基于 DSP 的大电机线圈内部缺陷无损检测系统

全 力,胡海斌,尉军军,查竞舟
(江苏大学电气信息工程学院,江苏镇江 212013)

摘要:在电机制造厂的大型电机线圈绝缘体发空的检测中,采用的是人工的"听声法",人为因素较多。文中根据大型电机无内部缺陷线圈与有内部缺陷线圈声学特性的差异,设计出一种基于 TMS320F2812 DSP 的大型电机线圈无损检测系统。该系统包括了敲击系统、信号检测系统和 DSP 系统。通过对所设计的硬件电路进行模拟仿真和局部硬件测试,完成了硬件平台的开发,并开发了相应的应用软件,使系统基本上能实现线圈的内部缺陷在线无损检测。

关键词:TMS320F2812;DSP;大电机;线圈;信号处理;无损检测
中图分类号:TM303.1 **文献标识码**:A **文章编号**:1002-1841(2010)03-0072-03

Automatic Non Destructive Testing System of Pole Coil's Internal Defect in Large-scale Motor Based on DSP

QUAN Li, HU Hai-bin, WEI Jun-jun, ZHA Jing-zhou
(College of Electronic And Information Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: The empty voice detection of large-scale motor's pole coil in motormaker adopted artificial listening methods, which has many human factors. According to the acoustic characteristics differences in large-scale motor between non internal defects and internal defects pole coil, the paper designed a NDT (non destructive testing) system of pole coil in large-scale motor based on TMS320F2812 DSP. The system included knocking system、signal acquisition system and DSP system. Through analog simulation and local hardware test to hardware circuit, the paper finished hardware platform development and application software, which realized on-line NDT of pole coil's internal defect.

Key words: TMS320F2812; DSP; large scale motor; pole coil; signal processing; NDT (non destructive testing)

0 引言

无损检测技术[1]是在不破坏检测对象的前提下检查对象宏观缺陷或测量对象特征的各种技术方法的统称。它是广泛应用于工业、制造业、航空航天以及状态监测领域的技术先进的检测解决方案。目前,大多数电机厂的大型电机制造过程中的线圈绝缘体发空检测采用的是"听声法"[2],即用小黄铜锤逐点敲击线圈绝缘体表面,通过人耳判断线圈绝缘体的内部缺陷。这种方案简单、灵敏,但是人为因素很多,不同技术人员可能得出不同的结果。为了克服这一缺陷,设计了基于 TMS3200F2812 的大型电机线圈内部缺陷无损检测软硬件系统。它通过 MCU 控制小型电机驱动敲击棒在线圈内部产生共振,利用 DSP 实时采集声学信号并进行 FFT 和频谱分析,基本上能实现线圈的内部缺陷在线无损检测。

1 系统检测原理

基于 DSP 的电机线圈内部缺陷在线无损检测系统如图 1 所示。系统由驱动敲击系统、信号采集系统、DSP 系统构成。可以实现对被检对象实时监测、电机的实时动作、DSP 的实时 ADC、FFT 处理与频谱分析、上下位机通信等功能。

2 DSP 系统

DSP 是系统的核心装置,它担负着实时采集与实时处理的任务。TMS320F2812 的主频能达到 150 MHz,该系统采用的是 100 MHz 主频,程序执行速度达到系统要求,且功耗相对较低。TMS320F2812 具有 JTAG 边界扫描功能[3],程序可从地址 0x3FFFC0 引导 ROM 在 RAM 中进行在线调试[4]。其 ADC 模块具有 12 位核、16 通道,在同一时段内最大能提供 16 路 A/D 转换。故选择了基于 TMS320F2812 的检测系统。

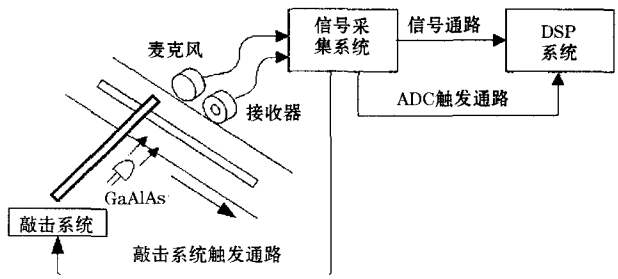

图 1 NDT 系统

3 信号采集系统

3.1 音频传声器模块

音频传感器选用电容式音头,相对于动圈式音头具有更高的单指向性和灵敏度,实验用音头频响范围为 80 ~ 12 500 Hz,灵敏度级 $L = -46$ dB ± 3 dB,输出阻抗为 680 Ω.

