

# 一种基于 MSP430F413 的智能 IC 卡热量表系统

桂林电子工业学院(541004) 刘永洪 蒋华  
桂林同步电子科技有限公司(541004) 张帆

**摘要** 文章介绍了一种以 MSP430F413 单片机为核心的智能 IC 卡热量表系统的设计。该热量表系统通过实时测量热水的瞬时流量及温度,计算出用户在一段时间内的实际耗用热量,在购买的热量用完后控制关阀停止供应热水。整个系统用电池供电,计量准确度达到国家三级表的标准。

**关键词** MSP430F413 单片机 热量表 IC 卡

## 1 概述

目前,区域性的集中热水供暖已在许多地区日益普及,但是对暖气用户的热能用量,大部分地区仍按照供暖的建筑面积计费,而不是按实际耗用热量计费。

智能 IC 卡热量表系统是一种预付费热量计量系统,它集流量传感器、温度传感器、单片机和 IC 卡于一体,测量热水流经换热器释放的热量。系统采集流量传感器产生的流量脉冲,累计一定流量后根据实时测量的热水温度计算出用户在一段时间内的实际耗用热量,实现用户实际耗用热量的自动计量计费。在用户 IC 卡中购买的热量用完后控制电动阀门关阀停止供应热水。

液晶显示屏显示当前的累积耗用热量,按面板上的按键,可以查看累积热量、累积流量、进水温度、回水温度、瞬时流量、累积工作时间、购量、余量等参数,并进行相应设置以及温度校准。

## 2 系统组成

美国德州仪器的 MSP430 系列十六位单片机适合应用在各种要求极低功率消耗的场所,具有许多独到的功能。

系统 CPU 选用 MSP430 系列的 MSP430F413 单片机,它集成 96 段 LCD 驱动器,直接驱动液晶;8K 闪存,256B RAM;串行在线编程;五种省电模式;看门狗定时器确保不死机;P1 和 P2 口的所有 8 个位全部可以做外中断处理,而且中断边沿可选。MSP430F413 本身不带 A/D 转换器,但综合使用它提供的 Timer-A 和 Comparator-A 的功能,可以实现对阻性传感器的精密测量。

系统组成如图 1 所示。阀门驱动电路控制电动阀门的开关,及检测阀门是否到位;流量测量部分检测流量脉冲并整形;四个按键用以查看及输入参数;进水和回水温度用 PT1000 热敏电阻测量;MSP430F413 单片机没有 IIC 总线,所以用两个 I/

