

导波检测用激励源的设计及应用

金传喜, 武新军, 夏志敏, 康宜华

(华中科技大学机械学院, 武汉 430074)

摘要: 研制出一种用 AD9833 和模拟乘法器 MC1496 合成产生信号, 用单片机控制的导波检测用信号发生器。该信号发生器可根据实际检测条件进行频率、加窗形状、窗体宽度、猝发间隔程控修改等操作。运用该仪器研究分析了特定条件下不同频率, 不同脉宽的激励信号的回波信号, 确定了检测的最佳频率为 100kHz 以上, 宽度为 4 个脉冲。运用该仪器的导波检测系统能检测出来 5% 缺损面积的缺陷, 定位精度可达 5%。

关键词: 导波; 信号发生器; 脉冲激励

Design and Application of stimulant signal generator used for Guide Wave testing

JIN Chuan-xi, WU Xin-jun, XIA Zhi-min, KANG Yi-hua

(School of Mechanical Science & Engineering of HUST, Wuhan 430074, China)

Abstract: With AD9833 and analog multiplier MC1496, we designed the signal generator, which controlled by single chip. The frequency, the shape of the windows, the width of the windows, and the delay-time of the plus of the generator can change by programmed controlling. Using the generator, we studied the echo wave signal of the guide wave in various frequency, various plus-width prompting plus, and confirmed the optimal frequency is above 100kHz, the optimal width is 4-plus. Applying this generator, the guide wave testing system can detect 5% loss of the metallic area, and its distance position precision can reach 5%.

Key words: Guide Wave; Signal Generator; Plus Prompting

0 引言

超声导波检测技术是当前国内外无损检测领域研究的一个热点。它具有检测速度快, 单点激励就可实现长距离检测, 不需要耦合剂等优点, 因此特别适合诸如深埋地下的管道, 斜拉桥的锚固区等用常规检测方法无法达到区域的构件的检测。

常规超声检测方法中, 一般采用宽带窄脉冲作为激励信号, 通过测定超声回波脉冲的时延和形状确定缺陷的位置和形状。超声导波检测也是运用同样的原理, 但是在实验中发现, 在一些频率范围内的宽带窄脉冲在传播了一段时间后会变宽, 变弱, 甚至消失, 这种现象称之为频散。其实常规超声检测中也应该存在这种现象, 只不过因为其传播的距离很短。如何消除频散是设计导波检测信号发生器的一个重要问题。根据被检构件的频散曲线选择合适的激励频率是减小频散的一种有效方法。另外, 对于宽带窄脉冲信号, 如何使其频率成分尽可能的单一即频谱更集中, 就必须选择合适的加窗函数与合适的脉冲宽度。

针对上述情况, 本文提供了一种用模拟调幅实现各种窗函数加窗, 并通过程控改变脉宽和频率的信号发生

器。实验证明, 该信号发生器可应用于磁致伸缩导波检测的实验。

1 激励系统设计

1.1 系统原理

图 1 所示为检测系统总体框图。主要组成部分: 工控机、高速采集卡、功放、嵌入式信号发生器等。其每个部分功能如下: 高速采集卡主要负责高速数据采集。根据采样定理要求, 检测回波信号的采样率必须在 5MHz 以上, 所以本系统采用的是凌华 20MHz 采样率的 PCI-9812, 功放作用是将信号发生器产生的宽带窄脉冲进行电压和电流放大以激励线圈产生超声导波; 嵌入式信号发生器的作用是产生要求的小信号, 通过串口可与工控机连成下位机和上位机模式的工业控制系统。同时可为采集卡提供采样开始的硬件中断信号, 保证时间的同步性。

运用上述检测系统可实现超声导波检测。其测试过程如下: 实验中信号发生器产生一个宽带窄脉冲, 经过功放放大激励前面的激励线圈。被测铁磁性钢管在激励线圈产生的强大变化磁场下, 外形尺寸会发生变化也就是磁致伸缩效应, 从而在钢管中产生弹性波^[1]。控制这种特

