

# 基于 MSP430 的无磁热量表设计及实现

唐美芹,赵 辉,刘伟佳

(电子科技大学 自动化学院,成都 611731)

**摘要:**介绍了低功耗无磁热量表的硬件组成、软件设计和实验结果。系统选用低功耗单片机 MSP430FW42x 做主控芯片,降低了功耗。选用 MSP430FW42x 内部的旋转扫描模块(SCANIF)和 LC 传感器进行无磁流量测量,避免了由磁场引起的干扰。选用 MSP430FW42x 内部 16 位比较器配合铂热电阻 Pt1000 进行温度测量转换,替换了外部 AD 芯片,节约了成本。并通过 M-Bus 接口实现与远程计费系统通信。试验结果表明,仪表测量精度高,抗干扰能力强,功耗低,降低了使用成本。

**关键词:**无磁;热量表;流量测量;低功耗;单片机;LC 传感器

**中图分类号:**TH814 **文献标志码:**B

## Design and Implementation of Low Power Nonmagnetic Heat Meter Based on MCU MSP430

TANG Mei-qin,ZHAO Hui,LIU Wei-jia

(School of Automation Engineering,University of Electronic Science and Technology of China,Chengdu 611731,China)

**Abstract:**In this paper,the hardware composition and software design and test conclusion of low power nonmagnetic heat meter based on MCU MSP430FW42x are introduced. Selection of low power single-chip microcomputer MSP430FW42x as a master chip reduces system power consumption. The design of low power nonmagnetic heat meter, which is an application of LC flow sensor and low power MCU MSP430FW42x within the rotating scanning module SCANIF to measure the flow, avoiding the interference caused by magnetic field. And the system selects MCU MSP430FW42x within 16-bit Comparator module and platinum thermistor for measuring the temperature, which replaces the AD chips external and saving the cost. It communicates with the remote billing system through M-Bus interface. Test conclusion shows the heat meter have characteristics of high measurement precision,high anti-interference power,low consumed power,meanwhile the cost is greatly reduced.

**Key words:**nonmagnetic;heat meters;flux measurement;low power;MCU;LC sensor

我国很多城市的供暖制度正在进行巨大变化。近两年,开始进行分户供暖的管线改造,有些供热部门正在制定按一户一表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,可使收费更趋合理,但必须使用专门的仪器对热量进行准确的计量。这里给出用 MSP430FW42x 和 LC 传感器测量

流量,用铂热电阻 Pt1000 测量温度,并通过 M-Bus 接口实现与远程计费系统通信的无磁热量表的系统,具有结构简单、低功耗、无磁、成本低等优点。

### 1 无磁热量表原理

单片机 MSP430FW42x 内部的旋转扫描模块

收稿日期:2009-08-28;修订日期:2009-11-02

作者简介:唐美芹(1983-),女,硕士研究生,研究方向为流量计量技术;赵辉(1963-),男,教授,博士生导师,研究方向为流量计量技术、模式识别等;刘伟佳(1985-),男,硕士研究生,研究方向为流量计量技术。

(SCAN IF) 和 LC 传感器用于计量流过采暖设备的热水的体积。2 只温度传感器 PT1000 用于测量进水温度和回水温度。单片机 MSP430FW42x 是热量表的核心,它能够根据流量计提供的水流量和进水、回水温度差等数据计算出消耗的热量。其计算公式如下:

$$Q=q_m(h_f-h_r)=q_v(c_f\rho_f\theta_f-c_r\rho_r\theta_r)$$

式中:  $Q$  为消耗的热量,单位为  $\text{kW}\cdot\text{h}$  或  $\text{kJ}$ ;  $(h_f-h_r)$  为入口与出口的焓差;  $C_f, C_r$  为入口与出口的定压比热容;  $\rho_f, \rho_r$  为入口与出口温度下的载热流体密度;  $\theta_f, \theta_r$  为入口与出口的温度;  $q_v$  为瞬时体积流量。

根据上式,测出流量和温度差,进而算出所消耗的热量。

## 2 硬件系统

### 2.1 系统结构

低功耗无磁热量表主要分为流量测量模块、温度测量模块和单片机积算模块。

选 LC 传感器结合 MSP430FW42x 内部旋转扫描接口(SCAN IF)进行流量测量。MSP430FW42x 将超低功耗 MCU、旋转扫描接口(SCAN IF)和液晶显示 LCD 驱动模块结合为一体,延长了电池的寿命,同时还提高了仪表的精度与性能。传感器设计为多流束式结构,流量从多个方向冲击叶轮,对叶轮和轴的材质要求相对较低,其腔体较大,内置过滤网,极大地提高了抗污水的能力。

