

基于 ARM 的超声波风速测量系统

金 晶, 唐慧强

(南京信息工程大学信息与控制学院, 江苏南京 210044)

摘要:介绍了超声波时差法风速测量的基本原理, 以及基于 ARM 微控制器的风速测量系统的实现方法。给出了以 LPC2131 芯片为核心的硬件设计的总体框图。详细地阐述了放大滤波电路、外围接口电路的设计, 以及超声波风速测量系统的软件设计。系统具有结构简单、精度高、功耗低和扩展方便等特点。

关键词:ARM 微控制器; 超声波; 时差法; 风速测量

中图分类号: TH815

文献标识码: A

文章编号: 1002-1841(2009)06-0101-02

Design of Ultrasonic Wind Velocity Measurement System Based on ARM

JIN Jing, TANG Hui-qiang

(Institute of Information and Control, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Ultrasonic wind velocity measurement with time-difference method and wind velocity measurement system based on ARM micro-controller were introduced. Principle graphic of the hardware design based on LPC2131 was given. The amplifier and filter circuits and the peripheral interface were expatiated in detail, and the software design was introduced. The system has the advantages of simple structure, high precision, low power dissipation and is convenient to extend.

Key words: ARM micro-controller; ultrasonic; time-difference method; wind velocity measurement

0 引言

目前, 超声波风速测量仪表仍然广泛地采用传统的 8/16 位单片机, 而且它们仅具有基本的测量显示功能, 在人机界面、数据查询能力以及网络通信功能方面比较欠缺。采用 32 位 ARM 微处理器, 利用丰富的片上资源, 在体积、功耗和速度等性能方面具有优势, 在风速测量领域越来越受到重视。

1 时差法超声波风速测量原理

超声波在空气中传播固定距离时, 顺风逆风传播存在一个时间差, 这个时间差与待测风速具有线性关系。实际应用中, 选用一对超声波收发一体换能器, 保证距离不变, 以固定频率发射超声波, 测量两个相对方向上的超声波到达时间, 由此得到顺风的传播速度和逆风的传播速度, 经过软件换算即可得到风速值。

2 系统硬件设计

设计系统如图 1 所示。采用 LPC2131 作为核心处理器。LPC2131 微处理器具有 ARM7TDMI-S 内核, 超小的 LQFP64 封装结构, 超低的功耗, 较高的性能, 同时具有较为丰富的片上资源。带有 8 KB 的片内静态 RAM 和 32 KB 的片内 Flash 程序存储器, 47 个通用 I/O 口。多个串行接口, 包括 2 个 16C550 工业标准 UART, 2 个高速 I²C 总线。2 个 32 位定时器/外部事件计数器。通过片内 boot 装载程序实现在系统编程/在应用编程 (ISP/IAP)。系统由 ARM 产生时序信号控制脉冲发射, 接收信号经过前置放大、滤波、主放大后进行 A/D 转换, 转换数据送至 FIFO 进行缓存, ARM 从 FIFO 中读取数据进行处理, 计算风速并控制显示输出。键盘用来调节精度以及显示方式。系统支

持串口通信, 可将测量数据传至上位机进行保存, 便于以后的数据分析。

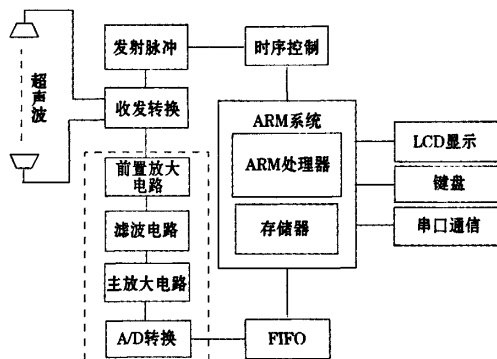


图1 超声波风速测量系统结构框图

2.1 超声波传感器驱动电路

超声波的指向性与超声波的探头的尺寸和频率直接相关, 为了得到单纯的超声波信号, 并保证良好的指向性, 要求采用大尺寸探头以发出平面波, 但尺寸过大又会因为挡风而影响测量精度, 故选择 tc40-16TR1 收发一体超声波换能器。它的发射声压在 10 V 时 ≥ 90 dB, 接收灵敏度在 40 kHz 处 ≥ -67 dB, 探测距离最大为 3 m, 满足设计要求。对其结构加以改进, 在超声波探头外围加上吸声材料构成方向选择透镜^[1], 可以保证超声波传播的指向性良好。

选取低功耗、耐高压、输入内阻大的高速场效应管 (NMOS 和 PMOS) 作为传感器的驱动元件组合成模拟开关^[2], 由 ARM 控制信号线控制场效应管的通断, 激励传感器发出超声波脉冲。

