

户用低功耗超声式热量表的研究

李 晶 莫德举

(北京化工大学信息科学与技术学院, 北京 100029)

摘 要: 利用超声测量非接触的特点, 将温度测量与超声流量测量相结合设计出户用超声式热量表, 克服了目前普遍使用的叶轮式热量表在供水水质不好时, 精度下降并极易损坏的缺点。文中具体描述了超声热量表的结构、温度和流量测量电路, 并通过 MSP430 单片机的选用, 讨论了热量表的低功耗设计方法。

关键词: 热量表; 超声流量测量; MSP430 单片机; 低功耗

中图分类号: TH81

热量表作为区域供热结算的计量仪表, 近几年发展较快, 已获得普遍应用。但就目前情况来看, 国内研究以及市场销售的热量表均采用的是数字机械式结构, 即热量表的积算仪为数字仪表, 而流量测量部分为叶轮流量计和干簧管^[1-2]。叶轮带有磁钢, 因此对水质的要求高, 微量的铁屑和细沙都会急剧降低测量精度直至在短期内损坏, 叶轮轴承的磨损也对测量有较大的影响。尤其在我国, 供水水质一般较差, 机械式热表的缺点更为突出。本文所研究的超声热量表将超声流量传感器和温度传感器相结合构成户用型热量表, 发挥了超声测量非接触、无压损、测量不受压力、密度、黏度等参数影响的优点, 提高了测量灵敏度, 适应了我国国情。

1 热量表的原理及结构

1.1 热量表的工作原理

热量表的基本测量原理是通过测量热水的流量与供、回水温度差计算两者乘积并进行热量累计的。在此超声热量表中, 热量的积分计算采用欧洲流行的 K 系数法: 设测得进水管的水温为 T_1 , 出水管水温为 T_2 , 则进出水的温度差为 T , 利用流量传感器对供水管道的瞬时热水流量 Q 进行计量, 经过一定时间的累计, 便得到用户消耗的热量值, 其数学表达式为

$$E = \int_0^t K \times Q \times T \times dt \quad (1)$$

式中, E 为热交换系统输出热量, J ; t 为流量累积时间, h ; K 为热焓修正系数, J/m^3 ; Q 为瞬时热水流量, m^3/h ; T 为进出水的温度差, $^{\circ}C$ 。

其中, 进出水温度测量由铂电阻构成的温度测量电路实现, 而瞬时流量则通过超声流量传感器测量热水流速获得, 最后经过热量积算得到瞬时和累积热量值。

1.2 超声热量表的结构

超声热量表的核心结构是一个 MSP430F448 单片机系统, 它主要进行数据采集、处理、存储、显示以及远程通讯、电池电压监控和远程控制供水阀门开关。其组成结构如图 1 所示。温度信号通过温度

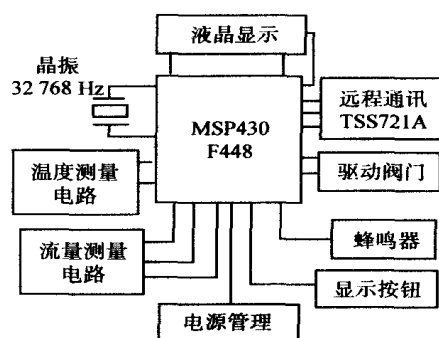


图 1 超声热量表系统结构

Fig. 1 Schematic of ultrasonic heat meter structure

传感器、测量电路进入单片机的 A/D 转换端口中。流量测量电路即为超声波的发射和接收电路, 单片机控制超声波的发射, 接收到的声波信号再进入单片机的比较器中。另外还接有键盘、LCD 显示和远程通讯模块, 阀门驱动电路等。远程通讯模块用于和远程集中抄表中心进行数据通讯, 它遵循仪表总线 (M-Bus) 协议。

