

基于 MSP430 的二线制高精度表头设计

Design of Two-wired High Precision Meter Based on MSP430

王 鹏¹ 吕志刚¹ 黄 健²

(西安工业大学电子信息工程学院¹, 陕西 西安 710032; 西安科技大学通信学院², 陕西 西安 710054)

摘 要: 针对传统的二线制表头在高温下测量精度差、温漂大的特点,提出了一种在高温下的高精度数显表头的设计方案。分别介绍了其软硬件的实现方法,即采用超低功耗微处理器 MSP430F4250 采集回路中的电流值,采用 24 位 ADC 转换器 ADS1244 进行模数转换,最后将经过运算的变送器输出信号值在 LED 数码管中加以显示。实测结果证明,该表头在高温下测量精度高、工作可靠、抗干扰性强、实用性强,势必会成为无源二线制仪表的发展方向。

关键词: 超低功耗 微处理器 二线制 高精度 无源表头

中图分类号: TP216 + 1 **文献标志码:** A

Abstract: Poor accuracy and big drift are the disadvantages of traditional two-wired indicators in measurement under high temperature, thus a design strategy for high precise digital indicator has been proposed. The implementing methods of hardware and software are introduced respectively. In the design, the super-low power consumption microprocessor MSP430FF4250 is used for collecting the circuit values in the loop; the 24-bit AD converter ADS1244 is used for AD conversion; and the calculated transmitter outputs are displayed on LED. The practical test result shows that the indicator features high accuracy, reliable operation, good anti-interference capability and strong practicality under high temperature. It will be the future developing trend for two-wired passive instruments.

Keywords: Super-low power consumption Microprocessor Two-wired High precision Passive indicator

及低功耗、高精度数据采集的方法。

0 引言

二线制无源数显表头是在现场不接外电源的情况下,由变送器电流环供电,采集回路中电流值,并且通过数码管动态显示工业参数的仪表。随着仪器仪表技术与嵌入式技术的发展,以及低功耗微控制器与低功耗器件的不断涌现,越来越多的研究人员开始进行二线制仪表的设计与开发。所谓二线制,是指整个仪表与外界之间只有两根连线,仪表的电源和信号线共用这两根导线,仪表的供电完全从回路电流中读取。这种二线制具有布线简单、可靠性高、无需考虑供电和隔离等特点^[1]。

但是传统的二线制无源表头存在功耗大、精度低、工作温度范围窄等缺点。本设计采用软硬件联合的方法,无论是在单片机、硬件芯片、显示方式等的选取上,还是在系统的工作模式和系统供电方式等方面,都进行了严格的设计、计算和实验。本设计的表头可以在高温下达到高精度的测试要求,在军方某测试系统中得到应用。本文重点介绍了系统的软硬件设计方法以

1 系统工作原理与组成

本设计表头采用二线制工作,它与变送器共同串联在一个回路中,变送器由直流 24 V 供电,回路中电流是 4~20 mA。表头采用超低功耗单片机 MSP430F4250 为主控制芯片。芯片内部自带了 12 位的 A/D 转换模块,但是精度不够,因此,采用外部 24 位 ADC 转换器,以实现高精度的模数转换及对回路中的电流值进行高精度的测量。测量后的数据经过算法换算成各种物理量,显示在数码管上。在 4~20 mA 电流环中串联一个取样电阻和一个稳压二极管,取样电阻上检测到电压值,稳压二极管给系统提供稳定的工作电源。系统的测量精度、满量程、零点等都可以通过按键进行设定。另外,为了防止掉电后设置的参数丢失,系统还设计了 EEPROM 芯片用于存储工作参数,每次上电后,系统自动读入参数并进入工作状态^[2]。

2 系统硬件设计

系统硬件主要由 CPU 模块、LED 显示模块、A/D 转换模块、电源模块、存储模块、按键模块组成。采用 4 位低功耗高亮度 LED 作为显示器件,并采用 24 位 ADC 芯片使其具有高达 20 位以上的测量精度,而且

