



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109507303 A
(43)申请公布日 2019.03.22

(21)申请号 201811629815.0

(22)申请日 2018.12.29

(71)申请人 西安理工大学

地址 710048 陕西省西安市金花南路5号

(72)发明人 焦尚彬 苑家玮

(74)专利代理机构 北京国昊天诚知识产权代理有限公司 11315

代理人 杨洲

(51)Int.Cl.

G01N 29/36(2006.01)

G01N 29/44(2006.01)

G05B 19/042(2006.01)

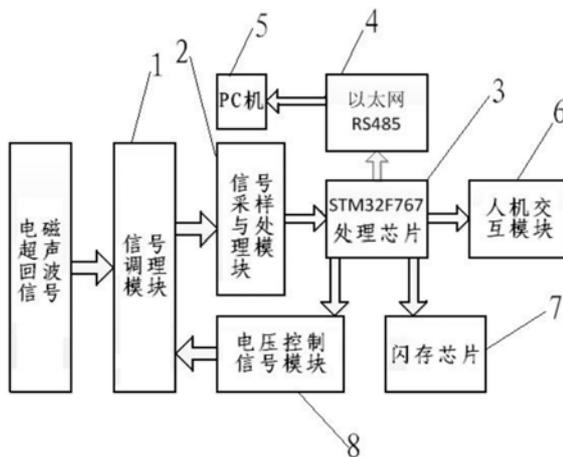
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

电磁超声回波信号的自适应程控接收处理装置及其方法

(57)摘要

电磁超声回波信号的自适应程控接收处理装置,包括有信号调理模块,信号调理模块与信号采样与处理模块相连;信号采样与处理模块与处理芯片相连;处理芯片与PC机相连;处理芯片与人机交互模块相连;处理芯片与电压控制信号模块相连;处理芯片与NAND FLASH相连;处理方法包括以下步骤:1)放大原始信号波形,送入高速模数转换器采样;2)读取当前信号峰峰值,处理芯片根据模数转换结果,减小当前放大增益倍数或增加当前放大增益倍数;3)通过增益变换调节电磁超声回波信号幅值,送入模数转换器,同时记录各个增益参数,显示时将其进行对应换算以恢复原始波形;可在高干扰电磁的环境下对电磁超声回波信号进行接收和数字处理,保证了测量的准确性。



1. 电磁超声回波信号的自适应程控接收处理装置,包括有信号调理模块(1),信号调理模块(1)的输出端与信号采样与处理模块(2)相连;信号采样与处理模块(2)的输出端与处理芯片(3)相连;处理芯片(3)通过以太网RS485(4)与PC机(5)相连;处理芯片(3)的输出端与人机交互模块(6)相连;处理芯片(3)的输出端与电压控制信号模块(8)相连;处理芯片(3)的输出端与闪存芯片(7)相连。

2. 根据权利要求1所述的电磁超声回波信号的自适应程控接收处理装置,其特征在于,所述的信号调理模块作为装置的电磁超声回波信号输入端,接收电磁超声原始回波信号,调理后的波形送入信号采样与处理模块,经过处理芯片处理后的数据存放在闪存芯片里,掉电数据不丢失存储芯片与处理芯片相连,掉电数据不丢失存储芯片用于装置上电后系统默认参数的读取;

所述的信号调理模块包括限幅电路、前置放大电路、程控放大电路、带通滤波电路,信号调理模块用于将电磁超声回波的信号限幅、放大、滤波供信号采样与处理模块使用;

所述的信号采样与处理模块包括衰减电路,模数转换电路;衰减电路将信号调理模块输出的信号衰减,使信号满足模数转换芯片输入电压范围,并送入模数转换电路进行模数转换;信号采样与处理模块结合处理芯片提供的脉冲信号实现高速模数转换芯片的并行采样,根据奈奎斯特采样定理,将电磁超声回波原始信号进行复原;

所述的处理芯片(3)的型号为STM32F767;处理芯片、闪存芯片、掉电数据不丢失存储芯片组成硬件平台;处理芯片内部集成了FPU、Julia集和DSP指令集,用于数据计算和图像显示;

所述人机交互模块由TFT触摸屏、指示灯和按键组成;用于装置和用户之间进行信息交流,包括原始回波信号显示、实际伤损显示、放大增益设置。

3. 根据权利要求1所述的电磁超声回波信号的自适应程控接收处理装置,其特征在于,所述信号调理模块包括有限幅电路;限幅电路与同向放大电路相连;同向放大电路与程控放大电路相连;程控放大电路与带通滤波电路相连;