收稿日期: 2004-04-22

第一作者: 女, 1979 年生, 硕士生

E-mail: jingjingmyc@163.com

2 超声热量表的硬件设计

2.1 温度测量电路设计

温度传感器使用国际电工委员会 751 号标准 (IEC751) 中规定的 A 级 PT1000 铂电阻, 为了补偿引线电阻对测温精度的影响, 采用三线制连接方式^[3]。两个铂温度传感器分别安装于供回水管道, 它们具有高的配对精度, 在最小温差下配对误差小于 0.105。由于 PT1000 的电阻值变化量大, 因此测量的灵敏度高, 而且有利于降低系统功耗。温度测量电路原理如图 2 所示。

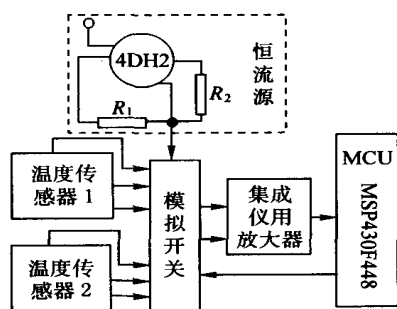


图 2 温度测量电路框图

Fig. 2 Schematic of circuit block for measuring temperature

两个温度传感器使用了同一个后续测量电路, 保证了进回水温度测量条件的一致性。传感器的激励电源选择 4DH2 恒流管构成的恒流源, 此恒流源起始电压低, 管子压降达到 1.5 V 以上就可以输出恒定直流, 通过调节电阻 R_1 、 R_2 可以决定恒定电流大小。恒定电流通过多路模拟开关 CD4053 向两个传感器之一供电, 传感器输出的电压信号再经模拟开关的两个公共端送入差分放大电路进行放大。单片机控制模拟开关将两个传感器交替接入测量电路。由于传感器内阻高, 信号输出到放大器距离远, 所以差分放大电路采用集成仪用放大器。

2.2 流量测量电路设计

超声热量表中流量测量采用的是超声式流量传感器, 它是一对既能发射又能接收超声波的超声斜探头 (换能器), 由 PZT 压电晶片、阻尼块以及声楔构成, 工作频率 1 MHz, 以外夹装的形式安装于管道上。它与机械叶轮流量传感器相比, 不仅对供水水质没有要求, 而且结构简单, 无可动部件, 无需维护。

由于本热量表使用环境较为稳定 (家用), 测量对象较单一 (杂质不多的热水), 因此采用超声时差法来测量热水流速。当超声波顺流传播时声速增加, 而逆流传播时声速减小, 顺逆流的传播时间差与

流体流速具有下列关系

$$v = k \cdot \frac{t}{t_1} \quad (2)$$

式中, v 为被测流体的流速, m/s; t 为超声波在流体中顺逆流传播时间差, s; t_1 为平均传播时间, 即 (顺流传播时间 + 逆流传播时间) / 2, s; k 为校正系数, 与超声波在发射换能器声楔中的入射角及纵波声速有关, m/s。

只要测得超声波顺逆流传播时间差和平均传播时间就可以得到流体的流速, 进而求得流体的瞬时流量。

测量时间差的原理是, 首先单片机的 I/O 口输出周期性方波信号, 控制窄脉冲的发生, 激励换能器 T1 发射超声波, 超声波顺流传播, 当换能器 T2 接收到超声脉冲信号后将其转换为电脉冲信号输出, 电信号经过放大滤波电路进入单片机的比较器, 触发单片机内部定时/计数器发生捕获, 捕获的计数值便是超声波从发射到接收的时间。然后, 单片机控制发射/接收转换开关, 将两换能器功能互换, T2 发射, T1 接收, 同样, 所得计数值为逆流发射时间。最后顺逆流时间相减得到时间差。如图 3 所示。

