

超声探伤仪收发电路的改进研究

李勇峰 杨 录 张艳花

(中北大学信息与通信工程学院, 电子测试技术国家重点实验室, 山西太原 030051)

摘要: 针对现有超声探伤系统电路复杂、设计成本高的缺点, 提出了一种以 12 V 电源供电的超声谐振发射电路, 设计实现了以谐振接收、差分可变增益放大以及峰值保持的回波处理硬件电路设计。系统采用 2.5 M 超声探伤传感器。实验表明, 系统性能稳定, 精度高, 成本低, 有广阔的应用前景。

关键词: 超声探伤; 低压谐振发射接收; 差分可变增益放大; 单电源峰值保持

中图分类号: TP211.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-1841(2013)07-0038-04

Research and Improvement of Transmitting/Receiving Circuits for Ultrasonic Detection

LI Yong-feng, YANG Lu, ZHANG Yan-hua

(College of Information and Communication Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Considering the disadvantages of present ultrasonic detection system, such as complexity circuit system, high design costs, and put forward a transmitting circuit by using 12 V single power source circuit. The design achieved echo signal processing of ultrasonic detection with resonant receiver, differential variable gain amplifier and peak hold. The system adopted ultrasonic send-receive sensor of 2.5 M. The experiment results show that this system has more stable performance, higher precision and lower cost than the present system has. Thus, the system has broad application prospects.

Key words: ultrasonic detection; Low resonance transmitting and receiving; differential variable gain amplifier; peak hold of single power

0 引言

在分析研究现有超声波发射接收电路的基础上, 设计了一种简单实用的超声波发射接收电路。该电路不需要高压直流电源, 以 12 V 低电源供电, 利用储能电感瞬时放电产生的高功率脉冲来激励超声换能器, 脉冲电压可达到几百伏, 超声接收电路采用谐振放大电路作为前置放大, AD8331 进行可变增益放大, 电路可靠, 精度大大提高。

1 超声探伤工作原理

超声波工作的原理: 主要是基于超声波在试件中的传播特性。

(1) 声源产生超声波, 采用一定的方式使超声波进入试件;

(2) 超声波在试件中传播并与试件材料以及其中的缺陷相互作用, 使其传播方向或特征被改变;

(3) 改变后的超声波通过检测设备被接收, 并可对其进行处理和分析;

(4) 根据接收的超声波的特征, 评估试件本身及其内部是否存在缺陷及缺陷的特性。

超声波检测的优点:

(1) 适用于金属、非金属和复合材料等多种制件的无损检测;

(2) 穿透能力强, 可对较大厚度范围内的试件内部缺陷进行检测。如对金属材料, 可检测厚度为 1~2 mm 的薄壁管材和

板材, 也可检测几米长的钢锻件;

(3) 缺陷定位较准确;

(4) 对面积型缺陷的检出率较高;

(5) 灵敏度高, 可检测试件内部尺寸很小的缺陷;

(6) 检测成本低、速度快, 设备轻便, 对人体及环境无害, 现场使用较方便。

2 系统构成

应用脉冲反射法超声波检测结合 LabVIEW 软件对该课题进行如下设计, 系统的总体结构图如图 1 所示。

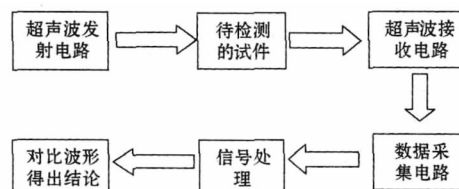


图 1 系统的总体结构图

超声波通过发射电路发射超声波至待检测试件处, 然后经过处理, 由接收电路接收反射全波, 最后通过单片机连接到计算机, 并用 LabVIEW 显示出波形及波形特性, 得出是否有损伤的结论。

