

基于 MSP430 单片机的高压电力设备温度在线监测系统

侯 凡 赵 宇 (上海交通大学电力电子专业,上海 200240)

摘 要

介绍了基于 MSP430 单片机的高压电力设备温度在线监测系统。系统通过两个模块实现对高压电力设备温度的在线监测,防止电力系统安全事故的发生。系统具有超低功耗、性能稳定、测量精度高等特点,应用较为广泛。

关键词: MSP430 单片机,低功耗,温度测量,红外通信

Abstract

The online temperature monitor system of high voltage equipment based on MSP430 single chip is introduced in this paper. Two modules are used to monitor the temperature of high voltage equipment, thus power system accidents can be avoided. The system has such advantages as ultra-low power, stable performance, high measurement precision and so on.

Keywords: MSP430 single chip, ultra-low power, temperature measurement, infrared communication

电厂和变电站的设备在长期运行过程中,某些部位因老化或接触电阻过大而发热,而这些发热部位的温度无法实时监测,因此极易导致设备烧毁或突然停电等事故。解决电力设备过热问题是杜绝此类事故发生的关键。高压电力设备内由于有裸露高压,空间狭小,常用的温度测量方法不能使用。本文将介绍一种基于 MSP430 的高压电力设备温度在线监测系统,从而解决以上的问题。

1 系统构成和功能

1.1 系统构成

系统主要分为两大模块,测温模块和数据处理模块,两者之间通过红外通讯来交换数据。测温模块通过温度探头采集环境温度或电力设备表面温度,多通道模拟量通过 A/D 转换后,再由 MSP430 单片机控制红外发射头向数据处理模块发送温度数据;数据处理模块接收到温度数据后,判断温度是否超过正常范围,及时给出报警信号,同时将各通道的温度数据在液晶上显示出来。数据处理模块还可以将数据通过串口传输到上位机上,生成各点温度数据库。

在需要监测温度的测量点上各安装一个测温模块,测温模块可以直接固定在测量点,将其屏蔽外壳与测量点有效接触,这样就可以有效地屏蔽高压环境产生的电磁场干扰,同时也方便了现场安装调试。将红外发射接收对管对准数据处理模块的红外发射接收对管,两者之间可以保持 3m 左右的直线距离,数据处理模块的红外头可以通过较长的屏蔽线连接到模块的信号接收端,这样数据处理模块就能远离测温现场,防止高压环境对于数据处理模块稳定性的影响。系统结构图如图 1 所示。

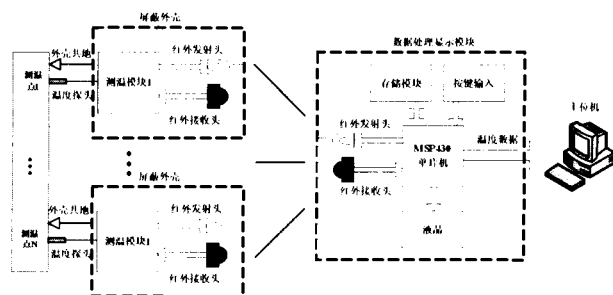


图 1 系统结构图

1.2 系统功能

系统的具体功能实现是通过测温模块和数据处理模块这两大模块来实现的,其中测温模块负责数据采集的功能,而数据处

理模块负责控制和显示的功能,具体功能如下:

(1) 测温模块

温度数据采集: 通过 PT1000 温度探头将温度模拟量转成电压模拟量,再经过 A/D 转换将温度数据传送到单片机内进行处理,温度采集时间间隔可通过数据处理模块发送的指令来进行设置。