所述的限幅电路是二极管、电容构成的双向限幅电路,防止外界电磁干扰和突变电压,实现输入电磁超声回波信号在 $\pm 0.7V$ 范围之内;

所述的同相放大电路用于高频信号的阻抗匹配和同相放大;

所述的程控放大电路实现信号0-80dB增益可控放大;

所述的带通滤波电路是中心频率为2.5MHz、带宽 $B=1MHz$ 的巴特沃斯Sallen-Key结构的有源滤波器,用于滤除回波信号中的低频信号和高次谐波干扰信号。

4. 根据权利要求1所述的电磁超声回波信号的自适应程控接收处理装置,其特征在于,所述的程控放大电路包括电容C10和电阻R3,电容C10和电阻R3接入程控放大芯片U1的信号输入端,程控放大芯片U1的反馈5脚接电容C12和电阻R1构成第二种增益放大模式,一级放大电路的输出端是二级放大电路的输入端;

电容C5、电容C11、电容C14组成滤波电路,电阻R4接入的程控放大芯片U2的信号输入端,程控放大芯片U2的反馈5脚接电容C13和电阻R2构成第二种增益放大模式。

5. 根据权利要求1所述的电磁超声回波信号的自适应程控接收处理装置,其特征在于,所述的带通滤波电路包括电阻CR9,电阻CR9接入信号的输入端,电阻CR7、电阻CR10、电阻CR1、电阻CR3、电阻CR5和电容C5、电容C7组成一阶巴特沃斯Sallen-Key结构,一阶滤波器的

输出端是二阶滤波器的输入端；

电阻CR8接入信号的输入端，电阻CR8、电阻CR11、电阻CR2、电阻CR4、电阻CR6和电容C6、电容C8组成二阶巴特沃斯Sallen-Key结构。

6. 根据权利要求1所述的电磁超声回波信号的自适应程控接收处理装置，其特征在于，所述的信号采样与处理模块包括衰减电路、模数转换器，衰减电路用于将滤波后的信号进行衰减，确保信号在模数芯片工作电压范围内；模数转换器利用处理芯片发出的高频脉冲信号启动采样，将并行数据保存在高速缓冲器FIFO中。

7. 电磁超声回波信号的自适应程控接收处理方法，其特征在于，包括以下步骤：

S1: 利用处理芯片存储器中预设的增益放大倍数放大原始信号波形，送入高速模数转换器进行采样；

S2: 信号采样与处理模块的输入通道读取当前信号峰峰值，处理芯片根据高速模数转换器的模数转换结果判断当前峰峰值是否大于1.5VPP，如果信号大于1.5VPP则减小当前放大增益倍数，如果信号小于0.5VPP则增加当前放大增益倍数；

S3: 通过电压控制信号模块的增益变换调节电磁超声回波信号，使其进入模数转换器时，信号峰峰值在0.5V-1.5V之间，同时NAND FLASH记录各个增益参数，显示时将记录的增益参数进行对应换算以恢复原始波形。

电磁超声回波信号的自适应程控接收处理装置及其方法

技术领域

[0001] 本发明涉及无损检测信号处理技术领域,具体涉及具有自适应功能的数字式电磁超声信号接收处理装置及其方法。

背景技术

[0002] 当今超声检测是无损检测的主要技术之一,广泛地应用于在线质量控制、在役设备关键零部件的安全检测之中。

[0003] 目前无损检测基本使用压电超声波检测,压电超声换能器需要利用压电晶片的压电效应来发射和接收超声波表面波,要求被测试件表面有较高的光洁度、需要耦合介质等,这些缺点严重限制了压电超声检测在探伤、检测领域的应用。随着科学技术的进步,近年来电磁超声检测得到了较快发展并在检测领域得到了应用。电磁超声检测的先进性体现在电磁超声换能器(简称EMAT),EMAT利用电磁效应来发射和接收超声表面波,能量转换在被测试件表面的集肤深度内直接进行,不需要换能器与试件接触且不需要耦合剂,克服了传统压电超声检测过程中的接触问题。在工程现场实际检测中,电磁超声换能器接收端的信号信噪比低,回波信号约为几十毫伏,信号处理的实时性和波形的复原要求均较高。

[0004] 电磁超声技术国内研究起步晚,目前市场上出现的电磁超声接收装置体积较大,对回波信号的处理需人工根据信号大小切换档分段放大,这种处理方法不仅需要复杂的硬件电路同时也对回波信号有一定的滞后,并带来干扰;同时目前电磁超声接收装置,大多不具备基于高速网络进行数据通信的功能。

