涡街流量计信号处理方法与实现

张欲晓 郑德智 樊尚春

(北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院, 北京 100191)

摘 要: 设计一种基于变增益运算放大器和带通开关电容滤波器的新型涡街流量计信号处理电路. 单片机利用模拟数字转换电路 (A/D)实时检测涡街流量计传感器输出信号的幅度和频率,同时利用数字模拟转换电路 (D/A)对变增益运放进行控制,为后续的信号检测电路提供幅度相对稳定的有效信号. 带通开关电容滤波器在单片机的控制下实时跟踪变增益运放输出的信号频率,保证带通滤波器的中心频率接近信号频率,以达到良好的滤波效果. 滤波后信号通过单片机进行频率信息的精确计算以及流量的解算. 实验结果表明,变增益运算放大电路有效解决了涡街流量计传感器输出信号幅度变化范围大而造成的放大电路复杂,分段放大信号幅度不连续等问题;带通滤波器通过单片机实时调整中心频率,对信号中各种干扰起到较好滤波效果.

关 键 词: 传感器; 涡街流量; 运算放大器; 带通滤波器;

中图分类号: TH 814^{+}. 6

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2008)12-1460-04

Signal processing method and realization of vortex flow meter

Zhang Yuxiao Zheng Dezhi Fan Shangchun

(School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: A new method of vortex flow meter based on variable gain amplifier and band pass switched-capacitor active filter is designed. The singlechip processor measures the range and frequency of the vortex flow meter output signals by the inner analog to digital converter (A/D), and the gain of the variable gain amplifier is controlled by the digital to analog converter (D/A) of the processor, then the relative stable active signal is provided to the subsequent measurement circuits. The band pass switched-capacitor active filter traces the frequency of the variable gain amplifier output signal, it is guaranteed that the center frequency of the band pass filter is near to the signal frequency, so the favourable filter result is obtained. The frequency of the filtered signal and the flux of the liquid are calculated by the processor. The experimental results show that the complex amplifier circuit due to the large variable range of the vortex flow meter output signal is replaced, and the discontinuous problem of the signal is solved. The noise of the signal is effectively restrained because that the center frequency of the band pass filter is adjusted by the processor.

Key words: sensors; vortex flow; operational amplifiers; bandpass filters

1 问题提出

涡街流量计是 20世纪 60年代末期发展起来的基于卡门涡街效应原理的流量测量仪表. 传感器内部无活动部件,使用寿命长,标定精度较高;量程比宽,压力损失小;运行可靠,维护方便. 近30多年的工业应用也证明涡街流量计在稳定流体计量中的可靠性和精确性.

卡门涡街效应即在流体中放置一个外形为外流线型对称的阻流体,在一定的雷诺数范围内,阻流体的下游侧会产生两列不对称的且有规律的漩涡,如图 1所示[1].

收稿日期: 2007-12-29

作者简介: 张欲晓 (1970 -),男,河南鹤壁人,博士生, Jasonzyx@126. com.

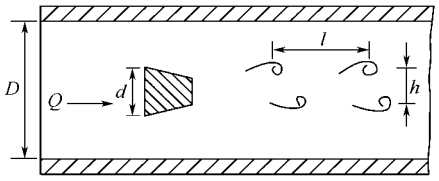


图 1　卡门漩涡示意图

实验表明,涡流漩涡的频率 f与流体的平均流速 Q成线性关系:

$$f = KQ \tag{1}$$

式中,K为仪表系数,表示为

$$K = \frac{Sr}{d\left(\frac{\pi}{4}D^2 - dD\right)} \tag{2}$$

式中,Sr为斯特劳哈尔数; d为阻流体特征尺寸; D为管道内径.

当 Re在 3×10^4～3×10^6范围时, K可近似为常数,因此,仅需检测 f即可得到流体的流量[2].

目前涡街流量计传感器中一般采用压电敏感元件将流体的振动信号转化为电信号,并利用比较器、数字信号处理方法等手段实现涡街频率信号的检测,进而实现流量计算. 目前的信号处理方法在应用中存在如下不足[3-4]:

1) 易受测量现场各种干扰的影响,实际测量精度低于实验室标定精度. 干扰主要为流场不稳定、管道振动和电磁噪声.

2) 量程比受限. 理论上涡街流量计的量程比可以达到 100∶1,而目前实际上一般只达到 10∶1. 因为小流量时,产生的信号十分微弱,易被噪声淹没.

3) 不同口径的传感器需要人工调整 2次仪表的滤波和放大参数进行匹配,不能动态自动调节.

针对涡街流量计应用中存在的实际问题和需求,设计了一种增益和滤波参数均由程序自动控制的新型涡街流量计信号处理电路,提高信噪比和测量精度与稳定性.

