

# 雨量计自动校验仪设计

张自嘉<sup>1</sup> 归金娟<sup>1</sup>

## 摘要

雨量计是气象、水文、农业等部门观测降水量的重要仪器,新生产的雨量计以及使用中的雨量计都需要进行校验以确保其精度和可靠性。目前利用手工校验的方法不方便且精度难以保证,针对这一情况,设计了一种便携式雨量计自动校验仪。该仪器利用超声波实时检测当前液位进而控制步进电机自动调节流速、流量,保持水流量的均匀。利用软件可设置不同的雨量来模拟实际的降雨,最后通过对比雨量计读数看其是否符合精度要求。系统选用了高频的超声波传感器,处理器计时频率达到 50 MHz,提高了测量的精度。

## 关键词

气象仪器;雨量计;雨量计校验/检定;超声波液位测量

中图分类号 TP217

文献标志码 A

## 0 引言

降雨量是一种重要的气象要素,对降雨量的准确观测是气象、水文、农业等部门进行预报、决策的重要数据。雨量计是观测雨量的重要仪器,新生产的雨量计需要进行检定或校验,使用中的雨量计也需要经常进行检定,以便对其精度和可靠性给出评估和校正。目前对雨量计的校验主要是利用标准容器或者精度较高的翻斗式雨量计,也有用手工方法通过量杯进行校验。标准容器法校验通常由若干容积不同的标准容器构成,体积较大,适于固定在室内使用;利用翻斗式雨量计对其他雨量计进行校验,其检测精度受自身精度的影响;通过手工调节出水孔大小来模拟雨量大小,实现对雨量计的校验,由于水压的存在,无法保证水流的均匀性,而且手工校验受个体经验影响,不方便且精度难以保证。针对上述情况,本文设计了一种雨量计自动校验仪,由于雨量计的校验需要检验不同雨量下雨量计的测量精度,因此校验时需要控制不同的流量来模拟实际的降雨,均匀的流量可以更准确地对雨量计进行校验。目前气象部门普遍使用的雨量计有虹吸式雨量计及翻斗式雨量计,雨量计承水器口径通常为 20 cm<sup>[1]</sup>,可测量的降雨强度范围一般规定在 0 ~ 4 mm/min<sup>[2]</sup>。本校验仪器就以该降雨强度范围作为可模拟的雨量大小范围,要求能控制的流量大小为 0 ~ 125.6 ml/min。

对雨量计进行校验,实际上就是通过模拟各种实际降雨量,通过对比雨量计的读数与实际流入的水量大小,来检测雨量计的精度是否满足规定要求。本文设计的便携式雨量计自动校验仪可以设置雨量大小并能自动调节流速、流量,通过反馈的方式控制水的流量,提高了流量控制的精度。与传统的校验方法相比,避免了人工手动操作带来的不确定因素,可以保持水流量的均匀。此外,该仪器体积小,操作方便,可以用可充电电池供电,便于现场对雨量计进行校验,有较好的应用前景。

## 1 系统总体方案设计

雨量计自动校验仪器包括储水室、超声波液位测量单元、阀门、步进电机、控制电路等。储水室通过阀门与排水管道和外界相通,阀门的开度受步进电机控制,通过控制阀门开度来调节水的流速,并控制在一定时间段内水的流量。储水室上部为收发一体的超声波换能

收稿日期 2010-12-14

资助项目 南京信息工程大学科研基金(2008-0258)

作者简介

张自嘉,男,教授,主要从事仪器科学与技术方面的教学与科研工作。zhzjia@126.com

<sup>1</sup> 南京信息工程大学 信息与控制学院,南京, 210044

器及相应的发射和接收电路,通过测量超声波换能器与液面的距离来测量水的流量和流速.储水室为直径 10 cm,高 20 cm 的圆柱形容器.控制电路包括电源、微处理器及附属电路、步进电机驱动电路.该装置还设有温度传感器,用于对超声波的声速进行修正,并采用矩阵式键盘和 LCD 显示实现人机交互.本设计的测量与控制电路原理如图 1 所示.

