

基于超声回波能量的液位测量系统的设计

张亮^{1a,1b}, 梁晓辉², 张彦军^{1a,1b}, 张斌^{1c}

(1. 中北大学 a. 仪器科学与动态测试教育部重点实验室;
b. 电子测试技术重点实验室; c. 软件学院, 太原 030051;
2. 中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要:设计了一种基于超声回波能量的液位测量系统。该系统通过比较超声波在不同介质中传播时回波能量的不同,实现液位的测量。采用三个大小相同,声学属性一致的圆形压电晶片组成超声波测量探头;采用模块化的方法设计了系统硬件电路;利用峰值检波原理对回波信号进行了线性检波处理。实验结果表明,该系统能够有效地检测出密闭容器内的液体界位,测量误差小于3 mm。

关键词:超声波;回波能量;液位;峰值检波;超声波测量探头

本文引用格式:张亮,梁晓辉,张彦军,等.基于超声回波能量的液位测量系统的设计[J].兵器装备工程学报,2019,40(9):189-192.

Citation format:ZHANG Liang, LIANG Xiaohui, ZHANG Yanjun, et al. Design of Liquid Level Measurement System Based on Ultrasonic Echo Energy[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2019, 40(9): 189-192.

中图分类号:TP23 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-2304(2019)09-0189-04

Design of Liquid Level Measurement System Based on Ultrasonic Echo Energy

ZHANG Liang^{1a,1b}, LIANG Xiaohui², ZHANG Yanjun^{1a,1b}, ZHANG Bin^{1c}

(1. a. National Key Laboratory of Electronic Measurement Technology; b. Key Laboratory of Instrumentation Science and Dynamic Measurement; c. School of Software, Taiyuan 030051, China;
2. Institute of Chemical Materials, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract: A liquid level measurement system based on ultrasonic echo energy was designed. The system realized the measurement of liquid level by comparing the echo energy when ultrasonic wave travels in different media. The ultrasonic measuring probe comprised of three circular piezoelectric wafers with the same size and acoustic property was used. The hardware circuit of the system was designed with modularization method. The principle of peak detection was used to linearly detect the echo signal. The experimental results showed that the system could effectively detect the liquid boundary in the sealed container, with the measurement error less than 3 mm.

Key words: ultrasonic; echo energy; liquid level; peak detection; ultrasonic measuring probe

收稿日期:2019-02-01;修回日期:2019-02-26

基金项目:微纳米传感器原理与集成(61525107)

作者简介:张亮(1991—),男,硕士研究生,主要从事测试测量技术及仪器研究,E-mail:zhangliang_ty@163.com。

通讯作者:张彦军(1975—),男,副教授,硕士生导师,主要从事测试测量技术及仪器研究,E-mail:zhangyanjun@nuc.edu.cn。

在现代化工、能源、航天、石油等领域,经常需要对密闭容器内的液体液位进行精确测量,由于这些液体一般都是易爆、易挥发、强腐蚀及有毒性液体,给传统的接触式液位检测带来一定难度,实现无接触、智能化、高精度、低功耗是当前液位测量系统的发展方向^[1-3]。

超声波检测技术利用了超声波方向性好,穿透能力强,易于获得较集中的声能的特点,能够实现真正意义上的非接触和非浸入式测量,测量中无需与被测液体进行接触,不会破坏容器的物理结构和完整性^[4-6]。因此,超声波液位检测技术在近年来得到了飞速发展。

鉴于上述原因,本文设计了一种基于超声回波能量的外感式液位测量系统。利用了超声波的回波声压特性,通过对超声波在液位上下方回波能量的不同,来确定密闭容器内的液体液位。

1 测量探头的设计及测量原理

1) 测量探头的设计

本系统所设计的测量探头由三个声学特性一致,半径为 r 的圆形压电陶瓷片组成。三个压电陶瓷片的排列方式如图1。其中, d 满足 $4r \leq d \leq 6r$; T_0 作为超声波的发射端,另两个压电陶瓷片 T_1 和 T_2 作为超声波的接收端且沿水平坐标轴对称排列;三个晶片被放置在同一平面内并用环氧树脂封装在一个矩形塑料壳体中。在进行液位测量时,探头只需在容器外壁处按图示纵轴方向移动。