发明内容

[0005] 为克服上述现有技术的不足,本发明的目的在于提供便携式、数字式的电磁超声回波信号的自适应程控接收处理装置,该装置实现了电磁超声回波信号的自适应放大,不仅无失真无相移的呈现原始回波信号,并能对电磁超声信号进行数字处理、波形显示及数据网络通信。同时装置具有功耗低、抗干扰能力强、响应速度快的特点。可以实现电磁超声回波信号快速、准确的测量与处理。

[0006] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案是:

[0007] 电磁超声回波信号的自适应程控接收处理装置,包括有信号调理模块,信号调理模块的输出端与信号采样与处理模块相连;信号采样与处理模块的输出端与处理芯片相连;处理芯片通过以太网RS485与PC机相连;处理芯片的输出端与人机交互模块相连;处理芯片的输出端与电压控制信号模块相连;处理芯片的输出端与闪存芯片相连。

[0008] 所述的信号调理模块作为装置的电磁超声回波信号输入端,接收电磁超声原始回波信号,调理后的波形送入信号采样与处理模块,经过处理芯片处理后的数据存放在闪存芯片(NAND FLASH)里,EEPROM掉电数据不丢失存储芯片(EEPROM)与处理芯片相连,掉电数据不丢失存储芯片用于装置上电后系统默认参数的读取;

[0009] 所述的信号调理模块包括限幅电路、前置放大电路、程控放大电路、带通滤波电

路,信号调理模块用于将电磁超声回波的信号限幅、放大、滤波供信号采样与处理模块使用;

[0010] 所述的程控放大电路包括电容C10和电阻R3,电容C10和电阻 R3接入程控放大芯片U1的信号输入端,程控放大芯片U1(或者称 AD603)的反馈5脚(FDBK)接电容C12和电阻R1构成第二种增益放大模式,一级放大电路的输出端是二级放大电路的输入端;

[0011] 电容C5、电容C11、电容C14组成滤波电路,电阻R4接入的程控放大芯片U2的信号输入端,程控放大芯片U2的反馈5脚接电容 C13和电阻R2构成第二种增益放大模式。

[0012] 所述的带通滤波电路包括电阻CR9,电阻CR9接入信号的输入端,电阻CR7、电阻CR10、电阻CR1、电阻CR3、电阻CR5和电容C5、电容C7组成一阶巴特沃斯Sallen-Key结构,一阶滤波器的输出端是二阶滤波器的输入端;

[0013] 电阻CR8接入信号的输入端,电阻CR8、电阻CR11、电阻CR2、电阻CR4、电阻CR6和电容C6、电容C8组成二阶巴特沃斯Sallen-Key 结构。

[0014] 所述的信号采样与处理模块包括衰减电路,模数转换电路;衰减电路将信号调理模块输出的信号衰减,使信号满足模数转换芯片输入电压范围,并送入模数转换电路进行模数转换;信号采样与处理模块结合处理芯片提供的脉冲信号实现高速模数转换芯片的并行采样,根据奈奎斯特采样定理,将电磁超声回波原始信号进行复原;

[0015] 所述的处理芯片3的型号为STM32F767;处理芯片、NAND FLASH、EEPROM组成硬件平台;处理芯片内部集成了FPU、Julia集和DSP指令集,用于数据计算和图像显示;

[0016] 所述人机交互模块由TFT触摸屏、指示灯和按键组成;用于装置和用户之间进行信息交流,包括原始回波信号显示、实际伤损显示、放大增益设置。

[0017] 所述信号调理模块包括有限幅电路;限幅电路与同向放大电路相连;同向放大电路与程控放大电路相连;程控放大电路与带通滤波电路相连;

[0018] 所述的限幅电路是二极管、电容构成的双向限幅电路,防止外界电磁干扰和突变电压,实现输入电磁超声回波信号在 $\pm 0.7V$ 范围之内;

[0019] 所述的同相放大电路用于高频信号的阻抗匹配和同相放大;

[0020] 所述的程控放大电路实现信号0-80dB增益可控放大;

[0021] 所述的带通滤波电路是中心频率为2.5MHz、带宽 $B=1MHz$ 的巴特沃斯Sallen-Key结构有源滤波器,用于滤除回波信号中的低频信号和高次谐波干扰信号;

[0022] 所述的信号采样与处理模块包括衰减电路、模数转换器,衰减电路用于将滤波后的信号进行衰减,确保信号在模数芯片工作电压范围内;模数转换器利用处理芯片发出的高频脉冲信号启动采样,将并行数据保存在高速缓冲器FIFO中。

[0023] 所述信号调理模块各个电路实现逻辑顺序连接。

[0024] 本发明的电磁超声回波信号的自适应接收处理装置实现了电磁超声回波信号不需人工根据幅值大小判断选择不同的信号放大电路,而是直接根据回波信号幅值自动调整增益倍数。