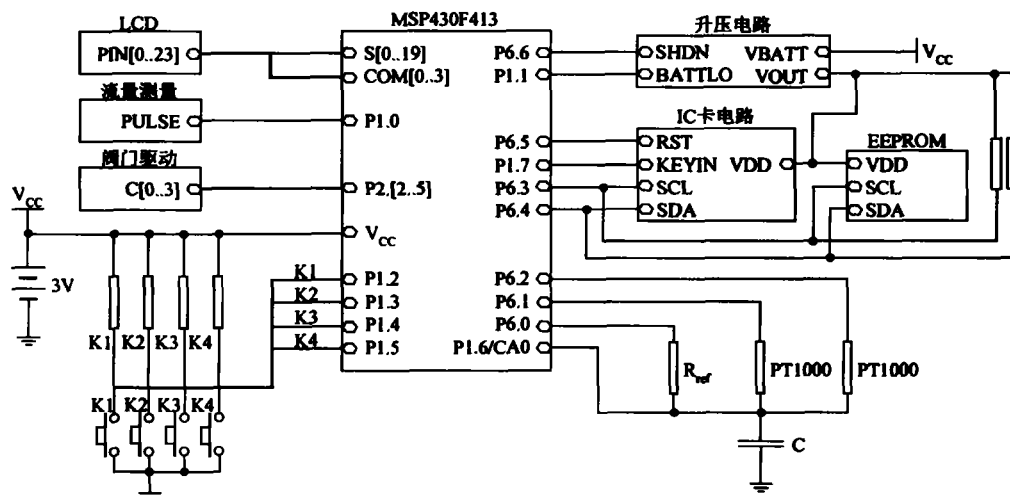


图 1 系统组成

O口(P6.3和P6.4)模拟IIC总线来读写EEPROM和IC卡中的数据。用一节3V、2Ah高性能电池为整个系统供电(阀门有专门的电池驱动)。MSP430F413单片机的工作电压可高达1.8V,而EEPROM和IC卡的工作电压高于2.7V,为了充分利用电池的供电能力,通过一个升压集成电路将电池电压升到3.3V为EEPROM和IC卡电路供电。升压电路平时处于关闭状态,功耗几乎为0,而且EEPROM和IC卡也不工作,进一步减小功耗。需要操作EEPROM或IC卡时,由CPU控制升压电路工作(P6.6)。升压电路在电池电压低于2.0V时产生一个报警信号,作为系统提示更换电池的依据。

### 3 热量测量原理

当热水流经换热器时,热水通过换热器与周围环境的热交换量可用下列公式计算:

$$Q = \int_{v_1}^{v_2} \rho \Delta h dv$$

式中 $Q$ 为释放或吸收的热量,J或 $W \cdot h$ ;  $\rho$ 为流经换热器的热水的密度, $kg/m^3$ ;  $\Delta h$ 为在热交换系统的入口和出口温度下,水的焓值差, $J/kg$ ;  $v$ 为体积流量, $m^3$ 。

$\rho$ 和 $\Delta h$ 与热水的温度有关。实际测量时,由于两次测量之间的时间间隔很短,热水温度变化很小,可以近似认为进水温度和回水温度保持不变,因此积分计算可由累加和求得:

$$Q_n = Q_{n-1} + \rho_n \Delta h_n V_n$$

式中 $Q_n$ 为 $n$ 次测量所得的累积耗用热量, $Q_{n-1}$ 为前 $n-1$ 次测量所得的累积耗用热量, $\rho_n$ 、 $\Delta h_n$ 、 $V_n$ 分别为第 $n$ 次测量时的热水的密度(进水)、焓值差、体积流量。

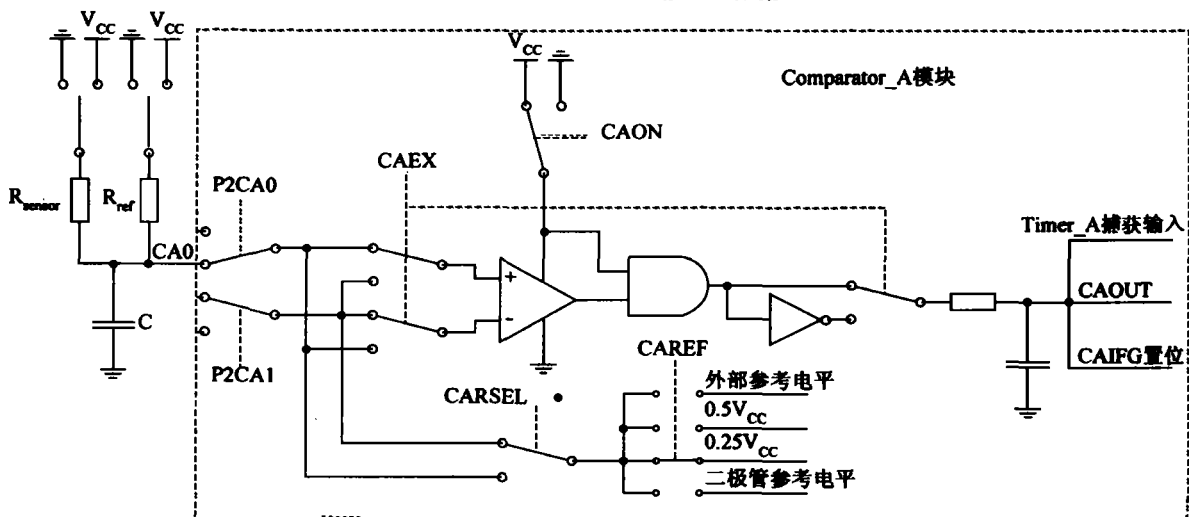


图2 温度测量原理

不同温度下水的密度、焓值可以查标准表获得,所以只要测量出一定时间内水的体积流量和相应的进水和回水温度,就能计算出对应的耗用热量以及累积耗用热量。

系统选用旋翼式流量传感器来测量流量。旋翼式流量传感器置于换热器进水口处,它的磁感体为干簧管,带有磁钢的叶轮在水流冲击下转动,每转动一圈干簧管合、断一次产生一个流量脉冲,流量脉冲经整形后进入CPU。叶轮每转动一圈对应的体积流量是已知的,系统采集这些流量脉冲就可以知道流量。累积一定流量后与实时测量的热水温度计算出用户在一段时间内的实际耗用热量。

