

# 基于 MSP430 单片机的热量表设计

黑龙江工程学院电子工程系 齐长永 赵宏宇

**摘要** 采用 MSP430 系列单片机为核心的用于居民住宅的按实际热能消耗计量收费的热量表的设计。该热量表实现了超低功耗设计,并配有 M-Bus 总线接口,适用于远程抄表收费系统。对硬件构成、系统工作原理和保证测量准确度算法等问题进行了讨论。

**关键词** 热量表 单片机 低功耗

**中图分类号:** TP368.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009—3230(2004)01—0045—03

## 0 前言

我国北方城市的福利供暖制度正在进行重大改革。除了制定符合新形势的政策和法规之外,还正在推行一些相应的技术措施。目前,一些城市进行了分户供暖的管线改造,有些供热部门正在制定按用户的实际热量消耗计量收费的办法。

按户对热量消耗计量收费可使热费的收取更趋合理,但必须要使用专门的仪器对热量进行准确的计量。现给出了一种基于 MSP430 单片机的、针对热水供暖系统的热量表设计方案。这种热量表采用超低功耗设计,并可通过 M-Bus 接口实现与远程招标计费系统的通信。

## 1 热量表的组成原理

普通热量表的原理框图如图 1 所示,它主要由积算仪、流量计和温度传感器三部分组成。

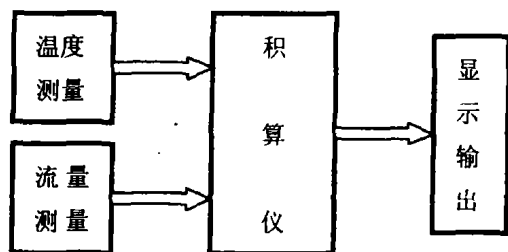


图 1 热量表原理框图

流量传感器用于计量流过采暖设备的热水的体积。两只温度传感器用于测量进水温度和回水温度。积算仪是热量表的核心,它能够根据流量计提供的热水流量和进水、回水温度差等数据计算出消耗的热量。其计算公式如下:

$$Q = q_m(h_f - h_r) = q_v(c_{pf}\rho_f\theta_f - c_{pr}\rho_r\theta_r) \quad (1)$$

式中:  $Q$ —消耗的热量,单位为 kwh 或 kJ;

$(h_f - h_r)$ —入口与出口的焓差;

$c_{pf}, c_{pr}$ —入口与出口的定压比热容;

$\rho_f, \rho_r$ —入口与出口温度下的载热流体密度;

$\theta_f, \theta_r$ —入口与出口的温度;

$q_v$ —瞬时体积流量。

根据(1)式,测出流量和温度差,进而算出所消耗的热量。

## 2 实现原理及硬件电路构成

TI公司的 MSP430 系列单片机(MCU)集成了业界领先的超低功率闪存、高性能模拟电路和一个 16 位精简指令集计算机(RISC)CPU,指令周期可以达 125ns,且大部分指令可在一个指令周期内完成。工作电流极小,CPU 处于工作模式 LMP4 时,电流可低至 0.1 $\mu$ A。另外该芯片属低电压器件,工作电压为 1.8~3.6V。此外,它还将一些常用的外围模块如 A/D、看门狗(WDT)、I/O 口、定时器、LCD 驱动电路等整合到片内,并具有超低功耗的特点,因而特别适合电池供电的微型系统的设计。

### 2.1 硬件组成

根据上面的分析,我们设计了一种基于 MSP430 系列单片机的热量表,其组成框图如图 2 所示。该系统主要由 MCU、流量计、温差测量、LCD 显示器、电源控制电路等部分组成。其中 MCU 采用 TI 公司的微处理器 MSP430 系列,它是

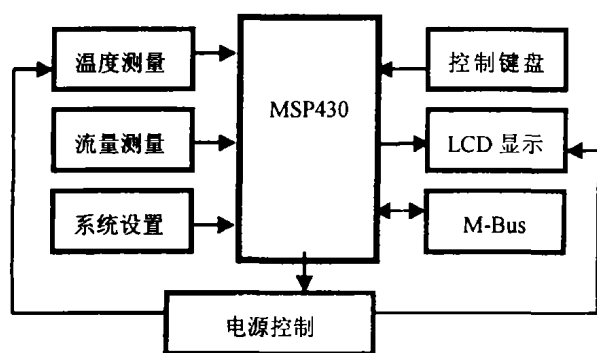


图2 热量表硬件框图

系统的核心,用于完成所有的控制和计算功能。温度测量分别用两只特性相同的薄膜铂电阻Pt1000完成。两只热电阻分别位于供热管路的进水口和出水口,将两个温度转换为电压后分别送至MSP430片内集成的A/D转换器,该A/D的转换精度达12位,完全满足要求。流量计用于测量流过取暖设备的热水体积,每流过一定体积的热水,流量计便输出一个脉冲。将这个脉冲作为中断输入信号,CPU用该信号累计流过采暖设备的热水的体积,以进行热量计算。