[0025] 一种电磁超声回波信号的自适应程控接收处理,包括以下步骤:

[0026] S1:利用处理芯片存储器中预设的增益放大倍数放大原始信号波形,送入高速模数转换器进行采样;

[0027] S2:信号采样与处理模块的输入通道读取当前信号峰峰值,处理芯片根据高速模

数转换器的模数转换结果判断当前峰峰值是否大于 1.5VPP,如果信号大于1.5VPP则减小当前放大增益倍数,如果信号小于0.5VPP则增加当前放大增益倍数;

[0028] S3:通过电压控制信号模块的增益变换调节电磁超声回波信号,使其进入模数转换器时,信号峰峰值在0.5V-1.5V之间,同时NAND FLASH记录各个增益参数,显示时将记录的增益参数进行对应换算以恢复原始波形。

[0029] 本发明的有益效果是:

[0030] 1) 本发明的装置设计了信号调理单元模块,实现了限幅电路、同相放大电路、程控放大电路、带通滤波电路,分别按照限幅—同相放大—程控放大—带通滤波顺序逻辑连接,不仅能有效的滤除电磁超声回波信号的杂波还能去除高次谐波干扰,将稳定不失真的信号送入信号采样与处理模块,保证了电磁超声原始回波信号的无失真放大。

[0031] 2) 本发明的装置可以实现数字式修正当前电磁超声回波信号的增益常数,使不同幅值的回波信号经过信号调理模块均产生最佳的回波效果,不使用硬件判断幅值大小切换不同档位的方式进行放大,在波形显示时自动换算增益常数使波形准确,保证了电磁超声回波信号的实时性和准确性。

[0032] 3) 本发明的装置采用FreeRTOS操作系统,使响应速度更快,同时具备RS485和以太网接口,遵循Modbus rtu和Modbus tcp协议,具有较高的工程实用价值。

[0033] 本发明所述的自适应接收处理装置实现了电磁超声回波信号不需人工根据幅值大小判断选择不同的信号放大电路,而是直接根据回波信号幅值自动调整增益倍数。

[0034] 本发明实现了对电磁超声回波信号的快速、不失真捕获与处理分析。信号调理模块作为装置的电磁超声回波信号输入端,接收电磁超声原始回波信号,调理后的波形送入信号采样与处理模块,基于 STM32F767硬件平台,采用操作系统FreeRTOS实现信号频率2.5MHz-10MHz、幅值1mv-700mv的电磁超声回波信号自适应不换档采样,保证了回波信号的快速性和稳定性。经过STM32F767处理后的数据存放在NAND FLASH里,EEPROM用于装置上电后系统默认参数的读取。装置具有以太网、RS485通信接口,可以实现Modbus TCP、Modbus RTU通信,同时可以利用触摸屏查看相应波形,实现了装置工程应用的便捷性。

附图说明

[0035] 图1为本发明基于电磁超声回波信号的自适应程控接收处理装置的结构图。

[0036] 图2(a)为本发明程控放大电路的一级放大电路图。

[0037] 图2(b)为本发明程控放大电路的二级放大电路图。

[0038] 图3(a)为本发明带通滤波器电路的一阶巴特沃斯Sallen-Key 结构电路图。

[0039] 图3(b)为本发明带通滤波器电路的二阶巴特沃斯Sallen-Key 结构电路图。

[0040] 图4为本发明的信号调理模块连接逻辑图。

[0041] 图5为本发明的自适应幅值处理算法流程图。

[0042] 图6为使用本发明实际测得电磁超声回波信号的原始波形。

具体实施方式

[0043] 下面将结合附图和实施例对本发明作进一步详细说明。

[0044] 如图1所示,电磁超声回波信号的自适应程控接收处理装置,包括有信号调理模块

1,信号调理模块1的输出端与信号采样与处理模块2相连;信号采样与处理模块2的输出端与处理芯片3相连;处理芯片3通过以太网RS4854与PC机5相连;处理芯片3的输出端与人机交互模块6相连;处理芯片3的输出端与电压控制信号模块8相连;处理芯片3的输出端与闪存芯片(NAND FLASH)7相连。

