电压下正常工作,它还带有关断功能,能进一步降低功耗。

2.3 4 mA ~ 20 mA 电流信号接口

如图 7 所示,4 mA ~ 20 mA 电流信号先经过一个精密电阻 R_{35} ,电阻上产生的压降经过差分放大为 0.6 V ~ 3 V 电压,然后送入单片机进行 A/D 转换。由于知道电阻阻值,得到 A/D 转换值后就容易知道电流值。实际运用时要注意图中 R_{35} 和 R_{36} 取值要小,而 R_{37} 和 R_{38} 要远大小前二者的阻值,保证电流从 R_{35} 和 R_{36} 入地,产生和实际电流成比例的电压降。这一电路是为电流输出型传感器留的,扩大了该仪器的使用范围,如果不用,相关电路可以不焊。

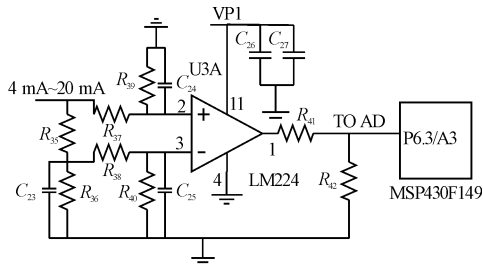


图 7 4 mA ~ 20 mA 电流信号测量电路

2.4 RS232/RS485 通信部分

RS232 串口通信电路如图 8 所示^[4],其中 Q_1 、 R_1 、 R_2 、 R_4 和 D_8 组成的电路用来转换输入电平, $U1A$ 、 R_3 和 R_{12} 组成的电路用来转换输出电平。VREF_B 是 2.5 V 参考电压,二极管 D_8 是电压箝位二极管,电压反向时将其入地,以免损坏仪器。图中 RS232 正电源 VP2 由 232_DTR 引入,负电源 VEE 由 232_RTS 或 232_TXD 引入。二极管 $D_1 \sim D_7$ 和电容 $C_1 \sim C_4$ 的组合使用,使得电路能提供通信和供电两种功能,电容 C_1 和 C_2 为 0.1 μF ,电容 C_3 和 C_4 为 10 μF 。信号 VP2 用于蓄电池的充电和运放 LM2904DR 的正电源,VEE 用于运放 LM2904DR 的负电源。

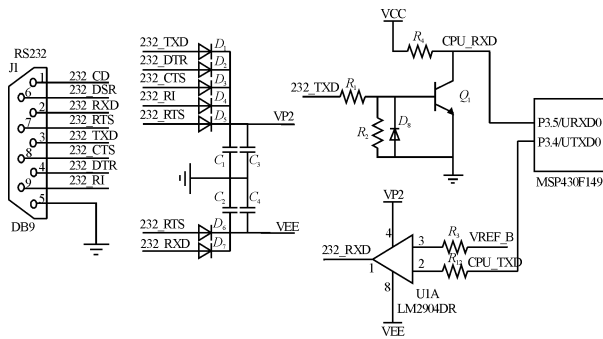


图 8 RS232 通信电路

图 9 中的 RS485 通信和图 8 中的 RS232 通信共用一个 DB9 接口,两种通信方式的识别由 485_PWR 信号完成。当采用 RS485 通信方式时,三极管 Q_2 基极为高电平, Q_2 导通,信号 485_PWR 为低电平有效信号,单片机的 P1.4 脚为低,此时由程序识别是 RS485 通信方式。这里采用 ISL83483 为 RS485 信号转换芯片,当 TxD_EN 有效时,CPU_TXD 信号经 ISL83483 转换为差分信号后送往外部。当 RxD_EN 有效时, A_485 和 B_485 信号经过 ISL83483 转换后送往控制器的 URXD0 脚。RS485 电源由 DB9 接口 J1 的 7 脚引入, $D_9 \sim D_{11}$ 在电路中起通信保护作用,在负电压时导通,将电压箝位在一定数值。