2.1 超声波发射电路设计

超声波的发射电路是在发射窄脉冲控制之下, 产生激励超声探头的高压控制信号, 从而实现了超声波发射。

收稿日期: 2012-06-27 收修改稿日期: 2013-04-20

2.1.1 窄脉冲信号的产生

窄脉冲信号是通过 555 定时器构成的单稳态电路和 RC 组成的微分电路产生的, 该电路是将 5 V 的矩形脉冲变成 10 V 的窄脉冲信号。电路图如图 2 所示。

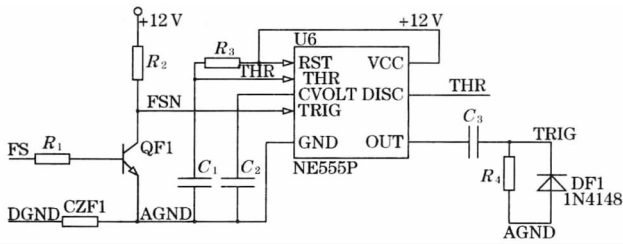


图2 窄脉冲信号的产生

2.1.2 超声波的发射电路

在实际的超声探伤中, 通常是将几百 V 的高电压窄脉冲信号加到超声探头上, 激励超声探头的压电晶片振动, 使其发射超声波。系统中采用了一种新型发射电路, 通过储能电感在瞬时放电过程中产生脉冲高电流的原理对超声波换能器进行激励(见图 3)。可通过调整电感参数以及控制信号的频率, 以达到换能器的共振频率。该电路无需高压供电, 不仅获得良好的激发超声波, 而且减小电路体积, 降低了设计成本, 同时也消除安全隐患^[1]。

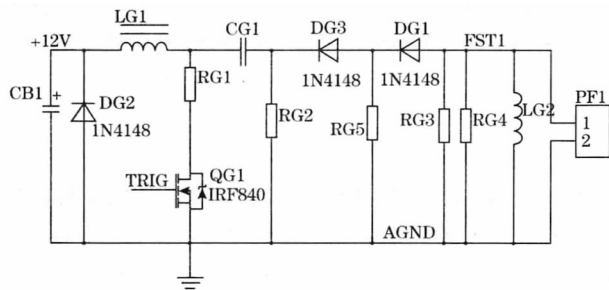


图3 超声波的发射电路

在电感式超声波发射电路中, N 沟道增强型功率场效应管 IRF840 为开关元件, 电感 LG1 储能形成触发脉冲, 不需要提供直流高压。当输入到 IRF840 的脉冲为正时, IRF840 导通, IRF840 相当于一个小电阻, 与电阻 RG1、电感 LG1 串联, 和低压电源一起构成回路, LG1 中的电流快速上升进行储能。当输入到 IRF840 的脉冲为负时, IRF840 的栅极置低, IRF840 迅速关断, LG1、CG1、RG3、RG4 组成谐振电路快速放电, 在电阻 RG4 上形成高压触发脉冲, 可达到数百伏。DG1、DG2 起单向开关作用。DG3 为稳压二极管, 恢复速度快, 常和储能元件一起使用, 防止电压电流突变, 提供通路, 可使用在高频场合。超声波发射电路匹配网络的计算见式(1):

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1)$$

由式(1)得 $L = \frac{1}{C\omega_0^2}$, 系统采用的超声波传感器中心频率为 2.5 MHz, 而 $CG1 = 1500 \text{ pF}$, 带入公式得 $L = 2.7 \text{ } \mu\text{H}$ 。电路中的 LG2、RG3、RG4 为传感器的并联匹配网络。通过调节 RG3、RG4 的值来改变脉冲幅度, 调节 LG2 使电路工作在谐振频率上。

2.2 低噪声接收电路的设计

在超声波检测系统中, 传感器接收到的回波信号的质量主要取决于被测对象的表面形状、传导介质的密度以及距离等。此外, 回波信号通常会受到大量信号的干扰, 包括外界固有目标的干扰、移动目标的周期和随机干扰、模拟电路本身引入的干扰等。因此, 接收电路必须有较强的适应能力和对干扰信号的抑制能力。文中低噪声超声波接收电路由输入保护电路、谐振放大电路、AD8331 可变增益放大电路、差动巴特沃斯四阶平衡带通滤波器以及峰值保持电路组成。