红外通讯: 通过红外通讯向数据处理模块发送采集到的温度数据,也可以接收数据处理模块的控制命令。

低功耗运行: 在不需要进行温度采集的工作时,整个测温模块将自动进入休眠模式,功耗将降至最低。

(2) 数据处理模块

红外通讯: 通过红外通讯向测温模块发送控制命令,也可以接收测温模块发送的温度数据。

液晶显示: 通过单片机内置的液晶驱动模块可以直接驱动液晶工作,实时显示各测量点温度。

存储数据: 把温度数据存储到 Flash 芯片中,供数据统计使用。

上位机通讯: 通过串口将数据传送到上位机,上位机可以构建各点温度数据库。

2 系统硬件设计

2.1 MCU 介绍

根据整个系统的功能要求,测温模块和数据处理模块分别采用 TI 公司的高性能超低功耗 16 位单片机 MSP430F123 和 MSP430F413。MSP430F123 内置 8KBflash, 256Bram, 1 个 slopeA/D, 1 个 16 位看门狗定时器, UART 接口和 1 个比较器;而 MSP430F413 内置 8KBflash, 256Bram, 1 个 slopeA/D, 48 个 I/O 口, 16 位看门狗定时器, 8bit 基本定时器, 1 个 16 位 Timer_A(3 个捕获/比较寄存器)和比较器_A, MSP430F413 内置 96 段 LCD 驱动模块,这样就可以直接驱动液晶,从而简化了硬件电路。由于 MSP430 单片机是基于低功耗设计的,因此它在待机模式下耗电仅为 0.8 μ A, 在 3V 供电、1MHz 频率的运行方式下工作电流也仅为 25 μ A。

2.2 温度测量电路设计

本系统中,温度探头采用了 PT1000 铂热电阻。在 0 $^{\circ}$ C 时, PT1000 的电阻值为 1000 Ω , 对应于温度的电阻值可通过查 PT1000 的分度表获得。由于铂的特性稳定,在 -200~+600 $^{\circ}$ C 宽范围内拥有长期稳定性好的特点,能满足军事、科研、工业生产等重要领域的精密测温要求。温度测量电路如图 2 所示。

图 2 中 TLV431 是低电压供电的并联稳压电压基准源,可

通过并联在其 A、K 两端的两个电阻来设置其输出电压值, 如图所示其输出电压为 $V_{out}=V_{ref} * (1+R1/R2)$, 常温下 $V_{ref}=1.24V$, 但由于测温模块需要在高达 $100^{\circ}C$ 以上的高温下运行, V_{ref} 可能会有一定的变化, 需要实时的测量 V_{ref} 。图 2 中的 R1 和 R2

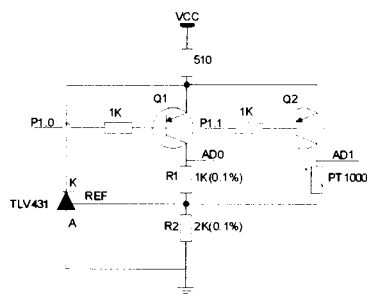


图 2 温度测量电路图

是千分之一精度的高精度电阻, 用来作为基准电压的标准电阻。

温度测量开始后, P1.0 置低, P1.1 置高, 这时 Q1 导通, Q2 截止。此时相当于 R1 和 R2 并联于 TLV431 两端, 可得到输出电压 $V_{AD0}=V_{ref} * (1+R1/R2)$, 由于 V_{AD0} 、R1 和 R2 都已知, 所以可以求出 V_{ref} 。获得 REF 电压值后, 将 P1.0 置高, P1.1 置低, 这时 Q1 截止, Q2 导通。此时相当于 PT1000 和 R2 并联于 TLV431 两端, 可得到输出电压 V_{AD1} , 由于 V_{AD1} 、 V_{ref} 和 R2 都已知, 因此可精确地求出 PT1000 的电阻值, 再根据 PT1000 分度表获得实时的环境温度。

由于 MSP430F123 的 A/D 转换模块只有一个通道, 因此需要通过模拟开关芯片 CD4051 将两通道 AD 量 AD0 和 AD1 依次传送到 A/D 转换输入端, 分别进行 A/D 转换。