基金项目: 湖北省现代制造质量工程重点实验室开放基金资助项目 (LMQ2005B08)

作者简介: 金传喜 (1975 -), 硕士研究生, 研究方向为功率电子设计, 电路板检测系统。

制造业自动化

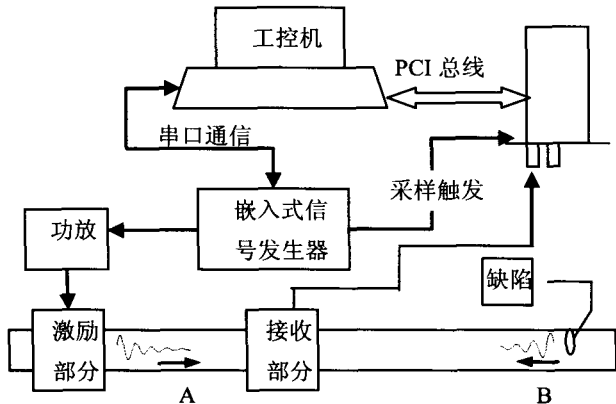


图1 系统总体框图

性波的频率就可以形成超声导波，超声导波向两个方向传播，向前传播的导波遇到缺陷会有反射形成回波信号。回波信号延时反映的是缺陷的位置，幅值反映的是缺陷的大小。

1.2 硬件设计

导波用的信号发生器的设计存在多种方案。

(1)使用PC机控制多功能函数发生器如HP3312A^[2]，运用直接数据合成将波形数据通过串口传给函数发生器可产生任意波形，HP3312A存储长度为16K。由于长度有限，脉冲之间间隔很短，如果检测长距离时，前后两次检测脉冲间就会干扰，另外其调制最高频率不高。

(2)使用数模转换卡直接DA输出。按这种方式如果正弦波频率在100kHz，要求放大后的正弦波（V_{pp}=50~100V）不至于产生变形，采样点需取40个以上，按12bit输出，其带宽为0.1M×40×2B/s=8M/s，这属于高速DA卡，成本高且占用大量系统资源，同时其面临着上限频率的限制，输出频率最高不过500kHz^[3]。

(3)使用DDS信号源和乘法器产生，运用模拟开关关断。这种方法具有成本低，体积小，功耗小，便于仪器便携化等优点，且得到正弦波成分很纯，频率范围很宽，最高输出频率实验中可以达2.8MHz。

通过上述的比较最终选择第三种方案，汉宁窗加窗波形的实现过程如下：单片机系统通过3线SPI总线分别控制两片DDS信号源，其中信号源C产生正弦波，信号源M产生要求的窗。信号源M可以产生余弦波、三角波，通过加法电路可以实现汉宁窗、海明窗、三角窗等。

加窗是通过乘法器和后面的模拟开关一起实现的。乘法器实现调幅，以正弦波为载波Carrier wave，以经过加法电路中的升余弦波为调制波Modulate wave，通过模拟乘法器实现调幅，调幅后的波形经过模拟开关关断就可以实现加窗。设截取后的信号为y(t)，窗函数信号为w(t)，正弦波信号为x(t)，则可得：y(t)=x(t)×w(t)

汉宁窗窗函数为：

$$w(t) = \begin{cases} \frac{1}{T} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \frac{\pi t}{T} \right) & |t| \leq T \\ 0 & |t| > T \end{cases}$$

在电路上相当于余弦波和其1/2峰峰值通过加法电路相加，如果改变加法电路中输入的正弦波和1/2峰峰值的比值就可以得到海明窗（Hamming）

$$w(t) = \begin{cases} \frac{1}{T} (0.54 + 0.46 \cos \frac{\pi t}{T}) & |t| \leq T \\ 0 & |t| > T \end{cases}$$

改变调制波M的波形为三角波，就可以实现加三角窗，而不通过乘法器直接通过模拟开关则可实现矩形窗。

脉冲宽度是通过改变可编程计数器计数数目来实现的，这里使用的8253，其变化范围在0~255个，计数器在第一个脉冲处输出为高时打开模拟开关，在计数N个后输出为低关断模拟开关，实现加窗。