陕西省教育厅专项科研计划资助项目(编号:06JK282)。

修改稿收到日期:2009-08-11。

第一作者王鹏,男,1978年生,2003年毕业于西安工业大学电子信息工程学院,获硕士学位,讲师;主要从事仪器仪表、通信技术、嵌入式技术应用方面的研究。

在高温工作条件下,仍然能保证测量的精度。系统硬件组成如图 1 所示。

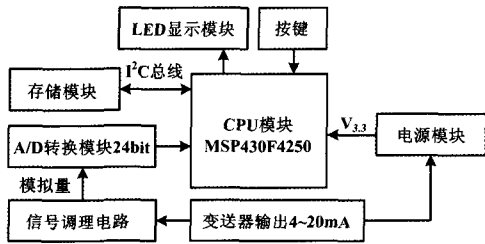


图 1 系统硬件组成框图

Fig. 1 Hardware structure of the system

2.1 CPU 选型与设计

由于表头不需要外接电源,而通过 4 ~ 20 mA 电流环供电,因此功耗对 CPU 选型至关重要。本设计选用 TI 公司最新推出的具有极高性价比的 16 位微处理器 MSP430F4250。它具有功耗低、工作温度范围宽、工作电压宽、集成度高、在线支持性强等特点;且其独特的时钟系统能产生 ACLK、MCLK、SMCLK 三种不同的时钟信号,可提供不同的工作模式所需的时钟。工作温度达到 -40 ~ 85 °C,工作电压为 1.8 ~ 3.6 V,休眠下电流只有 0.1 μA ^[3]。

2.2 电源设计

二线制仪表由于电源本身即取自信号线,所以在构成本质安全的防爆结构时,具有很大的优势。电源电路的设计对整个系统的稳定性和可靠性有很大作用。首先在 4 ~ 20 mA 电流回路中串接一个 25 Ω 的取样电阻和一个 3.3 V 稳压二极管,为电路中用到的芯片提供 3.3 V 电源^[4]。电源电路如图 2 所示。

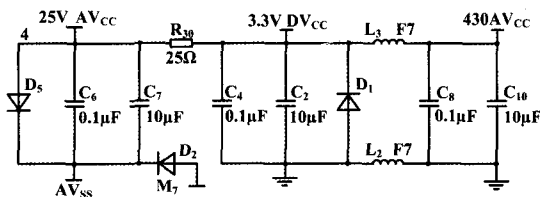


图 2 电源电路

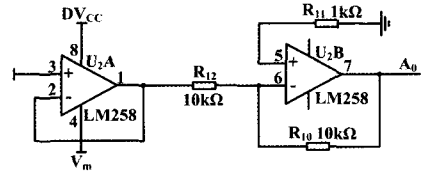
Fig. 2 Power circuit

2.3 信号调理与采集电路

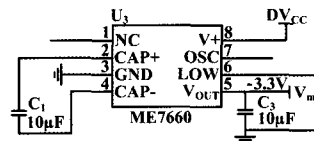
回路中的 4 ~ 20 mA 电流环提供电源和采集的信号,因此,需要对电路中的电流信号进行调理。通过运放电路将电流变换成电压信号,并接入 A/D 转换器中。4 ~ 20 mA 电流可换算成值为 0.1 ~ 0.5 V 的电压。

ADS1244 是一种低功耗串行 24 位 Σ 模数转换器,具有精度高、功耗低、使用接口少等特点。一个简单两线串行接口提供对该芯片所有的控制。通过串行脉冲

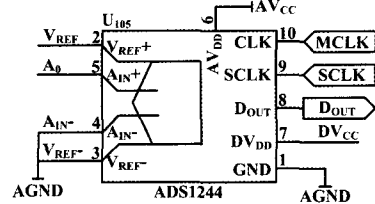
可以控制数据读写、校准及进入休眠方式,并且单次转换时,ADS1244 可以被关闭,减少空闲时期的功耗,非常适合本系统设计的需要。参考电压 V_{REF} 设计为 0.6 V。ME7660 是变极性 DC/DC 转换器。通过该 DC/DC,可以将正电压输入变为负电压输出,以提供给 LM258 运放使用。其信号调理与转换电路如图 3 所示。