### 4 温度测量原理

系统用RC充放电原理测量电阻(温度)以降低成本和简化设计。综合使用MSP430F413提供的Timer A和Comparator A的功能,可以实现对阻性传感器的精密测量。Timer A由一个十六位定时器和多路比较/捕获通道组成,每一个比较/捕获通道都可以以十六位定时器的定时功能为核心进行单独的控制;Comparator A是一个实现模拟电压比较的功能模块。将Comparator A的比较输出CAOUT内部选择作为Timer A的输入,Timer A定时器设为以连续方式工作,电容充放电时间可以用定时器捕获功能非常精确地测量,而不必用软件去查询CAOUT的改变。具体温度测量原理如图2所示。

通常用放电过程来测量。将电容C充电至电源电压 $V_{CC}$ ,分别通过参考电阻 $R_{ref}$ 和待测电阻 $R_{sensor}$ 放电至某一阈值电压,并测量各自的放电时间 $T_{ref}$ 和 $T_{sensor}$ 。有计算公式:

$$R_{\text{sensor}} = R_{\text{ref}} T_{\text{sensor}} / T_{\text{ref}}$$

电压  $V_{\text{CC}}$  和电容  $C$  的取值是不重要的, 这些因素在计算中已消除了, 只是要求  $V_{\text{CC}}$  和  $C$  的值在测量过程中保持恒定。通过计算或查表的方法, 将电阻  $R_{\text{sensor}}$  的阻值换成相应的温度值, 与其他的非线性补偿技术相比, 该方法就显得非常简单。

但是测量需要通过参考电阻  $R_{\text{ref}}$  和待测电阻  $R_{\text{sensor}}$  对电容  $C$  各充放电一次才能得到一个测量值, 而系统最主要的功耗就是在温度测量上, 因此在此应用中对测量进行了改进。

图 2 中, Comparator-A 模块比较器的参考电平可以内部选择为外部参考电平、 $0.25V_{\text{CC}}$ 、 $0.5V_{\text{CC}}$  或二极管参考电平, 因此可以改变参考电平, 用  $V_{\text{CC}}$  通过参考电阻  $R_{\text{ref}}$  对电容  $C$  充电到  $0.5V_{\text{CC}}$ , 再通过待测电阻  $R_{\text{sensor}}$  对电容  $C$  放电到  $0.25V_{\text{CC}}$ , 每充放电一次就能得到一个测量值, 如图 3 所示。

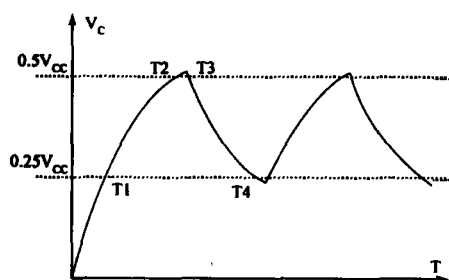


图 3 充放电曲线

根据电路学原理, 用电压  $V_{\text{CC}}$  通过参考电阻  $R_{\text{ref}}$  对电容  $C$  充电时, 从  $0.25V_{\text{CC}}$  充电到  $0.5V_{\text{CC}}$  的时间间隔为:

$$\frac{(T_2 - T_1)}{f} = RC \ln \frac{V_{\text{CC}} - 0.25V_{\text{CC}}}{V_{\text{CC}} - 0.5V_{\text{CC}}}$$

即

$$T_2 - T_1 = f R_{\text{ref}} C \ln 1.5 \quad (1)$$

时间间隔与充电的起始电压无关, 只需起始电压小于  $0.25V_{\text{CC}}$ ;