温度测量分别用 2 只特性相同的薄膜铂电阻 Pt1000 完成。2 只热电阻分别位于供热管路的进水口和出水口,将 2 个温度转换为电压后分别送至 MSP430FW42x 内部比较器进行模数转换。温度测量时选用导通式供电模式,需要计算热量时才测量。

采用应变片式传感器测量压力。采用 FM24CL64 作为外部存储器以确保数据保存的可靠性。通过键盘进行初始数据的设置和现场控制操作。通讯接口可在 IC 卡、射频卡、M-BUS 远传 3 种方式中任选 1 种,本文选 M-BUS 总线。其系统框图如图 1 所示。

### 2.2 流量测量模块

#### 2.2.1 流量测量模块原理

流量测量是把流量转换成转速来测量的。流体流动时带动叶轮转动,通过转轴带动转盘转动。这个转盘一半是由非金属材料盘组成,另一半是金属

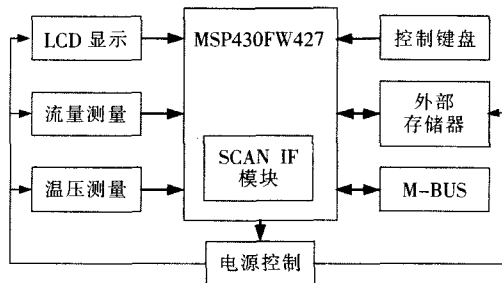


图 1 系统框图

Fig.1 System diagram

材料盘组成。转盘的转速是用 LC 传感器来测量的,在转盘的上面成  $90^\circ$  角放置两个电感线圈,再把它们同电路中的 2 个电容并联形成 2 个 LC 谐振电路,通过这 2 个谐振电路就可以测量转盘的转向和转速。其测量原理如图 2 所示。

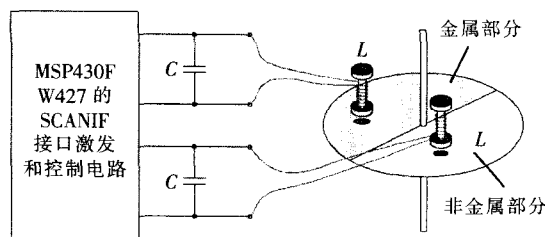


图 2 旋转检测原理图

Fig.2 Rotating scanning module schematic

MSP430FW42x 的 Scan IF 模块给传感器提供激励信号。电感  $L$  就会产生阻尼振荡,其阻尼系数取决于电感线圈和转盘的相对位置。对于金属部分,电感的阻尼系数较大,信号衰减得快;对于非金属部分,电感的阻尼系数较小,信号衰减得较慢。MCU 检测信号衰减,就可以判断电感的状态,从而测量出流速和旋转方向。

#### 2.2.2 MSP430FW427 的流量扫描模块(SCAN IF)设计

SCAN IF 模块<sup>[2]</sup>能在低功耗下自动检测线性或旋转的运动,如图 3 所示。它由 3 部分组成:模拟前端(AFE)、定时状态机(TSM)、处理状态机(PSM)。

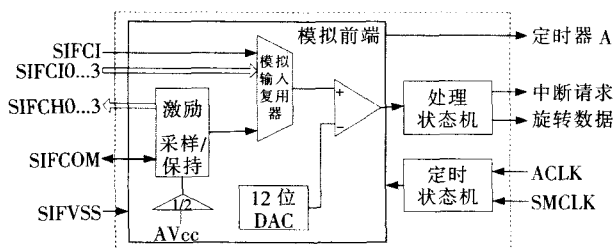


图 3 SCAN IF 模块内部结构图

Fig.3 Internal structure diagram of SCAN IF module

模拟前端(AFE) 主要是为传感器提供激励信号,并对传感器进行测量。通过模拟前端使激励电路产生激励信号,还产生  $\frac{AV_{CC}}{2}$  模拟电压以使 LC 传感器自由振荡。在对 LC 产生激励信号后,该激励信号传给 LC 传感器产生振荡信号。模拟前端就利用采样/保持电路对振荡信号进行测量。利用内部比较器,完成模拟信号到数字信号的转变。最后将得到的数字信号送给处理状态机进行处理。

定时状态机(TSM) 用来控制模拟前端,并自动控制激励信号的产生。其时钟源选择 ACLK。当没有 CPU 中断时,定时状态机可以自动地控制模拟前端和传感器的激励电路及其信号处理机。