(a) 信号调理电路



(b) DC/DC 转换电路



(c) A/D 转换电路

图 3 信号调理与转换电路

Fig. 3 Signal conditioning and conversion circuits

2.4 E²PROM 存储电路

为了保存设置后的参数,比如量程、零点、显示位数等参数以及保证掉电后参数不丢失,表头采用铁电 E² PROM 存储器 FM24C64 来存储数据。FM24C64 为低功耗芯片,可以降低系统的总功耗,提高系统稳定性。

2.5 LED 模块设计

LED 显示模块采用 4 位 LED 动态扫描模式,动态刷新,满足低功耗需求。4 位 LED 的 8 个段选信号线分别接到 MSP430 的 S₀ ~ S₇ 管脚,4 个位选信号线分别接到 MSP430 的 S₈ ~ S₁₁ 管脚。

3 低功耗设计

由于工作环境为二线制系统,因此,低功耗是系统设计所追求的目标,也是设计的主要任务之一^[5]。回路中电流信号为 4 ~ 20 mA,此信号既作为采集的信号,又提供表头工作所需要的全部电源,这就要求正常运行时供电回路中的电流小于 4 mA。

硬件模块中,每一个功能模块都应该选择功耗低的器件,这样才能满足整体上低功耗的需求。本系统的压降为 2.2 V,可以点亮 4 位 8 段 LED 数码管显示,整个表

头的功耗控制在 8 mW 以下。系统主要器件的工作电流值经过估算,总的工作电流为 0.916 mA,当电压为 3.3 V 时,变送器的电流一般小于 2 mA,表头的工作电流在 1 mA 以下,因此,本设计方案符合低功耗要求^[6]。

4 温漂解决方案

传统的二线制仪表都是工作在常温下的,而且对温漂的要求不是很高,但是本系统是工作在条件恶劣的高温环境下,如何在高温(60 ℃)条件下保证采集数据的精度,以及如何将系统温度漂移降低,是系统设计需要解决的核心问题。该系统选用的都是温漂系数很小的芯片。在 3.3 V 工作电压下,ADS1244 的温漂系数为 2.5 μV/℃,真实的电压漂移是 150 μV;ME7660 的温漂系数为 2 μV/℃,真实的电压漂移是 120 μV;LM258 的温漂系数为 7 μV/℃,真实的电压漂移是 420 μV。系统的电压漂移在 60 ℃ 条件下,估算值总计是 690 μV,能够满足系统设计的要求。

5 系统软件设计

5.1 软件流程

系统的软件是采用 C 语言编写的,在 IAR Embedded Workbench 开发环境下,采用模块化思想进行设计。系统的软件程序固化在 MSP430F4250 单片机的内部 Flash 存储器中,整个软件程序包括:数据采集模块、LED 显示模块、按键模块和数字滤波模块。LED 显示模块与按键模块功能简单,在此就不再赘述,本文重点介绍数据采集模块与滤波模块^[7]。程序流程如图 4 所示。

