

# 基于 Labview 的脉冲漏磁检测系统的研究

许鹏, 黄俊, 朱励历

(南京航空航天大学 江苏省新能源发电与电能变换重点实验室, 南京 210016)

**摘要:** 研究了一种脉冲信号激励的漏磁检测系统; 利用 USB 数据采集卡 I/O 口输出脉冲方波信号经过功率放大环节生成激励信号, 通过数据采集卡触发采样功能实现检测信号的同步采样; 基于 Labview 软件搭建了漏磁检测虚拟仪器平台, 实现了漏磁检测信号的采集、调理、储存、回放和分析功能; 通过实验对加工有宽度为 2 mm 深度分别为 2 mm、5 mm、10 mm 的 3 个裂纹缺陷的钢样本进行检测, 应用霍尔传感器检测漏磁场信号; 检测信号经过调理和采集, 在电脑中实时显示漏磁信号随时间的变化波形; 通过分析回放采样信号的峰值和峰值到达时间评估缺陷的位置和深度; 实验结果表明缺陷深度越大采样信号的峰值越大, 峰值到达时间越长。

**关键词:** 脉冲漏磁检测; Labview; 数据采集; 缺陷检测

## Research of Pulsed Magnetic Flux Leakage Testing System Based on Labview

Xu Peng, Huang Jun, Zhu Lili

(Jiangsu Key Laboratory of New Energy Generation and Power Conversion, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** In this paper, pulsed magnetic flux leakage testing procedure based on the principle of pulsed magnetic flux leakage testing is written on software platform Labview to conduct non-destructive testing for ferromagnetic material defects which improves the reliability of materials. The procedure realizes the acquisition treatment storage review and analysis functions for magnetic flux leakage signals via the communication between USB and data acquisition card. Pulse signal coming from data acquisition card's I/O port runs into power amplifier where it forms an excitation source. Synchronous sampling based on the excitation source is realized by data acquisition card through its trigger sampling function. The experiment identifies that the pulsed magnetic flux leakage testing platform can complete the testing mission on defect templates effectively with the advantages of high flexibility and simple hardware circuit.

**Keywords:** pulsed magnetic flux leakage testing; Labview; data acquisition; defect detection

## 0 引言

漏磁检测技术<sup>[1-2]</sup>具有非接触、易实现、检测效果显著等优点, 被广泛应用于铁磁性材料的缺陷检测。脉冲漏磁检测技术(Pulsed Magnetic Flux Leakage, PMFL)在近几年发展迅速, 它结合了漏磁检测技术和脉冲涡流检测技术<sup>[3-4]</sup>的优点。在对铁磁性材料进行检测时, 脉冲漏磁检测技术<sup>[5-8]</sup>可以获得更多的缺陷信息, 利用这些信息我们可以对铁磁性材料缺陷的特征进行更可靠的判断。Labview 作为一种图形化编程语言, 把抽象、复杂的代码语言简化成一种直观的、通过连接线连接各模块实现编程, Labview 平台提供强大的数据处理模块、通信模块、图形显示模块, 大大简化了软件系统的开发过程, 提高了开发效率。本文基于 Labview 虚拟仪器开发平台<sup>[9-10]</sup>搭建了脉冲漏磁检测虚拟仪器平台, 并结合激励产生、数据获取、调理和采集环节组成了脉冲漏磁检测系统。

## 1 脉冲漏磁检测系统

脉冲漏磁检测系统主要由漏磁检测探头(由励磁线圈和霍尔传感器组成)、脉冲激励源、信号调理电路、USB 数据采集

模块、计算机构成, 如图 1 所示。计算机通过基于 Labview 编写的脉冲漏磁检测程序与 USB 数据采集模块进行通信, 控制 USB 数据采集模块输出脉冲信号, 脉冲信号经过功率放大器形成激励信号对检测探头进行励磁。在脉冲激励信号上升沿时刻 USB 数据采集模块开始采集信号调理电路输出信号, 同时将采样数据传输给计算机。

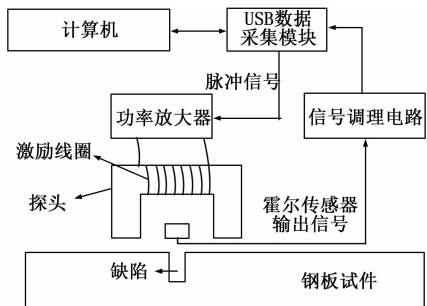


图 1 脉冲漏磁检测系统框图

检测系统的脉冲信号由 USB 数据采集模块 I/O 口产生, 但是采集模块 I/O 口不能满足探头励磁系统的功率需求, 因此必须采用功率放大器对脉冲信号进行功率放大。

