

基于时间电压转换方式的新型户用超声热量表设计

邵行菊,童孝波,李志明

(宁波水表股份有限公司宁波, 315000)

摘要: 基于超声波流量测量原理, 采用高性能 MSP430 和高精度时间电压转换方式设计了低功耗且具有 M-BUS 通信功能的热量表, 并对其硬件结构及主程序进行研究。

关键词: 超声波; MSP430; 时间电压转换; 热量表; 低功耗; M-BUS

Design of new Ultrasonic Heat Meter for household use based on Time interval measure

Abstract: This article firstly elaborated the principle of the ultrasonic flowmeter, then designed one ultrasonic heat flowmeter based on high-performance MCU MSP430 and time interval measure. It has low power consumption, and the M-BUS correspondence function. The article also researched the hardware and the master procedure of the ultrasonic heat flowmeter.

Keywords: Ultrasonic, MSP430, Time interval measure, Heatmeter, Low power consumption, M-BUS

0 引言

《中华人民共和国节约能源法》明确规定, 耗能需要计量, 不允许无偿使用或实行“包费制”。现在国内生产和使用的热量表大多是叶轮式热量表, 这种热量表虽然成本低, 但是精度差, 使用寿命不长。近几年来, 随着超声波测量流量技术的提高, 超声波热量表技术逐渐发展起来, 它以精度高, 安装方便, 使用寿命长等优点日益受到重视, 为此研制了一种功耗低、压损小、抗磨损能力强的超声波热量表。

1 时差法超声波流量测量原理

时差法超声波流量测量的基本原理是: 在流动的介质中, 超声波顺流方向的传播速度会增大, 逆流方向则减小, 所以在同一传播距离就有不同的传播时间, 利用其差与被测介质流速之间的关系便可求得流速, 从而换算成流量[1]。

按图 1 所示方式在被测管道上、下游两侧安装换能器 A、B

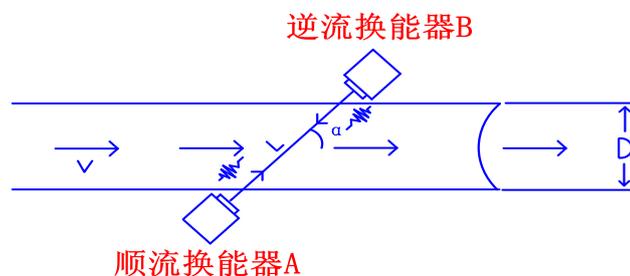


图 1 时差法工作原理图

Fig.1 Fundamental diagram of Time difference method

两个换能器交替作为超声波信号的发送器或接收器使用, 假设超声信号从 A 顺流传播到 B(顺向)所需时间为 t_1 , 从 B 逆流传播到 A(逆向)所需时间为 t_2 , 即:

$$t_1 = \frac{L}{c + V \cos \alpha}$$

$$t_2 = \frac{L}{c - V \cos \alpha}$$

式中：

L 为超声波传播距离

V 为介质流速

α 为超声波传播方向与介质流动方向夹角

C 为超声波在介质中的传播速度

假设流体的流速相对于超声波在介质中的传播速度是非常微小的，经过数学推导可得

$$V = \frac{c^2 \Delta t}{2L \cos \alpha}$$

式中 Δt 为顺流时间和逆流时间的时间差

由此可见，流体的流速与超声波顺流和逆流传播的时间差成正比，考虑到介质流速沿管道的不均匀分布，流量 Q 可以表示为：

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \int V dt$$

2 超声波热量表组成

超声波热量表的总体结构如图 2 所示，主要包括基表、换能器、供水温度传感器、回水温度传感器和积算仪。在基表、回水管道分别装有 PT1000 的热电阻，用来测量供水和回水的温度。换能器安装在基表上，用来测量热水的流量。积算仪计算累计流量、热量等值，以及一些必要的控制操作，也用于构建抄表网络。

