

【文章编号】 1004-1540(2008)02-0142-04

# 基于 MSP430 的低功耗热能表的研制

赵伟国, 李文军, 黄震威

(中国计量学院 计量测试工程学院, 浙江 杭州 310018)

**【摘要】** 设计了一种基于 MSP430F413 单片机的低功耗热能表. 介绍了流量与温度的检测电路及低功耗电路的设计. 系统软件设计中采用缩短 CPU 的运行时间, 避免浮点运算, 合理切换 MSP430 的工作模式以及利用 I/O 口控制外围模块供电等方法, 降低了仪表的功耗. 实验表明, 设计的热能表在较低的功耗下精度优于 2%.

**【关键词】** 低功耗; 热能表; 检测电路; 低功耗电路

**【中图分类号】** TP216

**【文献标识码】** A

## The design of low-power consumption heat meters based on MSP430

ZHAO Wei-guo, LI Wen-jun, HUANG Zhen-wei

(College of Metrology and Measurement Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** A low-power consumption heat meter based on the MSP430F413 microprocessor was designed. The measurement circuit of flow, the temperature and the circuit of low-power consumption were introduced. In order to reduce power consumption, the running time of CPU was minimized; the floating-point operation was avoided; the operating mode of MSP430 was switched reasonably; and the power supply for modules controlled by IO port was designed specially. The experimental results show that the measurement accuracy is above 2% under low-power consumption.

**Key words:** low-power consumption; MSP430F413; flow; temperature

我国城市居民采暖一般按住宅面积来计量收费, 导致了用户节约能源的意识较差, 从而造成了大量能源浪费. 当前, 我国市场上也出现一些热能表<sup>[1,2]</sup>, 采用了低功耗 MSP430 单片机作为主控制器降低了系统的功耗, 但是成本较高, 不利于产品市场化<sup>[3,4]</sup>. 因此, 研究低功耗高性价比的智能型热能表具有实用意义.

## 1 热能表的原理与组成

热能表是用来测量供热系统供给环境热量多少的仪表. 其测量原理为, 当热水流经仪表时, 通过流量传感器测量的流量和温度传感器测量的进、出水温度, 以及水流时间, 计算并显示出供热系统释放的热量. 其数学模型如下:

**【收稿日期】** 2008-03-13

**【作者简介】** 赵伟国(1973-), 男, 陕西西安人, 讲师. 主要研究方向为自动检测技术和智能仪表.

$$Q = \int \rho \cdot q_v \cdot K \cdot dt \quad (1)$$

式中:  $Q$ —释放热量;  $q_v$ —水的体积流量;  $\rho$ —水的密度;  $K$ —进、出水温度的焓值差;  $t$ —水流时间。

热能表主要包括流量传感器及供水、回水测温传感器和积算仪。在进水、回水管道分别装有  $Pt_{1000}$  的热电阻, 用来测量供水和回水温度。流量传感器安装在供水管处, 用来测量热水的体积流量。积算仪将采集的温度和流量信号进行处理, 将计算的热量显示在 LCD 上。系统结构见图 1。

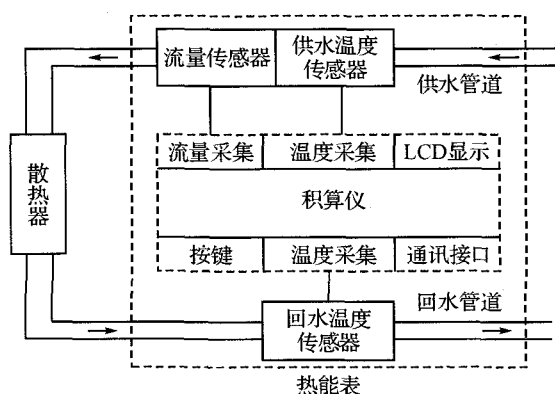


图 1 热能表结构图

Figure 1 The structure of heat meter

## 2 热能表参数的测量

### 2.1 流量信号的测量

流量信号的检测采用叶轮磁铁和零功耗磁敏传感器组成涡轮流量传感器实现。当一定量的流体通过管道时, 磁铁发生转动并在其周围产生交变的磁场, 磁敏传感器中在交变外磁场的激励下, 磁化方向瞬间发生翻转, 由此感生出电脉冲信号, 从而将流量信号转换成电信号。在某一流量范围和一定粘度范围内, 涡轮流量传感器输出的信号脉冲频率  $f$  与通过涡轮流量计的体积流量  $q_v$  成正比。即