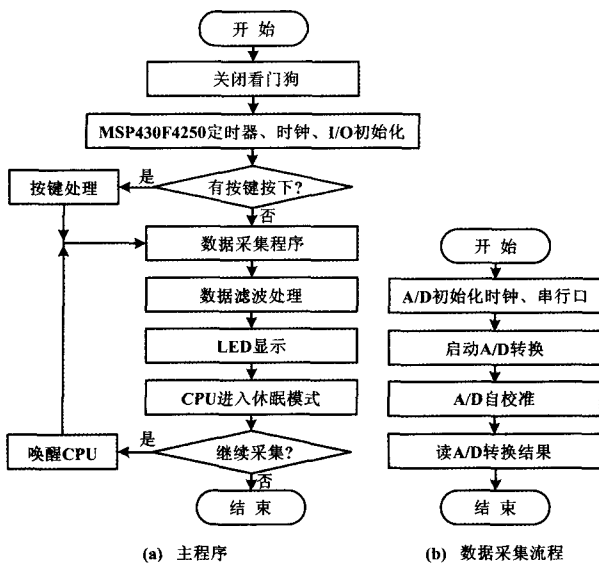


图 4 程序流程图

Fig. 4 Flowchart of the program

5.2 数据采集模块

ADS1244 是基于 Σ 调制器和数字滤波器的串行 24 位 Σ 模数转换器。ADS1244 可以测量差分信号,也可以测量单极性信号,本设计中测量信号加到 AIN + 和 AIN -,并将 AIN - 接地,这样只使用一半的转换器量程,且仅有正数字码产生。ADS1244 内部自带采样/保持电路,保持电容的连续充放电构成采样/保持器。ADS1244 以二进制补码格式输出 24 位数据,最低有效位是 $2V_{REF}/2^{23} - 1$,正满量程输入产生码 7FFFFFH,负满量程输入产生码 800000H,其他输入信号产生码在这个范围内。

就测量温度而言,温度变送器量程为 0 ~ 100 ℃,回路中电流为 4 ~ 20 mA,计算公式如下所示:

$$\frac{U_x - U_{min}}{U_{max} - U_{min}} = \frac{T_x - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \quad (1)$$

式中: U_x 为 A/D 采集电压值; U_{min} 为 4 mA 时电压值; U_{max} 为 20 mA 时电压值; T_x 为测量的温度值; T_{min} 为最小温度值; T_{max} 为最大温度值。

经过变换后可得:

$$T_x = \frac{U_x - U_{min}}{U_{max} - U_{min}} \times (T_{max} - T_{min}) + T_{min} \quad (2)$$

A/D 采集的电压值为 0.889 V,二极管上压降为 0.70 V,因此 $U_x = 0.889 V - 0.70 V = 0.189 V$, $U_{min} = 0.1 V$, $U_{max} = 0.5 V$, $T_{min} = 0$, $T_{max} = 100$,代入式(2)后,计算得 $T_x = 47.25 ℃$ 。

5.3 数字滤波模块

在抗干扰措施中,滤波方法是抑制干扰的一种有效途径。常用的软件滤波方法有多种,本文选择中值滤波法,即每次采集 n 个 A/D 值,去除其中的最大值和最小值,而取剩余的 $(N - 2)$ 个 A/D 转换值的平均值。该滤波算法简单实用,可以满足本设计的需求^[8-9]。

6 结束语

本系统选用超低功耗 MSP430F4250 为 MCU,配合外围的低功耗器件,设计实现了两线制无源高精度数显表头。

该仪表能够在 60 ℃ 环境中工作,由 4 ~ 20 mA 的电流环供电,同时采集回路中电流并显示。由于其功耗低、工作温度范围宽、采集精度高、成本低等特点,因而有着较高的应用价值和经济价值。该表头已经经过严格的环境测试与精度测试,在 60 ℃ 高温下可连续工作 72 h,采集精度能达到 $\pm 0.3\%$ 。

实践证明,该系统运行稳定性强,采集数据精度高,硬件设计合理、结构简单,整机可靠性高,可以进行推广。

(下转第 71 页)

3.2 系统任务划分和分析

系统主要划分成如下九个任务:LCD 显示、键盘检测、系统和 PC 机通信、检测参数和故障状态、读取历史参数、修改参数、保存参数、控制开关电源的同步以及关断开关电源。

正常工作状态的任务比较多,如需要监控开关电源的各个参数和故障,计算占空比,读取时间并显示,对开关电源工作状态中出现的各种突发状态进行处理;此外,还需要监控键盘状态,读取键盘指令。

友善的人机交互界面非常重要,本系统采取的策略是给每帧画面分配 4 kB 缓存,240 × 128 点阵需要 3 840 B,这样还多余 256 B。以 16 × 8 点阵为一个显示块,将整个屏幕划分成 30 × 8 = 240 个显示块,每个显示块用 1 B 存放要在该位置显示的内容代码(一个汉字占两个显示块,汉字代码放在两个显示块对应的两个字节的第一个字节中),故整个屏幕共需要 240 B 存放显示内容的代码,占用一帧画面分配的 4 kB 缓存的最后 240 B。显示时,直接从分配的缓存区的最后 240 B 中读取代码,然后转换成字模进行显示。

