

# 基于 LabVIEW 的涡流检测系统研制

李运飞,陈以方

(清华大学 机械工程系,北京 100084)

**摘要:**针对传统涡流检测仪器硬件复杂、成本较高的缺点,采用虚拟仪器技术,研制了一套基于LabVIEW的涡流无损检测系统。系统由涡流检测硬件电路、上位计算机、数据采集卡以及相关软件组成。重点介绍了硬件电路中的激励源、自动平衡电路和相敏检波模块的设计。系统完成后,对圆管管壁通孔和钢条裂纹进行了检测试验。检测结果表明系统具备良好的检测性能。

**关键词:**涡流检测;直接数字频率合成;自动平衡;相敏检波

中图分类号:TG115.28 文献标识码:A 文章编号:1000-6656(2009)02-0096-03

## Development of LabVIEW Based Eddy Current Testing System

LI Yun-Fei, CHEN Yi-Fang

(NDT Lab, Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Directing against the disadvantage of the complicated hardware and high cost of traditional eddy current testing instrument, a LabVIEW based eddy current testing system was developed. The system was composed of hardware circuit, computer, data acquisition card and relative software. The design of the carrier frequency generator, auto-balance circuit and the phase-sensitive detector was introduced in detail. Testing experiments were done using the system, and the results showed that the system had good testing capability.

**Keywords:**Eddy current testing; Direct digital synthesis; Auto-balance; Phase-sensitive detector

随着计算机技术的飞速发展,虚拟仪器技术应运而生。它利用计算机显示器的显示功能来模拟传统仪器的控制面板,用以控制底层硬件,并利用强大的软件支持来完成信号的采集、分析、显示和存储。与传统仪器相比,虚拟仪器技术有利于提高检测仪器的数字化和智能化水平,并且能缩短仪器的研发周期,降低研发成本<sup>[1]</sup>。

LabVIEW 虚拟仪器工程平台是美国 NI 公司推出的一种基于 G 语言(图形化编程语言)的虚拟仪器软件开发工具。笔者利用 LabVIEW 平台以及自主研制的涡流检测硬件电路,构建了一套涡流无损检测系统。

## 1 检测系统总体设计

涡流检测系统由硬件和软件组成。硬件包括计

算机、涡流检测电路、数据采集卡以及传感器。其中涡流检测电路包含了激励源、交流电桥、前置放大、平衡、可调增益放大、相敏检波和滤波等模块。检测系统的总体框图如图 1 所示。

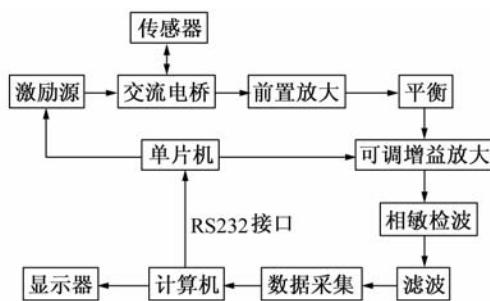


图 1 检测系统框图

计算机通过 RS232 串行口向单片机传送检测参数;传感器输出信号经过涡流检测电路的处理后,通过数据采集卡进入计算机,最终在计算机屏幕上显示出来。

收稿日期:2007-03-15

作者简介:李运飞(1982—),男,硕士研究生,主要从事电磁无损检测的研究和设备的开发。

## 2 涡流检测硬件电路设计

涡流检测硬件电路的激励源、平衡电路以及相敏检波电路是硬件电路设计中的重点和难点。

### 2.1 激励源的设计

激励源信号的好坏对系统性能影响很大。要求激励信号波形良好,频率和幅值稳定。采用直接数字频率合成(简称 DDS)技术产生激励信号。DDS 技术是一种应用数字技术产生信号波形的方法,相对于其它的信号波形产生技术,DDS 具有输出信号的频率稳定度高、幅值稳定、信号频率转换速度快、可编程和易于控制等优点。

笔者应用单片机 AT89S51 和 DDS 芯片 AD9854 设计了一种具有两路输出的信号源。两路输出之间的相位差固定为  $90^\circ$ ,信号峰峰值为 1 V,输出信号的频率范围为 0~2 MHz。用户在上位机界面设定好频率控制字,通过 RS232 串行口传递给单片机,由单片机控制 AD9854 发出设定频率的正弦波。信号源输出的其中一路信号经过功率放大后用于激励交流电桥,而另一路信号则作为平衡和相敏检波时的参考信号。