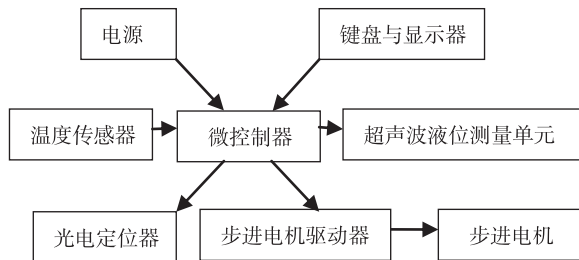


图 1 测量与控制电路原理

Fig. 1 Principle diagram of measurement and control circuit

设计时考虑到超声波传播时间和液面波动会影响超声波反射的时间,从而影响距离的测量,对测量结果带来误差,因此使用的储水室直径较小,为 10 cm,液面的波动不会很大,水面很容易静止下来;另外设计时在储水室中插入一个直径更小的管子,高频的超声波在管子中可以近似直线传播,液面波动影响会更小一些.

校验时,将仪器置于待校验雨量计的盛水口上方,储水室中加入适量的水,在键盘上设定好雨量大小和总的雨量.系统读取设定的雨量大小和总雨量,换算为单位时间内液面下降速度和总放水时间,并计算出步进电机转动的步数.启动超声波换能器,发出超声波脉冲测量当前液位,并根据当前温度对超声波声速进行修正,计算并判断储水室中的水量大小,若水量太少,无法达到所需模拟水量时,蜂鸣器蜂鸣报警,提示用户加水.水量达到一定高度时,控制步进电机转动,控制转动已计算出的步数,调节阀门开度.同时不断测量液面高度,并进一步调整阀门开度,使流量更准确.当达到设定的总雨量时,控制步进电机转动,关闭阀门,否则继续放水至达到设定的雨量.最后对比雨量计读数看是否符合规定的精度要求.系统总体结构如图 2 所示.

## 2 硬件电路实现

### 2.1 主控及测距电路

由于要借助超声波测量液位高度,也就是通过超声波信号的往返时间差来实现距离测量,为了提

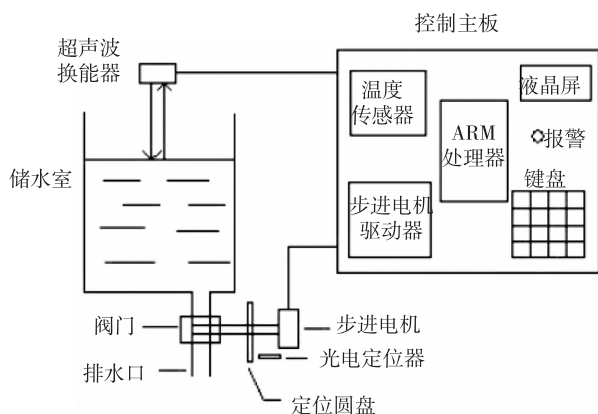


图 2 系统总体结构

Fig. 2 General structure of the system

高测量精度,系统的定时器应具有较高的位数和较高的计数频率.普通的单片机位数和频率都较低,难以达到要求,同时考虑到便携式应用的低功耗要求,因此,系统选用了具有 32 位定时器及计时频率达 50 MHz 的 ARM7 芯片.具体型号选用的是 PHILIPS 公司的 LPC2210 芯片,特别是其特有的定时器外部捕获和快中断功能,可以提高超声波脉冲边缘的检测精度和系统的反应时间,从而有助于提高整机的测量精度.

超声波发射、接收模块是整个系统设计的关键部分.考虑到本装置中超声波测量液位距离短,精度要求高,因此选用高频的超声波换能器.超声波换能器的中心频率为 200 kHz,超声波发射、接收电路设计为收发一体式,具体电路如图 3 所示.

