

基于MSP430单片机的数字式水表设计

张宇, 张辉

(合肥工业大学 仪器仪表学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 为了提高测量精度, 利用TI公司MSP430系列单片机的特点开发出利用维权磁敏传感器的数字式叶轮水表。给出了传感器的信号处理电路及软件处理程序流程。介绍了MSP430单片机的特点并详细讨论了其中断处理特点。并利用线性分段插值的方法对水表的非线性仪表系数进行误差修正。实验数据证明利用该方法设计的水表在全量程内都可保持较高的精度。

关键词: 数字式水表; 误差修正; 磁敏传感器

中图分类号: TU991.63 文献标识码: A 文章编号: 1003-5060(2004)10-1375-04

Design of digital water meter based on MSP430

ZHANG Yu, ZHANG Hui

(School of Instrument, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: To improve the precision of measurement, an impeller water meter is digitized by using MSP430 and the Vegem magnetic sensor. The circuit for processing the sensor's signal and the corresponding software flow are presented. The feature of MSP430 and its interrupt processing are discussed. The error correction is made by using the linear fitting method. The data of experiment proves that the obtained precision can be rather high in the whole measurement range.

Key words: digital water meter; error correction; magnetic sensor

叶轮式水表是一款比较成熟的流量传感器。家庭中使用的水表就多为旋翼式叶轮水表。叶轮式水表的工作原理为: 当水以一定流速流过水表时, 水表的叶轮转动, 其转速 n 和水流速度 u 成正比^[1], 即

$$n = Cu \quad (1)$$

式中 n —— 叶轮转速(r/s)

u —— 水流速度(m/s)

C —— 比例系数

当流量计口径一定时, 理论上叶轮的转速与流量成线性关系。而实际上水表的的比例系数并不是一个常数, 所以要提高水表的测量精度必须实时修正水表的的比例系数。普通水表只是将叶轮的转动通过齿轮组变换成表盘上指针的偏转量, 完成对流量的积算, 所以不能对水表进行实时误差修正。随着技术的进步和人们对水表要求的提高, 无线式水表、IC卡水表等智能化水表已经出现。这些水表不仅能够将流量信号变换成为电脉冲信号从而进行数字化处理, 而且能够进行误差修正以提高测量精度。

收稿日期: 2004-07-31; 修改日期: 2004-09-28

作者简介: 张宇(1979-), 男, 安徽宿州人, 合肥工业大学硕士生;

张辉(1963-), 男, 江苏海门人, 合肥工业大学教授, 硕士生导师。

1 叶轮式流量计的脉冲转换

由于叶轮式流量计只能将流量信号转换成叶轮的转速信号,所以必须选择一个可以将转动的机械量信号变换成为电信号的传感器。干簧管式水表一般是在水表表盘指针上安装一个磁铁,再在相应的位置安装上干簧管构成。这样达到了将指针的转动变化为干簧管的吸合、断开的开关量信号,可以用作后续数字信号处理。但是因为干簧管的固有频率有限,另外经过齿轮组的传动,信号的分辨率也有限,一般只能达到 0.001 m^3 。同时由于干簧管可靠性不高,经常造成信号丢失。如果外部有强磁场干扰还会使干簧管误动作,必须在后续信号处理中加入复杂的软件屏蔽以防止水表计量上出现大的偏差。

在系统设计中采用磁敏传感器,它可以将磁场的变化信号转化为电脉冲信号。它是利用维根效应制成的。其工作原理是:传感器中的双稳态功能合金材料在交变外磁场的激励下,磁化方向瞬间发生翻转,而当外磁场撤离后,它又瞬间恢复到原有的磁化方向,由此在合金材料周围的检测线圈中会感生出电脉冲信号,实现磁电转换。维根传感器因无需外部电源,功耗极低。只要其触发磁场强度在 $50 \sim 80 \text{ mT}$,触发磁场的N、S磁极变化一周,传感器就输出一对正负双向的脉冲信号,幅值大于 1 V 。所以输出信号的周期即磁场的交变周期。且即使磁场的变化速度很慢,输出信号的强度也不减小。

这样只要将一磁性圆盘与水表的叶轮同轴连接就能将流量信号转换为磁场极性变化信号,再利用维根传感器(见图1所示)将其变换成为电脉冲信号。这样得到的脉冲信号直接和叶轮转动有关,减少了中间机械传递环节,提高了分辨率和精度。而且可以将传感器与水表一起开模组装在一起并装上防磁环,有效地减少外部干扰,可靠性得到提高。但是维根传感器输出的信号能量很小,必须经过放大调理(见图2所示)才能被单片机可靠接收。所以设计了一个放大调理电路。经过放大电路调理的P1和P2信号可以直接连到单片机的中断端口上。P1、P2仍然是正负脉冲对,其脉宽约为 $30 \mu\text{s}$ 。