2.2 前置放大电路

在气体介质测量中, 超声波信号的脉冲波很难保持稳定,

而且经过方向选择透镜的筛选,接收到的超声波信号很微弱,转换成电压一般在 mV 级别。为了避免信号幅值波动导致漏检或者误判,同时使得放大后信号的幅值保持在同一数量级上,需增加具有自动增益(AG)的前置放大器对信号进行预处理。前置放大器关系整个放大电路的优劣,必须具有高精度、低噪声和强抗干扰能力。采用集成对数放大器 TL441 和运算放大器 TL592 构成前置放大电路。该放大器输入信号范围很广,输出保持在 100 ~ 1 000 mV,工作带宽满足要求,而且内部设置有温度补偿装置,可以很好地完成接收信号的压缩和放大功能。

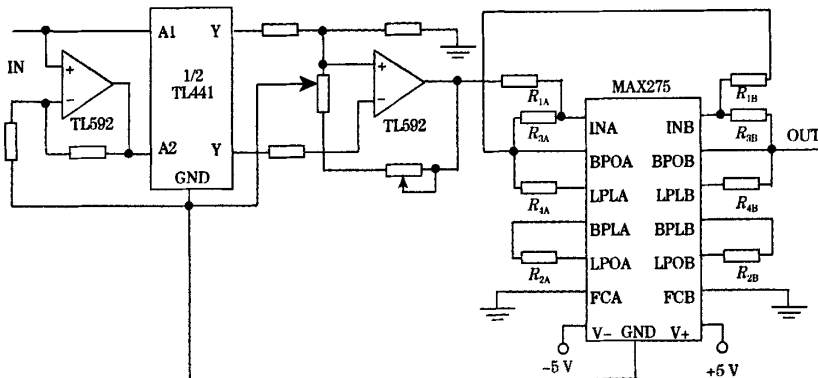


图2 前置放大电路及滤波电路

2.4 主放大器

主放大器要求具有高转换速率和宽频带。系统采用固定增益为 5 的高速运算放大器 AD8225 构成主放大电路。AD8225 的突出特点是具有优异的动态性能和很高的共模抑制比,在 10 kHz 时的 CMRR 最小为 80 dB,适合高精度电路的设计。当采用 4 ~ 36 V 的单级电源供电时,其开环带宽 SW 为 900 kHz,而普通运放的 SW 仅为几 ~ 几十 kHz,所以采用 AD8225 适合处理较高频率的信号,而且 AD8225 具有高速转换速率 SR (最小为 5 V/ μ s)。

2.5 A/D 转换器及 FIFO

放大后的信号送至 A/D 转换器进行模数转换,采用 8 位高速 A/D 转换器 TLC5510A。它采用半闪速结构以及 CMOS 工艺,因此转换速度快,可提供 20 MSPS 的采样,同时在高速转换的过程中保持较低的功耗,满足设计要求。高速 A/D 转换后的数据直接交由处理器进行处理,会引起数据处理不及时,造成数据丢失。接入 4 K \times 9 bit 的 FIFO IDT7204 将转换数据存储起来,LPC2131 从 FIFO 中读出数据进行处理,控制显示输出。

2.6 显示、键盘电路及通信接口

显示屏选取液晶显示器以降低功耗,采用集成电路 HT1621 作为 LCD 的驱动器。键盘采用 6 个按键,分别为开关按键、模式选择按键、上下调节按键、测量按键、通信按键以及确定按键,其中模式选择按键用以切换测量模式和参数设置模式,确定按键用保存参数。LPC2131 具有 2 个的通用异步收发器(UART)接口,符合 16C550 工业标准,UART0 引脚与 SP3232E 转换器连接,实现 RS-232 串口通信^[3]。

2.3 滤波电路

经前置放大电路处理后,信号和噪声同时被放大,但信噪比并没有提高,需增加滤波电路。滤波电路设计采用 MAX275 芯片。它是一款具有 2 个带通滤波输出和 2 个低通滤波输出的集成有源滤波器,片内集成四运算放大器。运放、内部电容以及外接电阻构成级联积分电路,可同时提供低通和带通滤波输出。电路连接时,将 A 级带通滤波信号输出 BPOA 作为 B 级带通滤波器的输入信号,构成中心频率为 40 kHz 的四阶带通滤波器。前置放大及滤波电路如图 2 所示。