$$f = kq_v \quad (2)$$

式中,  $k$  是涡轮流量传感器的仪表系数。

由于涡轮流量计在小流量时仪表系数的非线性而导致流量计整体精度的降低。在本设计中, 采用软件线性化对仪表系数进行修正, 可以有效地提高流量检测的精度, 见图 2<sup>[5]</sup>。将  $q_1, q_2, q_3$  流量点的仪表系数存储在单片机的 FLASH 中, 使用线性插值来获取当前流量的仪表系数, 然后代入

式(2)中, 得到体积流量  $q_v$ 。

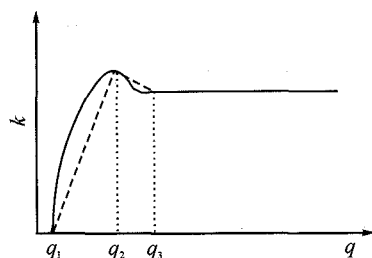


图 2 仪表系数线性化图

Figure 2 Linearization of the meter coefficient

### 2.2 温度信号的测量

温度的测量采用  $Pt_{1000}$  铂热电阻传感器, 电路见图 3。该电路使用恒流源为  $Pt_{1000}$  供电, 将温度信号转为电压信号<sup>[6]</sup>, 然后通过 AD7705 将电压信号转为数字量。单片机通过 IO 口读取采样结果, 计算得到进水、出水铂电阻的阻值, 然后按照铂电阻在  $0 \sim 850 \text{ } ^\circ\text{C}$  随温度变化的关系计算出温度<sup>[7]</sup>。具体数学模型如下:

$$R_t = R_0(1 + at + bt^2) \quad (3)$$

式中:

$$a = 3.96847 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$$

$$b = -5.847 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

AD7705 的时钟由 MSP430 单片机的时钟输出脚提供, 当 AD7705 在睡眠模式时, 单片机停止对其时钟的输出, 使 AD7705 的消耗电流降至  $10 \mu\text{A}$  左右。

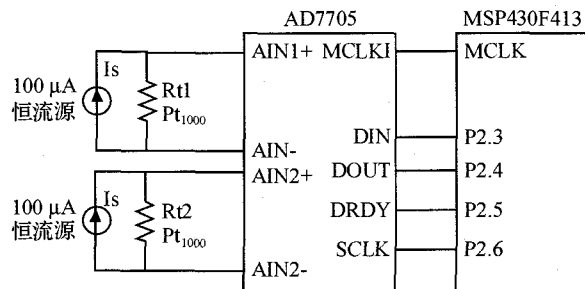


图 3 温度测量电路

Figure 3 The circuit of the temperature measurement

## 3 智能积算仪的设计与研究

智能积算仪主要对来自流量传感器、温度传感器的信号进行处理、计算后, 获取累积热量、累积流量、进水温度、出水温度等重要参数, 并显示

在 LCD 显示器上。

### 3.1 电路设计

图 4 所示为智能积算仪的电路结构图。其核心采用 TI 公司的低功耗 16 位单片机 MSP430F413。该单片机具有 5 种 (lpm0-lpm4) 低功耗模式, 供电电压在 1.8~3.6 V 之间变化, 其自带 16K 的 FLASH 区用于应用程序的存放和重要数据的掉电保护, 具有 LCD、看门狗、定时器等外围设备接口。因而不需过多的外部电路就可以满足积算仪的要求<sup>[8]</sup>。流量信号通过整形、光电隔离后, 与单片机的可中断的 IO 口 P1.2 相连, 使 CPU 有更多的时间处于低功耗模式。进、出水温度信号通过 AD 转换, 与单片机的 IO 口相连。由于温度采样时系统功耗大, 而实际温度采样时间间隔较长 (20 s 左右), 因此在温度测量电路通过控制 T1 三极管的导通和截止, 实现对温度测量电路间歇供电, 从而大大降低功耗<sup>[9-11]</sup>。