发射电路通过高电压和窄脉冲来驱动,使传感器产生出像用锤子敲钟那样的谐振.尖脉冲很窄就可以防止超声波传感器已经开始振荡,而脉冲还在继续作用于传感器,从而影响传感器在其固有频率下振荡.电路采用电容瞬时放电法,通过场效应管 IRF840 开关速度快,导通时电阻小来产生高压脉冲<sup>[3]</sup>.由于超声波发射需要较高电压,通过控制 MOS 管 Q1 的导通与截止将直流变为交流后通过 1:10 的变压器将 12 V 的电压变为 100 V 左右的高电压.图 3 中的 A、B 均与微处理器的 I/O 引脚相连.

由于电路采用收发一体式,发射和接收用同一信号线,所以要采用限幅电路来保护输入放大电路.电路中通过二极管的钳位作用防止高压发射脉冲进入接收电路.电路中的 2 个肖特基二极管和限流电阻将输入电压限制在 0.7 V 以内,但对较小的回波信号不起作用,实现了超声波发射、接收电路一体

化<sup>[4]</sup>.同时,由于能量损失,接收到的超声波信号变得比较微弱,因此需要对信号进行两级放大,电路中选用了高频、低功耗、单电源供电的 MAX4416 运算放大器.在电路设计中,比较器选用单电源供电、延迟时间仅为 4.5 ns 的 MAX961.

## 2.2 超声波测距的温度补偿

常温时超声波在空气中的传播速度约为 340 m/s,但在实际应用中,环境的温度会偏离常温,变化较大,对声速有影响.声速  $c$  与环境温度  $T(^\circ\text{C})$  的关系如下: $c = 331.45 + 0.61T$ ,温度每升高  $10^\circ\text{C}$ ,声速增加约 6 m/s.因此,如果将声速作为定值进行计算,液位的测量误差会很大.要想提高系统测量精度,必须对声速进行校正.声速校正方法目前应用较多的是温度补偿法,利用温度传感器采集现场温度,对超声波传播速度进行校正.系统采用 DALLAS 公司的一线式数字温度传感器 DS18B20 芯片进行温度补偿.DS18B20 采用 1-wire 总线方式,不需要外围调理电路,体积小,只有电源、接地、数据线共 3 个引脚,极大地节约了系统资源<sup>[5]</sup>;它的测温范围为  $-55 \sim +125^\circ\text{C}$ ,测温分辨率可达  $0.0625^\circ\text{C}$ ;而且测温值数字化,读取非常方便;对于常规的气体、液体测温,最多 0.75 s 就可以完成<sup>[6]</sup>,具有低成本和易使用的特点.系统采用外接 5 V 电源给 DS18B20 芯片供电,芯片总线与 LPC2210 的 I/O 口相连.

## 2.3 流量控制

模拟各种降雨量,实际上就是根据设定的雨量大小,经过换算确定阀门的开合程度,从而控制水的

流量.阀门的开合程度则是通过步进电机来控制的.步进电机作为控制执行元件,可以对旋转角度和转动速度进行高精度控制<sup>[7]</sup>,其启动、停止、反转及其他任何运行方式的改变都可在少数脉冲内完成,具有较好的控制性能<sup>[8]</sup>.系统根据设定的雨量大小计算出步进电机转动的步数后控制步进电机转动,调节阀门开度,并通过反馈的方式不断调节水的流量,使流量更准确.当达到设定的总雨量时,控制步进电机转动,关闭阀门.

本系统中,微处理器通过步进电机驱动器控制步进电机旋转,从而控制阀门的开合程度,进而控制流速大小.系统选用二相混合式步进电机 42H462,步距角  $1.8^\circ$ ,利用驱动器细分数设定,能够达到很高的分辨率.ARM 处理器的 2 个 I/O 口控制步进电机驱动器,其中一个控制方向,另一个控制转动步数,每个脉冲转动一步.微处理器通过控制脉冲个数来控制角位移量,从而达到准确定位的目的;同时通过控制脉冲频率来控制电机转动的速度,从而达到调速的目的.