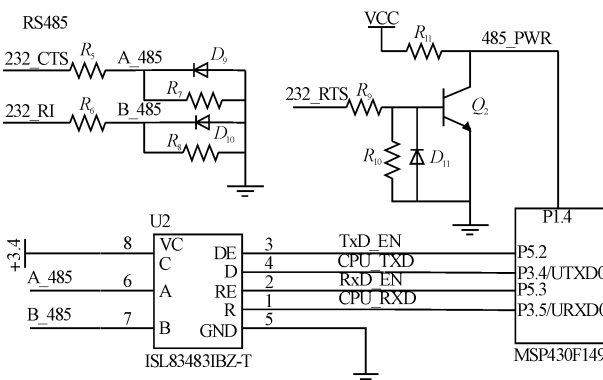


图 9 RS485 通信电路

2.5 电源低功耗设计

系统电源示意图如图 10 所示^[5],整个电路平时由电池供电,当进行串行通信时,可由上位机通过 DB9 接口对电池进行充电,并对板上所有电路供电。测湿电路的电源由 VCC 经升压芯片 LMC7660 升压后得到,若不测湿度,控制器可以关闭升压电路,以降低功耗。控制器输出的 VREF 信号还控制了串联稳压电路的开关管 Q_5 ,使得充电电压约为 4 V 左右。

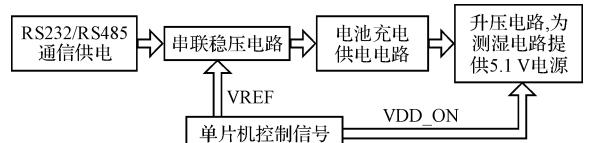


图 10 电源电路示意图

具体的电源电路如图 11 所示,图中右部 BT1 是蓄电池,当没有和上位机相连时,VP2 电压为 0, VDC 也为 0,二极管 D_{14} 截止, D_{18} 导通,提供给系统的电源电压 VCC 约为 3.3 V;二极管 D_{17} 截止,此时网络标识 +3.4 处的电压为 0。当仪器通过串口和上位机相连时,VP2 处有电压,单片机 MSP430F149 上的 A/D 模块提供的基准电压 VREF 经过电压跟随器(由运放 TLV2324ID 的 U4B 部分和电阻电容组成)后输出 2.5 V 电压 VREF_B。VREF_B 和电压 VP2 经由运放 U1B、三极管 Q_5 和相关元件组成的串联稳压电路,最后输出 4 V 电压 VDC。VDC 加到二极管 D_{14} 的正极,使其导通,通过电阻 R_{22} 对蓄电池 BT1 充电,并且二极管 D_{18} 导通,提供系统工作电源 VCC。VDC 使二极管 D_{15} 和 D_{16} 也导通,提供 3.4 V 电压,用作 RS485 通信芯片的电源和控制器 MSP430F149 第 19 脚 P1.7 + 3.4 V 电压输入,由于 P1 口有中断功能,此信号可用于通信唤醒。

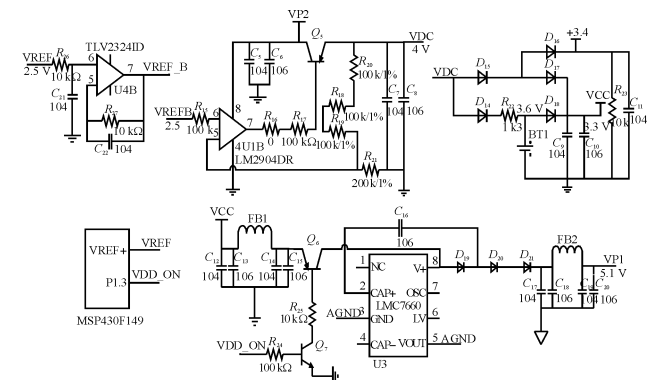


图 11 电源具体电路

图 11 中的 LMC7660 是开关电容电压变换器,它可以把 +1.5 V ~ +10 V 范围内的正电压转换为 -1.5 V ~ -10 V 范围内的负电压,也可以用作电压