根据传声器灵敏度级 L 和传声器灵敏度 M 之间的关系:

$$L = 20\lg\left(\frac{M}{M_r}\right)$$

式中 M_r 为参考灵敏度,$M_r = 1$ V/Pa.

基金项目:浙江省重大科技专项重点项目(2006C11089)
收稿日期:2009-07-17 收修改稿日期:2009-11-29

传声器灵敏度 L 能达到 5 ~ 7 mV/Pa.

音频前置放大电路设计为平衡式输入,需要根据传声器的内部特性和后级放大电路设计相应的阻抗电路,如图 2 所示。稳压管 ZD2 - 1 为麦克风提供电源,传声器电路通过 JP2 - 1 输入幻象电源并输出音频小信号。

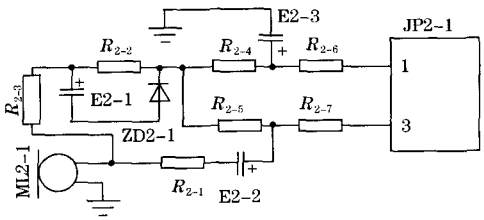

图 2　传声器电路

3.2　音频前置放大电路

TMS320F2812 的 A/D 转换器模拟输入范围是 0 ~ 3 V,而音频传感器的灵敏度为 5 ~ 7 mV/Pa,故从音频传感模块输出的电信号需信号调理才能够被 A/D 转换器正确识别。前置放大电路的主放大器选用宽带宽、宽增益、低噪声、低失真仪表放大器 INA217,输入阻抗高,增益上限 $G = 10\ 000$。该型芯片运用于音频放大领域具有很高性能。

3.3　滤波去噪电路

滤波电路的设计采用滤波器设计软件。滤波方案采用了具有最平滑通频带的 Butterworth 带通滤波器,通频带设计为 1 ~ 5 kHz,阶数选为 8 阶。其频率响应特性如图 3 所示。

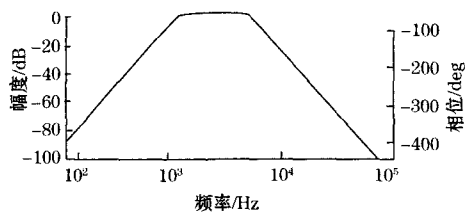

图 3　滤波电路频率响应特性

3.4　红外传感电路

红外发射器安装于检测线的一侧,红外接收装置安装在另一侧,用于监测电机线圈位置。发射装置选用的是载波频率为 38 kHz 的红外发射管,其调制电路如图 4 所示。

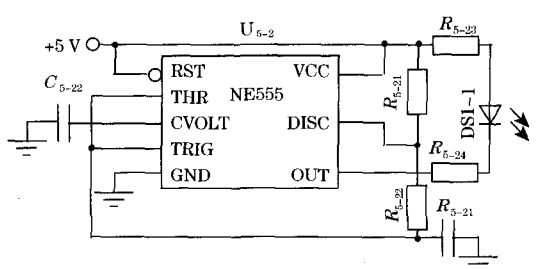

图 4　发射电路

根据调制波的频率计算式:

$$f = \frac{1.49}{(R_{5-21} + 2R_{5-22})C_{5-21}}$$

可调制出 38 kHz 的激励信号,以使红外发射管正常工作。其中 R_{5-23}、R_{5-24} 控制红外发射管的发射距离。

红外接收模块的接收频率要与发射模块的发射频率相匹配,红外接收装置会根据检测对象的位置发出不同指令,以控制 MCU 及时敲击对象或停止敲击。

4　敲击系统

敲击系统的驱动电机选用的是双向转角电机。测试系统所用电机特性如表 1 所示。

表 1　双向转角电机参数

驱动电压/V	驱动电流/A	功率/W
8 ~ 24	0.8	60

电机线圈通电产生的电磁场与永磁场相互作用,使双向转角电机轴芯产生旋转位移。其特性如图 5 所示。电机在出厂时其内部磁场处于平衡状态,即使通电,电机的轴芯也不能起动旋转。电机安装后,敲击棒由于自身重力,与水平线呈 0° ~ 15°,给电机的轴芯提供了扭动扭矩。电源以脉冲电压驱动正反向旋转,脉冲的方向要和电机轴芯的初始位置保持一致,且通电时间要控制在 40 ~ 200 ms 范围内,以防止电机温度过高,导致电机线圈损坏。