## 2.4 键盘、显示及功能实现

雨量计自动校验仪器为便携式仪器,使用 LCD 显示以降低功耗,用以显示键盘输入、雨量计所测读数以及温度等信息.系统采用带字库的 TG12864A 液晶显示器,该显示器是  $128 \times 64$  点阵式液晶.

系统输入采用  $4 \times 4$  的矩阵键盘,用于输入用户设定的雨量大小和总的雨量,共 16 个按键,其中,数字键:0—9,小数点键:“.”,功能键:开机键、复位键、确认键、重置键和排水键.排水按钮的设计考虑到校准过程中或完毕后需要排空主容器中的剩水.复位

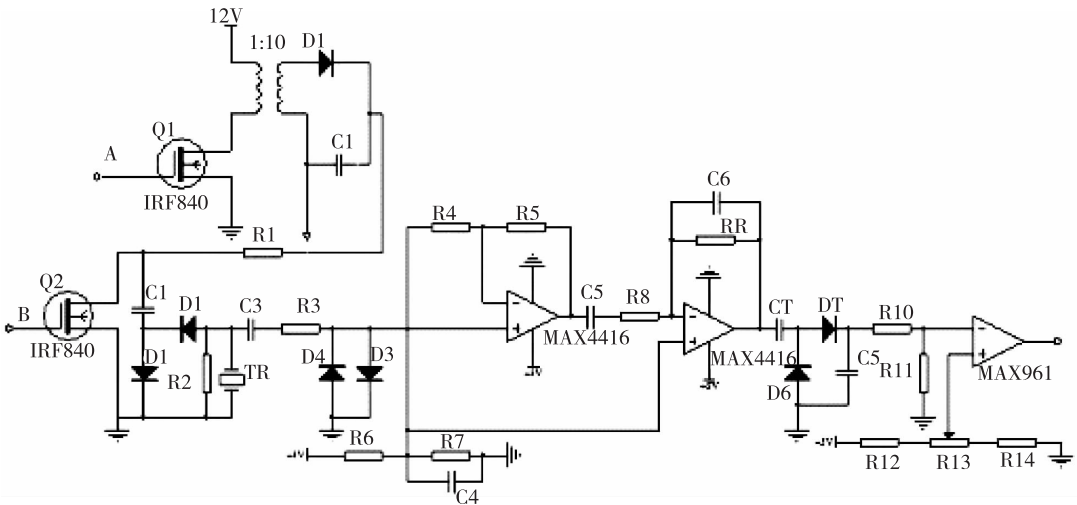


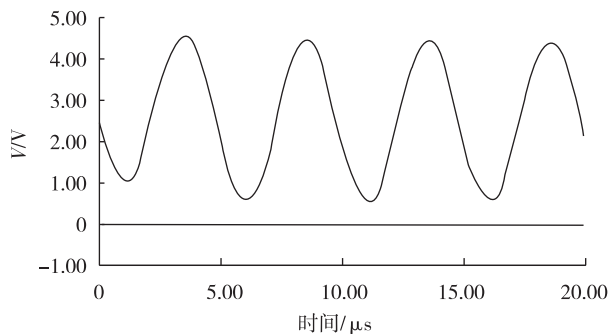
图3 超声波发射、接收电路

Fig. 3 Circuit of the ultrasonic transmit and receive

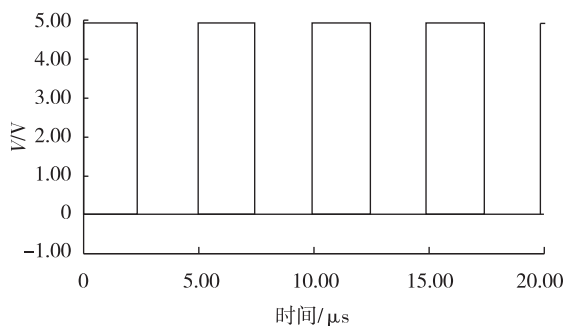
按钮的设计考虑到当程序跑飞或其他无法正常工作的情况下,可以手动复位。

### 3 超声波接收电路的仿真与实验

雨量计检验仪设计的关键在于超声波液位测量部分的设计,根据前面的设计电路进行模拟仿真,图4所示为接收到的超声波信号的仿真波形。



a.接收信号的仿真波形



b.整形后的仿真波形

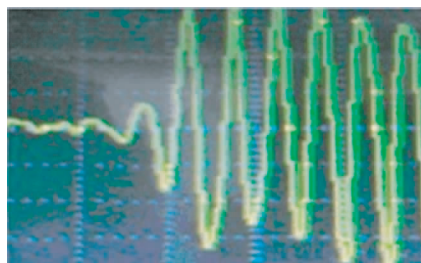
图4 接收及整形后的仿真波形