处理状态机(PSM) 根据存储在 RAM 或 ROM 的状态数据判断运动的转速和旋转方向。PSM 可以根据定时状态器和模拟前端的输入测量状态的转速并可以控制中断发生器。

### 2.2.3 LC 检测电路

流量检测电路主要是由 MSP430FW42x 的 SCAN IF 模块和 LC 检测电路组成。如图 2 所示相隔 90°放置 LC 传感器,并采用 180°的金属涂层轮,双 LC 传感器就会产生正交信号,这就能提供转动与方向信号。SCAN IF 提供每个 LC 传感器的激励,2 个传感器位于不同区域时产生不同的振荡波形,如图 4 所示。

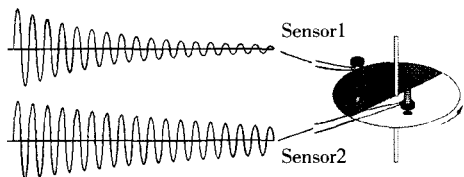
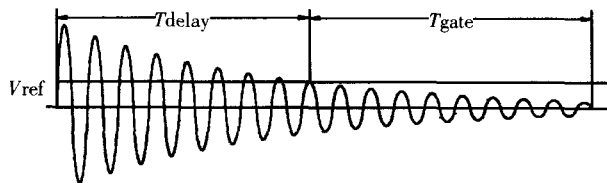


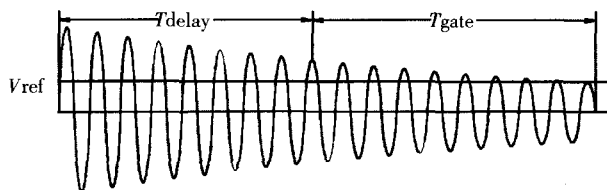
图 4 传感器位于不同区域时的振荡波形  
Fig.4 Oscillation wave of sensors in different regions

### 2.2.4 振荡测试法

MSP430FW42x 采用振荡测试法把得到的不同的振荡衰减波形转换为数字信号进行测量,如图 5。用有关振荡信号驱动比较器的 1 个输入,再用参考信号驱动其他输入,如果比较器输出大于参考电压,就会与传感器输出发生振荡;如果振荡低于比较器参考电压,则比较器输出会变为零。这种方法把图中的传感器 1 的减幅系数表示为 L,传感器 2 的减幅系数表示为 H。



(a) 电感 1 放在涂有导电物质的圆盘上



(b) 电感 2 放在没涂导电物质的圆盘上

图 5 振荡波形图

Fig.5 Diagram of oscillation wave

### 2.2.5 信号处理

随着叶轮转动,传感器 1 和传感器 2 的信号随之不断变化。图 6 给出了 2 个传感器的状态变化。如果知道前一个状态和新的转台,则同时可以得出旋转方向和转速。增计数:由状态 d 变化到状态 a;减计数:由状态 b 变化到状态 a。可以软件设定每 4 个状态对应流量变化 1 个单位,实现流量转换。

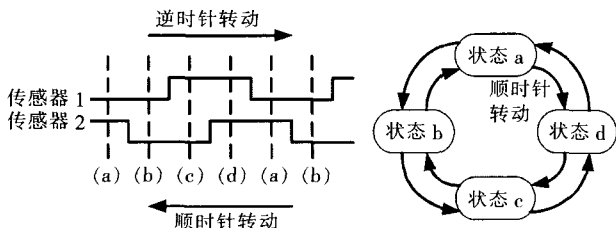


图 6 2 个传感器的状态变化

Fig.6 State changes of two sensors

### 2.3 温度测量模块

以往在测量温度时,当测量精度要求较高时,必须使用复杂的调理电路、高位数的 A/D 转换器,使成本高居不下。本系统选择 MSP430FW42x 单片机,本身并没有 16 位 AD,不过它在片内集成了一个精密型比较器,利用这个比较器,再加上一些必要的电路则可以实现性价比极高的 A/D 转换;Sigma-delta AD<sup>[3]</sup>。大大节约了成本。

Sigma-delta AD 测量原理图如图 7 所示,P1.6 和 P1.7 分别是比较器的两个输入端,Vin 是待测电压,这里 AD 的概念就是用一个已知的电压 Vout 去匹配待测电压 Vin,其中,P1.1 口用于产生 1 位 DAC。该 DAC 在一个固定次数的循环 N 内输出一定数量

的短脉冲,经过低通滤波在电容上产生  $V_{out}$ ,使得  $V_{out}=V_{in}$ 。通过比较器来决定 DAC 输出是高还是低,当比较值 CAOUT 为高时,DAC 输出为低,当 CAOUT 为低时,DAC 输出为高,计算出 DAC 为高的次数  $M$ ,即为所要的 AD 值。一般情况下,AD 值与 MSP430 的  $V_{CC}$  成比例关系。