将电容  $C$  通过待测电阻  $R_{\text{sensor}}$  对地放电时, 从电压  $0.5V_{\text{CC}}$  放电到  $0.25V_{\text{CC}}$  的时间间隔为:

$$T_4 - T_3 = f R_{\text{sensor}} C \ln 2 \quad (2)$$

时间间隔与放电的起始电压无关, 只需起始电压大于  $0.5V_{\text{CC}}$ 。

(1)、(2) 两式相比, 得到:

$$R_{\text{sensor}} = 0.585 R_{\text{ref}} (T_4 - T_3) / (T_2 - T_1)$$

式中  $f$  为系统的时钟频率,  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$  是电容  $C$  充放电时电压经过  $0.25V_{\text{CC}}$ 、 $0.5V_{\text{CC}}$  时 Timer-A 定时器的四个捕捉计数值。

用数字 I/O 端口与待测电阻  $R_{\text{sensor}}$  (PT1000) 和

参考电阻  $R_{\text{ref}}$  相连以控制对电容  $C$  的充放电。MSP430 系列单片机的每一个数字 I/O 端口都是双向口, 可以设置为输出或输入。端口设置为输出并且置位时, 相当于输出电源电压  $V_{\text{CC}}$  通过电阻对电容  $C$  充电, 复位时相当于接地, 使电容  $C$  通过电阻对地放电; 端口设置为输入时相当于该路电阻断开。通过控制数字 I/O 端口的状态, 可以控制对电容  $C$  的充放电以及进行相应的测量。

从放电公式 2 可以知道, 测量的分辨率由电容  $C$  和系统的时钟频率  $f$  决定,  $C$  和  $f$  越大则分辨率越高, 但测量的功耗也将增大, 同时测量的范围应不超出 Timer-A 的十六位定时器的计时范围。所以应该综合测量所需的分辨率、测量范围、系统功耗等因素来选择  $C$  和  $f$  的值。在  $C$  为  $2.2\mu\text{F}$ 、 $f$  为  $4\text{MHz}$  时, 测量分辨率约为  $0.04^\circ\text{C}$ 。

Comparator-A 比较器的输入偏压对各个芯片都会不同, 也会随温度、电源电压、输入电压而改变。为了改进测量精度, 需要补偿输入偏压的影响。Comparator-A 模块提供了灵活的测量配置功能(图 2), 第一次测量时配置成比较器正端接电容  $C$  正端, 比较器负端连接到参考电平; 第二次测量时配置成比较器负端接电容  $C$  正端, 比较器正端连接到参考电平。将两次测量值相加平均后作为一个测量结果, 可以有效地减小比较器输入偏压的影响, 提高测量精度。

## 5 IC 卡读写

IC 卡由于具有存储容量大、数据保密性好、抗干扰能力强、操作速度快等突出优点, 近年来得到广泛的应用。IC 卡是用户识别和用户购买热量值的标志, 本系统采用符合 ISO7816 国际标准的逻辑加密存储卡。IC 卡通过 IIC 总线读写数据, 具有认证、系统密码、用户读写密码多层保密措施, 以确保数据的安全。在 IC 卡插入卡座后, 产生一个 IC 卡插入信号, 插入信号产生中断唤醒 CPU, CPU 控制升压电路工作, 在检测到 IC 卡及认证、校验密码通过后将 IC 卡中的热量购买量读入, 和当前剩下的余量相加后存入 EEPROM, 并将 IC 卡中的数据清零。

## 6 系统软件设计

MSP430F413 单片机有五种级别省电模式(0~4)。在 CPU 活跃时, 功耗较大; CPU 进入省电模式后, 功耗极低。省电模式级别越高功耗越低, 所以应根据系统的具体情况使 CPU 进入尽可能高级别的省电模式。热量表系统的系统软件设计成事件驱动