3 系统软件设计

系统的软件设计包括初始化程序、主程序、参数设置子程序、测量子程序、显示子程序以及串口通信子程序这 6 部分,主程序流程图如图 3 所示。编程调试环境为 ADS1.2,采用 C 语言开发,增加了软件的可读性,便于修改和维护,并可用 JTAG 或者 ISP 在线下载和调试。初始化程序完成设置系统模式和时钟、初始化存储系统,以及 LCD 显示开机画面等操作。主程序循环执行键盘扫描操作^[4],当关闭按键按下或者长时间无任何按键按下时,系统执行关机。参数设置子程序完成精度调节功能。测量子程序完成风速测量功能。显示子程序完成风速显示以及模式设置时的 LCD 显示功能。串口通信子程序包括波特率设置,串口工作模式设置,完成测量数据与上位机之间的通信。

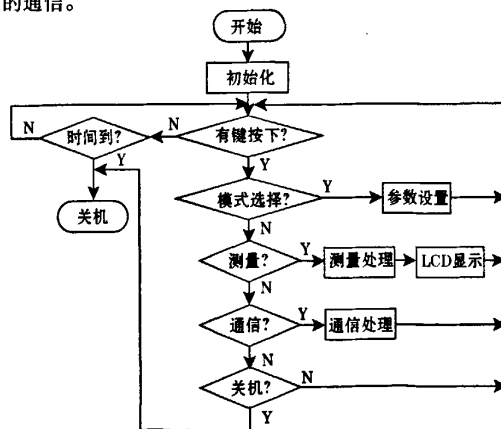


图3 系统软件流程图 (下转第 106 页)

液压油中传播的绝对时间。为此,必须首先确定总时间里系统电路等的耗费时间。

选用厚度均为 d_0 , 内部长为 l_1 , 宽为 l_2 的钢制矩形容器 ($l = l_1 - l_2 \geq 10$, l_2 为 10 mm 左右), 洗净吹干后, 注入 10# 航空液压油, 经 SDJ705 高低温湿热箱加热后, 让容器和油液处于温度为 T_0 , 压力为 P_0 的状态。利用上述超声测压系统, 设置循环次数 N_0 , 选择确定油品与管材类型, 分别测得超声波沿 l_1 传播时系统测得总时间 t_1 , 沿 l_2 传播时系统总时间 t_2 。则得到超声波在该油液中传播距离为 l_1 的时间 t'_1 :

$$t'_1 = \frac{l_1 \times (t_1 - t_2)}{(l_1 - l_2) \times N_0} \quad (8)$$

据此, 可得单个循环时该系统电路等的时间耗费 t_0 为

$$t_0 = \frac{t_1 - N_0 t'_1}{N_0} \quad (9)$$

3.4 超声传播的时间计算

经过上述讨论可知, 对于任意壁厚为 d 的小管径而言, 若由 DSP 确定的循环 N 次的总时差为 t_g , 则超声波在被测油液中的传播时间为

$$t = \frac{t_g - N t_0 - N \tau}{N} \quad (10)$$

式中 τ 为计算时所需的系统补偿时间。

通过分析可以得知, 该补偿时间主要包括 2 个部分: 一是采用不同管材及管壁厚度时需要进行时间补偿, 由所用管材的超声物理特性, 调用 DSP 内存储的对应数学模型, 可得当前温度条件下管材的超声声速 v , 故所需补偿时间 $\tau_1 = 2 \times \frac{d - d_0}{v}$; 二是不同温度时脉冲信号在电路系统、探头保护层及耦合剂等介质中传播的延迟时间不同, 需要进行补偿^[8]。因此, 在系统软硬件完成之后, 应通过实验建立仪器各组成部分传播时间与温度的关系模型, 存入系统中, 通过程序调用对应模型实现温度补偿。系统中电路随温度的变化关系是成比例系数为正的线性关系。

(上接第 102 页)

脉冲发射过程中, 换能器晶片经历了受迫振动、平衡振动和衰减振动 3 个状态。接收回波过程中, 由于压电晶体有一定的振动惯量, 接收到回波后, 振幅是按照指数曲线增加的, 要经过几个周期才能饱和, 而且当发射信号结束时, 晶片还要保持几个或十几个周期的余振。因此准确判断超声波的到达时间, 是提高风速测量准确性的一个关键, 也是测量程序完成的主要任务。采用脉冲计数法进行测量时, ARM 控制换能器发出脉冲信号, 发同步信号打开内部定时器, 接收换能器在接收到脉冲信号时后, 当接收脉冲达到预定的幅值电压后, 作为信号到达的标志, 并启动过零检测单元, 接着检测其后的第一个零电平交点作为超声波信号的到达时间^[5], 关闭定时器, 从而准确地得到超声波的传播时间。