2　系统实现

2.1　信号特性分析

图 2、图 3为某型号 Φ50 mm涡街流量计在 0.1L/s流量时的原始信号和功率谱分析波形,图 4、图 5为该涡街流量计在 3L/s流量时的原始信号和功率谱分析波形. 可以看出,在小流量和大流量时,原始信号的幅度变化范围较大,最小量程和最大量程信号幅度比约为 1/100左右;小流量时信号中含有较多干扰,其幅值与信号幅值相近[2]. 因此,涡街流量计信号处理电路必须具备幅度增益调节和滤波能力,将小流量时的微弱信号放大并进行滤波处理,以满足测量精度.

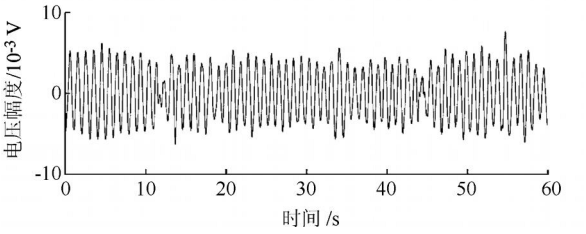


图 2　流量为 0.1L/s时敏感元件输出信号波形

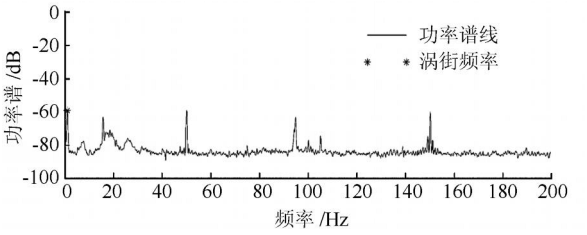


图 3　流量为 0.1L/s时敏感元件输出信号功率谱

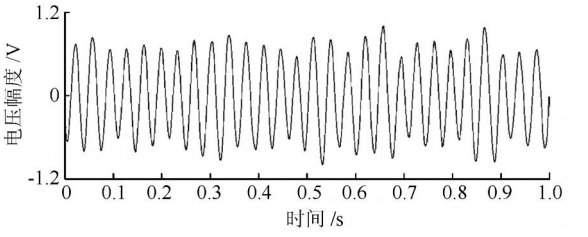


图 4　流量为 3L/s时敏感元件输出信号波形

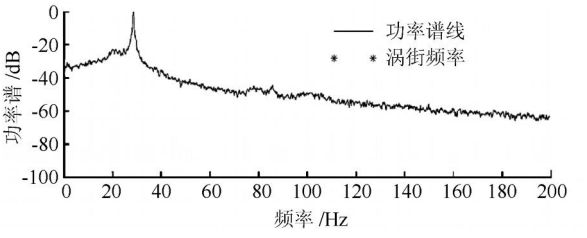


图 5　流量为 3L/s时敏感元件输出信号功率谱

2.2　硬件设计

常规的信号处理电路依靠编码开关人为调节信号放大电路的放大倍数,一旦调节完毕,在实际的测量中,信号幅度不能根据实际情况进行动态调节,以达到较好的信号处理目的. 滤波电路同样依靠编码开关调节滤波电容参数,不能动态跟踪信号的中心频率. 为此,设计了一种基于变增益运算放大器和带通开关电容滤波器的新型涡街流量计信号处理电路,如图 6所示.

图 6中,敏感单元采用常规的压电敏感元件,电荷放大器由高输入阻抗运放 LF411和电阻电容构成,均属常规电路,原理在文中不进行详细说明. 下面着重介绍变增益放大器和开关电容滤波

器电路.

变增益放大电路以线性增益控制芯片 AD603 为核心,在控制电平的作用下,增益调整范围为 - 11～ +31 dB. 图 7为典型 AD603增益曲线.