信号调理电路实现对霍尔传感器输出信号的放大和滤波功能, 原理如图 2 所示。当霍尔传感器检测到漏磁场时输出相应的电压信号到调理电路的输入端。为了使检测效果更加明显同时防止运放因增益过大出现输出饱和, 调理电路使输入信号放大 7.8 倍, 放大信号经过截止频率约为 5.5 kHz 的二阶低通滤

收稿日期:2014-03-30; 修回日期:2014-05-08。

**基金项目:**中央高校基本科研业务费专项资金(NS2012042);教育部博士点基金新教师类课题(20123218120016);基本科研业务费青年科技创新基金(NS2014034)。

**作者简介:**许鹏(1980-),男,黑龙江哈尔滨人,副教授,主要从事电磁检测、传感技术方向的研究。

波器，输送到数据采集模块。

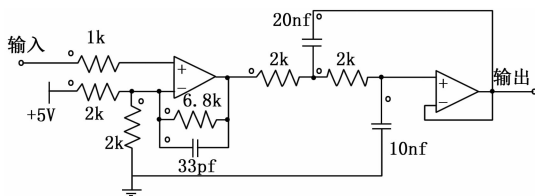


图 2 信号调理电路原理图

数据采集模块采用了 NI 公司的基于 USB 总线的 14 位数据采集卡，可同时采集 8 路模拟信号，并配有 12 路数字 I/O 接口，最高采样频率为 48 kHz。

## 2 基于 Labview 的脉冲漏磁检测虚拟仪器平台

基于 Labview 软件搭建的脉冲漏磁检测平台包括：脉冲信号输出程序、数据采集滤波储存程序、数据回放程序。相应分别实现了三个功能：1) 控制数据采集卡输出频率可调的脉冲信号。2) 采用数据采集卡上升沿触发采样功能，对漏磁检测输出信号进行同步采样，并对采集的数据进行数字滤波，以文本格式保存数据同时显示采样波形。3) 读取已经储存的多组数据，在同一坐标系中同时显示多组采样曲线，分别显示出每组采样波形的峰值到达时间和峰值电压值。

### 2.1 脉冲信号输出程序

脉冲漏磁检测系统需要脉冲激励信号来驱动探头的励磁线圈。脉冲信号输出程序控制数据采集卡数字 I/O 接口，输出频率可调的方波信号，经过功率放大模块形成方波脉冲激励信号。由于 Labview 平台提供的定时器最小定时时间为 1 ms，所以本程序最高能输出 500 Hz 的方波脉冲信号。

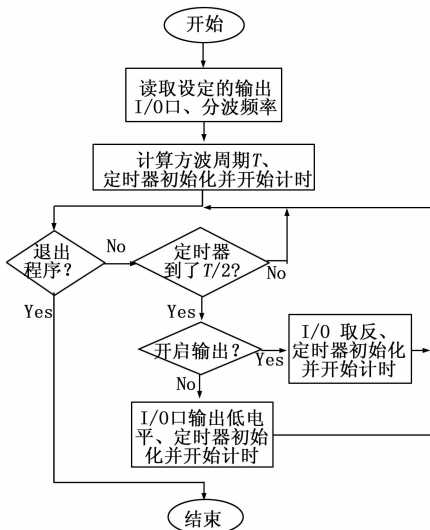


图 3 脉冲信号输出程序流程图

脉冲信号输出程序的流程如图 3 所示。程序开始运行时，首先读取设定的 I/O 输出接口和方波脉冲频率，计算出方波脉冲的周期  $T$ ，初始化定时器并开始计时。如果没有按下开启输出按钮，这时数字 I/O 输出接口一直输出出低电平。如果按下开启输出按钮，经过  $T/2$  时间指定的数字 I/O 输出接口输出取反，同时初始化定时器。

### 2.2 数据采集滤波储存程序

数据采集滤波储存程序包括数据采集、数据滤波储存两个

子程序。数据采集程序用来同步采集信号调理电路输出的电压信号，将采集的数据保存到电脑的内存中，当采集过程结束之后将保存在内存中的数据输送到数据滤波储存程序。数据滤波储存程序对采集数据进行滤波之后储存、显示滤波数据。