在修改参数的任务中,采用两级缓存的机制^[5]。在光标所在位置,修改的数据保存在 A 缓存器中;在光标移开后,将修改后的数据写到分配的 LCD 缓存区的最后 240 B 对应的单元中;在键盘发出保存指令后,再将参数写回到 IIC 存储器中。如果键盘放弃了保存,则重新从 IIC 存储器中将参数读到分配的 LCD 缓存单元中。

3.3 系统资源分配

资源大致分配情况如下:INT0 分配给时钟芯片,INT1 分配给 89C2051 以控制同步脉冲信号。定时器 0 用于提供 1 s 的定时中断,定时器 1 资源分配给串口。第 0 组寄存器分配给 LCD;第 1 组寄存器分配给 IIC 存储器的读写;第 3 组寄存器分配给键盘驱动和显示历史数据的任务。80H 以后的数据存储器分配给堆栈,

而 30H ~ 7FH 的空间分配给各个任务,彼此互不占用。

此外在本系统中,充分利用了 LCD 内置 SRAM 来作为系统的缓存。

4 结束语

在开关电源运行过程中出现重大故障时,本系统会自动关断开关电源。由于中断资源有限,本设计中键盘没有采用中断的机制,而是采用在正常工作状态中循环检测键盘状态的方法,而这并不影响系统的实时性。经过正式投产前的测试和分析发现,键盘的响应时间不超过 1 s,能满足检测系统的需求。

此外本设计中引入了缓存的机制。利用 LCD 模块内部多余的显示缓存作为系统任务切换时的缓存,加快任务切换的速度;在初始化时将所有参数读入缓存;修改参数后,采用缓存的机制,只有在确认保存后才将参数存入 IIC 存储器中。通过以上措施减少读取 I²C 存储器的次数。

本系统已经正式生产并投入运行,使用表明,该开关电源检测系统运行可靠、准确,完全能满足测试需求,并能有效地保护开关电源。在资源充足的条件下,也可以对本系统的 RTOS 进行优化,通过优化 LCD 显示驱动,来提高系统的实时性。

参考文献

- [1] 高伟. AT89 单片机原理及应用[M]. 北京:国防工业出版社, 2008:70-90.
- [2] 胡力刚,王养森,陈宁. 单片机在液晶显示器系统中的应用[J]. 电子工程师,2005(2):14-16.
- [3] 李云钢,邹逢兴,龙志强. 单片机原理与应用系统设计[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008:131-133.
- [4] 阴泽杰,唐瑜. 一个基于 AD1674 的数据采集系统[C]//第 8 届全国核电子学与核探测技术学术年会论文集,1996.
- [5] Myke P. 精通 8051 程序设计[M]. 田玉敏,译. 北京:人民邮电出版社,2006:111-115.
- [6] 邵贝贝,王暹辉. 低功耗二线制设计在电气阀门定位器中的实现[J]. 测控技术,2000,19(10):47-49.
- [7] 刘立群,孙志毅,金坤善. 基于 MSP430 单片机的超低功耗数据采集器设计[J]. 自动化仪表,2005,26(4):30-31.
- [8] 熊燕. MSP430 微控制器的能耗计算与低功耗设计[J]. 重庆三峡学院学报,2005,21(3):40-41.
- [9] 沈建华,杨艳琴,翟晓曙. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机实践与系统设计[M]. 北京:清华大学出版社,2005:170.
- [10] 胡大可. MSP430 系列单片机 C 语言程序设计与开发[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003:65.

(上接第 67 页)

参考文献

- [1] 巫付专,吴必瑞,蒋群. 基于 MSP430 的无功补偿系统设计与实现[J]. 自动化仪表,2009,30(2):33-35,38.
- [2] 王大鹏,张海. C8051F040 的两线制低功耗仪表[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2007(10):47-50.
- [3] 王翥,佟晓筠,王树民. 二线无源 LED 现场显示单元设计[J]. 电子测量技术,2006,29(1):36-37.
- [4] 张凯临,宋小全,刘金涛. 基于微控制器的二线制智能变送器的设计[J]. 计算机测量与控制,2007,15(4):488-490.