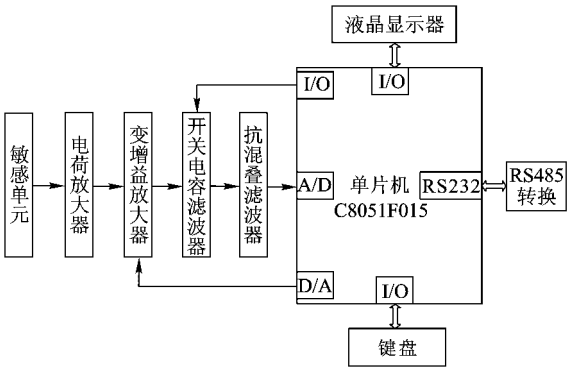


图 6 硬件结构示意图

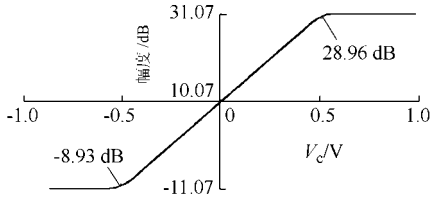


图 7 AD603的增益曲线示意图

由前面分析知,原始信号最小幅值与最大幅值比约为 1/100,相差 - 40 dB. AD603的线性增益控制最大为 40 dB,完全满足设计要求. 考虑开关电容滤波器的输入信号特性,电荷放大器将原始信号放大 3倍,即 AD603的输入信号幅度范围为 30mV～3 V,利用 AD603将最大幅值信号衰减 10 dB,即信号的幅值缩小为 $3\times10^{-0.5}\approx0.95$ V,将最小幅值信号放大 30 dB,即信号幅值放大为 $0.03\times10^{1.5}\approx0.95$ V,以保持在最小量程和最大量程时输出给带通滤波器的信号幅度稳定. 系统中,采用单片机 C8051F015集成的 A/D实时采集放大后的信号,计算信号幅度,利用集成的 D/A 输出 V_C 控制 AD603的放大增益,达到全量程范围内单片机 A/D输入信号幅度基本稳定目的[5].

开关电容滤波器采用可编程变 Q 值滤波芯片 MAX260构成四阶带通滤波器. 工作过程中,单片机首先设置滤波器的 $Q=0.5$,利用扫频方式(扫描频率由传感器的最小量程和最大量程以及传感器口径换算而得),寻找输入信号的最大幅值对应的频率点,再利用粗测的结果在有效信号频率附近调整 Q 值 ($0.5\leq Q\leq64$)和中心频率,以达到良好的滤波效果. 开关电容滤波器输入时钟频率 f_{CLK} 由单片机的 I/O 利用定时器产生,其与滤波的中心频率 f_0 满足 100∶1的线性关系.

单片机 C8051F015作为系统的控制核心,负责变增益运算放大器的控制、开关电容滤波器的控制、键盘和液晶显示管的显示、信号幅度与频率的计算和流量信息解算、温度信号的采集与补偿以及 RS485的实时通讯.

2.3 软件设计

单片机的软件主要由主程序及中断服务程序构成. 主程序负责信号频率的计算,流量 Q 的温度补偿及计算,测量结果的显示以及键盘的读取等操作;中断服务程序完成根据频率测量的结果对开关电容带通滤波器中心频率的调节,温度信号的检测,信号幅度的测量以及根据幅度测量结果实时调节变增益放大器的调节电压 V_C. 程序流程见图 8.

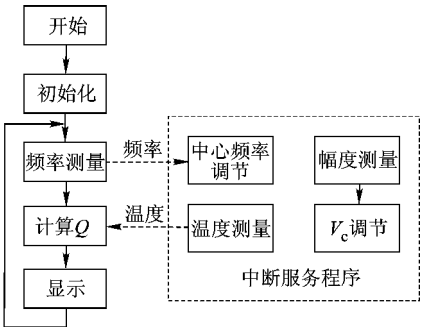


图 8 软件流程图

3 实验结果

3.1 方 案

利用实验室现有条件,规划前期实验方案为

1) 针对信号特性,利用 Matlab设计仿真波形;

2) 利用 NI-DAQ 6110E 数据采集系统将 Matlab仿真波形输出至变增益放大器;

3) 将开关电容滤波器输出的模拟信号利用数据采集系统采集入计算机;

4) 利用 Matlab分析采集结果;

5) 利用单片机计算信号频率信息,计算误差.

3.2 结 果

图 9所示为 Matlab仿真 0.1L/s时原始信号波形及功率谱 (输出信号频率为 1 Hz,幅度为 30mV),图 10为对应的经变增益放大器和开关电容滤波器以及抗混叠滤波器的输出波形和功率谱. 图 11为 Matlab仿真 3L/s时原始信号波形及功率谱 (输出信号频率为 35 Hz,幅度为 3V),图 12为对应的经变增益放大器和开关电容滤波器以及抗混叠滤波器的输出波形和功率谱.