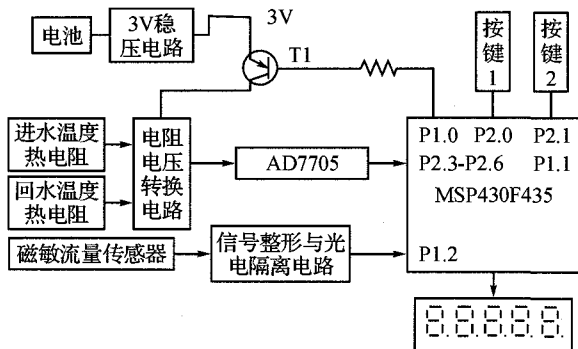


图 4 智能积算仪的电路图

Figure 4 The circuit of intelligent Integrating meter

人机界面采用 LCD 液晶段码显示器, 与 MSP430 单片机的液晶接口连接, 减少了外围器件及功耗, 提高了系统的稳定性。两个按键分别实现显示内容的切换和系统参数的设置, 与单片机可中断的 IO 口连接, 不仅能够实时地响应按键, 同时可以使 CPU 更多时间工作在低功耗模式。

### 3.2 程序设计

软件的设计以测量的精确性和低功耗为主要目标。软件主要包括温度采集模块, 流量累积模块, 热量累积模块, 显示和键盘处理模块。

温度采样模块首先判断是否有热水流通, 如果有热水通过, 系统就开通温度采样电路供电的三极管, 见图 4, 然后单片机采样进水和出水温度。这样可以使系统在没有流量时, 无需采集温

度, 从而可以大大降低系统的功耗。由于 AD7705 工作时电流较大, 在温度采集结束后, 通过软件控制其进入休息模式并关掉对 AD7705 的时钟输出。

流量累积模块是整个系统的核心, 关系到整个仪表的精度。该软件模块由两部分组成。第一部分是在中断处理程序中对流量对应的脉冲数的累积。第二部分是在主程序中对流体体积的累计。这样保证了系统工作在低时钟频率 (32 kHz) 情况下, 也能够实现对大流量信号的精确计量。热量累积模块完成了热量累积。热量的累计不是采用检测到一个脉冲就累计热量一次, 而是当体积流量累积到一定时, 根据当前进、出水温度, 算出相应的热量, 然后进行累积。这样就减少了多次浮点运算产生的误差及系统的工作时间, 提高了仪表的精度, 降低了系统的功耗。

键盘处理模块主要是仪表系数等系统参数的设置和温度、流量和热量等测量结果的显示。通常 LCD 显示在按键 4 s 后自动关闭, 使显示模块尽可能少工作, 以减小系统的功耗。

## 4 结 语

本设计以低价位的 MSP430F413 低功耗单片机为主芯片, 采用低功耗的硬件、软件设计思路, 设计了具有远传功能的智能型低功耗热能表。用标准电阻测试, 温差误差小于 0.05 °C。采用标准流量装置, 所测流量误差小于 1%。计算得出热量的误差小于 2%, 因此该热能表达到了行业标准 2 级精度<sup>[12]</sup>。该仪表睡眠状态时电流小于 15  $\mu$ A, A/D 转换时电流小于 200  $\mu$ A。采用 2 Ah 的电池, 至少可以工作 6 年以上, 见图 5。研究低功耗设计思路和方法, 对于其他仪器仪表及测控系统的低功耗设计有一定的参考价值。