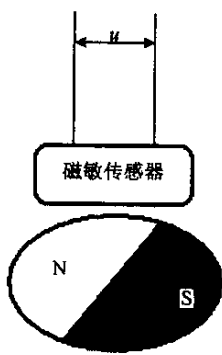


图1 维根传感器原理

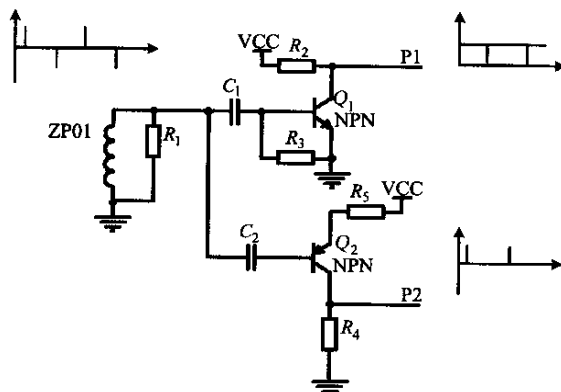


图2 脉冲信号放大电路

2 MSP430 单片机对流量脉冲的测量方法

2.1 MSP430 单片机软硬件设计

MSP430 系列单片机是美国德州仪器(TI)公司生产的一种新型 16 位 Flash 微控制器。其超低功耗的特性是目前业界所有内部集成 Flash 存储器产品中功耗最低的一种。在睡眠状态下其电流消耗仅为 $0.1 \mu\text{A}$ 。强大的中断处理能力使 CPU 对每一个中断都做出快速响应。从睡眠状态被中断唤醒仅需 $6 \mu\text{s}$ 。

丰富的外围模块可以方便地组成数字水表^[2,3]。

MSP430 芯片有 2 类 I/O 端口。一种是普通 I/O,如 P3~P6。另一种是 P1 和 P2,其不仅有输出、输入功能,还可以作为中断输入口。每一个口有 7 个脚,每一个脚都可以单独选择中断触发沿、单独允许中断。P1 和 P2 各有一个中断向量,也就是说 PX.0—PX.7 的中断服务程序的入口是一样的。在本系统中 P2 有另外的作用,所以将流量中断都放在 P1 上。这样正负流量脉冲的中断入口都是一样的。所以必须在中断服务程序内判断具体的中断源 P1. x。分析 430 端口的内部逻辑得知,只有当 PnIE. x 和 PnIFG. x 同时置位时才会产生 PnIRQ. x。而实际上 PnIFG. x 在端口设置完成后会随着端口上信号的跳变而置位,所以不能选用 PnIFG. x 来作为判断中断源的标志,而须根据先后顺序设置 PnIE. x 控制中断的先后顺序。同时在 P1 的中断服务程序通过中断使能寄存器(P1IE. x)来判别中断源并设置相应的标志,以在主程序中做出相应的响应。

如图 2 所示,系统中将流量脉冲信号 P1、P2 分别接在 MSP430 的 P1.0 和 P1.1 上。其中,P1.0 为负向脉冲,P1.1 为正向脉冲。根据其交替输出正负脉冲的特点,为了减少干扰,规定必须先后检测到一对正负脉冲中断后才认定为有效的脉冲信号。按图 3 和图 4 所示流程,即可以完成对脉冲对的有效检测及其计算^[4~6]。

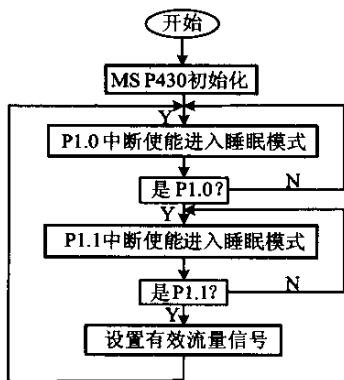


图3 MSP430主程序流程图

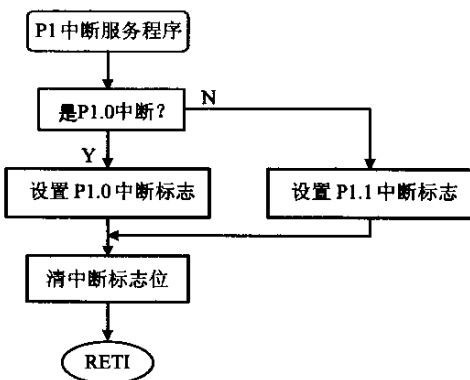


图4 P1口中断服务程序

2.2 流量积算

通过中断服务程序和主程序,可以有效的获得流量脉冲信号。利用流量计的仪表系数可以完成对流量的积算。仪表系数 K 的定义为:单位体积流体流过流量计时,流量计发出的信号脉冲数。即