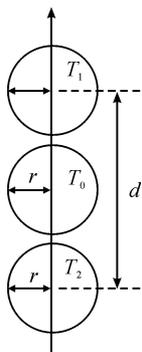


图1 测量探头内压电陶瓷片排列示意图

2) 测量原理

由超声波基础知识可知,当圆形片状压电陶瓷片向外发射超声波时,由于其具有几何对称性,在垂直于波束传播方向上的任意横截面上,都可以得到一个圆形投影区域 S ,且该区域内集中了波束的大部分能量^[7-8]。

如图2所示,测量探头垂直耦合于容器外壁处,发射晶片 T_0 向容器内发射的超声波在容器内壁处被反射,两个接收晶片 T_1, T_2 同时接收被反射的回波。由超声波的回波能量特性可知,由于 T_1 和 T_2 相对于 T_0 几何对称,当容器内壁处的反射边界条件相同时,两个接收晶片接收到的回波能量大小也相等^[9];当测量探头移动至液位附近时,由于液位上

下方气液介质的反射率和投射率不同,使得两接收晶片位置处的反射边界条件也不同,因此所接收到的回波能量的大小也不再相等。本系统就是利用这个能量平衡性来检测液位。

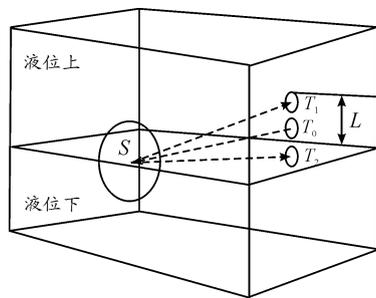


图2 测量原理示意图

2 硬件电路的设计

系统的硬件电路由主控模块,超声波驱动模块,超声波接收模块和液晶显示屏4部分组成,如图3所示。

由主控模块发出频率为超声波换能器中心频率的超声波激励信号,经过超声波驱动模块放大处理后,激励测量探头产生超声波;回波信号先经过超声波接收模块放大检波处理后,再由主控模块进行A/D转换,最后将转换结果显示在液晶显示屏上。

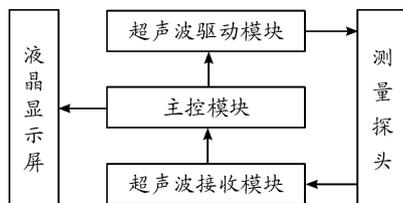


图3 系统硬件电路工作流程框图

2.1 超声波驱动模块的设计

传统的超声波激励信号多采用单极性脉冲信号。其激励出的超声波能量较高,但是产生的拖尾信号也比较大,容易对测量结果产生影响^[10]。为了使超声波换能器达到最大的转换效率,同时使换能器产生的拖尾信号最小,本系统选择具有相同正负极峰值的双极性脉冲信号作为超声波换能器的激励信号。

本系统设计的超声波驱动模块由偏置电路和放大电路组成,电路原理图如图4所示。

首先,利用电容的充放电特性配合电阻组成偏置电路,将主控模块的SMT32单片机发出固定频率的PWM波偏置成具有相同正负极峰值的双极性脉冲信号,然后,经过高速运算放大器AD818进行放大处理输出到超声波换能器上,激励其产生超声波。

2.2 超声波接收模块的设计

超声波接收模块由回波放大电路和峰值检波电路组成,回波放大电路选用的是AD公司生产的低噪声,低功耗的高

速运算放大芯片 AD818。峰值检波电路是由一个开关二极管和电容构成的^[11],其检波原理为:当通过二极管的信号为正半周期时,二极管导通并对电容充电,直到充电至信号的峰值;当通过二极管的信号变为负半周期时,二极管截止至同时电容缓慢放电,只要电容的放电速度比充电速度慢,就可以保持被检信号的峰值电压,从而检出信号的峰值。