在需要时,可用键盘可实现各种操作,如:唤醒LCD显示器,查看水温、消耗的热量和系统信息等。电源控制电路主要是在不需要显示和温度测量时切断相应部分电路的电源,以降低系统功耗。系统设置的作用是在需要时(如更换电池)对设备系统的年、月、日、小时和分等时间信息进行加载或调整。另外,当系统出现故障时,它也将向CPU申请中断,启动CPU将当时的时间、热量值和故障信息写入内存以备查询;同时经M-Bus告知远程系统。

## 2.2 系统工作过程

该系统的工作流程图如图3所示。

每次重新启动或修改系统设置之后,CPU自动进入休眠状态,并等待处理各种中断。在CPU进入休眠状态前,它将通知电源控制电路关闭温度传感器和显示器的电源以减小系统功耗。当供热管路流过一定体积的热水后,流量计将输出一个脉冲,向CPU发出中断申请,告知已经有一定体积的热水流过,需要计算一次热耗。CPU则通知温度传感器进行工作;完成本次的热量计算之后,把计算得到的值与存储器中的热量值进行累加,并用累加结果重写存储器中的热量数。随即系统立即进入新一轮的休眠状态并等待下一次中断。

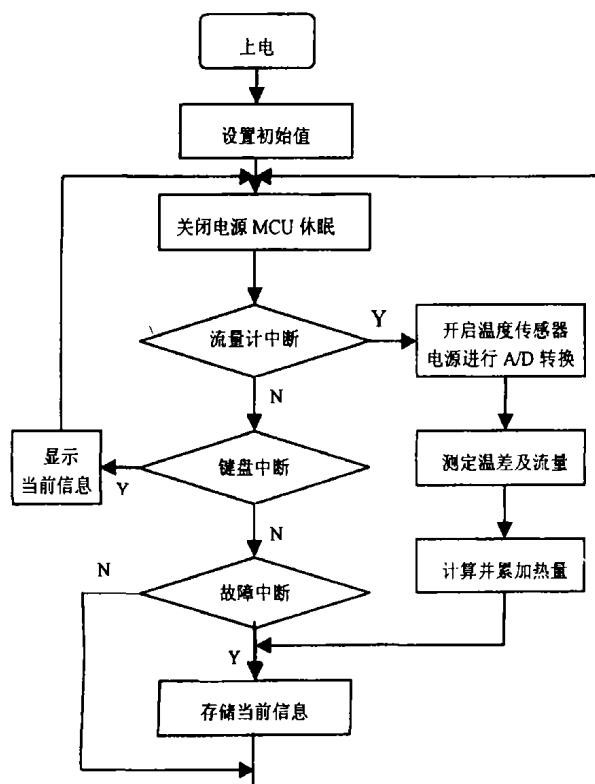


图3 系统工作流程图

键盘中断用来启动和处理各种显示以及对设置进行调整,而故障中断则表示系统某个部分出现故障,此时CPU应将故障类型和当时的有关信息写入片内存储器,同时启动M-Bus接口,将此时的所有信息(包括累计热量)传至远程系统,然后强制CPU进入深度休眠的LMP4状态,使能耗降至最低,以保护系统的数据和状态,不再响应系统内部的中断请求,而只能被来自外部的中断(键盘或M-Bus)所唤醒。

## 3 设计要点

### 3.1 热量算法的设计

从热量的消耗计算公式(1)可以看出,只要测得采暖设备进水和回水的温差以及流过采暖设备的热水体积,就可以计算出消耗的热量。

目前,国内一些设计将 $c_{pf}$ ,  $c_{pr}$ ,  $\rho_f$ ,  $\rho_r$  简化为一个常数,使设计简化。但这样做的结果是精度的损失较大,以至难以满足国家建设部门的相关标准,与发达国家的技术标准更相距其远。比热容 $c$ 和载热流体密度 $\rho$ 都是与温度和压力相关的函数。因而,在本设计的算法中将这两个参量作为温度的变量考虑,采用查表法计算。通过测量某一时刻流入与流出用户的热热水体积和出口入口的温度的差,求得用户此时获得的热量。该算法比较简