升压器。这里使用它的升压功能,把 3.3 V 电压 VCC 升到 5.1 V 的 VP1。图中 FB1 和 FB2 及各自相连的 4 个电容组成 π 型滤波电路,使电源 VP1 纹波很小,为湿度传感器提供稳定的电源电压。信号 VDD_ON 用于控制升压芯片的工作,当 VDD_ON 为高电平时,三极管 Q_7 导通,三极管 Q_6 也导通,使电源电压 VCC 加到 LMC7660 的第 8 脚。当 VDD_ON 为低电平时, Q_7 截止, Q_6 也截止,芯片 LMC7660 停止工作,停止提供电压 VP1。

2.6 VP1 电压检测

如图 12 所示,VP1 经过电阻 R_{37} 和 R_{38} 分压后送入电压跟随器,输出的 APWR 为 VP1 的一半,送入单片机进行 A/D 转换,可以知道 VP1 实际为多大。测量出 VP1 的准确值,根据湿度传感器输出电压和电源 VP1 间的关系,经过运算,最后可以算出相对湿度值。

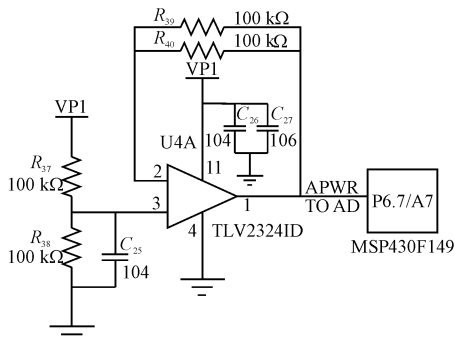


图 12 VP1 电压检测电路

2.7 继电器控制单板

继电器控制电路如图 13 所示。继电器控制接口是为外部继电器控制单板预留的控制接口,单片机通过 4 个管脚 P3.0 ~ P3.3 控制继电器控制板上的 4 个光耦(PC817C),光耦的集电极接 ULN2003 的输入,控制 ULN2003 任一路接通,打开负载。ULN2003 是专为驱动继电器、LED 等大电流负载而设计的芯片,它能驱动 7 路大电流负载。继电器控制板用 12 V 电源单独供电,两个板子通过光耦隔离,能大大减小电磁干扰对主控板的影响。

2.8 时钟电路

时钟电路采用 Philips 公司的 PCF8563 时钟/日历芯片,它是一款功能丰富、具有 I²C 接口的工业级芯片。PCF8563 具有多种报警功能,定时功能,时钟输出功能,可以为系统提供多种复杂的定时服务,如它可以当看门狗使用。它具有低功耗性能,内部有低电压检测电路(1.0 V),可以用在电池供电场合。时钟电路的原理图如图 14 所示,图中 INT 输出连接到控制器

P2.4 脚,在单片机休眠状态下为其提供每 10 min(可编程改变)一次的中断信号(MSP430F149 的 P1 口和 P2 口具有中断唤醒功能)。

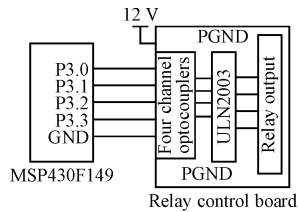


图 13 继电器控制电路

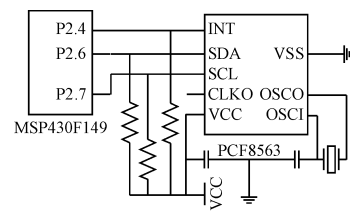


图 14 时钟电路

2.9 布局布线注意事项

在本研究中,笔者还总结了布局布线过程中应注意的内容,具体事项如下:

(1) MSP430F149 为混合信号单片机,片上有 A/D 转换模块,它使用的电源要和数字部分分隔开,这里使用电感进行隔离,从电池出来的 VCC 分别经过一个电感到达数字部分和模拟部分电路。另外要注意单片机不用的 A/D 转换管脚要接地。