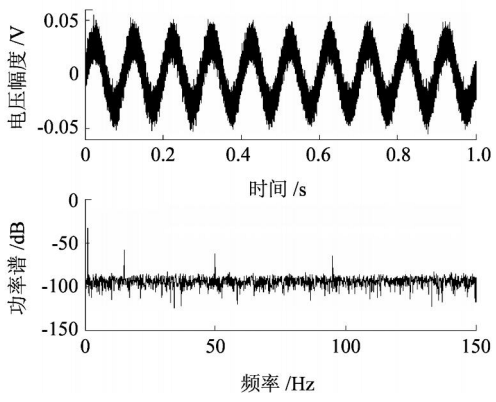


图 9　Matlab仿真 0.1L/s时原始信号波形及功率谱

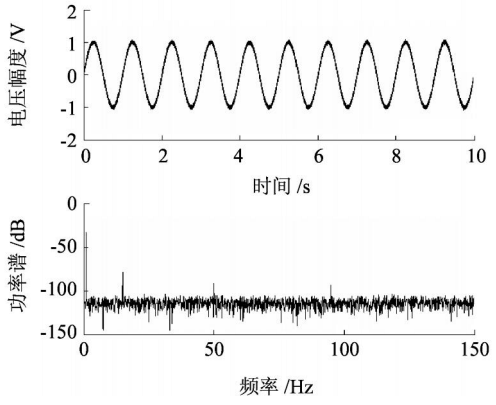


图 10　数据采集系统采集 0.1L/s处理后的信号波形及功率谱

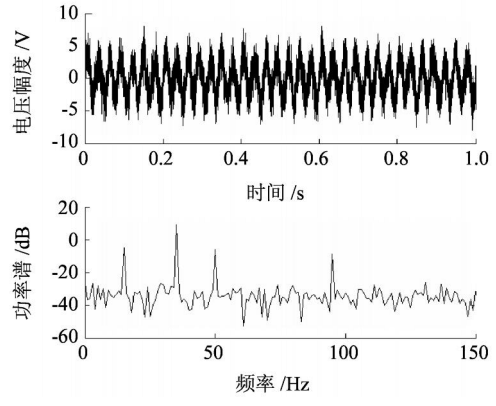


图 11　Matlab仿真 3L/s时原始信号波形及功率谱

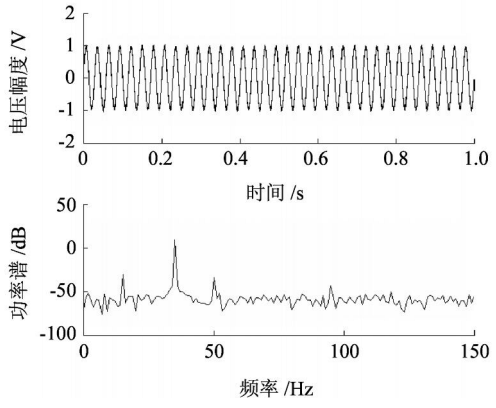


图 12　数据采集系统采集 3L/s处理后的信号波形及功率谱

由图 10和图 12可以看出,利用变增益放大器和开关电容滤波器处理后的信号幅度基本稳定,各种干扰信息也得到了较好的抑制.

表 1为单片机将放大滤波后的信号采集后进行信号处理计算的结果,测量频率的相对误差均在 ±0.5%以内.

表 1　单片机计算结果与相对误差

信号频率 /Hz	测量频率 /Hz	相对误差 /%
1.0	1.005	0.5
1.0	1.003	0.3
1.0	0.998	-0.2
35.0	35.081	0.229
35.0	34.929	-0.2
35.0	35.101	0.286

4　结　论

基于实际涡街流量计信号特征,设计了变增益运算放大器和带通开关电容滤波器的新型涡街流量计信号处理电路.实验结果证明:传感器经放大滤波后的信号幅度基本稳定,滤波效果较好,频率计算精度较高.但由于单片机的运算速度和精度有限,整个系统的实时性受到一定限制,在下一阶段的工作中予以充分优化系统软件结构,提高实时性以及进行进一步的流量标定实验.

参考文献 (References)

[1] 樊尚春,周浩敏.信号与测试技术 [M].北京:北京航空航天大学出版社,2002:318-319
Fan Shangchun, Zhou Haomin. Signal and measuring technique [M]. Beijng: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2002: 318-319 (in Chinese)

[2] Ghaoud T, Clarke D W. Modelling and tracking a vortex flow-meter signal [J]. Flow Measurement and Instrumentation, 2002, 13: 103-117

[3] 田敏,田亮,杨慧.涡街流量计数字信号处理方法 [J].中国仪器仪表,2003, 10: 33-35
Tian Min, Tian Liang, Yang Hui. Digital signal processing method of vortex flow meter[J]. Chinese Instrumenation, 2003, 10: 33-35 (in Chinese)

[4] Takahashi S, Itoh I. Intelligent vortex flowmeter[C]// Park S D, Kinghorn F C. Proceeding of the 6th International Conference on Flow Measurement (FLOMEKO '93). Taejon: Korea Research Institute of Standards and Science, 1993: 313-319

[5] 童长飞. C8051F系列单片机开发与 C语言编程 [M].北京:北京航空航天大学出版社,2005:56-127
Tong Changfei. Development and C language program of C8051F singlechip [M]. Beijng: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2005: 56-127 (in Chinese)

(责任编辑:刘登敏)