2.2.1 输入保护

超声无损检测时, 超声的回波信号一般是在数 μV 到数 mV 之间, 但在一些特殊情况, 其回波有可能很大, 为了防止电压过大, 影响后继电路的正常工作, 对后面的运放电路造成阻塞甚至烧毁器件, 所以设计了限幅电路如图 4 所示, 文中采用并联设计中使用并联限幅电路保护接收电路, 电路由二极管 DA1、DA2 组成。在图 4 中, 高压窄脉冲信号通过电容 CA1 耦合, 二极管 DA1、DA2 的开关作用, 使输入到三极管 QA1 的高压信号钳位到 $\pm 0.7 \text{ V}$; 对于微小信号, 经电容 CA1 耦合, 二极管 DA1、DA2 截止, 微小信号直接输入到谐振电路中。

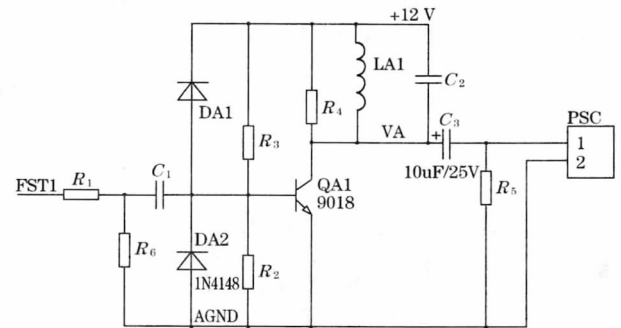


图4 输入保护/谐振放大电路

2.2.2 谐振放大电路

超声探伤仪换能器发射主要频率的超声波的同时也会发射些不同频率的杂波, 在接收回波的时候也是一样的情况, 如果不剔除这些杂波, 可能会影响声速仪测量时的精度, 所以需要谐振电路从不同频率的声波中提取需要的超声波(系统采用的换能器固有频率为 2.5 MHz)。谐振电路能够起到滤除不需要的杂波、谐波, 选出所需频率的回波信号^[2]。

谐振电路采用 GCL 并联谐振电路, 如图 4 所示, 通过式(2)选定电容 CA2 为 470 pF, 电感 LA1 为 8.2 μH 。三极管构成的放大电路放大倍数为 -10.5 倍, 输出阻抗为 50 Ω 。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (2)$$

通过 Multisim 软件对图 4 所示的谐振放大电路进行了模拟仿真, 其幅频特性曲线如图 5 所示, 由曲线可清楚看出当频率为 2.5 MHz 时, 其增益最大, 而且其中心频率附近衰减曲线很陡峭, 这样能有效地去除杂波对回波信号的干扰。

2.2.3 可变增益补偿电路

经过谐振电路的超声回波信号经过电容 CA3 耦合到可变

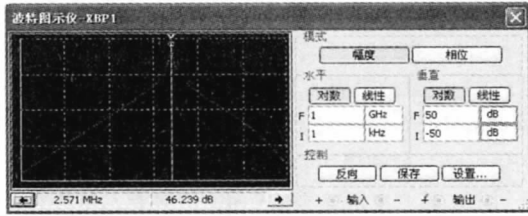


图5 谐振放大电路的幅频特性曲线

增益放大器 AD8331, AD8331 是单通道、超低噪声、线性 dB 可变增益放大器, 采用 +5 V 供电, 功耗为 125 mW, 工作频率最高达 120 MHz, 通道内置一个超低噪声前置放大器 (LNA)、一个 48 dB 增益范围的 X-AMPVGA 以及一个具有可调输出限制功能的可选增益后置放大器。LNA 增益为 19 dB, 具有单端输入和差分输出。