(2) 在元器件布局上,模拟器件和数字器件也要尽量分隔开,数字部分的放在一起,模拟部分的放在一起。板上的模拟地和数字地要分开布线,以减少数字部分对模拟部分的干扰。布线尽量避免环路的存在,信号线走向要和电源线与地线一致,另外地线要尽可能的粗,以减小地电阻。

(3) 每个元件的电源输入端要加滤波电容,一般是一个 0.1 μ F 的电容并上一个 10 μ F 的电容,原则上电容越多越好,但要看空间情况来定,一般 2 ~ 3 个即可。

3 软件设计

软件部分^[6-7]可分为主程序、中断程序以及各种子程序,在主程序和中断程序里调用数据接收、A/D 转换、显示、数据存储、数据上传等子程序。在没有和上位机连接的情况下,单片机执行完操作后,10 s 时间之内若没有操作,会进入休眠状态,直到有按键中断或和上位机相连,将单片机唤醒。在和上位机相连的情况下,若判断是 RS232 通信,则采集一次数据,并读出历史数据,一并上传,然后等待 10 s,没有操作则进入休眠状态。若判断是 RS485 通信,在断开通信连接之前,单片机不再进入休眠状态,此时单片机可以响应一些按键中断并处理,也可以接收上位机发送来的命令并执行。

3.1 主程序

主程序流程图如图 15 所示。主程序用于初始化

各种外围模块,采集一次数据并存储显示,然后定时等待 10 s,如果没有其他操作,则进入休眠模式 3。若有操作,则调用相关程序处理,处理完后,定时 10 s 再次判断,没有操作则进入休眠状态(在板上电源没有断开情况下,主程序只会执行一次)。

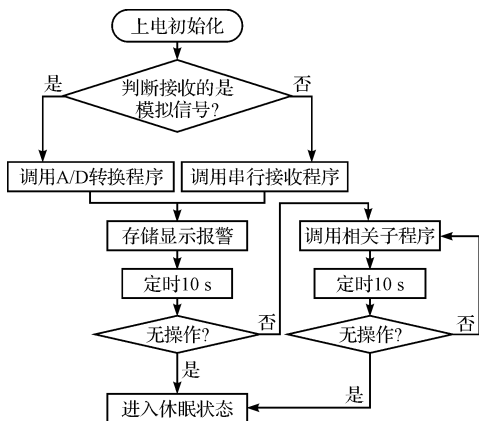


图 15 主程序流程图

3.2 各种中断处理程序

中断唤醒示意图如图 16 所示。单片机上电进入休眠后每 20 min(可编程为其他数值)时钟芯片 PCF8563 产生一次中断^[8],唤醒单片机采集一次数据,等待 10 s 没有操作,就再次进入休眠状态,有操作执行相关程序。在休眠状态下,可以通过 1KEY ~ 5KEY 5 个按键唤醒单片机,也可以通过 RS232/RS485 通信唤醒单片机。由于单片机 MSP430F149 支持中断嵌套^[9],进入中断后若有更高级中断到来,也会实时响应,这给中断处理带来很大的灵活性。

3.3 RS232/RS485 通信

RS232/RS485 通信示意图如图 17 所示。通过 P1.7 脚(+3.4 V 信号)的中断唤醒,单片机进入串行通信状态,检查 P1.4 脚(485_PWR 信号)的状态,高电平是 RS232 通信,低电平是 RS485 通信。在和上位机相连的状态下,系统通过上位机供电,此时可以带动继电器控制板,用以控制外部负载(如加热体、小型直流电机等),实现温度、湿度控制的目的。此外在 RS485 通信状态下,可以实时采集温度、湿度信号,具体是定时 5 s 时间(或其他时间值),每次定时到就采集一次数据,显示上传,并判断哪个继电器应该打开,执行控制任务。由于通信是双向的,还可以接收上位机的命令,执行一定操作。由于 RS485 通信比 RS232 通信更可靠,在较远距离和恶劣环境下,采用 RS485 通信,在和 PC 机相连时,采用 RS232 通信,两种通信方式实现不同功能。