Fig. 4 Simulation waveform after receiving and shaping

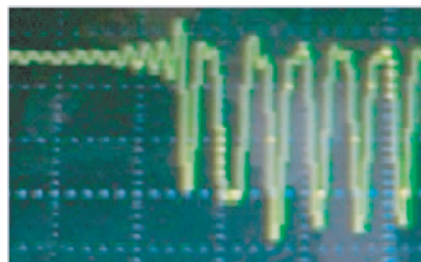
接收到的反射信号被放大滤波后,通过检波、整形电路变成方波信号,根据信号的强弱设定比较器的阈值电压,将正弦信号变为方波信号,如图5所示.整形后的方波信号前面有一些噪声信号,但其电压较小不会触发中断.方波信号输入到LPC2210的捕获引脚后,利用第1个脉冲的下降沿触发中断,并利用快中断功能实现较高精度的计时,可以计算出相应的传播时间。

### 4 软件设计

系统软件设计充分利用了LPC2210的内部资源、功能模块、I/O口线.软件采用模块化设计,包括主模块、温度补偿模块、电机控制模块、显示与按键模块.其中主模块主要完成系统的初始化、超声波的发射和接收等.系统软件流程如图6所示。



a.接收到的反射信号被放大后的波形



b.整形后的波形

图5 接收及整形后的波形

Fig. 5 Waveform after receiving and shaping

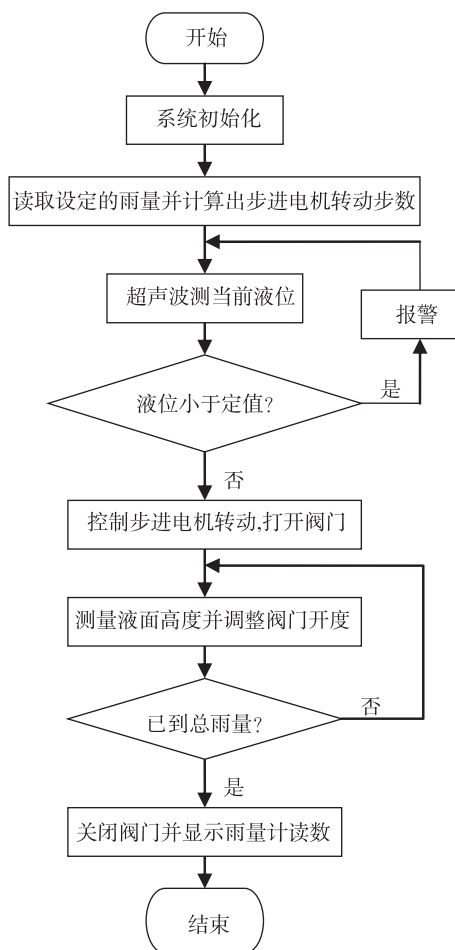


图6 系统软件流程

Fig. 6 Flow chart of system

## 5 结束语

设计的雨量计自动校验仪器利用 32 位 ARM 的高精度定时器和其捕获功能和快中断功能加强了液位的回波处理能力;采用高频率的超声波换能器以及利用温度传感器进行温度补偿提高了测量的精度.经过进一步的改进,提高精度,可用于对雨量计进行现场校验,有着良好的应用前景.