LNA 输入阻抗可以利用一个电阻来调节, 以便与信号源相匹配, 且不影响噪声性能。谐振电路的输出阻抗为 50 Ω, 根据式 (3) 得 $C_{12} = 22 \text{ pF}$, $R_3 = 274 \text{ Ω}$ 。VGA 的 48 dB 增益范围使系统根据回波信号的强弱通过外部电压控制接口手动调节 VC, 在 0.1 ~ 0.95 V 范围内控制芯片增益, 图 6 中 MODE 为低电平, HILO 为高电平, 则其增益控制曲线由式 (4) 知, 系统的增益为 10.5 ~ 53 dB。电阻 RCMP 用来控制 AD8331 输出差动信号的峰峰值。

$$R_{FB} = \frac{33 \text{ kΩ} \times R_{IN}}{6 \text{ kΩ} - R_{IN}} \quad (3)$$

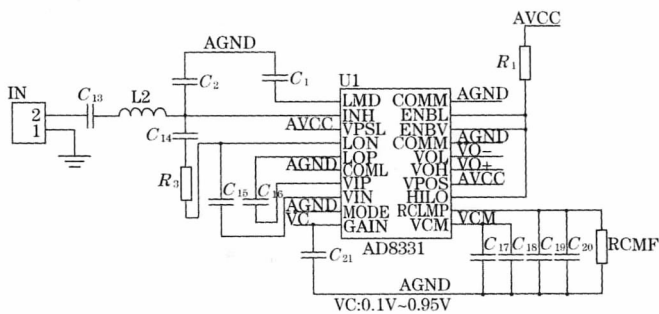


图6 可变增益补偿电路

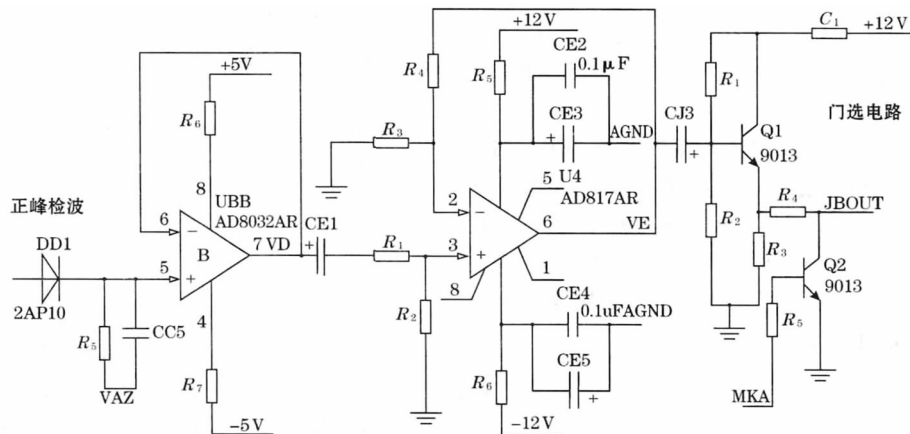


图8 抑制可调检波放大电路

可以通过调节 R 和 C 的大小来改变。电路中所采用的负边沿触发, 第一个单稳态用来调节闸门的前沿, 第二个单稳态用来控制闸门的宽度。将 HEF4538 的输出波形接到检波输出

$$\text{GAIN}(\text{dB}) = 50(\text{dB/V}) \times V_{\text{GAIN}} + 5.5(\text{dB}) \quad (4)$$

2.2.4 四阶平衡巴特沃斯低通滤波器

回波信号经过可变增益放大器 AD8331 后的差分输出会附带高频噪声的干扰, 为此系统设计了截止频率为 10 MHz 的四阶巴特沃斯低通差分平衡滤波器(图 7), 有效地去除杂波的影响。