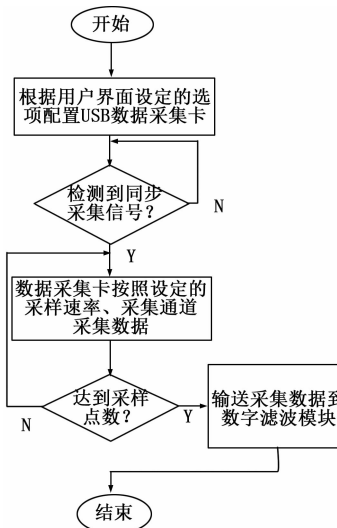


图 4 数据采集程序流程图

数据采集程序的流程如图 4 所示。当主程序调用数据采集程序时，采集程序首先根据用户界面设定的选项，配置 USB 数据采集卡，如数据采集通道、同步采集触发信号、信号输入模式、采样点数和采样速率。配置数据采集卡之后，程序等待同步采集触发信号，当检测到同步采集触发信号之后数据采集卡按照设定的采样速率、采样通道进行数据采集，达到设定的采样点数时输出采样数据到数据数字滤波模块，采样结束。

虽然在信号调理电路中已经对输出电压信号进行滤波，但是高频噪声、传输导线引入的一些干扰是无法避免的，因此我们需要对采集的数据进行数字滤波。

数字滤波储存程序采用 Labview 自带的 Butterworth 滤波器。程序运行之前我们需要配置滤波器的滤波类型、数据采样率、滤波阶数、高通截止频率、低通截止频率、直流偏置和储存数据地址。滤波器有高通、低通、带通和带阻四种滤波类型，在本程序中运用了低通滤波功能。数据采样率必须和数据采集程序设置的采样率匹配，否则会严重影响滤波器的性能。因为信号调理电路输出存在 2.5 V 的直流电压偏置，所以在处理数据的时候需要将采样数据减去 2.5 V 的直流偏置。

当数据采集程序被调用时，程序根据用户界面设定的参数配置数字滤波器，然后对输入的采样数据进行滤波再减去直流偏置设定值，最后把已经进行处理的采样数据以文本格式保存到硬盘同时显示采样曲线。

### 2.3 数据回放程序

实验中需要对不同缺陷深度的多块样板采样数据进行对比，但是在实验中每一次只能测试一块样板，所以只能将采集的数据保存。所有的样板测试结束之后，利用数据回放程序回放多块缺陷样板采样数据。

数据回放程序流程图如图 5 所示。在程序运行之后，设置采样速率、波形开始时间、波形结束时间和波形文件路径，然后点击显示波形按钮，示波器将显示多条采样曲线同时在程序界面上显示各曲线的峰值到达时间和峰值大小。

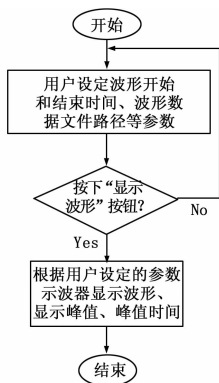


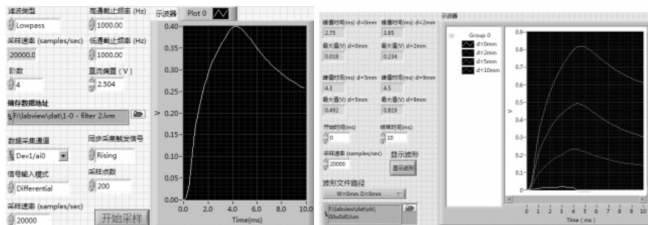
图 5 数据回放程序流程图

### 3 程序运行结果

检测系统采用的是 0.5 Hz 的方波脉冲激励。实验铁磁性材料选用 45 # 钢板, 缺陷为矩形沟槽位于每块钢板的中心。三块钢板缺陷宽度都为 2 mm, 深度分别为 2 mm、5 mm 和 10 mm。

采样滤波储存程序运行图如图 6 (a) 所示。采样速率设为 20 kHz, 同步采集触发信号为上升沿触发, 在脉冲激励上升沿时刻开始采样, 采样点数为 400 点则采样时间长度为 20 ms。从图中示波器可以看到当前采样的曲线, 横轴为采样时间, 单位为 ms, 纵轴为电压值, 单位为 V。实验时, 将霍尔传感器中点与缺陷中线对齐, 以 0.5 mm 的步长依次向缺陷的左侧、右侧垂直于缺陷移动 5 mm, 传感器每移动一个步长测试一次数据, 比较前后采样曲线的峰值, 找到每块缺陷钢板的最大峰值点, 并储存最大峰值点的采样数据。

数据回放程序运行图如图 6 (b) 所示。图中示波器显示的四条曲线从上到下分别是缺陷深度为 10 mm、5 mm、2 mm 和无缺陷的测试钢板最大峰值点采样曲线。每条采样曲线显示的开始、结束时间分别为 0 ms、10 ms。图中标注的  $d=2$  mm 代表缺陷深度为 2 mm 测试钢板的采样曲线, 其它缺陷深度的测试钢板以此类推。