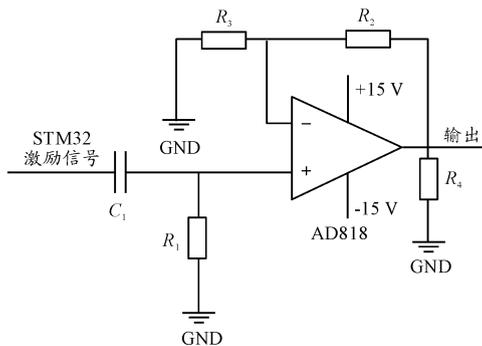


图4 驱动模块电路原理图

测量探头的两个超声波换能器 T_1, T_2 所接收到的两路回波信号先分别经过两片 AD818 放大器进行放大处理后,经过峰值检波电路进行检波处理,最后输出给主控模块的 STM32 单片机,由其内部集成的 12 位 A/D 对信号进行采集处理,最后将结果显示在液晶显示屏上。

两个超声波换能器 T_1, T_2 的回波接收电路完全相同,其中 T_1 超声波换能器的回波接收电路的原理图如图 5 所示。

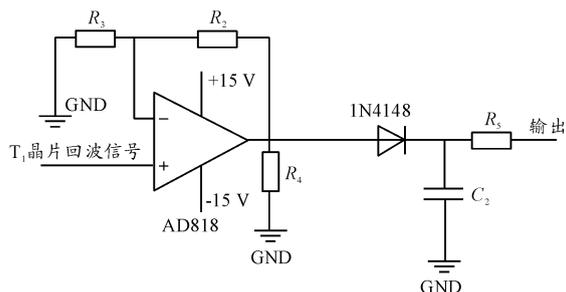


图5 T_1 回波接收电路原理图

3 实验结果与分析

实验时,选用半径为 $r = 10 \text{ mm}$,中心频率 $f = 1 \text{ MHz}$ 的圆心压电晶片组成测量探头。激励脉冲正负峰值 $U = \pm 15 \text{ V}$,脉冲发射时常 $T = 10 \mu\text{s}$,被测容器的壁厚分别为 8 mm , 25 mm , 50 mm ,内壁处固气界面反射系数 $R_{w0} = 0.999$,内壁处固液界面反射系数 $R_{w1} = 0.839$ 。

首先将测量探头与容器外壁充分耦合,然后由超声波驱动电路发出激励信号激励测量探头发出超声波,同时沿容器外壁缓慢匀速的移动测量探头。观察液晶显示屏上显示的回波电压的变化。当 T_1 和 T_2 回波声压的差值达到最大时,超声波换能器 T_0 的中心位置处即为容器内的液体界面。取 $d = 4r$ 的情况下的实验结果为例,如图 6 所示。

