

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.02.014

# 基于电压调幅的超声波流量计研究\*

董登辉, 鲍敏\*, 郑锡斌

(浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 针对非稳态流场中流体测量时存在的问题,在超声波流量计过零点检测判定渡越时间的基础上,采用电压调幅的方法产生超声波换能器激励信号,然后通过检测接收信号的幅值变化特征点定位波形。针对流场中流速不稳定可能导致的波形不稳定情况,采用中值滤波的方法减小误差。为避免ADC芯片位数和AD转换速率限制导致渡越时间测量误差问题,在数字波形特征点判定基础上,采用过零点检测从模拟波形上获得渡越数据。实验结果表明,该方法具有一定的可行性,可以达到对超声波脉冲序列准确处理、定位的目的,测量误差可以控制在在1.5%以内,可以达到二级精度仪表的要求水平。

**关键词:** 超声波; 流量计; 调幅; 过零点检测; 渡越时间

中图分类号: TH814; TB551 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2014)02-0195-04

## Ultrasonic flowmeter based on voltage-amplitude

DONG Deng-hui, BAO Min, ZHENG Xi-bin

(Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Aiming at the matter of fluid measurement in the unstable flow field, amplitude modulation was used to generate excitation signals of ultrasonic sensors, then the amplitude changed feature points of received signals was detected to locate the waveform, based on the transit time determined by zero-crossing detection of ultrasonic flowmeter. Aiming at the unstable waveform caused by the unstable flow velocity in the flow field, median filtering method was used to eliminate caused errors. In order to avoid the transit time measurement error caused by the restriction of the ADC digits and conversion rate, the transit data was collected from analog waveform by zero-crossing detection, based on the feature points determination of the digital waveform. The results indicate that this measure is certain feasible, could process and locate the ultrasonic pulse sequence accurately, the measurement error could be controlled below 1.5%, it can achieve the requirement of the secondary standard of precision.

**Key words:** ultrasonic; flowmeter; amplitude; zero-crossing detection; transit time

## 0 引 言

超声波由机械振动产生,其特点包括振动频率高、波长短、定向传播、穿透能力强<sup>[1-2]</sup>。超声波流量计是通过检测流体流动时对超声束的作用以测量体积流量的一种仪表<sup>[3]</sup>,时差法流量计是其中一种,是通过测量超声波信号在气体中顺流和逆流传播时间之差来求取流速,是一种非常理想的节能流量计。

流体流动的状态不一定是理想的,所以要想提高流量计的测量精度就需要提高对数据检测的精确性以消除非稳态的影响。随着高速集成芯片和模拟开关等硬件的引入,系统可以实现对过零点的准确检测标记<sup>[4]</sup>,整个检测过程的精度由计时芯片和采样芯片决定。随着DSP和A/D采样在超声检测里的应用<sup>[5]</sup>以及过零点曲线拟合<sup>[6]</sup>的方法的使用,可以尽量提高数据处理精度。但通常要获得越精确的波形数据,需要的ADC位数越高,而这与采样率的指标存在矛

收稿日期: 2013-11-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51106141);浙江省重点科技创新团队资助项目(2011R09024)

作者简介: 董登辉(1987-),男,河南周口人,主要从事机电控制及其自动化方面的研究。E-mail: ddh0811@163.com

通信联系人: 鲍敏,男,副教授,硕士生导师。E-mail: mbao@zstu.edu.cn

盾,如果完全依靠数字化后的波形判定渡越时间,兼顾采样精度和速率存在一定的难度。

本研究设计一种超声波气体流量计调幅式激励电路和回波电路,在数字化判定波形特征点后,结合模拟电路进行过零点位置判定,可以在保证时间计量精度的同时维持较低的采样速率要求。

### 1 超声波流量计的工作原理

时差法超声波流量计表体内超声波声道近似一条直线,工作区截面如图1所示。

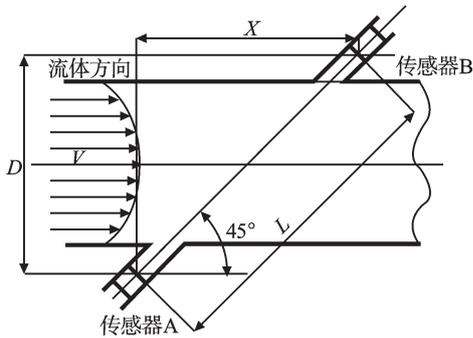


图1 表体截面图

在流体通过的管道上安装有AB两个成夹角θ(图中的θ值为45°)的超声波换能器,设流体测量声

道截面的平均线速度为V,管道直径为D,两个换能器之间的直线距离为L,超声波在静止的流体中的速度为C。一束超声波脉冲穿过流体传播:

$$V=0, t_1=L/C \tag{1}$$

A到B即顺流时超声波传播时间为:

$$t_2=L/(C+V \cos \theta) \tag{2}$$

B到A即逆流时超声波传播时间为:

$$t_3=L/(C-V \cos \theta) \tag{3}$$

实验测得流体顺流和逆流时数据,根据式(2,3)可以得到不同情况下声道截面上的平均线速度V。

公式中L、C和θ均为已知,只要求得准确的t2和t3就能得到准确的数据。所以确保流量计精度的关键就在于对渡越时间的准确采样和处理。

### 2 激励电路和信号接收电路

#### 2.1 超声波激励电路的设计

传统的超声波激励方式一般采用一定占空比的方波给激励换能器<sup>[7-8]</sup>,本研究采用了一种调幅激励脉冲的方法。利用CMOS模拟开关CD4052,对外接的几个电压信号源信号进行选通。为避免通道切换瞬间电流过大,输入端接限流电阻R1~R3。通过调节外接电压可以调节激励强度,电路如图2所示。

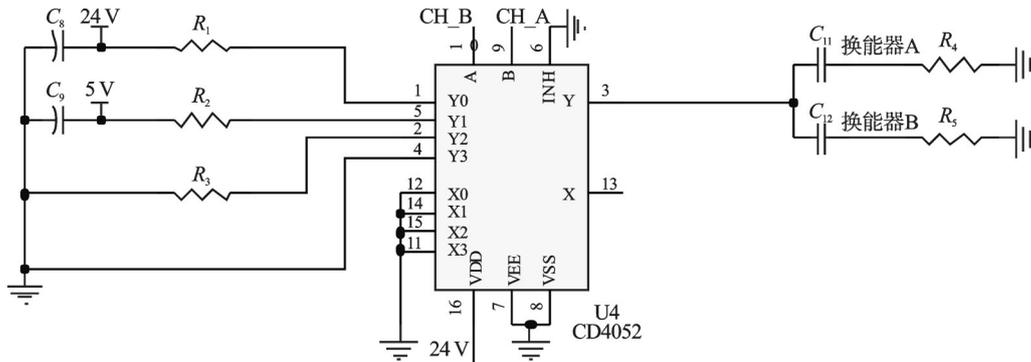


图2 换能器激励电路

换能器选型为LHQ200-3,其工作中心频率为200 kHz±4%,激励脉冲波形中心频率应与换能器工作频率一致,通过对引脚AB的控制,可以实现电压通道切换,生成需要的波形。激励波形在示波器中观察的结果如图3所示。

前10个周期为5V小电压,然后2个周期的24V大电压,最后为2个周期24V电压压制,相邻两个激励波形时间间隔约为2ms,防止发射波形间隔过短产生相邻信号相互激振。

CD4052为CMOS模拟开关,芯片供电电压VCC设为24V,而DSP控制芯片发出的控制信号太小则无法满足控制要求,放大到高电平0.7VCC以上才能有效

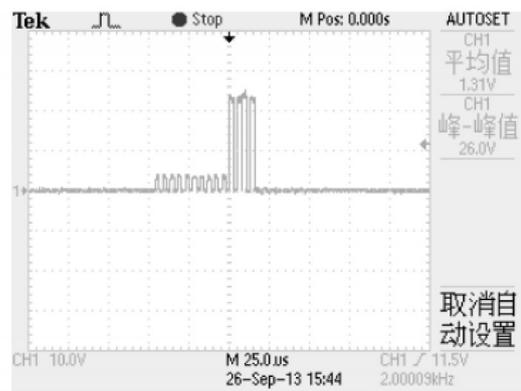


图3 激励脉冲波形图

控制 CD4052。

### 2.2 超声波接收电路的设计

超声波接收电路的作用是将接收换能器收到的小信号进行充分放大滤波后变成足够大的信号。经过管道内的传播,接收换能器接收到的波形变得非常微弱,只有几毫伏到几十毫伏,所以接收信号必须进

行放大滤波处理<sup>[9]</sup>。超声波频率较高,所以要求放大芯片要有足够的频带宽度,电路设计为两级 NE5534 放大。它是一款单路低噪音高速双电源供电放大器如图 4 所示。图 4 中电路的放大倍数由输入输出电阻决定,放大倍数为 400 倍左右,可以使最大电压放大到合适的范围。