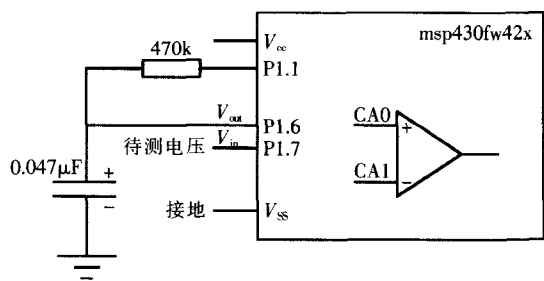


图 7 AD 测量原理图

Fig.7 AD measurement schematic

利用配对温度传感器 PT\_1000 将进回水温度信号引入芯片,用标准电阻对其引入值进行比较,经 MSP430 芯片进行计算处理可得到进回水温度值及进回水温差、积分温度差,进而计算热量。

### 3 软件系统

本系统软件由主程序、键盘菜单处理、数据存储、定时器中断、LCD 显示等部分组成。系统程序流程图如图 8 所示。

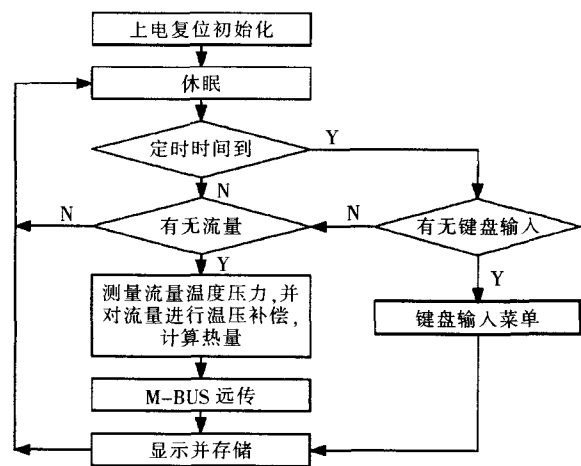


图 8 系统程序流程图

Fig.8 Flow chart of system program

由于系统功耗限制,单片机平时都处在低功耗 LMP3 模式,以中断来处理事件。

需要单片机处理的事件有:温度压力测量,流

量测量并计算校正,热量计算,键盘菜单处理,驱动 LCD 显示,M-BUS 远传等。使单片机从睡眠中唤醒有 2 种中断触发方式:定时时间到进入定时器中断子程序;有流量时进入流量测量子程序,无流量时再次休眠。而对键盘处理程序采用查询的方式进行操作,有效地避免了中断的嵌套以及可能引起的中断冲突。为了极大降低水表的消耗,温度压力测量和 EEPROM 利用 IO 端口采取导通式的供电模式。

为防止单片机在长时间无人看守的情况下运行异常,使用单片机内部的看门狗模块来监测程序的运行。在每次的定时器中断处理程序中清除看门狗定时器的计数,这样当程序跑飞或陷入死循环时,可以通过看门狗对系统进行复位。

### 4 测试和分析

经过实际测试,当系统处于 LMP3 低功耗睡眠模式时,系统消耗电流约为  $5\mu A$ 。当系统从睡眠中唤醒,进入中断处理程序,这期间单片机进入活动模式,外围电路完全工作,系统消耗电流为  $300\mu A$ 。1 节 19Ah 的电池至少可以供系统用 7 年,并且整机测量误差不超过 1%。该无磁流量监测系统机械传动部件只有一个叶轮,省略了传统水表减速齿传动等复杂的机械结构,减少了力矩损失。系统的始动流量可以达到 4L/h,较普通水表(一般为 12L/h)降低了,提高了灵敏度。M-Bus 接口可实现与远程抄表收费系统的通信。

### 5 结语

本系统达到了低功耗和高精度的要求,并具有结构简单、坚固耐用、价格便宜等优点。不同于以往常见的热量表,其传感器为无磁结构,不会被磁铁干扰,杜绝了偷热情况出现,也不会吸附水中的铁锈和杂质,特别适合国内供暖水质,普及更方便,前景更广阔。

#### 参考文献:

- [1] 秦龙.MSP430 单片机 C 语言应用程序设计实例精讲[M].北京:电子工业出版社,2006:188-302.
- [2] Christian Hernitscheck.Rotation Detection with the MSP430 Scan IF[R].Texas Instruments,SLAA222,November,2004:1-29.
- [3] 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,2005:68-126. ■