

流速仪信号采集系统设计

金福一

(辽宁省水文局, 辽宁 沈阳 110003)

摘要:介绍了流速仪检定系统的工作原理,分析流速仪信号特点和采集难点,针对流速仪信号受外界干扰信号波形复杂问题,设计信号采集硬件调理电路。针对流速仪信号周期多样性问题,对测频法和测周法进行误差分析和比较,确定在不同速度区间使用不同软件滤波的方法。通过硬件调理电路及软件滤波仿真验证,证明设计的可行性,可有效提高流速仪信号采集的精度,并在单片机平台上完成了硬件设计。

关键词:流速仪数据采集;信号调理;误差分析

中图分类号:TV121

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)01-0088-04

1 引言

转子式流速仪是国内普遍用于测量河流、渠道等水流速度的仪器。流速仪在出厂前或使用一段时间之后应进行检定,建立流速仪转速与水流速度之间的关系公式。近年来,随着计算机技术在流速仪检定水槽的广泛应用,对流速仪检定精度和自动化程度的要求也越来越高。

流速仪信号是周期信号,理论上应该是方波。流速仪在检定过程中容易受到各种外界因素干扰,不同型号流速仪的检定速度差异也较大,造成流速仪脉冲信号比较复杂。信号调理及采集工作既是流速仪检定和使用中的重点也是难点。因此,本文提出一种软硬结合的流速仪信号调理方法,对流速仪信号采集误差进行分析,确定在不同速度区间使用不同软件滤波的方法,以提高流速仪信号采集精度。

2 流速仪检定系统介绍

流速仪转子转率与流速在一定范围内满足线性关系: $v = a + bn$,式中: n 为转子转率; v 为水流流速; a 为仪器常数; b 为水力螺距。流速仪检定的目的,就是确定检定公式^[1]中的 a 、 b 值。

a 、 b 值由直线静水槽检定得出:在横断面均匀一

致的直线静水槽中,在轨道上行驶的检定车以规定的稳定速度牵引流速仪,测定检定车速度和流速仪转子的转速,对这两组数据进行曲线拟合,即可得到流速仪检定公式。

3 流速仪信号调理方案设计

3.1 流速仪信号特点和采集难点

流速仪的转动会将机械信号转化为电信号,信号质量对准确采集数据至关重要。流速仪信号在理想状态下应是规则的脉冲,但流速仪在检定过程中容易受到各种外界因素的干扰,给准确采集信号造成困难。

流速仪信号常见的干扰因素有:(1)流速仪检定水槽在长期使用后,水会变得不纯净,水的导电率增加,流速仪两个接线柱之间存在水电阻从而会影响流速仪信号质量;(2)流速仪内部机械触点在刚刚接触和即将脱离时会有接触不良现象,造成流速仪脉冲信号前沿和后沿有一定时间长度的抖动信号;(3)流速仪信号回路在检定过程中容易受到电机、调速器等大电流器件的电磁干扰,信号中常常会窜入尖峰干扰^[2]。

转子式流速仪型号种类繁多,信号周期各不相同,脉冲信号的宽度也不相同。流速仪的检定速度级分为低速部分和高速部分,低速部分的速度可达到0.01m/s,而高速部分速度可达到5m/s以上,二者速度差不小于

500倍。对于传统的脉冲计数的方案,这种速度差反映在信号脉冲宽度的变化上,脉冲宽度的差异将对信号采集精度产生影响,给单片机的检测带来难度^[3]。

实际检测环境中的流速仪信号与理论中的流速仪信号差异较大,如果直接把这种脉冲信号送入单片机处理器,会导致单片机重复计数影响流速仪检定精度,脉冲信号中的尖峰干扰对单片机硬件也会产生致命损害。不同流速仪信号周期又存在多样性,因此需要针对流速仪信号的特点,采用软硬结合的方法在流速仪信号和单片机处理器接口之间设计一套合理的信号调理系统。

3.2 流速仪信号调理电路的硬件设计

流速仪信号调理电路对于后续单片机的计数操作十分重要。从流速仪接线柱引出的脉冲信号不能直接输入单片机,还需要经过去水阻、光耦合滤波、去抖动等硬件电路处理后才能满足单片机的采集要求。流速仪硬件信号调理电路的设计思路如图1所示:

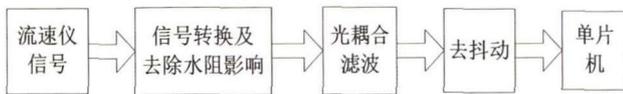


图1 流速仪信号调理硬件流程图

Fig.1 The workflow of the signal conditioning hardware

信号转换电路负责把流速仪触点的吸合动作转换为相应的脉冲信号,这部分电路受水电阻及电离因素影响较大,其元器件参数取值的基本原则是:仪器两端的电压在满足后级电路要求的前提下,应尽可能取较小值;电流在小于仪器允许的最大电流限制下尽可能取大值,以便最大程度地抑制水电阻与电离的影响^[4]。

在流速仪信号采集电路中,由TLP-521-1型光耦合器件和555定时器组成的施密特触发器构造光耦合滤波电路。光耦合滤波电路能够将流速仪的电信号与单片机在电气上完全隔离,以保证器件之间不会造成相互影响,且同时滤除尖峰信号的干扰。

抖动信号有可能引起计数器的误触发,影响计数精度。本设计采用集成单稳态触发器74121芯片与D触发器构成去抖动电路,去除触点抖动信号^[5]。经去抖动电路处理后,大部分抖动信号被滤除,剩余的抖动信号脉宽也大大缩小,便于进行软件滤波。

3.3 流速仪信号调理的软件滤波

流速仪硬件调理电路不能完全滤除杂波干扰,因而需要在硬件滤波的基础上进行软件滤波,软件滤波工作流程为采样—判断—计数。

软件滤波根据脉冲信号的频率和脉宽可以分为两类,当脉冲信号频率较低脉宽较大时,采用脉宽鉴别法;当脉冲信号的频率较高脉宽较小时,采用表决法^[5]。

3.3.1 脉宽鉴别法

脉宽鉴别法依据是:流速仪信号脉宽远大于干扰抖动信号脉宽,根据流速仪型号估算出该型流速仪最小脉冲宽度,当脉冲信号宽度大于流速仪最小脉冲宽度时,认为该信号为流速仪信号,否则认为该信号是干扰信号。该方法不需要连续采样,适合低频软件滤波,资源占用率低。

3.3.2 表决法

表决法在信号频率较高时采用,因表决法在延时过后只需进行3次采样,与脉宽鉴别法相比,缩短了中断程序处理时间。表决法设计原理如图2所示:

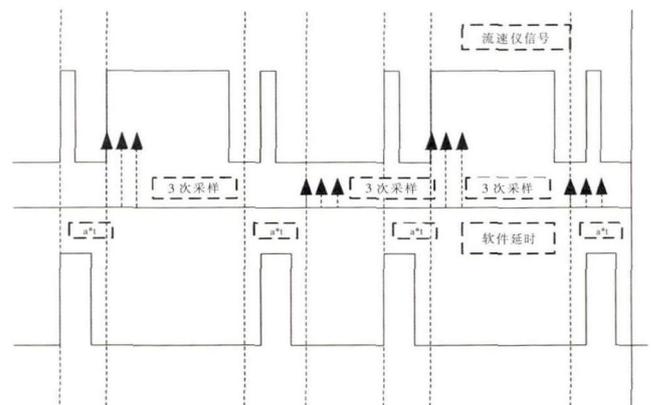


图2 表决法时序图

Fig.2 The sequence of the decision algorithm

流速仪采集系统计数前,要对流速仪脉冲信号进行延时,延时时间为 $a \times t$, a 为时间系数, t 为时间基数,由单片机定时器提供。 a 由式(1)^[6]决定:

$$a = \frac{(d_i - R_v) \times 1000}{C_{s1} - C_{i1}} \quad (1)$$

式中: R_v 为流速仪转子转速; C_s 为车速因子; d_i 、 C_i 分别为不同型号流速仪的水力螺距和仪器常数。

随着流速仪速度的变化和车速的变化,总有一个合适的时间闸门来判断流速仪信号的脉宽,可有效避免硬件电路可靠性差的问题。

在信号延时过后,对信号进行3次采样,如果连续两次信号均为高电平,则为流速仪信号,否则为杂波干扰信号。采样3次的目的是防止出现偶然现象:即在采样期间,恰好相近的一个杂波信号也是高

电平。

3.4 流速仪采集的误差分析

流速仪信号经过信号调理电路滤波后,杂波信号或被硬件电路滤除,或经过软件滤波滤除,信号质量能真实反应流速仪的转率。流速仪脉冲信号计数时有两种方法。第一种为测频法,第二种为测脉宽法。两种方法在不同车速、不同型号流速仪情况下,计数精度不同。