(a) 采样滤波储存程序运行图

(b) 数据回放程序运行图

图 6 漏磁检测程序运行图

从图 6 (b) 中我们可以看到每条曲线的峰值和峰值到达时间。没有缺陷时采样曲线峰值和峰值到达时间分别为 0.018 V、2.75 ms; 缺陷深度为 2 mm 时采样曲线峰值和峰值时间分别为 0.234 V、3.95 ms; 缺陷深度为 5 mm 时采样曲线峰值和峰值时间分别为 0.492 V、4.3 ms; 缺陷深度为 10 mm 时采样曲线峰值和峰值时间分别为 0.819 V、4.5 ms。将以上四组采样曲线的峰值和峰值到达时间分别在直角坐标系中表示如图 7 所示。从图中我们可以看出缺陷越深采样曲线

的峰值越大, 峰值到达时间越长。

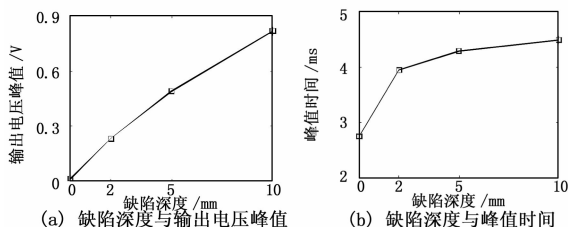


图 7 缺陷深度与采样曲线峰值、峰值时间

### 4 结论

研究表明基于 Labview 软件设计的脉冲漏磁检测程序可以控制 USB 数据采集卡输出脉冲信号, 对调理电路输出的电压信号进行快速同步采集。利用 Labview 平台提供的滤波模块对采集数据进行滤波, 可有效地减小干扰信号对检测结果造成的不良影响。通过图像显示模块可以直观地显示采样信号曲线, 通过数据回放程序, 同时对多组检测加工有不同参数缺陷铝板所获取的采样信号进行对比, 并显示信号的峰值和峰值到达时间。本文研究的检测系统的激励信号由 Labview 软件提供的定时器产生, 可通过设置脉冲信号输出程序的参数改变脉冲信号的频率, 使系统更为简单, 检测更为方便灵活, 大大提高了检测的效率。利用搭建的检测系统对缺陷宽度为 2 mm 缺陷深度为 10 mm、5 mm、2 mm 和无缺陷的测试钢板进行测试。经过对采样信号波形的峰值和峰值达到时间进行分析, 发现缺陷越深采样信号的峰值越大并且峰值到达时间越长。研究表明基于 Labview 设计的漏磁检测虚拟仪器平台是可靠的, 通过检测信号峰值和峰值到达时间评估缺陷参数的方法是可行的。

#### 参考文献:

- [1] 林俊明. 漏磁检测技术及发展现状研究 [J]. 无损探伤, 2006, 30 (1): 1-5.
- [2] 康宜华, 宋 凯, 杨建桂, 等. 几种电磁无损检测方法的工作特征 [J]. 无损检测, 2008, 30 (12): 928-930.
- [3] 张玉华, 孙慧贤, 罗飞路, 等. 脉冲涡流检测中三维磁场量的特征分析与缺陷定量评估 [J]. 传感技术学报, 2008, 21 (5): 801-805.
- [4] 唐 莺, 潘孟春, 罗飞路, 等. 阵列脉冲涡流腐蚀缺陷成像检测技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (9): 1151-1153.
- [5] Ali Sophian, Gui Yun Tian, Sofiane Zairi. Pulsed magnetic flux leakage techniques for crack detection and characterization [J]. Sensors and Actuators, 2006, 125 (2): 186-191.
- [6] John W. Wilson, Guiyun Tian. Pulsed electromagnetic methods for defect detection and characterization [J]. NDT and E International, 2007, 40 (4): 275-283.
- [7] 左宪章, 张 韬, 田贵云, 等. 基于脉冲漏磁原理的涂覆层下腐蚀缺陷检测 [J]. 传感技术学报, 2011, 24 (7): 990-995.
- [8] 唐 莺, 潘孟春, 罗飞路, 等. 管道腐蚀检测中的脉冲漏磁检测技术 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (1): 38-39.
- [9] 胡仁喜, 高海宾. LabVIEW2010 中文版虚拟仪器从入门到精通 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [10] 梁秋明, 田梦君. 基于 LabVIEW 的虚拟示波器的设计与实现 [J]. 电子测量技术, 2009, 34 (3): 158-161.