[0045] 所述的处理芯片3的型号为STM32F767;处理芯片、NAND FLASH、EEPROM组成硬件平台;处理芯片内部集成了FPU、Julia集和DSP指令集,用于数据计算和图像显示;STM32F767硬件平台、NAND FLASH、EEPROM、以太网、RS485接口、人机交互模块、FreeRTOS操作系统,实现了对电磁超声回波信号的快速、不失真捕获与处理分析。信号调理模块作为装置的电磁超声回波信号输入端,接收电磁超声原始回波信号,调理后的波形送入信号采样与处理模块,基于STM32F767处理芯片,采用操作系统FreeRTOS实现信号频率2.5MHz-10MHz、幅值 1mv-700mv的电磁超声回波信号自适应不换挡采样,保证了回波信号的快速性和稳定性。经过STM32F767处理后的数据存放在NAND FLASH 里,EEPROM用于装置上电后系统默认参数的读取。装置具有以太网、RS485通信接口,可以实现Modbus TCP、Modbus RTU通信,同时可以利用触摸屏查看相应波形,实现了装置工程应用的便捷性。实现了对电磁超声回波信号的快速、不失真捕获与处理分析;

[0046] 所述的信号调理模块包括限幅电路、前置放大电路、程控放大电路、带通滤波电路,用于将电磁超声回波的信号限幅、放大、滤波供信号采样与处理模块使用;

[0047] 所述的信号调理模块包括限幅电路、前置放大电路、程控放大电路、带通滤波电路,用于将电磁超声回波的信号限幅、放大、滤波供信号采样与处理模块使用;

[0048] 所述信号采样与处理模块包括衰减电路,模数转换电路。结合主控芯片STM32F767提供的脉冲信号实现高速模数转换芯片的并行采样,根据奈奎斯特采样定理,将电磁超声回波原始信号进行恢复;

[0049] 所述STM32F767硬件平台包括主芯片、NAND FLASH、EEPROM,主芯片内部集成了FPU、Julia集和DSP指令集,用于数据计算和图像显示;

[0050] 所述的人机交互模块用于装置和用户之间进行信息交流,包括原始回波信号显示、实际伤损显示、放大增益设置。

[0051] 所述的信号调理模块的限幅电路是二极管组成的双向限幅电路,以确保在实际检测中,防止外界电磁干扰和突变电压,实现输入电磁超声回波信号在 $\pm 0.7V$ 范围之内;同相放大电路用于高频信号的阻抗匹配和同相放大;程控放大电路实现信号0-80dB增益可控放大;带通滤波电路用于滤除回波信号中的低频信号和高次谐波干扰信号。

[0052] 所述的信号采样与处理模块中衰减电路用于将滤波后的信号进行衰减,以确保信号在模数芯片工作电压范围内;模数转换器利用 STM32F767发出的高频脉冲信号启动采样,将并行数据保存在高速缓冲器FIFO中。

[0053] 图2(a)中,电容C10和电阻R3接入程控放大芯片U1的信号输入端,程控放大芯片U1(或者称AD603)的反馈5脚(FDBK)接电容C12和电阻R1构成第二种增益放大模式,一级放大电路的输出端是二级放大电路的输入端。

[0054] 程控放大芯片U1的1脚(GPOS)接DAC1,程控放大芯片U1的 2脚(GNEG)接DAC2;程控放大芯片U1的3脚(VINP)接电容C10 和电阻R3;程控放大芯片U1的4脚与GND、电容C12相连;程控放大芯片U1的6脚(VNEG)接电容C8、电容9、VCC-5;程控放大芯片 U1的7脚(VOUT)接电

阻R1、OUT1；程控放大芯片U1的8脚(VPOS)接电容C3、VCC5、电容C1；电容C3、电容C1均与GND1相连。

[0055] 图2(b)中,C5、电容C11、电容C14组成滤波电路,电阻R4接入的程控放大芯片U2的信号输入端,程控放大芯片U2的反馈5脚接电容C13和电阻R2构成第二种增益放大模式。

[0056] 程控放大芯片U2的1脚(GPOS)接DAC3,程控放大芯片U2的2脚(GNEG)接DAC4；程控放大芯片U2的3脚(VINP)接电容C5、电容C11、电容C14和电阻R4；程控放大芯片U2的4脚与GND、电容C13相连；程控放大芯片U2的6脚(VNEG)接电容C6、电容C7、VCC-5；程控放大芯片U2的7脚(VOUT)接电阻R2、OUT2；程控放大芯片U2的8脚(VPOS)接电容C4、VCC5、电容C2；电容C4、电容C2均与GND1相连。

[0057] 参见图3(a),所述的带通滤波电路包括电阻CR9,电阻CR9接入信号的输入端,电阻CR7、电阻CR10、电阻CR1、电阻CR3、电阻CR5和电容C5、电容C7组成一阶巴特沃斯Sallen-Key结构,一阶滤波器的输出端是二阶滤波器的输入端；