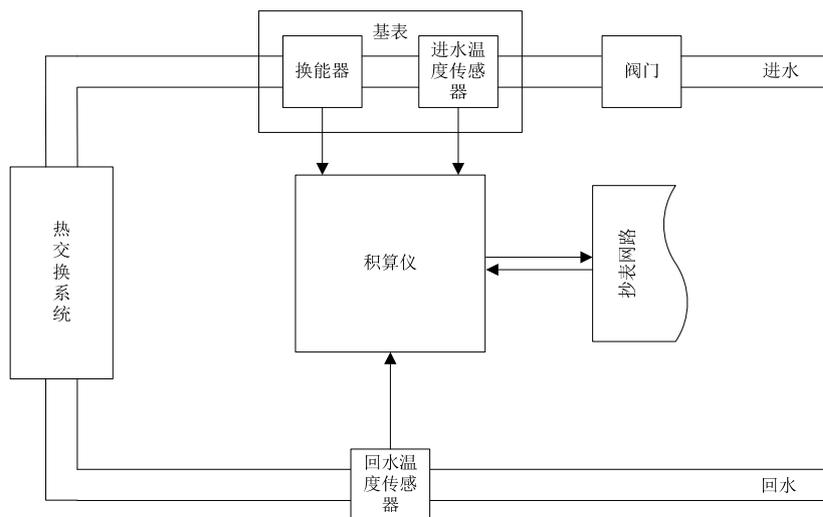


图 2 总体结构图

Fig.2 Overall structure diagram

超声波热量表的基表是其流量计量的基础，热载体的承接部分。基表可以说决定了热量

表的先天性能，它对热量表的稳定性，一致性及高温特性等等起着决定性作用，这些不是软件编程可以弥补的。市面上的基表可谓五花八门，其性能也各不相同，主要有支架式、立柱式以及直通式。由于支架式高温特性差、防堵能力弱和直通式射程短的原因，我们选用立柱式基表。立柱式基表不仅防堵能力强，高温特性好，而且其传播距离相对较长，非常适合制作超声波热量表。

3 硬件设计

根据系统设计整体要求，结合电路模块化理念，本热量表由单片机和外围功能电路组成，其硬件逻辑结构框图如图3所示：

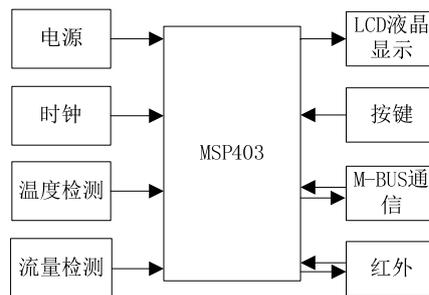


图3 总体结构图

Fig.3 Structure diagram of hardware logic

3.1 MSP430 单片机

MSP430 是一种专为超低功耗应用而设计的微处理器。其超低功耗架构和高度灵活的时钟系统可显著延长电池寿命。

MSP430 MCU 采用正交架构，可提供 16 个高度灵活的、可完全寻址的单周期操作 16 位 CPU 寄存器，以及 RISC 性能。该 CPU 的新型设计不仅简洁，而且功能十分丰富，仅采用了 27 条简单易懂的指令与 7 种统一寻址模式，这样 16 位的低功耗 CPU 相对于其他 8 位/16 位微处理器而言，能够更高效地进行预算处理、体积更小而且代码率更高，从而能够以极少的代码量开发出超低功耗的新型高性能应用[2]。

3.2 流量检测电路

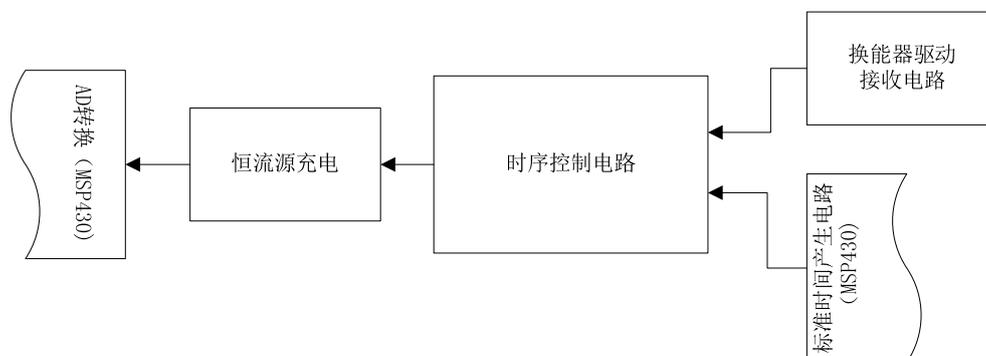


图4 流量检测电路示意图

Fig.4 Schematic diagram of flow detection circuit

超声热量表通过检测超声波在介质中的顺流和逆流传播时间差来间接测量流体的流速，故对于微小时间的测量是超声流量测量的关键。本系统采用时间电压转换技术来测量微小时间。

时间电压转换技术不仅原理简单，分辨率也很高。它是基于电容充放电原理，用一个恒流源在一定的时间间隔内给电容充电[3]。由于充电时间和电容电压的近似线性关系，那么电容器两端电压变化量就是所要测量的时间间隔。