### 2.2 自动平衡电路设计

由于电桥本身存在不平衡,即使在没有缺陷的情况下,电桥的输出也会有一个较大的固定信号。在检测时,这个固定信号会使放大器较早地达到饱和,从而影响缺陷信号的放大。因此必须抑制掉这一固定的不平衡信号<sup>[2]</sup>。

不平衡信号是一正弦交流量,其频率与载波频率相同。这个不平衡信号可以通过给它加一个幅值相等但相位相反的信号来抑制,这一过程就称为平衡。所需的抑制信号可以通过向量合成的方法来合成。假设所需合成的信号为  $A\cos(\omega t + \varphi)$ 。由于:

$$\begin{aligned} A\sin(\omega t + \varphi) &= A\sin\omega t \cos\varphi + A\cos\omega t \sin\varphi = \\ &\quad \lambda_1 \cdot \sin\omega t + \lambda_2 \cdot \cos\omega t \end{aligned}$$

而  $\sin\omega t$  和  $\cos\omega t$  可以从激励源获得,因此只需要调节两个系数  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$ ,就能合成所需的信号。

平衡的调节方式可以是手动调节,也可以是自动调节。由于手动调节比较繁琐,对检测人员要求较高,因此采用的是自动调节平衡的方式。自动平衡电路原理如图 2 所示。

水平相位信号和垂直相位信号分别通过过零比较器控制计数器的计数方向。当比较器输出为高电平时,计数器减计数;当比较器输出为低电平时,计

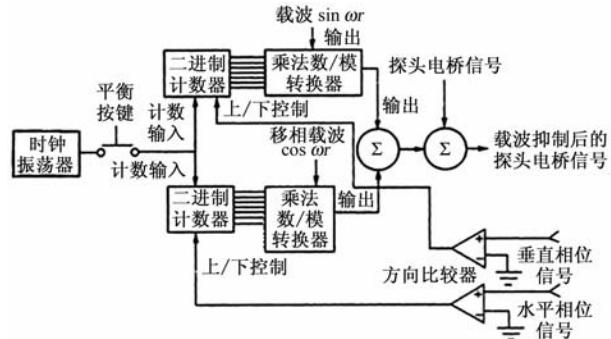


图 2 自动平衡原理图

数器增计数。如果水平相位信号为正,当平衡按键按下时,计数器开始减计数,使得数模转换器的输出逐渐减小,这样水平相位信号也就逐渐减小,直到减小为零。如果水平相位信号为负,当平衡按键按下时,计数器开始增计数,使得数模转换器的输出逐渐增大,这样水平相位信号也就逐渐增大,直到增大到零。垂直相位信号也同理调整。调整的最终结果是使得水平相位信号和垂直相位信号逐渐向零点靠近,从而完成自动平衡过程。

### 2.3 相敏检波电路设计

在涡流检测系统中,相敏检波可用来鉴别不同源引起的信号改变<sup>[3]</sup>。相敏检波器有多种实现形式,此处采用模拟乘法器作为相敏检波器,采用正弦波作为参考电压。

假设被检信号为  $A\sin(\omega t + \varphi_1)$ ,参考信号为  $B\sin(\omega t + \varphi_2)$ ,经过模拟乘法器后,输出为:

$$\begin{aligned} &A\sin(\omega t + \varphi_1) \cdot B\sin(\omega t + \varphi_2) = \\ &\frac{AB}{2}\cos(\varphi_1 - \varphi_2) - \frac{AB}{2}\cos(2\omega t + \varphi_1 + \varphi_2) \end{aligned}$$

从上式可以看出,检波器的输出只包含所需要的电压,加上两倍载波频率的电压,采用简单的低通滤波电路,就能方便地将此分量去除。

要想同时得到被检信号的幅值和相位信息,需采用两片模拟乘法器 AD835,构成两个相敏检波器,其参考电压分别来自激励源的  $\cos\omega t$  和  $\sin\omega t$ ,检波器的输出分别为水平相位信号和垂直相位信号。经过低通滤波器滤掉高频分量后,得到的低频分量既包含了被检信号的幅值信息,又包含了被检信号的相位信息。将水平相位信号和垂直相位信号分别加到示波器的两对偏转板,得到的就是阻抗平面图。

## 3 上位机系统

采用 ADLINK 公司的数据采集卡 PCI9812 实

现信号的采集。它是一款四通道数据采集卡,最高采样频率为 20 MHz,电压输入范围为  $-5 \sim +5$  V,电压分辨率为 12 位。水平相位和垂直相位信号分别通过采集卡的通道 1 和通道 2 进入计算机。