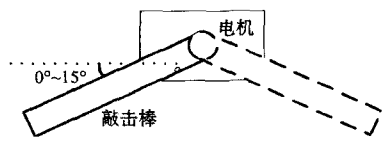

图 5　电机特性

装置安装图如图 6 所示。敲击棒安装在电机轴上,在电机下方安装了限位挡板保护装置以防止敲击棒误操作,与生产线产生碰撞,损坏生产线和电机。

电机驱动采用 2 块双全桥驱动模块,电平为标准 TTL 逻辑电平,与 MCU 的电平标准相匹配。实现了 1 片 MCU 同时控制 4 支电机完成线圈敲击动作。

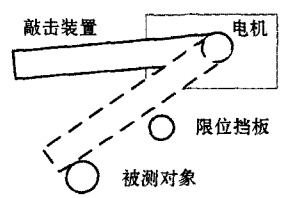

图 6　电机安装示意图

5　软件设计方案

大电机线圈内部缺陷在线无损检测系统应用软件由电机控制系统软件和基于 DSP 的信号处理系统软件构成。

5.1　电机控制系统软件方案

电机控制系统软件由系统初始化模块、电机驱动模块、判别模块等构成。驱动系统由 MCU 作为核处理器,控制 4 路电机工作。4 路电机驱动系统流程图如图 7 所示。

5.2　信号处理系统软件方案

基于 DSP 的信号处理系统软件由系统始化模块(包括初始化 CPU 模块、初始化 PIE 寄存器模块、初始化 PIE 向量表模块、初始化 ADC 模块和初始化 EV 模块等)、初始化 ADC 转换结果空间模块、触发信号等待模块、ADC 模块、FFT 模块、特征参数选取及判别模块、DSP 与 PC 机 SCI 通信和显示模块等构成。在信号处理系统软件中产生大量的数据,需要在 cmd 文件中专

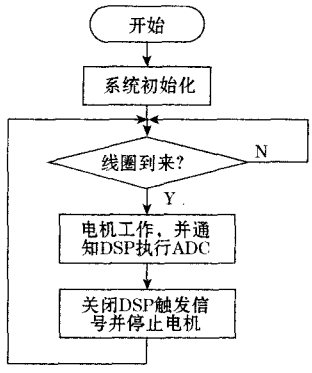

图7 电机驱动系统流程图

门开辟相应的数据地址空间来管理，实现程序地址空间和数据地址空间的最优化分配。

6 实验及结果分析

设计并搭建了试验平台，与 PC 机互联可以实现基于 DSP 的在线无损检测，其检测速率与生产流水线的速率相匹配。并解决了将程序烧写至 Flash 后 DSP 独立工作时检测速率跟不上生产流水线的速率的问题，为科研成果产业化提供了技术储备和试验手段。