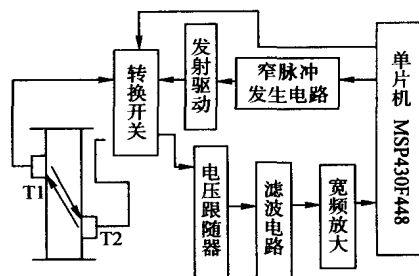


图 3 超声流量测量电路框图

Fig. 3 Schematic of circuit block ultrasonic flow measurement

控制超声发射和计数的单片机也是热量表的主控芯片, 选用的是 TI 公司生产的 MSP430F448。MSP430F448 单片机的时钟模块里加有 FLL + (增强型锁频环) 技术, 在外部低频振荡器的驱动下能够获得很高的稳定频率, 其内部定时/计数器可以选择这个高频信号作为时钟源, 因此在测量时间计数时不用外接高频计数器, 使用内部计数器同样可以保证计数精度。

超声发射电路由窄脉冲发生电路和发射驱动电路构成。激励脉冲宽度对超声发射的功率有很大影响, 所以应调节合适的脉冲宽度 (大约谐振周期的一半), 使换能器处于最佳工作状态。这里窄脉冲的产

生采用的是 CD4528 单稳态触发器,它输出的窄脉冲进入功率开关器件,使其导通,负载电容迅速放电产生前沿极陡的高电压脉冲,激励超声换能器发射超声波。功率开关器件采用的是新型 VMOS 场效应管,它不但工作速度快,而且能够增强发射信号强度,并具有极低的静态功耗,性能优于可控硅管和 MOSFET。

超声波接收电路主要由放大和滤波电路构成。由于接收到的超声波信号较微弱,因此运算放大器应具有大的增益带宽以保证信号不失真;另外还要注意传感器与放大器的阻抗匹配问题,这里采用电压跟随器实现阻抗匹配。滤波电路采用了不对称 RC 构成的双 T 滤波网络,如图 4 所示。

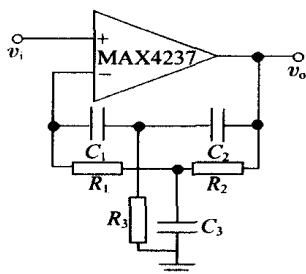


图 4 滤波电路原理图

Fig. 4 Schematic of filter circuit

双 T 网络作为集成运放的负反馈阻抗,使整个电路形成选择性好的选频放大电路^[4],滤除了超声波脉冲频率以外的其它干扰信号。集成运放的使用提高了系统的集成度,与常用的分立元件构成的 LC 选频电路相比,减小了仪表体积。

2.3 热量表的低功耗设计

按照国家 CJ/T 128 - 2000《热量表标准》中关于热量表的规定,使用 3.6 V 锂电池供电,在正常使用下,电池寿命应不低于 5 年。因此整个系统必须考虑采用低功耗设计手段。

本仪表的核心采用的是 MSP430F448 单片机,它是超低功耗的 16 位单片机,可低电压供电,且有 LPM0 - LPM4 多种休眠模式,编程进行模式切换^[5],可在绝大多数时间内将电源电流降低至 2 μ A 以下。

此外,MSP430F448 单片机内部集成有 12 位 A/D 转换器、电压监控模块、LCD 驱动模块,因此这些模块无需外接,节省了外围设备,大大降低了系统功耗。另外,MSP430F448 中带有 60 k 的 FLASH 存储器可以代替 E2PROM 来保存一些重要数据,只要电压保持在 2.7 V 以上就可以对其进行读写操

作,这样节约了因外扩 E²PROM 而增加的功耗。

对于其它外围设备,如运算放大器、通讯模块等,都选择低电压供电的低功耗器件,充分利用一些放大器的关断功能(SHDN),用单片机控制其在不工作状况下处于关断模式,降低静态电流。显示模块选用功耗较低的液晶显示,键盘只采用一个功能键,依据按键次数显示内容。

再者,对系统进行合理的电源设计及供电管理,例如通过模拟开关为温度和流量传感器分时供电,不工作的器件切断其供电电流。对于通讯部分的电路,采用转换芯片 TSS721A,它的功耗较高,对于一个电池供电的系统来说承受不了,解决的办法就是通讯部分采用外供电方式,在上位机抄表时,通过采集终端网统一供电,这样就实现了动态功耗由总线供电,低的静态功耗由电池供电,保证了系统的低功耗。