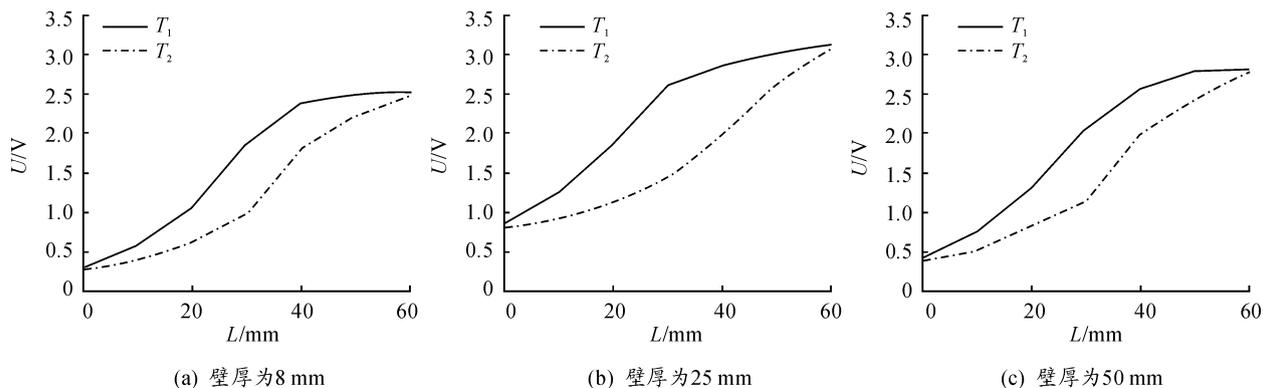


图6 不同壁厚下 T_1, T_2 回波声压曲线

图 6 中实线为超声波换能器 T_1 的回波声压曲线,虚线为超声波换能器 T_2 的回波声压曲线, x 轴为超声波换能器 T_1 顶端至液位的距离 L ,单位为 mm , y 轴为电压值 U ,单位为 V 。由图 6 的实验结果可以看出,超声波换能器 T_0 距离液位越近, T_1 和 T_2 回波声压的差值越大,实验结果完全符合超声回波的声压特性。表 1 为全部实验测量结果,每组中的结果为 3 次测量的平均值。

由表 1 测量结果可以看出,随着两接收换能器 T_1, T_2 之

间的间距 d 的增加,测量结果的误差逐渐增大。产生这种现象的主要原因是由于随着两接收换能器间距的增加,它们所接收的回波能量的差值和比值均逐步减小,导致液位上下方回波声压的分辨率降低。

通过对比表 1 中不同换能器之间的间距 d 下的测量误差可知,当 $d = 4r$ 时,测量误差最小,能够达到 $\pm 1 \text{ mm}$ 。因此,在实际应用时, T_1, T_2 换能器之间的间距 d 应取 $4r \leq d \leq 6r$,提高测量精度。

表1 实验结果

壁厚	换能器		测量液位	mm	
	半径 r	间距 d		实际液位	误差
8	10	40	169.13	170	0.87
8	10	50	168.89	170	1.11
8	10	60	171.23	170	1.23
8	10	70	172.89	170	2.89
8	10	80	166.28	170	3.72
25	10	40	166.02	165	1.02
25	10	50	163.79	165	1.21
25	10	60	163.68	165	1.32
25	10	70	168.02	165	3.02
25	10	80	160.88	165	4.12
50	10	40	180.96	180	0.96
50	10	50	181.15	180	1.15
50	10	60	178.73	180	1.27
50	10	70	176.87	180	3.13
50	10	80	184.42	180	4.42

4 结论

设计了一款非浸入式液位测量系统。给出了测量探头的设计方法,设计了超声波驱动电路和回波接收电路。本系统的测量精度较高。与传统液位测量系统相比,检测操作更加简单灵活,提高了测量结果的可靠性和稳定性。能够灵活应用于化工、能源、航天、石油等领域的液位测量。

参考文献:

- [1] 葛君山. 液位检测技术的现状与发展趋势[J]. 船电技术, 2013, 33(2): 43-45.
- [2] 王海军. 一种新型的液位检测仪[J]. 电子世界, 2013(21): 29.
- [3] JR L W S, SEDOV A. An elastodynamic model for compressional and shear wave transducers[J]. Journal of the Acoustical Society of America, 1998, 86(5): 1988-1999.
- [4] 高丙坤, 潘翔. 非介入式超声波液位检测系统设计[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(1): 42-45.
- [5] 徐鸿, 郭鹏, 田振华, 等. 非浸入式超声导波液位测量方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(5): 1150-1158.
- [6] 刘赞, 王波, 刘智超. 一种基于超声测距技术的超声液位仪设计[J]. 传感器与微系统, 2014, 33(9): 91-93.
- [7] HAO H H, XIONG J Q. A method of liquid level measurement based on ultrasonic echo characteristics[C]//International Conference on Computer Application and System Modeling. IEEE, 2010: V11-682-V11-684.
- [8] SCHMERR L W. Fundamentals of Ultrasonic Nondestructive Evaluation[M]. Springer US, 1998.
- [9] ROA-PRADA S, SCARTON H A, SAULNIER G J, et al. An Ultrasonic Through-Wall Communication (UTWC) System Model[J]. Journal of Vibration & Acoustics, 2013, 135(1): 011004.
- [10] 杜鹃, 姜楠, 宋波. 超声换能器频率特性及匹配研究[J]. 电声技术, 2016, 40(1): 41-45.
- [11] 刘洪英, 史小军. 带中断输出的实用峰值检波电路设计[J]. 电子器件, 2003(1): 104-106.

(责任编辑 杨继森)