该设计系统得到的敲击大电机线圈的音频信号数字量和 FFT 变换后的频谱如图 8、图 9 所示。

经试验对比验证表明该套设备的软硬件具备基本的检测

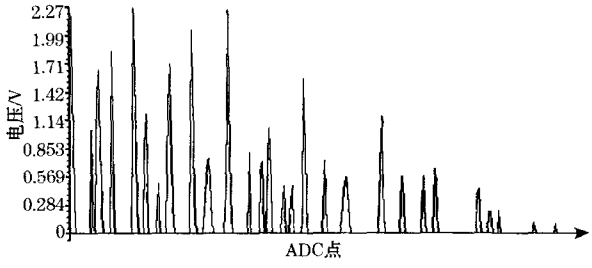

图8 音频信号数字量

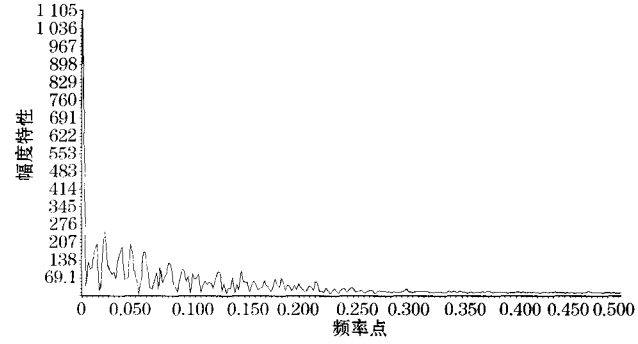

图9 采样后的频谱

大电机制造过程线圈内部缺陷的能力，下一步将试验得到的数据进行进一步的频谱分析和算法优化，以提高检测系统的检测能力。

7 结论

对于 DSP 的大电机线圈内部缺陷在线无损检测系统，有很多影响其性能的因素，包括生产过程的机械噪声、电子设备的噪声、声音传感器与敲击装置之间的振动噪声和电机的内部噪声。因此，只有更有效地降低噪声对系统的干扰，优化系统的判别，才能使科研成果尽早地实现产业化。

参考文献：

[1] 麻雪莉. 基于 FPGA 的脉冲涡流硬度无损检测系统的研究：[学位论文]. 哈尔滨：哈尔滨理工大学，2007.

[2] 吴欣延，吴广宁，谢恒堃，等. 声信号的频域分析方法及其在电气绝缘无损检测中的应用. 西安交通大学学报，1996，30(3)：63－64.

[3] TEXAS INSTRUMENTS. TMS320C28x DSP CPU and Instruction Set Reference Guide[R]. Dallas：Texas Instruments，2004：554－556.

[4] TEXAS INSTRUMENTS. TMS320x281x DSP Boot ROM Reference Guide[R]. Dallas：Texas Instruments，2003：15－15.

作者简介：全力(1963—)，教授，主要从事特种电机及其控制系统和汽车的电气控制技术方面的研究工作。
E-mail：hhbin2007@163.com

(上接第 63 页)杂测试条件下，当摩擦盘转速从 0 到 2 800 r 时，摩擦系数呈现下降趋势；转速在 2 800 r 固定时，摩擦系数呈微小波动；转速由 2 800 r 到 0 时，摩擦系数又呈上升趋势。从图中看出仅有极少数据点在检测边界外，摩擦系数波动变化不大。表明闸片表面形成稳定致密的第三体[1]，闸片性能稳定。

4 结束语

文中构建的基于 LabVIEW 的高速列车闸片摩擦磨损性能参数的检测分析系统已经投入使用，运行稳定，不仅覆盖了原有的 GF－150D 定速摩擦实验机的功能，而且具有如下特点：

(1)可以实现匀加速、变加速环境下测试闸片的摩擦磨损性能参数；

(2)硬件、软件采用模块化设计，便于系统的扩展和维护；

(3)精密仪表仪器的应用、软硬件的抗干扰措施等，使系统运行稳定，精度比较高；

(4)子 VI 的应用使软件运行速率高；

(5)实现用边界检测评定闸片摩擦系数的稳定性；

(6)实现瞬时数据的 Excel 保存、利用数据库管理闸片的历史数据，便于数据管理和事后调用、分析。

参考文献：

[1] 符蓉，宋宝韫，高飞，等. Cu-SiO2 烧结材料的摩擦磨损性能研究. 摩擦学报，2007(4)：376－380.

[2] 江岳春，滕召胜，王可宁，等. 基于 VB 与 LabView 的电力远程监测管理系统. 仪表技术与传感器，2004(2)：16－17.

[3] 雷振山. LabVIEW 7 Express 实用技术教程. 北京：中国铁道出版社. 2005.

[4] 杨乐平，李海涛. LabVIEW 的高级程序设计. 北京：清华大学出版社，2003.

[5] 戴鹏飞，王胜开，王格芳，等. 测试工程与 LabVIEW 应用. 北京：电子工业出版社，2006

作者简介：肖和平(1983—)，在读硕士，主要研究计算机测量与控制。
E-mail：xiaohepin@yahoo.com.cn