3.4.1 测频法的误差分析

测频法即在闸门时间 T 内,共有 N 个脉冲信号被检测,则流速仪的转率 $f=N/T$ 。闸门时间 T ,由单片机定时器提供,闸门时间人为设定。

根据误差传递公式^[7]:

$$\Delta y = \sum_{j=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_j} \Delta x_j \quad (2)$$

将 $f=N/T$ 带入式(2)得到测频法相对误差为:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta N}{N} - \frac{\Delta T}{T} \quad (3)$$

由式(3)可知,测频法相对误差由两部分组成,第一部分为计数误差,第二部分为计时误差。

计数误差和计时误差的相对值^[7]分别为:

$$\frac{\Delta N}{N} = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{1}{Tf} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta f_i}{f_i} \quad (5)$$

两个误差项的符号具有随机性是不确定的,因此将式(4)和式(5)带入式(3)取绝对值,最大误差为:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta N}{N} - \frac{\Delta T}{T} = \pm \left[\frac{1}{Tf} + \frac{\Delta f_i}{f_i} \right] \quad (6)$$

由此可以得出结论:

测频法误差影响因素主要由计数误差和标准频率误差组成;在被测频率 f 一定时,闸门时间 T 越大,计数误差越小;在闸门时间 T 一定时,被测频率 f 越高,计数误差越小。

计时误差即标准频率误差主要由单片机硬件条件决定,在条件允许的情况下,应选择精度高、稳定性好的晶振来做单片机的时钟源。

3.4.2 测脉宽法的误差分析

测脉宽法是利用单片机定时器的输入捕获功能,即单片机在脉冲的上升沿或下降沿会产生中断,定时器把中断时的时钟数存入缓冲寄存器,当第二个脉冲的上升沿或下降沿到来时,又把下一个定时器的时钟

数存入缓冲寄存器,二者相减,所得 m_1 个计数差值,这个差值就是一个脉冲周期的宽度,该脉冲宽度为:

$$t = m_1 \times t_1 \quad (7)$$

式中: t_1 为晶振经过分频赋予定时器的脉冲宽度。通过流速仪每信号的转数 a 即可求出流速仪的信号周期:

$$T = a \times m_1 \times t_1 \quad (8)$$

根据误差传递公式(式(2))得,测脉宽法的相对误差为:

$$\frac{\Delta T}{T} = a \left(\frac{\Delta m_1}{m_1} + \frac{\Delta t_1}{t_1} \right) \quad (9)$$

由式(9)得出,第一项的 Δm_1 依然为正负 1 的误差项,第二项为时钟误差项,因此同测频法一样,得出测脉宽法的相对误差为:

$$\frac{\Delta T}{T} = a \times \frac{\Delta m_1}{m_1} \quad (10)$$

由此可以得出结论:

当流速仪的脉冲信号频率越低,即脉冲宽度越大时,测脉宽法的相对误差越小,反之则增大。为增加测脉宽法的精确性,可以多测几次算出平均值,使结果更稳定。

3.4.3 误差分析总结

经过分析,可以总结出如下规律:测脉宽法适合信号频率较低,脉冲宽度较大的流速仪脉冲信号;测频法适合信号频率较高,脉冲宽度较小的流速仪脉冲信号;二者在适当的时候可同时使用相互补充,使计数结果更准确。

4 流速仪信号采集系统仿真研究

4.1 硬件调理电路仿真

流速仪数据采集模块的信号调理电路需要将带有杂波的流速仪信号处理成干扰尽可能少的、符合单片机处理要求的信号。

抖动信号对后级单片机测速影响最大,必须滤除。单纯靠硬件或软件延时都无法精确滤除抖动信号,需要叠加使用。硬件上,用单稳态触发器和 D 触发器可以很好的滤除大部分抖动信号,信号波形图如图 3 所示,中间信号为施密特触发器滤波后的信号,上方信号为 74121 芯片单稳态触发后的输出信号,每一个施密特触发器输出信号的上升沿都可以触发一个固定脉冲宽度的下降沿,当单稳态过程结束后,施密特触发器的输出信号在单稳态上升沿时为高电平,输出才能为高电平,只要单稳态时间选择得当,即可很好