4 结束语

针对风速测量系统的应用要求, 开发出基于 ARM LPC2131

万方数据

4 结束语

文中主要针对液压系统小管径的压力测量, 充分利用 DSP 及 CPLD 芯片强大的运算和控制功能, 设计的方案简明、新颖, 尤其是采用的声时差测量与计算方法提高了压力检测的精度, 使仪器具有极强的实际应用价值。文中还详细阐述了时差计算的过程, 这是在程序编写时必须注意的主要内容之一。在测量管内未知油液压力时, 使用该仪器可先建立油液的温度-压力-声速 ($T-P-C$) 模型, 然后便可快速测得该液压系统任意时刻的内部压力。仪器完成后, 通过对提取的信号进行分析和实验证明, 该设计能较好实现对信号的处理与压力检测, 测压精度在 8% 以内。但由于现在温度补偿还较粗糙, 在进一步完善温度补偿模型后仪器精度还可以得到提高。

参考文献:

- [1] 林绍峰. 基于超声波的非侵入式压力测量方法研究: [学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- [2] 谢建. 液压系统综合测试仪研究. 液压与气动, 2003(3): 10-12.
- [3] PARRILLA M, ANAYA J, FRITSCH C. Digital signal processing techniques for high accuracy ultrasonic range measurements. IEEE Trans. on Instrum. and Meas., 1991(8): 759-763.
- [4] TMS320F2812 Digital Signal Processors Data Manual. Texas Instruments, 2005.
- [5] 刘勇, 蔡延财, 陈永冰. 基于 TMS320F2812 & CPLD 的液晶显示的驱动设计. 现代电子技术, 2006(3): 158-160.
- [6] 顾良, 解梅面. TI 公司 C6000 系列 DSP 的电源系统设计, 2005.
- [7] 行鸿彦, 刘泉照, 万明习. 基于小波变换的广义相关时延估计算法. 声学学报, 2002, 27(1): 88-93.
- [8] 阮建富. 基于回振法的超声波传播时间测量方法研究: [学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2006.

作者简介: 谢建(1967—), 教授, 博士生导师, 主要从事兵器发射理论与技术学科的发射系统仿真与自动检测方面的教学、科研工作。E-mail: 202XJ@163.com

的超声波风速测量系统。由于采用高性能的 32 位处理芯片, 简化了外围接口的设计, 提高了系统的性价比。

参考文献:

- [1] 李昕, 王子延. 超声波多普勒流速测量方法的信息窗区域控制研究. 西安交通大学学报, 2005, 35(5): 455-458.
- [2] TANG H Q, HUANG W, LI P, et al. Ultrasonic wind velocity measurement based on DSP. Journal of Southeast University, 2005, 21(1): 20-23.
- [3] 李学桥, 陈晓雷, 郭功兵, 等. 基于 ARM 的远程数据采集系统的设计与实现. 仪表技术与传感器, 2004(2): 29-31.
- [4] 吕清华, 唐慧强. 气体超声波流量计的研制: [学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2005.
- [5] 黄建军, 刘存. 改进超声波流量计性能的研究. 仪器仪表学报, 2001, 22(4): 87-88.

作者简介: 金晶(1983—), 硕士研究生, 研究方向为智能仪器仪表。

E-mail: ashtay2954@yahoo.com.cn

基于ARM的超声波风速测量系统

作者: [金晶](#), [唐慧强](#), [JIN Jing](#), [TANG Hui-qiang](#)
作者单位: [南京信息工程大学信息与控制学院, 江苏南京, 210044](#)
刊名: [仪表技术与传感器](#) 
英文刊名: [INSTRUMENT TECHNIQUE AND SENSOR](#)
年, 卷(期): 2009 (6)
被引用次数: 2次

参考文献(5条)

1. [李学桥;陈晓雷;郭功兵](#) [基于ARM的远程数据采集系统的设计与实现](#)[期刊论文]-[仪表技术与传感器](#) 2004(02)
2. [TANG H Q;HUANG W;LI P](#) [Ultrasonic wind velocity measurement based on DSP](#)[期刊论文]-[Journal of Southeast University](#) 2005(01)
3. [李昕;王子延](#) [超声波多普勒流速测量方法的信息窗区域控制研究](#)[期刊论文]-[西安交通大学学报](#) 2005(05)
4. [黄建军;刘存](#) [改进超声波流量计性能的研究](#)[期刊论文]-[仪器仪表学报](#) 2001(04)
5. [吕清华;唐慧强](#) [气体超声波流量计的研制](#)[学位论文] 2005

引证文献(2条)

1. [丁向辉;李平](#) [基于FPGA和DSP的超声波风向风速测量系统](#)[期刊论文]-[应用声学](#) 2011(1)
2. [王青松;高明;汪桂霞](#) [基于DSP的小型气象站的硬件设计](#)[期刊论文]-[传感器与微系统](#) 2010(7)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_ybjsycgq200906035.aspx