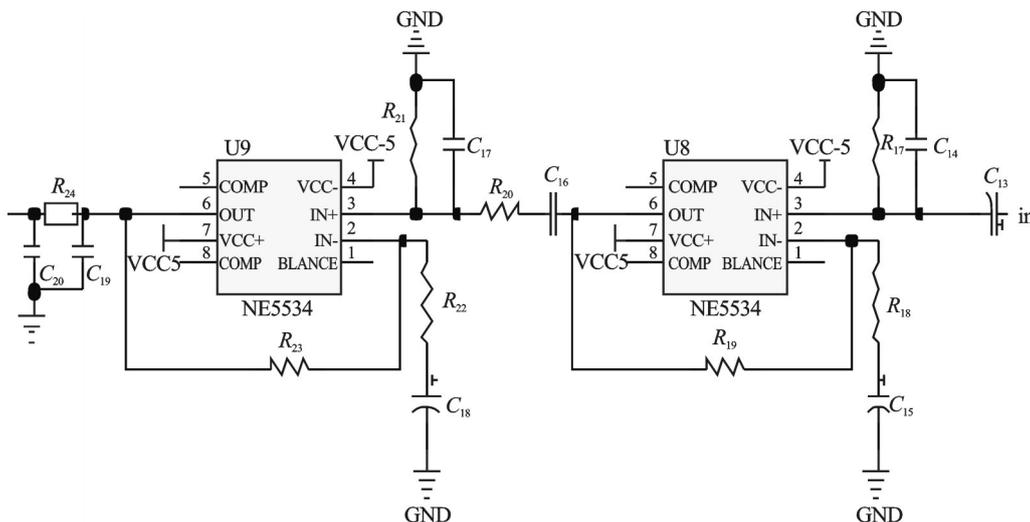


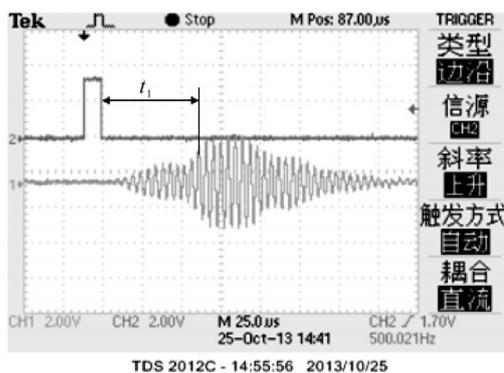
图4 接收放大电路

采样前,本研究设计了一个 $\pi$ 型低通滤波器做抗混叠滤波处理,通过观察示波器可以看到对波形毛刺等干扰具有一定的压制作用。

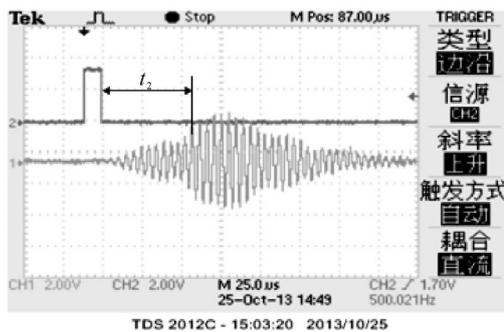
### 3 实验数据分析

不同风量下换能器接收信号的处理后波形如图 5 所示。

无风速时的接收波形如图 5(a)所示,风量为 207 m<sup>3</sup>/h 时顺流接收波形如图 5(b)所示,CH2 触发信号作为基准。每个接收波形均存在一个前后波峰大小增值最大点,该点位置基本稳定在波形的第 12 个波峰,如图 5 所示,随着风量的增大,该波峰的位置(与触发波形下降沿的时间差  $t$ )会发生变动,变动量较小且与流体的速度密切相关。通过与发射波形对比得出,这是激励电压中第 2 个 24 V 电压激励结果,通过该波峰后第一个过零点的位置检测结果可以得到不同风速下顺流和逆流的渡越时间差,在后续 A/D 转换中该点是计时结束时刻。处理过程中对过零点曲线拟合后可以得到更精确的过零点信息,通过中值滤波处理可以有效减小不稳定流速引起的偏差<sup>[10-12]</sup>。根据公式(2,3)计算得到的  $V$  为传播声道线上的平均速度,需要修正才能得到管道截面的平均速度  $V_m = V/K$ ,流量修正系数  $K = (2n + 1)/2n$ ,流体的雷诺系数为  $10^4$  时, $n$  取 6.5<sup>[13]</sup>,处理结果如表 1 所示,基准流量来自 0.5 级涡轮流量计。