的滤除抖动脉冲。

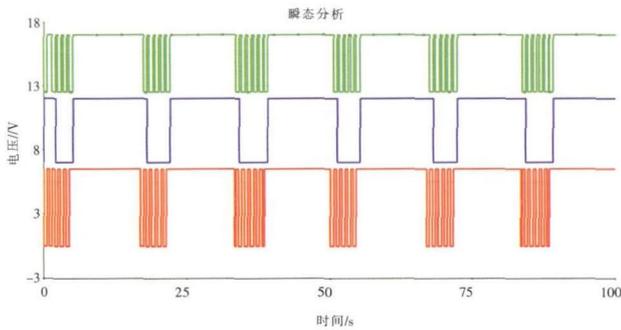


图3 74121 和 D 触发器信号波形图

Fig.3 The waveform of 74121 and D trigger

4.2 软件滤波仿真

流速仪数据采集模块核心功能是采集流速仪信号的频率,应进行仿真以验证设计的准确性。验证需要在高频和低频两种模式分别进行,如图4所示。

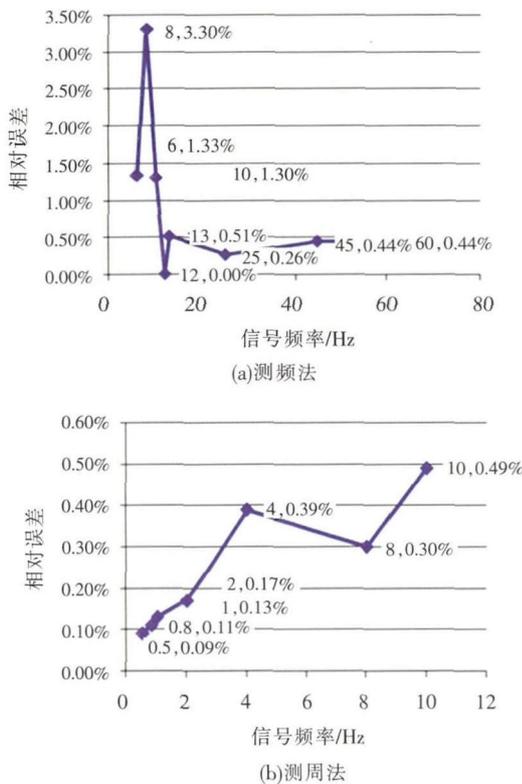


图4 3.75s 测量时间不同频率的测量误差

Fig.4 The detection error under different frequency during 3.75s

由图4(a)可以看出,测量时间在3.75s时,流速仪测量误差大部分的频率段内满足0.5%的要求,但在低速段,特别在10Hz左右范围内,测量精度用测频法不能完全保证。对10Hz左右的频率范围进行测周法

论证,如图4(b)可以看出,信号频率在10Hz以内,测量相对误差随着频率的降低而减小。

综上验证,两种测量方法完全满足测量精度的要求,流速仪数据采集模块采集的信号周期误差均控制在0.5%范围内,符合设计要求。

5 应用实例

5.1 核心控制电路板

设计的核心控制器 PCB 电路板成品主要包括:(1)中央处理器,实现系统智能控制;(2)辅助调试电路,包括工作模式选择部分、按键及指示灯;(3)信号采集电路;(4)串口通信模块,实现与上位机通信;(5)PWM 控制电路,可扩展用于控制流速仪调向及升降。经实验调试,该电路板可完成信号处理及与上位机的通信功能。

5.2 设计应用情况

本设计已应用在流速仪检定系统中,硬件电路整形完毕后进入可编程控制器,用软件对流速仪信号进行滤波,同时与工业用计算机进行通信,完成数据采集处理和与上位机通信工作。

6 结论

本设计详细分析了流速仪信号采集的特点和难点,特别在流速仪信号调理电路和计数方法上进行重点分析,阐述了影响流速仪信号采集的若干因素和解决方法,得出流速仪信号采集系统在不同条件工作的合理方案,进一步提高流速仪信号采集精度。

参考文献:

[1] GB/T 21699-2008, 直线明槽中转子式流速仪的检定方法[S]. (GB/T 21699-2008, Verification/Calibration Method of Rotating-element Current Meters in Straight Open Tank [S]. (in Chinese))

[2] 梁岚珍,陈志军,南新元. 流速仪信号计算机采集系统的设计[J]. 自动化仪表,2002,23(9):38-41. (LIANG Lanzhen, CHEN Zhijun, NAN Xinyuan. The design of computerized acquisition system of flow velocity signal [J]. Process Automation Instrumentation, 2002,23(9): 38-41. (in Chinese))

[3] 康华光. 电子技术基础-数字部分(第五版)[M]. 北京:高等教育出版社,2006:388-421. (KANG Huaguang. Fundamentals of Electronic Technology (5th edition)[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 388-421. (in Chinese))

[4] 包先国,张文锦. 基于 ARM 的流速仪检定车检测系统[J]. 仪器仪表用户, 2007,14(6):45-47. (BAO Xianguo, ZHANG Wenjin. An ARM-based detect system of the calibration car of current-meters[J].