[0058] 滤波芯片U1的2脚(INPUT-)与电阻CR5、电阻CR3相连；滤波芯片U1的3脚(INPUT+)与电阻CR10、电容C5相连；滤波芯片U1的4脚(-VS)与VCC-5、电容C12、电容C10相连；电容C12、电容C10还与GND相连；滤波芯片U1的6脚(OUT)与电阻CR1、电阻CR3、OUT1相连；滤波芯片U1的7脚(+VS)、8脚(DIS)均与VCC5、电容C1、电容C3相连；电容C1、电容C3与GNG相连。

[0059] 图3(b)中,电阻CR8接入信号的输入端,电阻CR8、电阻CR11、电阻CR2、电阻CR4、电阻CR6和电容C6、电容C8组成二阶巴特沃斯Sallen-Key结构。

[0060] 滤波芯片U2的2脚(INPUT-)与电阻CR2、电阻CR4相连；滤波芯片U2的3脚(INPUT+)与电阻CR11、电容C6相连；滤波芯片U1的4脚(-VS)与VCC-5、电容C12、电容C10相连；电容C12、电容C10还与GND相连；滤波芯片U1的6脚(OUT)与电阻CR4、电阻CR2、OUT2相连；滤波芯片U2的7脚(+VS)、8脚(DIS)均与VCC5、电容C2、电容C4相连；电容C2、电容C4与GNG相连。

[0061] 如图4所示,为本发明的信号调理模块连接逻辑图,电磁超声回波信号作为输入信号,信号进入限幅电路(限幅电路和同相放大电路是现有技术,程控放大电路和带通滤波器为设计电路)进行限位,同相放大电路实现阻抗匹配功能,程控放大电路将匹配好阻抗后的信号进行可编程方式控制放大增益倍数,实现微弱信号放大,带通滤波电路将放大后的信号进行滤波,滤除低频波和高次谐波；四个电路依次顺序配合,不仅能有效放大原始信号,并且在高频信号处理中有效滤除高次谐波和振铃现象。

[0062] 如图5、6所示,本发明的自适应幅值处理算法流程图,实现了电磁超声回波信号不需人工根据幅值大小判断选择不同的信号放大电路,而是直接根据回波信号幅值自动调整增益倍数。自适应接收方法,包括以下步骤：

[0063] S1:利用处理芯片存储器中预设的增益放大倍数放大原始信号波形,送入高速模数转换器进行采样；

[0064] S2:信号采样与处理模块的输入通道读取当前信号峰峰值,处理芯片根据高速模数转换器的模数转换结果判断当前峰峰值是否大于1.5VPP,如果信号大于1.5VPP则减小当前放大增益倍数,如果信号小于0.5VPP则增加当前放大增益倍数；

[0065] S3:通过电压控制信号模块的增益变换调节电磁超声回波信号,使其进入模数转换器时,信号峰峰值在0.5V-1.5V之间,同时NAND FLASH记录各个增益参数,显示时将记录的增益参数进行对应换算以恢复原始波形。

[0066] 因此,该自适应处理算法实现了回波信号自适应放大,该自适应处理算法可以实现减少硬件电路选择所带来的时间损耗。通过实践证明,该算法使1mv-700mv回波信号实现了自适应式放大,回波信号幅值大则降低放大增益,回波信号幅值小则提高放大增益,同时在波形显示时将其进行对应换算以恢复原始波形,既能保证数据的准确性,又提高了实时响应性,具有较高的工程实用价值。

[0067] 综上所述,本发明的基于电磁超声回波信号的自适应程控接收处理装置,首先将电磁超声回波信号送入信号调理模块,将放大滤波后的信号送入信号采样与处理模块进行分析、处理和计算,人机交互模块用于显示测量波形等装置和用户之间的信息交换,同时实现波形记录、数据通信等功能。

[0068] 以上所述为本发明较佳实施例,对于本领域的普通技术人员而言,根据本发明的教导,在不脱离本发明的原理与精神的情况下,对实施方式所进行的改变、修改、替换和变型仍落入本发明的保护范围之内。