## 参考文献

### References

- [ 1 ] 中国气象局.地面气象观测规范[S].北京:气象出版社,2003  
China Meteorological Administration. Specifications for surface meteorological observation [ S ]. Beijing: China Meteorological Press, 2003
- [ 2 ] 冯讷敏.雨量仪器综述[J].水利水文自动化,1996(3):1-6  
FENG Nemin. An overview of raingauge [ J ]. Automation in Water Resources and Hydrology, 1996(3):1-6
- [ 3 ] 渠晓峰.超声波液体密度测量仪的研究与开发[D].保定:华北电力大学控制与计算机工程学院,2008  
QU Xiaofeng. The research and development of ultrasonic liquid density sensor [ D ]. Baoding: College of Cybernetics and Computer Engineering, North China Electric Power University, 2008
- [ 4 ] 焦冰,唐慧强.基于 ARM 的一体式超声液位计的设计

- [J]. 仪表技术与传感器,2008(9):21-23  
JIAO Bing, TANG Huiqiang. Design of ultrasonic liquid level detecting instrument based on ARM [ J ]. Instrument Technique and Sensor, 2008(9):21-23
- [ 5 ] 包敬海,樊东红,陆安山,等.基于 DS18B20 的多点体温检测系统的研究[J].自动化与仪表,2010,25(2):20-22  
BAO Jinghai, FAN Donghong, LU Anshan, et al. Research of multi-drop humanbody temperature measurement system based on DS18B20 [ J ]. Automation & Instrumentation, 2010, 25(2):20-22
- [ 6 ] 包敬海,陆安山,龚文锋.快速多点体温检测系统的研究[J].自动化仪表,2010,31(6):67-72  
BAO Jinghai, LU Anshan, GONG Wenfeng. Research on fast multiple-point measurement system for body temperature [ J ]. Process Automation Instrumentation, 2010, 31(6):67-72
- [ 7 ] 丁伟雄,杨定安,宋晓光.步进电机的控制原理及其单片机控制实现[J].煤矿机械,2005(6):127-129  
DING Weixiong, YANG Dingan, SONG Xiaoguang. The control principle and SCM control Realizations of the stepping motor [ J ]. Coal Mine Machinery, 2005(6):127-129
- [ 8 ] 袁忠.基于单片机的步进电机控制应用[J].制造业自动化,2009,31(3):112-115  
YUAN Zhong. Step-by-steps the electrical machinery control application based on the monolithic integrated circuit [ J ]. Manufacturing Automation, 2009, 31(3):112-115

# Design of an automatic calibrator for pluviometer

ZHANG Zijia<sup>1</sup> GUI Jinjuan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Information & Cybernetics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

**Abstract** Pluviometer is an important instrument for meteorological, hydrographic and agricultural departments to measure rainfall. Newly produced or in-service pluviometers are all need to be checked to guarantee the precision and reliability. Yet the manual checking method is not convenient and the checking soutits precision is hard to guarantee. For this reason, we designed a portable automatic calibrator for pluviometer. It uses ultrasonic to detect the liquid level and then controls the stepper motor to regulate velocity and flow automatically, thus keep the water flow evenly. Different rainfall can be set via the software to simulate the real rainfall. The measurement precision is calculated by comparison of the pluviometer readings with the software set values. To ensure the checking precision, we use high-frequency ultrasonic transducer and the timing frequency of CPU reaches 50 MHz. Experiment results show that the calibrator has high checking precision, and can preferably meet the requirements of the existing meteorological observation.

**Key words** meteorological instrument; pluviometer; pluviometer calibration/verification; ultrasonic liquid level measurement