上位机软件系统采用 LabVIEW 编写,包括检测参数设置、数据采集控制、检测结果显示以及检测数据的存储/读出等模块。

检测参数设置包括激励频率和增益的设置。设置好以后,通过 RS232 串行口传送给涡流检测电路板上的单片机,再由单片机实现具体的控制。数据采集控制模块用于设置数据采集卡的参数,包括采样频率和触发方式等。检测结果采用带状图和阻抗平面图两种显示形式。检测数据可以随时保存在数据文件中,也可以随时读出。

#### 4 检测试验

组装好的检测系统如图 3 所示。利用组装好的系统对圆管和钢条进行了检测试验。



图 3 组装好的检测系统

##### 4.1 不锈钢薄壁圆管

采用差分式外穿过线圈检测不锈钢薄壁圆管。圆管壁上有一直径为 0.5 mm 的人工通孔缺陷。

涡流检测时,激励频率为 50 kHz,增益为 45 dB。在带状图和阻抗平面图上得到的缺陷图像见图 4。

##### 4.2 方形钢条

采用差分式探头线圈对截面为方形的钢条进行检测。钢条轴向上依次有四条深度分别为 5, 2, 1.5 和 1 mm 的裂纹,裂纹宽度为 0.1 mm。检测时激励频率为 100 kHz,增益为 35 dB。检测结果见图 5。

#### 5 结论

利用单片机 AT89S51 和 DDS 芯片 AD9854 设计了基于 DDS 技术的激励源,能够产生频率和幅值稳定,波形良好的激励信号。设计了一套自动平衡电路,能够实现快速自动平衡,平衡精度高。采用模

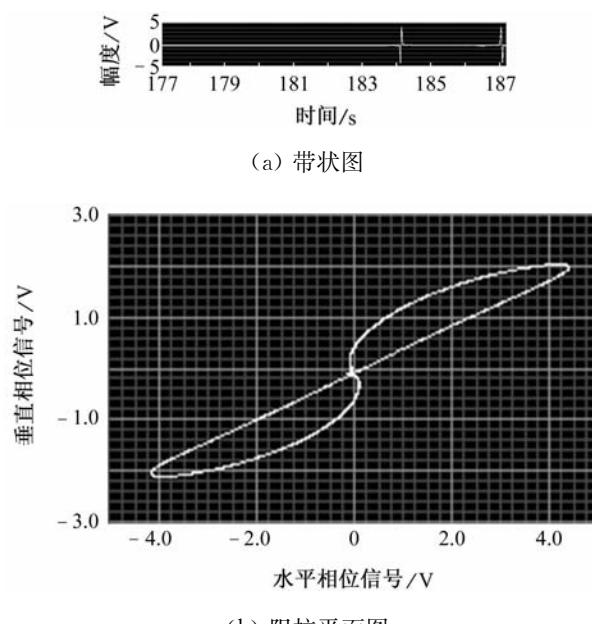


图 4 薄壁管通孔缺陷的检测结果

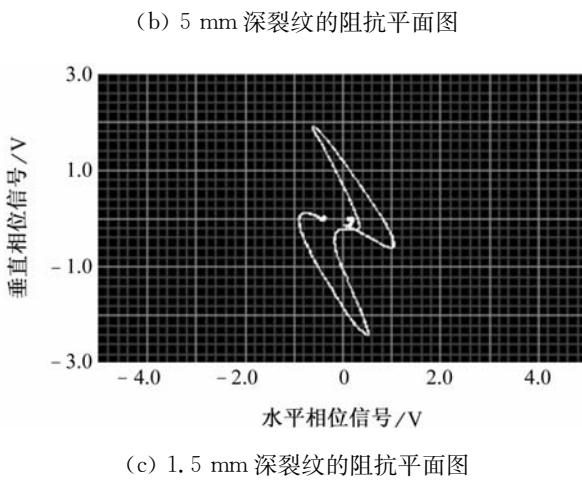
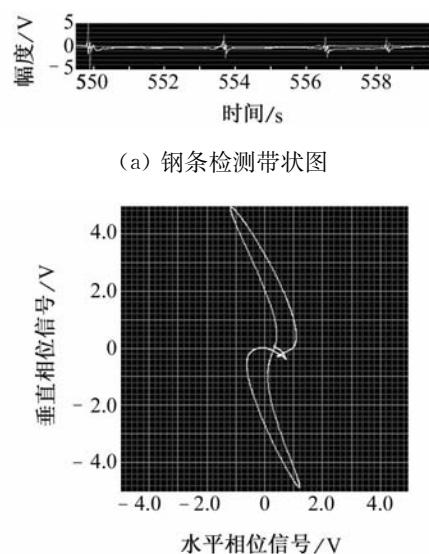