- [2] 胡春歧. 河北雨洪模型[A]. 中国水文科学与技术研究进展[C]. 南京: 河海大学出版社, 2004:270-273. (HU Chunqi. Hebei storm flood model [A]. China Progress in Study on Hydrology Science and Technology [C]. Nanjing: Press of Hohai University, 2004:270-273. (in Chinese))
- [3] 胡春歧,张登杰,胡军波. 半分布式河北雨洪模型在黄壁庄以上流域的应用[A]. 水文水资源新技术应用[C]. 中国水利学会, 2006. (HU Chunqi, ZHANG Dengjie, HU Junbo. Application of semi-distributed Hebei storm flood model in basin above Huangbizhuang [A]. Application of New Technology in Hydrology and Water Resources[C]. Chinese Hydraulic Engineering Society, 2006. (in Chinese))
- [4] 冯秀英. 河北雨洪模型在水资源评价中的应用[J]. 河北水利水电技术, 2003,(1):29-31. (FENG Xiuying. The application of Hebei storm flood model in water resources assessment [J]. Hebei Water Resources and Hydropower Engineering, 2003, (1):29-31. (in Chinese))
- [5] 包为民. 水文预报 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009. (BAO Weimin. Hydrological Forecast [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2009. (in Chinese))
- [6] 张漫莉. 改进的 HBV 模型与新安江模型在武江流域洪水预报中的应用比较[J]. 人民珠江, 2014,(1):34-37. (ZHANG Manli. Application comparison between improved HBV model and Xin'Anjiang model in Wujiang River basin flood forecasting [J]. Pearl River, 2014,(1): 34-37. (in Chinese))
- [7] GB/T22482-2008, 水文情报预报规范[S]. (GB/T22482-2008, Specification of Hydrological Information and Forecast [S]. (in Chinese))

Applicability Research on Flood Forecasting Models for Semi-arid and Semi-humid Areas

LIU Yu¹, ZHAO Lanlan², MA Ding³

(1. Hebei University of Engineering, Handan 056038, China; 2. Bureau of Hydrology, MWR, Beijing 100053, China;

3. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang 050031, China)

Abstract: According to the basin features and runoff characteristics, this paper compared the Hebei storm flood model and Xin'anjiang model in the model principle and structure. Taking the Laoniuhe River Basin as a case, an applicability study was made. The results show that the precision of the Hebei storm flood model is higher, and is more suitable to flood forecasting for the semi-arid and semi-humid areas.

Key words: storm flood model for Hebei Province; Xin'anjiang Model; infiltration; flood forecasting; semi-arid and semi-humid

(上接第 91 页)

- Electronic Instrumentation Customer, 2007,14(6):45-47. (in Chinese))
- [5] 张安. 流速仪检定车测控系统研究与设计 [D]. 南京: 河海大学, 2007. (ZHANG An. Research and Design of the Current Meter Examination and Determination System [D]. Nanjing: Hohai University, 2007. (in Chinese))
- [6] 梁岚珍. 流速仪信号计算机采集系统的设计 [J]. 自动化仪表, 2003,23(9):38-39. (LIANG Lanzhen. The design of computerized acquisition system of flow velocity signal [J]. Process Automation Instrumentation, 2003,23(9):38-39. (in Chinese))
- [7] 李勇. 数字频率计的测量误差[J]. 宜宾学院学报, 2010,6(10):45-47. (LI Yong. Measurement errors of digital odometer [J]. Journal of Yibin College, 2010,6(10):45-47. (in Chinese))

Design of Signal Acquisition System of Current Meter

JIN Fuyi

(Hydrology Bureau of Liaoning Province, Shenyang 110003, China)

Abstract: The paper introduced the principle of current meter calibration system, analyzed the characteristic and difficulty of signal sampling. Considering that the signal of current meter is easy to be distorted by external disturbance, this paper designed a signal conditioning circuit. According to various period of sampling signal of current meter, this paper compared and analyzed the error of frequency measuring method and period measuring method, so as to determine different software filtering methods in different speed range. The design was proved to be feasible and effective by simulation. And the design can improve the accuracy of the signal acquisition and the hardware design is realized on a single-chip platform.

Key words: signal acquisition of current meter; signal condition; error analysis