单,无须对温度和密度进行复杂的数学校正,只要根据实测温度  $\theta_f, \theta_r$  查表求得  $c_{pf}, c_{pr}, \rho_f, \rho_r$  等四个常数,代入公式(1)即可。显然,温度测量精度越高,数据表所占的存储空间就越大,实验说明,若实测温度最小单位为  $0.1^\circ\text{C}$ ,采用这种查表算法可以满足精度的要求。而且,当温度变化范围为  $10 \sim 110^\circ\text{C}$ ,则所建数据表应以  $0.1^\circ\text{C}$  为温度间隔,存储大约 1000 组数据, MSP430 片内的存储空间就足够使用。并且,对于实测温度,采用线性插值法,通过与其距离最近的点计算相应的焓值,从而得出该时刻消耗的热量,从而保证测量精度。

### 3.2 传感器的选用

#### (1) 温度传感器

本设计选用符合 IEC - 751 标准的薄膜铂电阻。这种热电阻在  $0^\circ\text{C}$  时的电阻值为 1000 欧,而且在  $0^\circ\text{C} - 150^\circ\text{C}$  范围内,其阻值与温度之间呈现良好的线性关系,其电阻值的变化率为  $3.850\Omega/^\circ\text{C}$ 。这种特性,使得测温的算法大大简化,测温精度得到了保证。实际使用中,为了保证所测温差的准确,需根据零位阻值及温度系数特性配对使用 Pt1000。

#### (2) 流量传感器

流量传感器选用涡轮式流量计。涡轮式流量计精度高,一般可达到  $0.2\% \sim 0.5\%$ ,而且线性

(上接 31 页)为宜,进行 3~5 遍,直至排出的水清澈,透明为止,因为时间过长,次数过多会导致反冲的效果不明显,同时使系统中的热量损失过多。

酸洗分为十个步骤:1、封闭过程:在保持一、二次循环回路畅通的情况下,关闭管路的所有阀门。2、脱离过程:即整个换热器的二次循环脱离热交换系统。也就是关闭换热器冷进,冷出阀门(3)和(12)。3、排空过程:打开泄放管阀门(11)和二次酸洗入口门(13),排空换热器中的蓄水后,关闭阀门(11)。4、打药过程:启动酸洗泵(10),同时打开二次酸洗出口阀门(4)和酸洗回水阀门(8);将酸洗槽(9)中的酸液注入换热器中,直至酸洗回水管中有药液流出。5、封闭过程:依次关闭二次酸洗入口阀门(13)酸洗泵(10)、二次酸洗出口阀门(4)和酸洗回水阀门(8),封闭二次酸洗管路。6、浸泡过程:根据所选用的药液酸性来确定静态浸泡时间,对换热器的二次换热面静态浸泡。7、循环过程:依次开启二次酸洗出口阀门(4)、酸洗

良好。当载热流体穿过涡轮时,磁电转换装置把涡轮转数转换成电脉冲。累计脉冲数量和累积流量成正比。测量时,将来自流量计的脉冲信号经脉冲整形电路后,成为具有一定幅度的矩形波信号,然后将其作为中断信号送入微控制器,累计流量并计算热量消耗。

## 4 结语

采用 MSP430 单片机设计的供暖热量表具有超低功耗的特点。当不进行温度采集时,CPU 处于低功耗模式 LMP3。如果  $V_{cc} = 3\text{V}$ ,时钟为  $32768\text{Hz}$ ,该模式下的工作电流只有  $2\mu\text{A}$ 。而且外围元件少,电路结构简洁,有利于紧缩设计。计算过程的查表补偿算法保证了计量精度。M - Bus 接口可实现与远程抄表收费系统的通信。

#### 参考文献

- 1 魏小龙. MSP430 系列单片机接口电路及系统设计实例. 北京航空航天大学出版社, 2002. 11.
- 2 胡大可. MSP430 系列 Flash 型超低功耗 16 位单片机. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
- 3 李小波, 郭振河等. 基于 PIC 单片机的热能表研制. 国外电子元件, 2003. 10.
- 4 甄兰兰, 沈丛明. 热量表的热量计量原理. 仪器仪表学报, 2003. 8.

回水阀门(8), 酸洗泵(10)及二次酸洗入口阀门(13), 使整个二次酸洗系统动态循环。8、排放过程: 在酸液循环一定时间后打开泄放管阀门(11), 排净残液, 关闭酸洗系统。9、中和过程: 在耐酸槽(9)中加入配制好的碱液, 通常为  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  或  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液, 重复步骤 3 至 8。10、恢复过程: 重新缓慢打开换热器冷出阀门(12)和换热器冷进阀门(3), 使二次循环正常运行。

对一次循环的反冲洗和酸洗过程与二次循环的清洗过程相仿。

## 3 结论

实践证明: 采用反冲洗与酸洗相结合的方法, 会收到较好效果。以佳木斯热力公司铁西站的 13 台换热器为例, 平均运行 3 个月酸洗一次, 平均每周反冲洗一次, 反冲洗后平均压降降低  $0.02 \sim 0.03\text{MPa}$ , 对换热器安全经济运行十分有利。