图 5 钢条检测结果

(下转第 104 页)

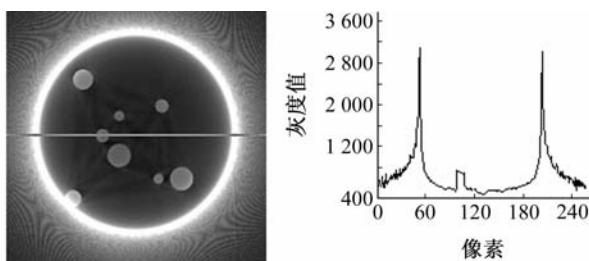


图 2 多能谱重建结果以及中心灰度曲线

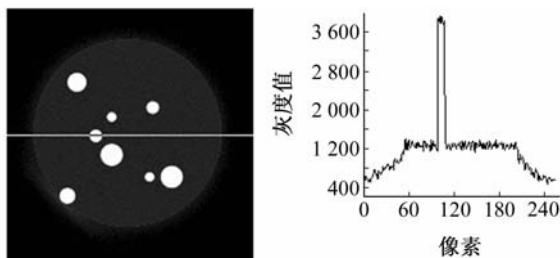


图 3 单能谱重建结果以及中心灰度曲线

影结果。

### 3 结论

为了获得逼真的 CT 投影数据,根据虚拟 X-CT 成像系统的机械参数和 X 射线能谱物理特性,以及模体材料在不同能量 X 射线下的衰减系数,得到模体的仿真投影数据。该方法存储空间小、计算精度高且编程简便,而且与常用的投影仿真方法相比所生成的数据更加真实,有利于在 CT 设备开发过程中开展射束硬化校正、重建效果(密度精度)分析等研究工作。此外,该方法还可以扩展到其它扫描方式和扫描轨迹的图像重建工作中去。

~~~~~

(上接第 98 页)

拟乘法器 AD835 作为相敏检波器件,以正弦信号作为参考电压。与其它相敏检波方式相比,采用模拟乘法器的相敏检波电路输出频率成分少,便于后续的处理。采用 LabVIEW 软件编写了上位机软件系统,用以实现检测参数的设置以及检测图像的显示。采用本系统对圆管管壁通孔和钢条裂纹缺陷进行了检测。结果表明,系统能够很好地将这些缺陷检测出来。

### 参考文献:

- [1] Merbach J M. Simulation of X-ray projections for experimental 3D tomography [R]. Linkoping, Sweden: Image Processing Lab, Dept of Electrical Engineering, 1996.
  - [2] 秦中元,牟轩沁,王平,等.一种通用的 X 射线锥束投影生成算法[J].西安交通大学学报,2002,36(2):160—164.
  - [3] 谢忠信,赵宗铃,张玉斌,等. X 射线光谱分析[M].北京:科学出版社,1982.
  - [4] Stanford University. Electron Gamma shower [EB/OL]. (2001-12-04)[2005-11-10]. <http://www.slac.stanford.edu/egs/egs4-source.html>.
  - [5] 黄魁东. 锥束 CT 仿真系统关键技术研究[D]. 西安:西北工业大学,2006.
  - [6] Lazos D, Kolitsi Z. A Software Data Generator for Radiographic Imaging[J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2000, 4(1):76—77.
  - [7] 汤少杰,牟轩沁,闫浩. 基于医学 X 射线成像物理模型的模体投影仿真计算[J]. 西安交通大学学报,2006, 40(8):901—905.
  - [8] 黄昆. 固体物理学[M]. 北京:人民教育出版社,1979.
  - [9] Birch R, Marshall M, Arden G M. Catalogue of spectral data for diagnostic X-ray[R]. Scientific Report Series 30. London: The Hospital Physicists Association, 1979.
  - [10] 翟瑞彩,谢伟松. 数值分析[M]. 天津:天津大学出版社,2000.
- ~~~~~

### 参考文献:

- [1] 李铁,刘时风,李路明. 基于 LabVIEW 的虚拟仪器技术在无损检测中的应用[J]. 无损检测,2001,23(6):240—242.
- [2] 美国无损检测学会. 美国无损检测手册(电磁卷)[M]. 上海:世界图书出版公司,1999.
- [3] 李家伟,陈积懋. 无损检测手册[M]. 北京:机械工业出版社,2002.

欢迎网上投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告