图 5 热能表实物图

Figure 5 The object picture of heat meter

## 【参 考 文 献】

- [1] 胡豫杰,张志刚,常 茹. 浅议我国热计量方法的选用与发展方向[J]. 天津城市建设学院学报,2001,7(4):282-284.
- [2] 齐世清,曲秀云,林 平. 低功耗 IC 卡热能表的研制[J]. 仪器仪表学报,2003,24(4):169-172.
- [3] 金海龙,潘 勇. 新型智能热量表的开发研究[J]. 传感技术学报,2005,18(2):350-352.
- [4] 王长军,朱善安. 温度自校正型低功耗热能表[J]. 自动化仪表,2004,25(2):27-29.
- [5] 赵伟国,梁国伟,李文军. 低功耗远传热能表的研究[J]. 电测与仪表,2005,42(480):31-34.
- [6] 梁国伟,王 芳,李长武,等. 基于热传递的铂膜气体流量计实验研究[J]. 中国计量学院学报,2006,17(1):36-39.
- [7] 梁一灵,梁国伟,王雨辰. 组合热膜探头在气体流速测量中的应用[J]. 中国计量学院学报,2007,18(3):191-194.
- [8] 魏小龙. MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002:134-169.
- [9] 袁汶雯,高 峰,陈 隆. 水表集抄系统的低功耗设计[J]. 电子技术应用,2002,28(10):38-41.
- [10] 袁志勇,邹久朋. 过程装备中数据采集系统的低功耗设计[J]. 工业仪表与自动化装置,2003(1):34-36.
- [11] 黄竹霞. 智能系统中的低功耗设计技术[J]. 汽轮机技术,2002,44(5):269-270.
- [12] 李国祥,吕士健,王树铎,等. 中华人民共和国城镇建设行业标准——热能表[S]. 北京:中国标准出版社,2000.
- (上接第 141 页)
- [3] 陆婉珍. 现代近红外光谱分析技术[M]. 2 版. 北京:中国石化出版社,2007:51-98.
- [4] 陈华才,陈星旦. 近红外光谱在药物领域的应用与研究进展[J]. 中国计量学院学报,2003,14(4):0261-0267.
- [5] 陈华才,吕 进,俸春红,等. 近红外光谱法测定茶多酚中总儿茶素含量[J]. 中国计量学院学报,2005,16(1):17-20.
- [6] 刘辉军,吕 进,林 敏,等. 基于 RBF 网络和 NIRS 的绿茶水分含量分析模型[J]. 中国计量学院学报,2005,16(3):188-190.
- [7] 林 敏,毛谦敏,吕 进,等. 最优小波包变换的化学模式特征选择方法[J]. 中国计量学院学报,2005,16(3):182-187.
- [8] 林 敏,吕 进,徐立恒,等. 茶叶近红外光谱数据的离散余弦变换压缩方法[J]. 中国计量学院学报,2003,14(4):0268-0270.
- [9] CHEN J, WANG X Z. A new approach to near-infrared spectral data analysis using independent component analysis[J]. J Chem Inf Comput Sci, 2001,41:992-1001.
- [10] SANGJOOH H, GILWON Y. Identification of pure component spectra by independent component analysis in glucose prediction based on mid-infrared spectroscopy[J]. Applied Optics, 2006,45(32):8374-8380.
- [11] 毕 贤,李通化,吴 亮. 独立组分分析在近红外光谱分析中的应用[J]. 高等学校化学学报,2004,25(6):1023-1027.
- [12] SHAO X G, WANG W, HOU Z Y, et al. A new regression method based on independent component analysis[J]. Talanta, 2006,69:676-680.
- [13] ANDRZEJ C, SHUN-ICHI A. Adaptive blind signal and image processing[M]. New York: John Wiley & Sons, 2002:1-156.
- [14] 杨福生,红 波. 独立分量分析的原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2006:1-25.
- [15] 林 敏,吕 进. 基于神经网络与近红外光谱的玉米成分检测方法[J]. 红外技术,2004,26(3):78-81.