超声热量表中耗电最大也是最难降低功耗的就是超声发射部分。超声发射电路中用到功率器件,必须加有 9 V 高压,它由 DC-DC 升压器件产生,功率消耗很大,因此必须对升压进行控制,不发射超声波时关断。另外,应尽量减少超声波的发射时间,适当增大测量重复周期。

软件设计上,单片机大部分时间处于 LPM3 休眠状态,主程序只用来进行初始化、更新显示并转入休眠,一切控制及计算均在中断子程序中完成。

3 实验及结果

由于对热量表的标定比较复杂,因此在有限的条件下,只用标准温度计对温度传感器进行了测试,其测量绝对误差小于 0.2,满足 EN1434 规定热量表的温度测量精度,温度的测量结果见表 1。

表 1 温度测量实验结果

Table 1 Measured results of temperature

标准温度	进水温度	测量误差	标准温度	出水温度	测量误差
28.00	28.04	0.04	22.20	22.14	-0.06
42.20	42.22	0.02	36.10	36.14	0.04
56.50	56.47	-0.03	50.50	50.48	-0.02
70.30	70.24	-0.06	63.60	63.54	-0.06
84.10	84.00	-0.1	78.00	77.89	-0.11
96.60	96.48	-0.12	90.50	90.39	-0.11

对系统功耗进行测试和估算,热量表在工作状态时最大电流不超过 9 mA,休眠时电流小于 5 μ A。

如用一节 36 kC 锂电池供电,可使用 6 年,满足设计要求。

4 结论

用超声传感器取代叶轮进行流量测量,克服了机械式热表易磨损,对水质要求高的缺点,十分适合我国国情。在系统设计过程中,选用了超低功耗单片机 MSP430,并配合硬件电路的低功耗设计,延长了供电电池寿命。与机械式热表相比,在高温测量时,其精度更高,完全可以替代机械式热表进入家庭。

参 考 文 献

- [1] 陈 伟,郭善安. 智能型低功耗热量表研究[J]. 机电工程,2001,18(5):172 - 175
- [2] 李小波,郭振河,戴云展. 基于 PIC 单片机的热能表研制[J]. 国外电子元器件,2003(9):7 - 9
- [3] Saibal Pradhan. An improved lead compensation technique for three-wire resistance temperature detectors [J]. IEEE Trans on Instrumentation and Measurement, 1999,48(5):903 - 905
- [4] 李林和. 采用不对称 RC 双 T 反馈电路的选频放大器分析与设计[J]. 天津轻工业学院学报,2003,18(2):34 - 38
- [5] 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

Domestic used ultrasonic heat meter with low power consumption

LI Jing MO De-ju

(College of Information Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Based on the characteristics of ultrasonic non-contact measurement and the combination of temperature measurement with ultrasonic flow measurement, a domestic used ultrasonic heat meter was designed, its overcoming the shortage of an active impeller heat meter that the its accuracy will decrease and its impeller will be damaged easily when the water-supply quality is not good. The structure of the ultrasonic heat meter and the circuits of temperature and flow measurement were described. The design method of the meter with low power consumption was given by selecting MSP430 singlechip microcomputer.

Key words: heat meter; ultrasonic flow measurement; MSP430 singlechip microcomputer; low power consumption

(责任编辑 刘同帅)

本刊 2004,31(6):59 图 6

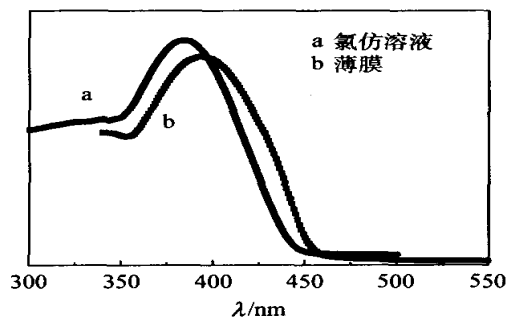


图 6 聚合物 DMDSB-SEO 的紫外吸收光谱

Fig. 6 UV-Vis spectra of DMDSB-SEO