嵌入式通信可实现信号发生器和上位机的通信控制；嵌入式显示是信号发生器与用户的一个交互平台，它可以实时显示仪器的工作状态及有用信息。

1.3 软件实现

由于在导波检测中，被检构件差异很大，其各自的频散曲线也就各不相同。这就要求信号发生器具有程控能力，以根据不同的工况条件选择不同的激励频率，激励波形和触发间隔。本系统中通过串口通信来实现控制。

图2所示为系统的软件框图，为主体界面程序模块和中断服务子程序模块。通过定义传送的数据的格式实现频率、脉冲宽度等的程控。以第一位为标志，紧接在后面的的是传送的数据。例如，“306n”，表示修改脉冲宽度数为6个。

2 系统性能和激励信号分析

将设计完成的信号发生器应用于导波检测的实验研究，对不同频率、不同脉冲宽度激励条件下的导波检测信

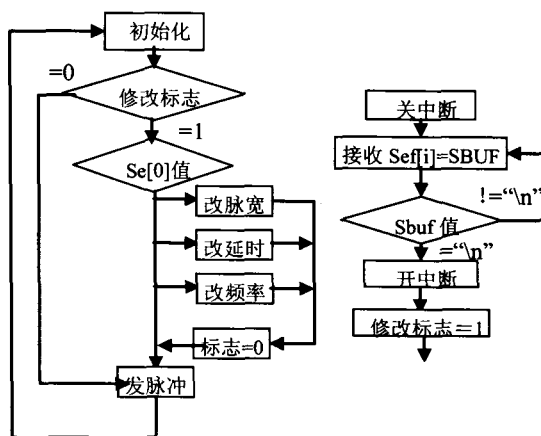


图2 软件系统主程序框图和中断框图

制造业自动化

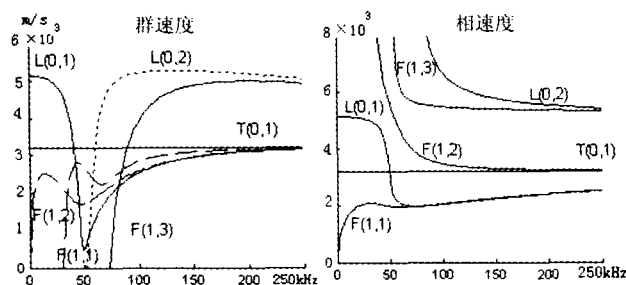


图3 群速度、相速度频散曲线

号进行研究。

实验中使用的是被检钢管直径为38mm,长度为4260mm,厚度为5mm,并在该钢管上采用机械加工方式加工截面损失17%的锯槽缺陷,激励线圈安放在左边,检测线圈安放在中间。

根据弹性动力学的基本方程,运用Matlab对该构件进行分析计算,得到其频散曲线如图3所示。

根据上述理论计算,实验中采用2MHz的采样频率对激励产生的接收信号进行采集,当激励信号为20kHz时,测得第一个通过检测线圈的信号出现在第1000个采样点处,其延时为 $1000/2 \times 10^6 = 0.5\text{ms}$,由此可得群速度大致为 $2/0.5 = 4 \times 10^3\text{m/s}$,由图3可知其为L(0,1)模式,该模式导波的频率在30~100kHz时,频散曲线有很大的斜率。当激励频率成分不是很纯时,存在着一个小范围变化则其群速度将变化剧烈,不同频率的超声波到达同一点的时间就不一样了,这一段就是频散区。而实际测量中使用的是加窗的宽带脉冲函数,其频谱曲线上必然有一定的宽度。