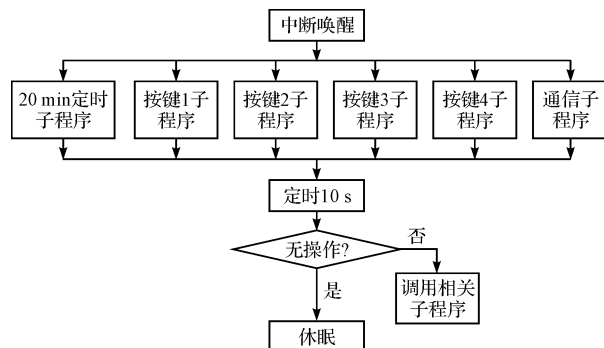


图 16 中断唤醒示意图

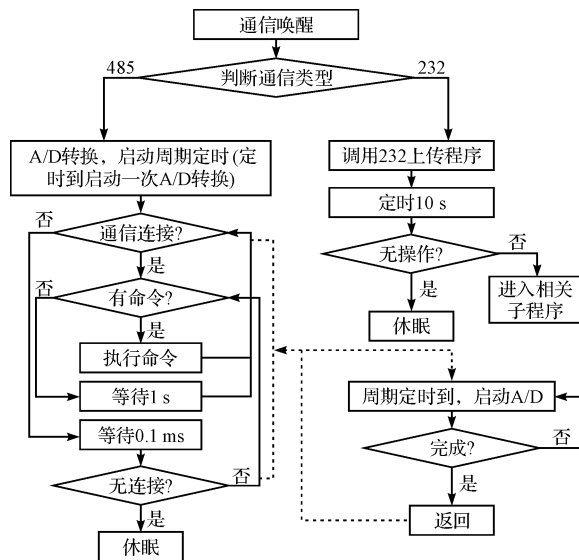


图 17 RS232/RS485 通信

3.4 其他子程序说明

该仪器提供了 5 个按键,供外部操作使用。5 个按键接在 MSP430F149 的 P1 口和 P2 口上,由于 MSP430F149 的 P1 口和 P2 口具有中断功能,5 个按键都有唤醒单片机的能力^[10]。在这里,1KEY 当作启动数据采集用,在休眠状态下按一下 1KEY,单片机唤醒,并启动 A/D 转换或数字信号接收程序,完成之后会将数据存储并显示,温度湿度数值超过设定值,会发出声光报警信号。2KEY 当作数据上传按键用,当和上位机连接状态下,按一下 2KEY,可以启动上传程序。按下 3KEY 后,可以读出时间值,第 2 次按下 3KEY,可以修改时间值,此时按下 4KEY,可以修改小时值,按下 5KEY,可以修改分钟值(循环修改)。若修改完成或放弃修改,第 3 次按下 3KEY,可以退出时间显示状态。

4 结束语

本研究所设计的仪器经过大量实验,已完成多种环境下的测量任务。其通用性强,既可以单独手持

使用,也可以组网使用。由于精确测量湿度是一个难题,该仪器也只是在现有基础上通过大量实验,得到了一个比较可行的测湿方法,但还有改进的余地。相信随着湿度传感器技术的发展,对湿度测量的精度也会逐步提高,这种电子产品的使用也会越来越多。近年来无线传感器网络技术发展很快,该仪器也可以加以改进,配合无线收发模块,实现无线通信功能。

参考文献 (References):

- [1] 窦振中. 基于单片机的嵌入式系统工程设计[M]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [2] Texas Instruments Inc.. MSP430x13x, MSP430x14x, MSP430x14x1 Mixed Signal Microcontroller Data Manual (Rev. F) [EB/OL]. [2004-06-03]. <http://focus.ti.com/lit/ds/sls272f/slas272f.pdf>.
- [3] 何立明. 单片机应用技术选编[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1997.