2.3 A/D 转换电路设计

由于 MSP430F123 内置高精度比较器, 因此可以利用它来实现一种性价比很高的 A/D 转换方案, 可以降低系统的成本。这是一个高精度的积分型 A/D 转换, 类似于 $\Sigma-\Delta$ 技术, 它的基本原理是利用单片机上的一个 I/O 口, 执行 1 位的 DAC, 以比较器的输出作反馈, 来维持 V_{out} 与 V_{in} 相等。

其外部电路十分简单, 仅需一路通用 I/O 口, 一个串联的电阻和电容。其电路如图 3 所示。

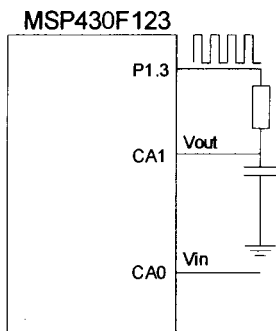


图 3 A/D 转换电路

如图 3 所示, CA0 和 CA1 为比较器的两个输入端。通过 P1.3 在电容上产生 V_{out} , 要维持 $V_{out}=V_{in}$, 必须通过 P1.3 对电容进行充放电, 也就是 P1.3 置高置低。而确定为充电还是放电则由比较器的输出决定, 这样 A/D 就形成了一个类似带负反馈的闭环系统。当比较器输出为高电平时, 说明 $V_{out}>V_{in}$, 应对电容放电, 则 I/O 输出低电平; 当比较器输出为低电平时, 说明 $V_{out}<V_{in}$, 应对电容充电, 则 I/O 口输出高电平。为维持 $V_{out}=V_{in}$, P1.3 持续输出脉冲。程序则对总的输出脉冲数 N 和输出为高的脉冲数 n 进行计数。当输出 N 个脉冲后停止计数, 则此时高脉冲数 n 与被测电压 V_{in} 成正比。经过一系列数学公式的转换, 可得到 $V_{in}=n * V_{cc}/N$ 。如果 $V_{cc}=3.0V$ 时, 取 $N=30000$, 则分辨率为 $0.1mV$ 。

2.4 红外通讯电路设计

由于高压设备内部具有巨大的电磁场干扰, 而有线通信方式无法实现。因此本方案中采用简单的红外通讯来进行交换数据, 电磁场干扰对于红外通讯不会产生任何影响。

利用红外进行通信时, 如果直接将数据通过红外发射头发送, 可靠性不好而且传输距离很近。我们采用的方法是将需要传输的数据调制到 32768Hz 的载波上再进行发送, MSP430 单片机具有 ACLK 端口, 可以独立产生 32768Hz 的脉冲波, 因此可以利用它很方便地生成高频载波。MSP430F123 的 ACLK 端口是 P2.0 引脚, 而 MSP430F413 是 P1.5 引脚。需要指出的是, 当发送数据“1”时, 红外发射头是点亮, 而红外接收头收到的则是低电平, 也就是数据“0”, 因此需要在逻辑上取反, 这可以在软件上实现也可以在硬件上实现。本系统中是采用硬件方式实现逻辑取反。红外通讯电路如图 4 所示。

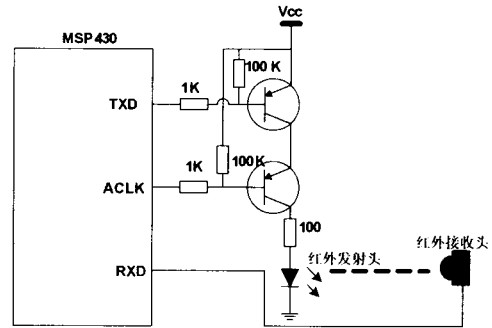


图 4 红外通讯电路

3 系统软件设计

系统的软件也分为测温模块和数据处理模块两部分。测温模块首先初始化单片机端口, 开定时中断和通讯口中断, 根据数据处理模块的指令来设置温度采样时间间隔, 随后进入休眠状态, 出现定时中断或者数据处理模块要求发送温度数据时, 测温模块开始测量温度, 测温完成后将温度数据和测温模块本身的地址发送给数据处理模块, 然后测温模块又进入休眠状态。数据处理模块初始化完毕后, 根据用户通过按键设置测温模块的采样时间间隔, 然后通过红外发送指令, 收到温度数据后将其显示在液晶上并存储到 Flash 芯片内, 必要时可以将这些数据传送到上位机。