中国传感器 <http://www.sensor.com.cn>

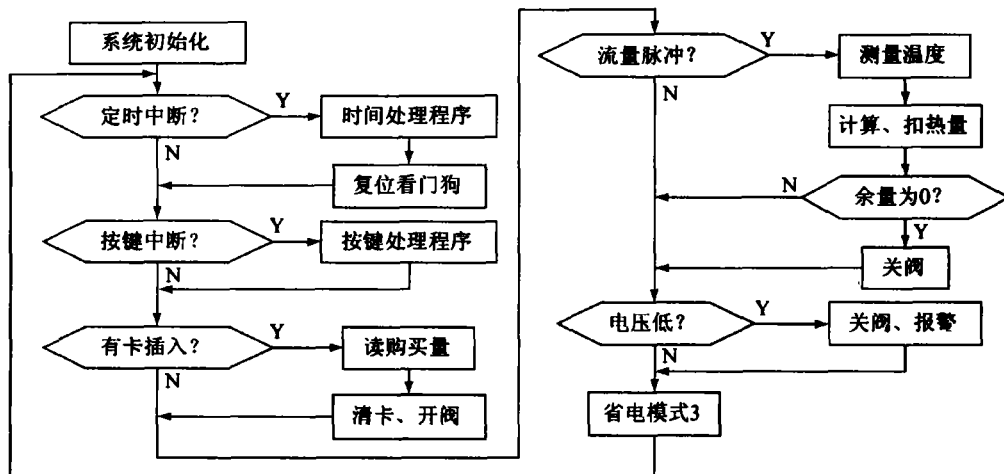


图4 系统主程序框图

方式,CPU工作在省电模式3,静态电流小于 $1\mu\text{A}$ 。在有按键按下、有卡插入、有流量脉冲产生、定时中断和电池电压低等事件发生时产生中断唤醒CPU,在中断服务程序中置相应的标志后使CPU退出省电模式,主程序根据所置的标志处理完产生的事件后,CPU又重进入省电模式休眠。在执行开阀门、关阀门指令后系统检测电动阀门是否到位,到位后断电。如果在限定的时间内阀门不到位,系统给出报警信息。

系统主程序框图如图4所示。

## 6 结束语

用电容充放电原理来测量电阻可以达到10位以上的A/D测量精度。系统软件采取线性校准技术消除温度测量时由参考电阻、PT1000等本身偏差

带来的一阶误差。该热量表系统在休眠状态下电流小于 $4\mu\text{A}$ ,一节3V、2Ah高性能电池可供系统正常工作5年以上。在测量范围内( $4\sim 96^\circ\text{C}$ ),温度测量误差为 $\pm 0.4^\circ\text{C}$ ,流量测量误差为 $\pm 2.0\%$ ,通过用热量整体测量装置对该热量表系统进行整体测试,其计量准确度达到国家三级表的标准,已在一些地区得到应用。

## 参 考 文 献

- 1 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
- 2 胡大可.MSP430系列超低功耗16位单片机.北京:北京航空航天大学出版社,2000
- 3 中华人民共和国城镇建设行业标准——热量表.中华人民共和国建设部,2001

## PTC推出全球首套“全方位”的产品设计和开发系统 Pro/ENGINEER Wildfire 野火版

PTC软件化司宣布推出全球首套用于产品开发领域的“全方位”一体化系统Pro/ENGINEER Wildfire野火版。该系统向客户提供了一套“全方位”的产品设计和开发系统,同时也是业界第一套把产品开发和企业的商业过程无缝连接起来的产品,它兼顾了组织内部和整个广义的价值链。

Pro/ENGINEER Wildfire野火版在业界熟悉的Pro/ENGINEER工作环境与PTC的Windchill协同解决方案系列间建立了无缝连通性。这个全面的一体化软件,可让产品开发人员提高产品质量、缩短产品上市时间、降低成本、改善过程中的信息交流途径,同时为新产品的开发和制造提供了创新方法。

Pro/ENGINEER Wildfire野火版中汇集了上百条用户提出的增强功能,且保证了新软件与以前版

本的兼容性。PTC为老客户提供了该产品的3种预发布评审版本,以便进一步对质量保证进行监控,它具备了以下优点:

(1) 易学易用,用户只要花少量的时间就能学会该软件并快速上手。

(2) 功能强大,在整个过程中的用户,有能力完全开发自己的产品。借助全面的建模功能、自始至终完善的全相关性及安全的数据交换能力。

(3) 互连互通,用户能更高效地与同事、顾客和供应商进行沟通。该系统提供了快捷、简单、安全的设计协作工具包和完全集成的Web技术,让用户轻松访问全球产品信息。该系统还具有最完全和完备的“关联协作”功能,该功能以Groove网络技术为基础,与Pro/ENGINEER进行了完全集成。