本系统的时间测量电路（如图 4 所示）由一个时序控制电路、一个时间电压转换电路、一个从模拟到数字转换电路和标准时间产生电路构成。本电路通过标准时间比值法来测量时间间隔。电路先由标准时间产生电路来控制时序经时间电压转换电路得到标准时间转换而成的电压量，然后由换能器驱动接收电路来控制时序得到一个方向的超声波传播时间转换而成的电压量，两者在较短时间内的变化量是一致的。系统在极短时间内同时测量标准时间和超声波传播时间转换而成的电压量。再将两者的比值乘以标准时间得到待测时间。故系统可以通过此方法来测量超声波在介质中的顺逆流时间差，进而得到介质流速和流量。

3.3 温度检测电路

本温度测量电路(如图 5 所示)采用恒流源驱动法驱动铂电阻传感器。铂电阻传感器是利用金属铂(Pt)的电阻值随温度变化而变化的物理特性而制成的温度传感器。以铂电阻作为测温元件进行温度测量的关键是要能准确地测量出铂电阻传感器的电阻值。

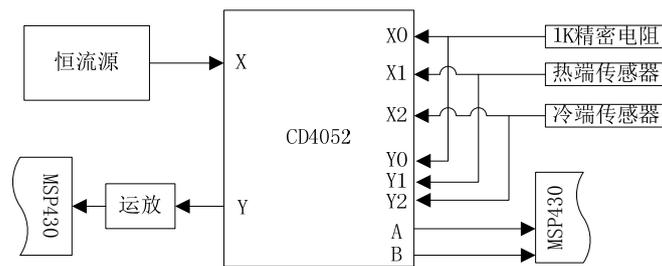


图 5 温度检测电路示意图

Fig.5 Schematic diagram of the temperature detection circuit

恒流源驱动法是指用恒流源分别驱动 1K 精密电阻和铂电阻传感器，然后直接测量它们两端电压量，通过计算比值间接得出铂电阻的阻值，从而查表得出测试温度。如图所示，参考电阻与传感器分别与 CD4052（多路切换模块）3 路通道连接，共用一个恒流源驱动，各通道将产生相应的电压，再由后面的放大电路和 A/D 转换器直接测量。该电路特点是直接测量传感器的电阻变化量,A/D 转换器利用效率高,电路输出电压同电阻变化量成线性关系。恒流源驱动法能有效地消除导线电阻和自热效应的影响。为了进一步克服噪声和随机误差对测量精度和稳定度的影响,最后在软件中加入滤波算法,大大提高了温度测量精度和稳定度。

3.4 通信电路

本系统采用德州仪器（TI）公司的 TSS721A 来实现 M-BUS 通信。该芯片根据 M-BUS 总线标准（EN1434-3）而设计的终端收发芯片，目前主要用于水表、电表、热量表等消费类型仪表^[4]。主要特点如下：

- 1、采用两线制，不分正负极，施工简单。
- 2、外围元器件少，集成度高。
- 3、支持总线供电和电池供电。

- 4、采用总线型拓扑，总线扩展方便、组网成本低。
- 5、采用独特电平传输信号，抗干扰能力强。

同时为满足现场手持设备抄表的需求，设置了红外通信方式。系统硬件使用两路由三极管控制的红外接发二极管。单片机采用软件模拟串口的方式对其进行通信控制。

3.5 硬件电路低功耗设计

智能仪表、特别是户用热量表往往采用电池供电。电池的电量是一定的，而一个热量表往往需要工作 6 年以上。这就要求热量表工作时必须维持在极低的功耗。为达到低功耗的要求，本系统选用低功耗性能优越的 MSP430 系列单片机，并搭配模块电源控制电路。所谓模块电源控制电路就是通过三极管的开关特性来做一个开关电路，并用单片机 IO 口控制其通断从而达到控制模块电源通断的效果。这样系统就可以在模块未用到的时候关闭这部分电路从而达到降低功耗的作用。