- [4] 谢瑞和. 串行技术大全[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [5] Texas Instruments Inc.. Choosing an Ultra Low Power MCU (Rev. F) [EB/OL]. [2003-06-16]. <http://focus.ti.com.cn/cn/lit/an/slaa207/slaa207.pdf>.
- [6] 曹磊. MSP430 单片机 C 程序设计与实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [7] Texas Instruments Inc.. MSP430x1xx Family User's Guide (Rev. F) [EB/OL]. [2006-02-28]. <http://focus.ti.com/lit/ug/slau049f/slau049f.pdf>.
- [8] 胡大可. MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001.
- [9] 秦龙. MSP430 单片机 C 语言应用程序设计实例精讲[M]. 北京:电子工业出版社,2006.
- [10] Texas Instruments Inc.. MSP430x13x, MSP430F14x, MSP430F15x, MSP430F16x Code Examples (Rev. F) [EB/OL]. [2005-06-11]. <http://focus.ti.com/sw/slac015n/slac015n.zip>.

[编辑:张翔]

(上接第 481 页)

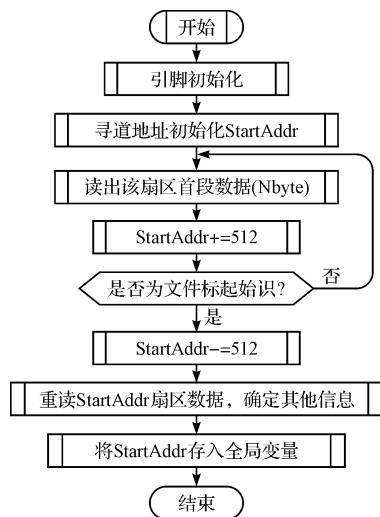


图3 SD卡数据文件定位流程图

5 结束语

笔者通过设计带有特殊识别数据的文件及文件相关格式,实现访问文件不依赖分区表的功能,但又能兼容上位机在各种文件分区格式下写入的数据。此方法为一种精简控制方案,可以使用一些低成本单片机,方便地读取SD卡数据,并实现对操作对象的快速控制。该方案特别适合一些成本敏感或以单片机为核心的主、从控制系统,要求主机读取大量数据并连续向从机或驱动部分发送的小型控制系统。

通过该方法能够实现LED护栏管显示屏的控制要求,生成的文件通过PC机存入SD卡后,读取操作时只需在初始化时通过遍历所有扇区方式找到有效数

据的起始地址,后续数据读取操作只与此起始地址有关。该方法节约了读取文件所需的程序资源,简化了控制过程。硬件结构上接线简单,调试方便,便于移植。经实际调试应用,系统工作稳定可靠,大大缩小了代码的规模与复杂度。并对有类似控制要求的系统有一定的通用性,可供开发有相同控制要求的系统参考。

参考文献 (References):

- [1] SD Group (MEI, SanDisk, Toshiba). SD Memory Card Specifications Part 1: Physical Layer Specification Version 1.01 [Z]. SD Group (MEI, SanDisk, Toshiba), 2002.
- [2] 周立功. SD卡读写模块设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004.
- [3] 孙方,颜国正,王文兴. Multimedia Card 及其与单片机接口[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2004(6):44-46.
- [4] 张凯,姜熙君,陈磊,等. MMC卡的文件系统及其实现方法[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2006(5):30-32.
- [5] SanDisk Corporation. SanDisk secure digital card product manual [K]. SanDisk Corporation, 2004.
- [6] STC Corporation. STC11-10Fxx product manual [K]. STC Corporation, 2008.
- [7] AVR Corporation. AVR-MEGA48/88 product manual [K]. AVR Corporation, 2004.
- [8] Silabs Corporation. F020-10Fxx product manual [K]. Silabs Corporation, 2005.
- [9] 李长有,武学东,孙步胜,等. 基于C8051F020的SD卡主控制器设计[J]. 微计算机信息,2007,23(9-2):120-122.
- [10] 张洪涛,莫文承,李兵兵. 基于SPI协议的SD卡读写机制与实现方法[J]. 电子元器件应用,2008,10(3):42-43,47.

[编辑:李辉]