要避免频散就必须避开该频率段,检测系统选择频率低于30kHz,或者频率高于100kHz都可以避免频散,但频

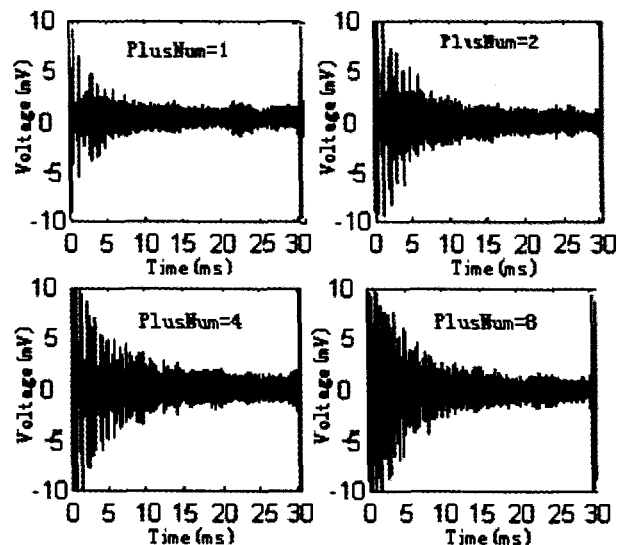


图4 激励频率为20k时,不同激励脉冲数目的检测信号波形

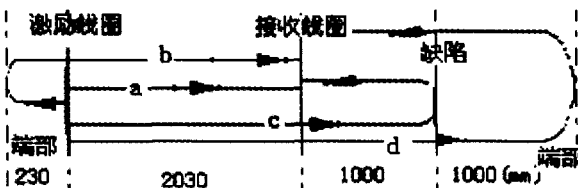
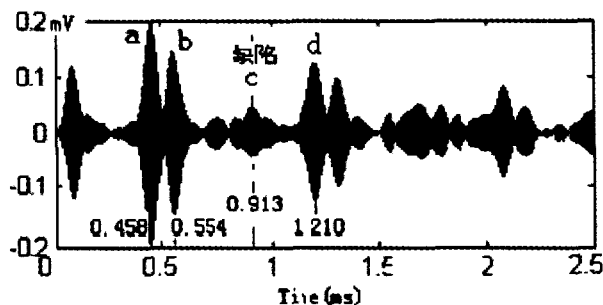


图5 120kHz激励频率时的检测信号及各信号传播的路径

率低于20kHz以下时,波长很长,分辨率低,不适合检测,所以选择检测频率为100kHz以上。

激励脉冲的数目对于检测信号也有一定的影响,激励频率为20kHz时,脉冲数为1,2,4,8个不同数目下的回波波形如图4所示。可以发现脉冲个数越多回波的个数越多,强度越大。这是因为当个数增多时,脉冲宽度增大,其频谱图上在20kHz处能量更集中,也即信号的频率更纯。所以传播的距离就更远。

为研究该仪器对缺陷检测的有效性和检测精度,选择频率为120kHz,脉冲数为4的激励信号,得到回波信号如图5所示。由图5可以计算缺陷距离端头的位置,首先确定群速度,因为整个管长4260mm,而回波2和回波4的时延就是2倍管长。所以其速度为:

$$v = 4260 \times 2 / (1.210 + 0.554) = 4829.9\text{m/ms};$$

接着就可以确定缺陷距离端头的位置为:

$$L = (v \times t_3 + 2030) / 2 + 230 = 3429.8\text{mm};$$

实际长度3260mm,误差169.8mm。误差率 $R = 169.8 / 4260 = 4\%$;

3 结论

应用本信号发生器制作了磁致伸缩导波检测系统已用于检测实验,对于激励信号脉冲个数,脉冲频率进行了研究,效果良好。检测系统缺陷定位精度可达到5%。

参考文献:

- [1] 王悦民. 基于磁致伸缩效应的钢管缺陷检测实验研究. 振动、测试与诊断, 2004, 9.
- [2] 吴斌. 用于超声导波的任意波形发生器. 北京工业大学学报, 2002, (12).
- [3] [美] 塞缪尔 D. 斯特恩, 数字信号分析, 人民邮电出版社, 1983, 11.