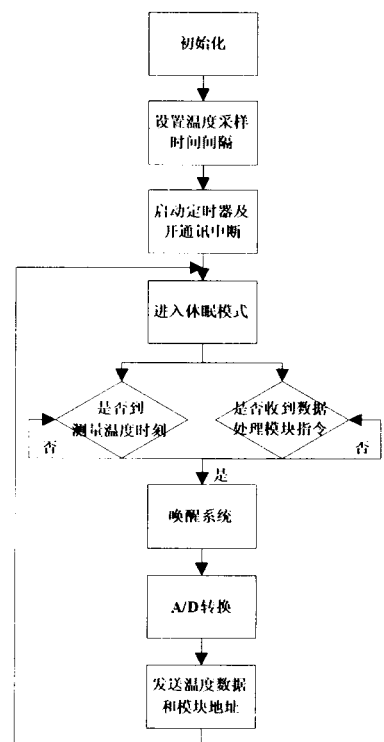


图 5 测温模块软件流程图

4 低功耗和抗干扰设计

因为测温模块安装在高压设备内部, 在安装后很长一段时间内都不能拿出, 而且无

公司的 MAX232。对于串口通讯软件的编制,本系统采用一个简单的有限状态机(FSM)。如图 2 所示。

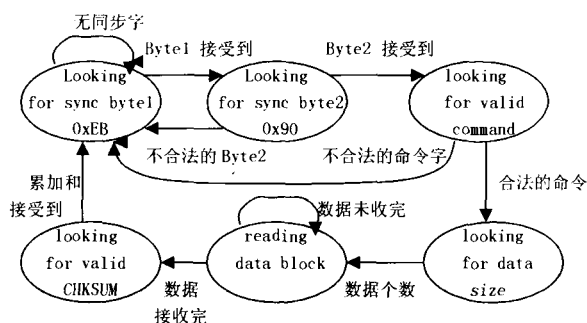


图 2 串口有限状态图

FSM 根据输入从一个状态转移到另一个状态。FSM 有一个初始状态,当接受到同步字节后,进入下一个状态。如果所接收字节不遵守有效信号的结构,FSM 就回到初始状态并继续寻找同步码。同步码选择 0xEB90,之所以这样选是参考遥测中同步码的选择,0xEB90 是在自然界干扰中最不容易出现的组合。

232 传送的数据结构是:0xEB+0x90+命令号+数据大小+所有数据+所有数据的累加和。

上位机采用 vb6.0 的 MSCOMM 控件进行处理,亦采用上述有限状态机的方法进行通讯,以保证传输的可靠性。设置接收及送数据模式为二进制 InputMode=comInputModeBinary。

1.4 LCD、键盘、SPI 接口、AD 转换电路

LCD、键盘的接口较简单,查阅相关资料即可得。需要说明的是 AVR 芯片具有在系统编程功能,仪器特意留出供系统升级的 SPI 接口来。烧写软件采 BASCOM-AVR,此软件简单易用。只需占用一个并口资源。

AD 转换需要设置 AVR 的许多寄存器,需要小心进行,初次转换数据要舍弃。在进行复杂的寄存器设置有一种简单的方法:点击 ICCAVR 主界面下的 Tools\Application Builder,设置好里面的参数,由系统自动生成高质量的 C 代码。