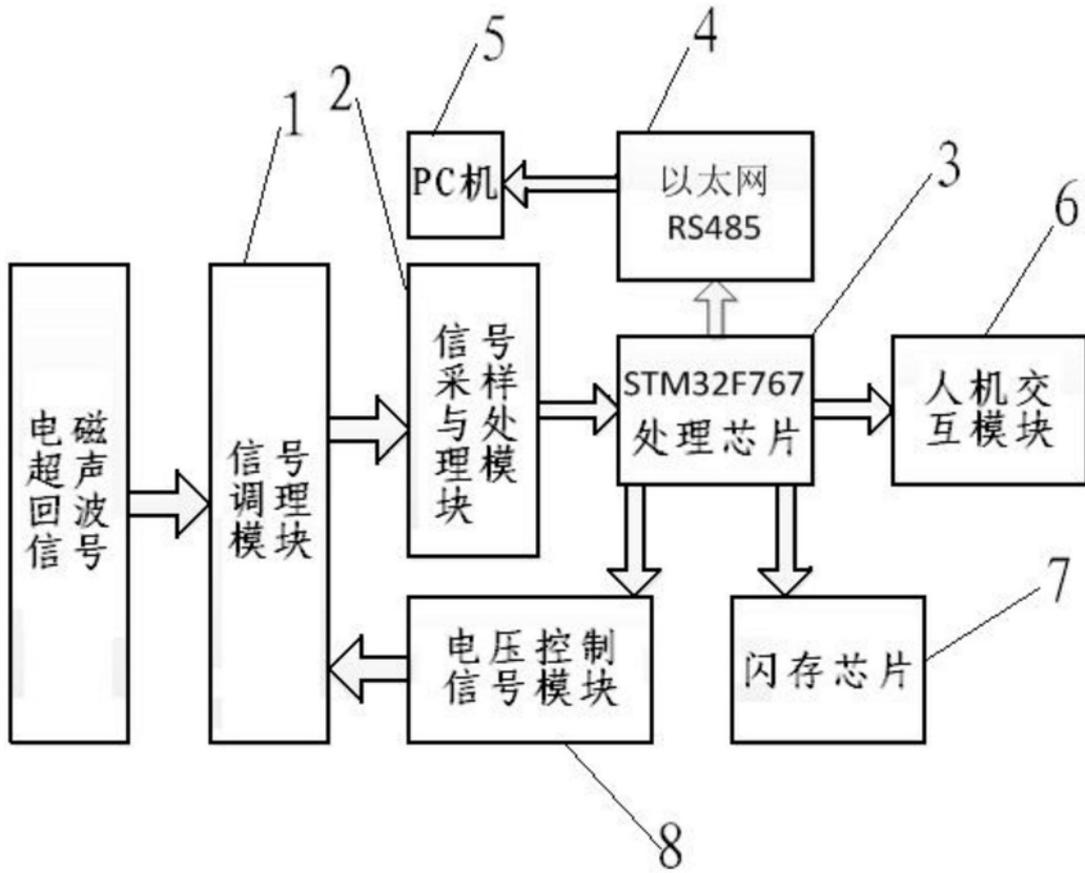


图1

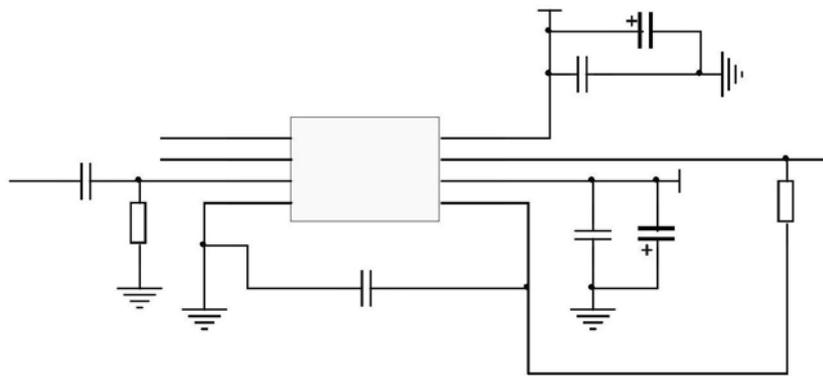


图2(a)