$$K = \frac{N}{V} \tag{2}$$

其中, N 为流量计发出的脉冲数; V 为通过流量计的流体体积。只要当单片机接收到 K 对流量脉冲,就说明已经有体积为 V 的流体通过了流量计。或者通过 K 可以计算出每对脉冲对应的流量为 $1/K$ 单位体积。那么只要当接收到一对有效脉冲时,就在累积流量中加 $1/K$ 。

3 流量计的误差修正

叶轮式流量计的仪表系 K 随流量 q_v 变化,如果在全流量范围内都采用一个 K 值的话,就会有很大的误差。同时各个水表的 K 值也不一致,必须分别对其进行标定以提高仪表的精度^[7,8]。从图 5 误差曲线可以看出,采用一次线性补偿的 法不能完全消除误差。而二次拟合来修正误差对于单片机而言其运

算量太大了,所以这里选择在误差曲线上找出关键点来进行分段线性拟合。这里采用标准法来修正误差。即将标准流量计与被测的叶轮水表安装在同一条直管段上。这样在相同时间内通过标准流量计与通过水表的流量是一样。通过标准流量计使流速恒定在选择的标定点上。记录下单位时间内水表的脉冲数,也就得到了水表在各个不同流量点下的仪表系数。这里选择 5 个标定点,见表 1 所列。

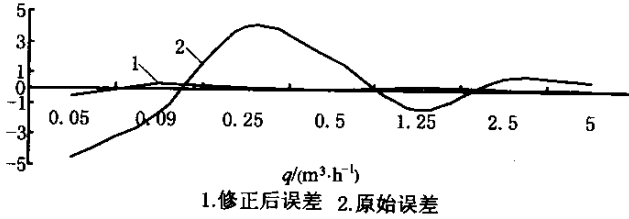


图 5 水表修正前后误差曲线

表 1 标定点流量值				m ³ /h	
最小流量 q_{\min}	$q < (q_{\min} + Q_t)/2$	分界流量 q_t	常用流量 q_p	最大流量 q_s	
0.05	0.09	0.25	2.5	5	

分别记录下这 5 个流量点下叶轮水表的仪表系数并将其记录在单片机内或片外的 E²ROM 中。在水表实际使用时依据存储的各标定流量点的仪表系数实时的进行误差修正。也就是将实际测得的仪表系数与存储的标定点的仪表系数进行拟合插值,以计算出实际流量。即

$$q = \frac{q_2 - q_1}{K_2 - K_1} \times K + K_1 \quad (9)$$

其中, q 为实际流量; K 为实测仪表系数; q_1, q_2 为上下标定点流量; K_1, K_2 为上下标定点仪表系数。

4 结 论

使用本文方法设计的电子水表不仅拥有一般叶轮式流量计价格便宜的优点,而且大大提高了测量精度。从图 5 中可看出,在全量程内误差从 5% 降到 1% 以内。同时 MSP430 单片机的低功耗特性使得这款电子水表可以在单节 3.6 V 电池供电下正常工作 5 年以上。可以很方便地利用 MSP430 的片上外围模块进行系统扩展和升级。

[参 考 文 献]

- [1] 梁国伟,蔡武昌. 流量测量技术及仪表[M]. 北京:机械工业出版社,2002. 2-10.
- [2] 胡大可. MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001. 3-5.
- [3] 王鹏飞,王保强. 基于 MSP430 单片机的直流电机 PWM 调速系统的研究[J]. 成都信息工程学院学报,2003,18(2):105-109.
- [4] 蔡柏良,王宜怀. 基于 MSP430F413MCU 的 IC 卡煤气表的设计与实现[J]. 苏州大学学报(工科版),2002,22(5):56-65.
- [5] 薛林光,肖玉芬. 一种基于单片机的新型 IC 卡预收费水表电路设计[J]. 空军雷达学院学报,2001,15(2):38-39.
- [6] 王福瑞. 单片机测控系统设计大全[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002. 136-169.
- [7] 及秀琴. 多流磁传干式水表改进与实验[J]. 淮海工学院学报,1996,5(2):62-69.
- [8] 邵鹏程. 流量测量仪表——涡轮流量计[J]. 工业仪表与自动化装置,1994,(2):59-62.