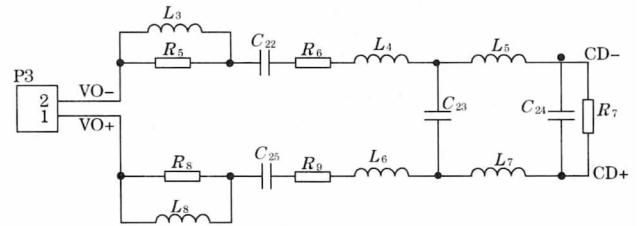


图7 四阶巴特沃斯低通差分平衡滤波器

滤波器的输出信号 $CD+$ 和 $CD-$ 通过由 AD8066 构成的放大倍数为 2 倍的差动放大器后得到全波信号。

2.2.5 抑制可调检波放大电路

在超声无损检测系统中, 回波波形显示通常有 2 种方式: 全波显示和检波显示。为了方便数据采集卡对回波信号的采集, 设计了抑制可调检波放大电路(图 8)。电路中检波是由二极管和 RC 低通滤波器够成的, 为了防止电路在测试过程以及改变 VAZ 的值对前后电路产生影响, 在检波电路的两侧各加入了一个射极跟随器。电路中的 AD817 是高输出电流驱动能力, 能驱动无限大容量负载的高速运算放大器, 具有低功耗、低失真、低噪声、低漂移和宽频带的优点, 还具有增益偏差小, 相位差小的特点。

2.2.6 门选控制电路

门选控制电路如图 9 所示。电路中闸门的控制是通过一片 HEF4538 实现的, 该芯片是一个双单稳态多谐振荡器, 具有低电平触发输入端 IO、高电平触发输入端 II、直接清零端 CL。当该信号有效时, 输出脉冲立即被终止。

该芯片既可以通过正边沿触发, 也可以通过负边沿触发。在输出端都会产生一个脉冲宽度大于 10 ms 的脉冲, 脉冲宽度

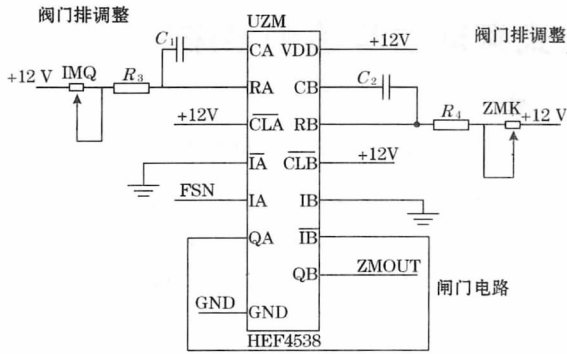


图9 门选控制电路

2.2.7 峰值保持电路

为了方便A/D采样,峰值保持器是必不可缺的。在以往的超声电路中大都采用PKD01或者LF398来实现峰值保持,文中通过运算放大器AD8066以及三极管来实现峰值保持。图10中运算放大器的输出通过一个二极管或门与 C_{29} 相连,由三极管 Q_2 的输入信号FS1决定 C_{29} 的输出延迟时间,从而为A/D采样提供足够时间。当CF1为低电平时,回波信号对电容 C_{29} 充电;当CF1为高电平时, C_{29} 对地放电。 Q_1 可保证电路不会由于电源不足而降低其转换速率。