4 软件设计

MSP430 单片机工作模式通过模块的智能化运行管理和 CPU 的状态组合以先进方式支持超低功耗的各种要求。MSP430 单片机的低功耗特性既可以保持工作状态，又可以根据要求工作。系统的这些低功耗特性是靠系统对中断的响应来实习的。MSP430 单片机各个模块的运行都是独立的，定时器、输入/输出端口、A/D 转换、看门狗、液晶显示器等都可以在主 CPU 休眠的状态下独立运行。系统平时工作于 LPM3 模式，当需要主 CPU 工作时，任何一个模块都可以通过中断唤醒 CPU 从而使系统以最低功耗运行。例如当存在温度采用、流量检测、热能计算、flash 读写、M-BUS 通信时，通过中断使系统进入正常工作模式（AM 模式），在操作完成后又可以通过 RETI 指令返回 LPM3 模式。这样设计在最大程度上保证了热能表的功耗在一个较低的水平。

为了减少中断服务程序的处理时间，避免干扰其他响应的执行，程序在中断中设置标志，待中断返回主程序后通过查询的方式执行相应的操作，然后退出正常模式进入低功耗 LPM3 模式。其主程序流程如图 6 所示：

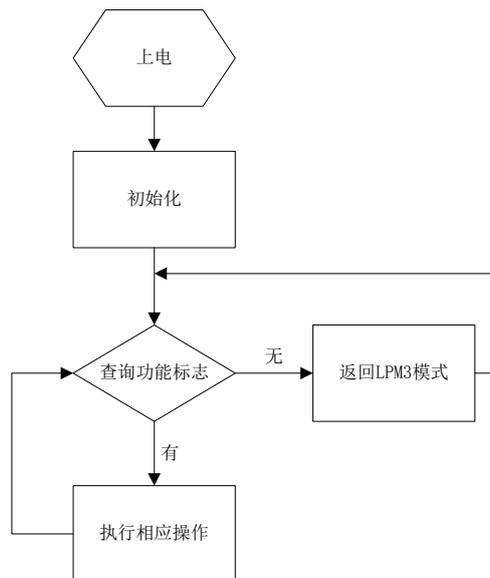


图 6 主程序流程图

Fig.6 Flowchart of main program

各中断服务程序大致流程如图 7 所示：

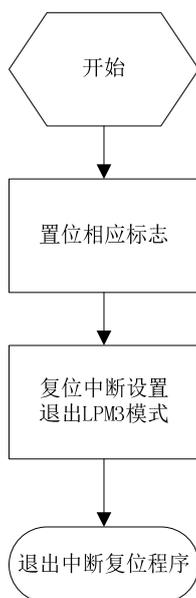


图 7 中断服务程序流程图

Fig.7 Interrupt program flow chart

5 5 结束

应用本设计方案制作的口径 20mm 超声波热量表在 25℃、50℃和 80℃条件下测得流量点 0.025m³/h、0.25m³/h、0.75m³/h 和 2.5m³/h 的误差均在 1.5% 以内，满足国家《CJ128-2007》二级表准确度要求^[5]。通过批量样机测试，本设计方案设计的热量表性能稳定、精度高、量程宽、压损小，十分利于推广。

参考文献

- [1] ACAM. 时间数字转换器 TDC-GP21 的超声波热量表应用 [EB/OL].[2011].<http://www.acam.de>: ACAM 2011.
- [2] 沈建华, 杨艳琴. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与实践[M].北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.7:50~56.
- [3] 雷亚辉, 王之海, 王向红. 时间电压转换技术在超声流速计中的应用[J].应用科技, 2010 (8): 23~25.
- [4] 德州仪器. TSS721A 数据手册[EB/OL].[1999].<http://www.ti.com.cn>:TI,1999.
- [5] 中华人民共和国建设部.CJ 128-2007 中华人民共和国城镇建设热量表行业标准[S].北京, 中国准出版社, 2008.

此文发表于《自动化与仪器仪表》，2012(6)。