(a) 无风速时的接收波形



(b) 风量为 207 m<sup>3</sup>/h 时顺流接收波形

图5 放大后信号采样波形

测量误差包括示值误差和引用误差等,仪表的测量精度由引用误差表示,示值误差为测量值与真值之差值,引用误差为测量值绝对误差与仪表的满量程值

之比。满量程测量值取最大风量时  $V_M$  ,误差分析表如表2所示。

表1 数据处理表

基准流量 $I/(m^3 \cdot h^{-1})$	顺流过零位 置	逆流过零位 置	逆流顺流 过零中值差 $I/(10^{-7} s)$	平均速度 $V_M/(m \cdot s^{-1})$
50	883.000 0	915.000 0	31.000 0	1.667 1
	884.000 0	964.000 0		
	885.000 0	914.379 9		
	886.000 0	914.000 0		
	882.670 2	919.999 9		
101	863.281 0	929.326 6	65.000 0	3.495 6
	866.659 8	929.666 7		
	864.690 9	931.000 0		
	869.542 6	930.000 0		
	865.000 0	932.709 8		
122	853.343 2	938.549 3	79.499 9	4.275 4
	857.297 2	929.999 9		
	854.000 1	936.676 0		
	852.616 1	929.679 2		
	860.000 0	933.500 0		
185	827.290 4	945.000 2	120.197 6	6.464 0
	824.000 0	944.524 2		
	824.326 6	942.000 2		
	828.460 7	991.372 9		
	821.000 0	933.361 8		
207	817.999 9	956.463 7	135.000 1	7.246 0
	862.480 9	955.000 1		
	821.409 9	957.501 9		
	820.000 0	952.511 8		
	819.000 0	943.351 2		

表2 误差分析表

基准流量 $I/(m^3 \cdot h^{-1})$	基准平均速度/ $(m \cdot s^{-1})$	流速示值误 差/ $(m \cdot s^{-1})$	流速引用误差 $I(\%)$
50	1.768 4	-0.101 3	1.398
101	3.572 1	-0.076 5	1.056
122	4.314 9	-0.039 5	0.545
185	6.543 0	-0.079 0	1.090
207	7.321 1	-0.075 1	1.036

根据表2中结果可知测得的平均流速与实际偏差不大,测量引用误差保持在1.5%以内,可以满足测量要求。一次采集过程为2 ms,采集时间为800  $\mu s$ ,剩

余时间分配给数据处理和数据显示。

针对后续数据,只需要对过零点位置的采样就可以满足测量效果,这样可以有效地解决A/D采样中采样精度和效率不能兼顾的问题。

### 4 结束语

该实验设计了基于电压调幅的方法,具有较容易实现且后续数据采样处理简单的优点。标定实验结果表明,该方法在一般流场下具有很好的测量精度,但同时也具有调幅方法共有的抗干扰能力差这个缺点。在工业环境中仪表会受到周围的很多干扰,会给测量结果带来很大的误差,所以需要在抗干扰方面采取合适的措施,效果还需要在后续研究中验证。

### 参考文献(References):

[1] 纪 纲. 流量测量仪表应用技巧[M]. 北京:化学工业出版社,2009.

[2] 周云龙,张全厚,孙 通,等. 锥形孔板在气液两相流量测量中的应用[J]. 流体机械,2013,41(3):10-14.

[3] 徐科军. 传感器与检测技术[M]. 北京:电子工业出版社,2004.

[4] 姜 勇. 时差法超声波流量计设计与研发[D]. 杭州:浙江大学机械与能源学院,2006.

[5] 王铭学. 基于DSP的超声波气体流量测量系统的研究[D]. 杭州:浙江大学机械与能源学院,2008.

[6] 盛春波,郑绳植. 一种基于DSP技术的工频相位测量算法研究[J]. 微处理机,2007(6):98-101.

[7] 蔡忠兴,赵 辉,徐 南. 四声道超声波流量计收发电路设计[J]. 仪器仪表装置,2009(1):13-17.

[8] 符 东. 一种基于AD9850的超声波信号发生器[J]. 液压气动与密封,2012(9):28-30.

[9] 陈昌华. 激励脉冲信号对超声波检测的影响[J]. 冶金分析,2010(30):1380-1384.

[10] 王铭学,王文海,田文军,等. 数字式超声波气体流量计的信号处理及改进[J]. 传感技术学报,2008,21(6):1010-1014.

[11] 尹 娜,温成荣,叶伟健,等. 超声波辅助提取魔芋多酚工艺的研究[J]. 包装与食品机械. 2013(4):1-4,19.

[12] BRASSIER P, HOSTON B, VULOVIE F. High-frequency transducers and correlation method to enhance ultrasonic gas flow metering[J]. **Flow Measurement and Instrumentation**,20-01(12):206.

[13] 罗守南. 基于超声多普勒方法的管道流量测量研究[D]. 北京:清华大学精密仪器与机械学系,2004.

[编辑:罗向阳]

### 本文引用格式:

董登辉,鲍 敏,郑锡斌. 基于电压调幅的超声波流量计研究[J]. 机电工程,2014,31(2):195-198.

DONG Deng-hui, BAO Min, ZHENG Xi-bin. Ultrasonic flowmeter based on voltage-amplitude[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014,31(2):195-198.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>