2 系统软件架构设计

系统中有多任务需要运行。键盘扫描,LED 定时闪烁,LCD 显示,RS-232 需要检测有无新的数据需要接收或发送,读写 DS1302,读写内部 EEPROM,控制 AD 转换。同时考虑到系统以后可能需要改进,比如增添串行温度传感器,外扩 EEPROM,采用传统的前后台超级大循环编程模式显然有点力不从心了。同时受成本的限制,软件又要尽可能小地占用程序和数据空间,采用实时操作系统又不现实。笔者认为最好的选择是时间触发嵌入式软件模式。时间触发嵌入式系统设计模式由

Michael 发明,代码针对 8051 系列的。本人把整个系统软件一直到 AVR 系列上,在这个系统中添加了 9 个常任务,5 个临时任务,整个程序 4000 行左右,系统运行几个月,十分稳定。证明该软件的移植是成功的。简单说来,时间触发嵌入式系统首先用定时器产生一定时间间隔的时标,然后给每个任务指定在多少个时标后以多少时标的间隔进行运行,再配合任务管理函数,可以实现较复杂的系统。

时间触发嵌入式系统主要由下面 6 个函数和 RAM 区中每个任务分配的结构体组成。

时标进行处理函数: SCH_Dispatch_Tasks(), 任务添加函数: SCH_Add_Task(), 任务撤销函数: SCH_Delete_Task(), 节电模式: SCH_Go_To_Sleep(), 任务调度开始: SCH_Start(), 设置时标长度: SCH_Init_T0(), 任务刷新,维护任务表: SCH_Update(), 中断程序中重装定时器函数: SCH_Manual_Timer0_Reload()。

每个任务都须建立相应的结构体,位于单片机 RAM 中。

```

typedef struct
{
void (*pTask)(void);
tWord Delay;
tWord Period;
tByte RunMe;
}
  
```

pTask 为函数指针指向任务函数入口地址,Delay 指示任务在多少格时标后运行,Period 指示任务运行的时标间隔,RunMe 为任务运行的开关。

该系统所能添加的任务数受制于单片机 RAM 区的大小和能否经过合理安排保证每个时标内只运行一个任务。ATmega16L 共有 1K Byte 的 RAM,比传统的 C51 能安排更多的任务。至此,一个完整的系统从软件到硬件都构建完成。本产品已有样品做出,在成本和性能之间做出了很好的平衡。

3 结束语

本文较详细地分析了一个实际系统软硬件的构建过程,其中的有限状态机和时间触发嵌入式架构提供了解决这类问题的通用方法,具有积极的现实意义。

参考文献

- [1]沈文.Eagle lee 詹卫前.AVR 单片机 C 语言开发指导[M].北京:清华大学出版社,2003
- [2]Michael J.Pont.时间触发嵌入式系统设计模式[M].北京:中国电力出版社,2004

[收稿日期:2006.8.30]

(上接第 58 页)

法给测温模块直接供电,只能采用锂电池,因此需要测温模块具有低功耗这一特性。本方案中采用的 MCU 芯片是超低功耗的 MSP430 单片机,在待机模式下,功耗仅为 0.8 μ A;采用的电源芯片 RH5RL30AA,这是一款超低功耗低压差线性稳压芯片,能产生稳定的 3V 输出电压,其耗散功耗也小于 1 μ A;此外当测温模块进入休眠模式时,所有芯片的供电都将通过三极管切断,从而使系统的功耗降至最低。由于测温模块的休眠模式时间远大于正常工作模式的时间,因此可以保证测温模块长期处于低功耗状态,经实验测试,测温模块休眠时工作电流小于 5 μ A,对于一节 1000mAh 容量的锂电池来说,理想状态下,测温模块可以稳定工作 10 年以上。

抗干扰主要通过将测温模块用金属外壳屏蔽起来,将露出的红外发射头和接收头用金属网罩起来,金属外壳则与测量点共地;当测温模块程序受到干扰跑飞时,使用 MSP430 自带的看门狗进行重置。经实验测试,本系统可在 30KV 的高压环境下长期稳定的运行。

参考文献

- [1]MSP430x4xx Family User's Guide Texas Instruments Inc, 2003
- [2]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,2000.6

[收稿日期:2006.9.1]