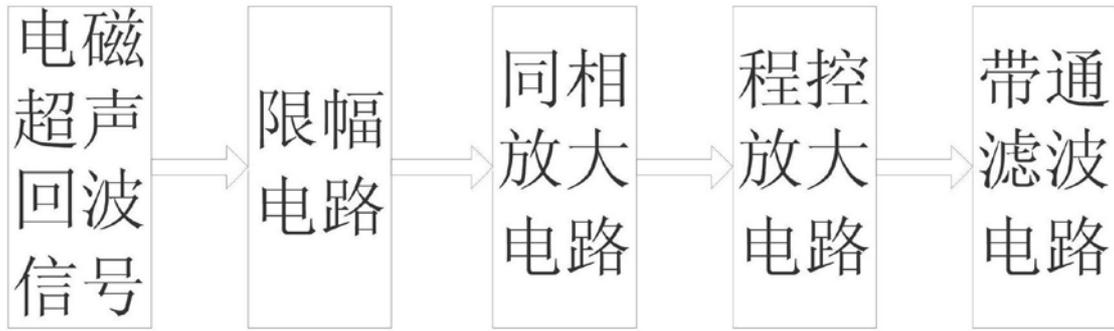


图4

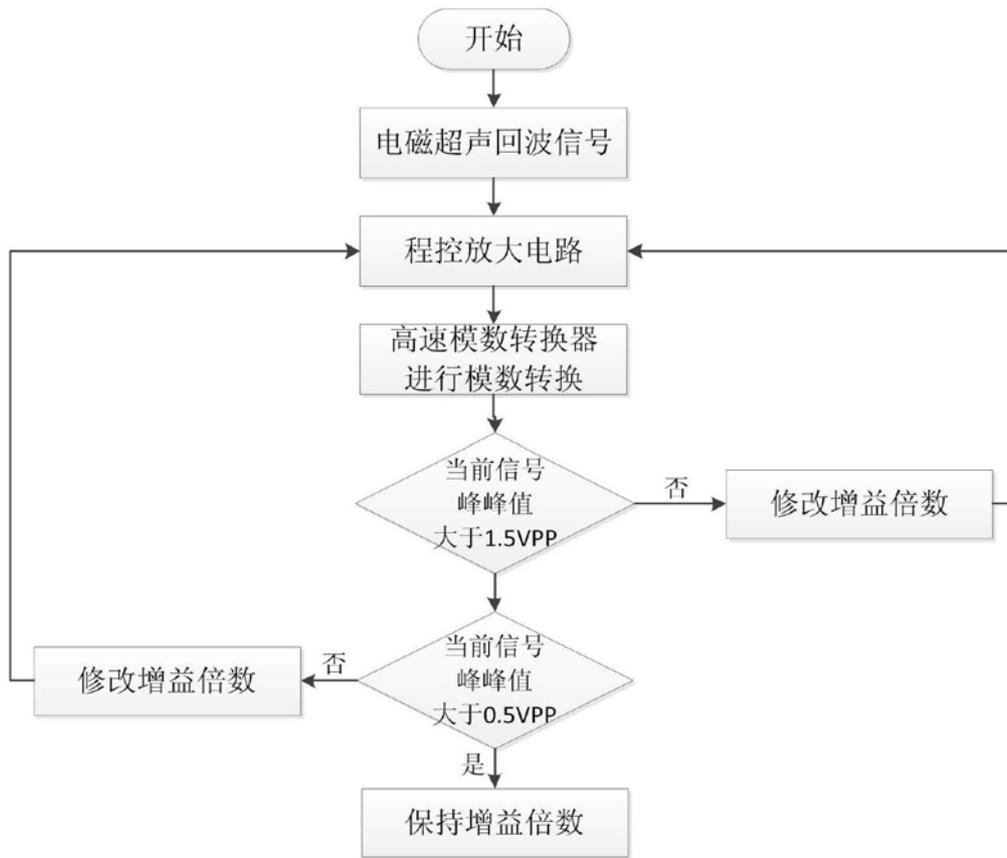


图5

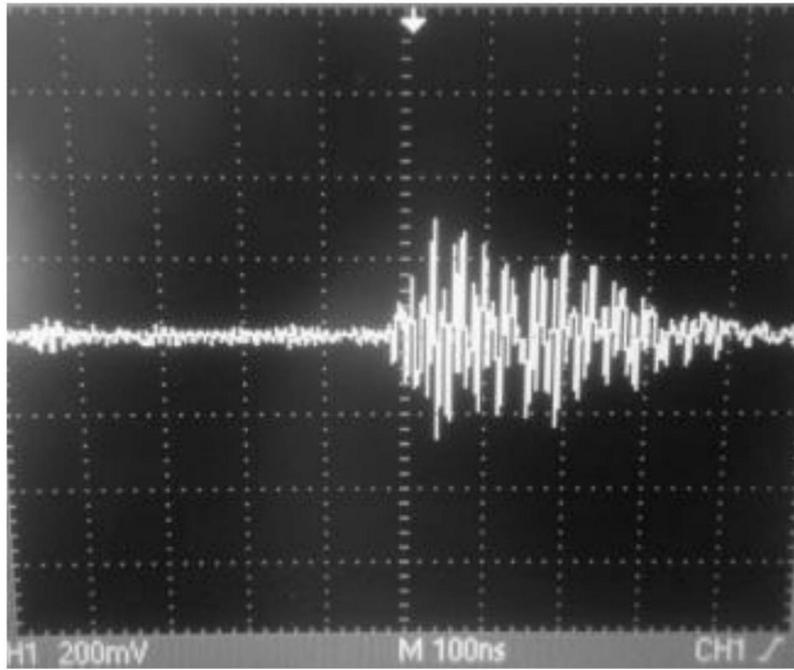


图6