3 结束语

超声探伤仪收发电路的改进与研究主要是采用低压谐振发射、三极管谐振接收放大、AD8331可变增益放大以及简便的

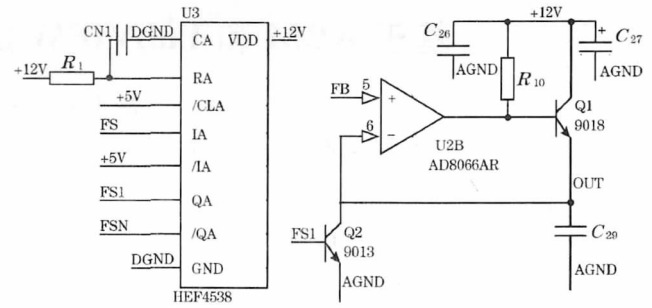


图10 峰值保持电路

峰值保持器以硬件电路的形式建立超声探伤模拟数字电路,从而实现高精度、低成本的高效探伤,可以看出,系统电路相对简单,成本较低。在金属、非金属和复合材料等无损检测领域有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 孙凌逸,高钦和,蔡伟,等. 低压电源驱动的超声波发射接收电路设计. 仪表技术与传感器 2010(10): 77-79.
- [2] 康怡,孙世超. 环鸣法声速仪超声波发射/接收电路设计. 仪表技术与传感器 2012(1): 65-67.

作者简介: 李勇峰(1987—),硕士研究生,信号与信息处理专业,主要从事超声检测和信号处理方面的研究。

E-mail: lyf870615@163.com

(上接第37页)

表1 重复测量对应的压力值

零点标定压力值	步进0.063 5 mm	压力增量
/gf	压力值/gf	
0.641	2.329	1.688
0.635	2.337	1.702
0.630	2.331	1.701
0.614	2.304	1.690
0.613	2.310	1.697
0.632	2.334	1.702
0.615	2.316	1.701
0.636	2.330	1.694
0.632	2.329	1.697
0.622	2.324	1.702
0.623	2.32	1.701

的制约,测量必须达到高精度要求。文中做了如下尝试来提高测量精度:

- (1) 增加步进电机细分驱动器实现细分与减振;
- (2) 位移测量采用双反馈,并对内、外环测量值进行数据融合;
- (3) 压力测量采用高精度24位模/数转换器,并使用去极值平均滤波算法实现滤波。

文中所述检测仪为首台实验样机,经用户使用表明:检测精度高,控制效果好,操作简便,对用户产品质量与功能提升起到了很好的作用。用户使用后也提出了增加新功能的建议,如增加弹簧自动放置装置,完成多批次弹簧性能的自动检测。新功能的实现将在今后批量生产时进一步完善。

参考文献:

- [1] 王化祥,张淑英. 传感器原理及应用. 3版. 天津: 天津大学出版社, 2007: 77-87.
- [2] 周磊,陈时锦,程凯. 超精密车床进给伺服系统的复合控制设计. 机械设计与制造 2007 2(2): 92-93.
- [3] 李海波. 基于MSP430的步进电机调焦控制系统设计. 仪表技术与传感器 2011(1): 98-100.
- [4] 王亭岭,熊军华. 3种脉冲计数检测电路的设计与分析. 华北水利水电学院学报 2010 8(4): 76-79.
- [5] 刘虹,何蕴增,杨丽红. 圆锥螺旋弹簧的非线性理论研究. 哈尔滨工程大学学报 2005 10(5): 628-632.
- [6] 刁红泉,胡伟雄,颜钢锋. 基于单片机的改进型五相混合式步进电机驱动器设计. 工程设计学报 2004 2(1): 19-22.
- [7] 张秦岭,李艳明,郭宏. 一种高性能两相步进电动机细分驱动器的设计. 北京航空航天大学学报 2006 9(9): 1039-1042.
- [8] 刘笃喜,杨朋伟,王宏旭. 基于两次分步定位的快速精确位置控制方法研究. 计算机测量与控制 2009 17(9): 1724-1725.
- [9] 阮太元,刘智勇. 嵌入式系统在多功能精密高度测量仪中的应用. 计算机测量与控制 2010 18(4): 890-891.
- [10] 王艳春,罗少轩. 基于MC9S08SH4和AD7705的智能传感器系统设计. 电子技术应用 2010(3): 83-85.
- [11] 杨敏. 基于CS532的高精度电子天平设计. 仪表技术与传感器, 2010(1): 14-17.

作者简介: 王亭岭(1975—),副教授,硕士,主要从事嵌入式系统、现代检测技术及电力系统自动化方面的研究。

E-mail: wtl@ncwu.edu.cn