

基于电磁法的切应变检测系统的设计

谭继文, 舒 杰, 文 妍

(青岛理工大学, 青岛 266033)

摘 要:在机械构件的应变检测中, 传统的应变片法由于需接触检测而难以满足检测要求。基于电磁检测原理提出了受扭构件切应变的非接触实时在线定量检测方法, 设计了以 AT89C52 为核心的旋转构件切应变检测系统。介绍该系统的功能、硬件构成、软件设计及其实现。仿真试验表明, 该系统运行可靠, 检测准确, 具有推广应用价值。

关键词:电磁检测系统; 霍尔元件; 切应变; 硬件; 软件

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2006)01-0017-03

Design of Shear Strain Testing System Based on Electromagnetic Testing

TAN Ji-wen, SHU Jie, WEN Yan

(Qingdao Technological University, Qingdao 266033, China)

Abstract: Conventional strain-gauge method can not satisfy the measurement of the strain of mechanical component for its contacting pattern. Non-contact real-time on-line quantitative testing of the shear strain of the component twisted based on electromagnetic testing was put forward. AT89C52 based and angular strain testing system was designed. The system function, hardware structure and software design were also given. Simulation experiment showed that the system could provide reliable and accurate testing and was valuable for practical application.

Keywords: Electromagnetic testing system; Hall sensor; Shear strain; Hardware; Software

传统的机械构件切应变多采用电阻应变片法检测。电阻应变片法测定构件线应变属于接触式检测, 连接导线多, 导线的布置和信号处理繁琐, 而且由于导线接触电阻的不稳定性、线间电容及热电动势等都将使检测结果的准确性和检测精度降低, 同时也难以实现对动态构件切应变的在线检测。

笔者采用的电磁检测法是直接在被测构件上贴上磁钢, 通过被测构件与检测器的相对运动实现应变的测试, 且被检测构件与检测器间无接触, 检测旋转构件时检测信号引出方便。该方法应用了磁电转换技术、微电子技术和计算机定量处理技术, 把需测试的物理量用磁信号及其再生信号作载体, 实现机械量的电量测试^[1]。通过对这些电信号的处理可实现机械构件切应变的非接触实时在线定量检测。

1 检测系统的硬件设计及检测原理

检测系统由试验台、传感器电路及由 MCS-51 语言编程的单片机系统构成的二次仪表电路组成。基于电磁检测法的应变检测原理如图 1 所示, 搭建加载扭矩的试验台, 在被测构件表面贴上磁钢, 即图 1 中的位置 1 和 2 (试验选用 $\phi 20$ mm, 磁感应强度

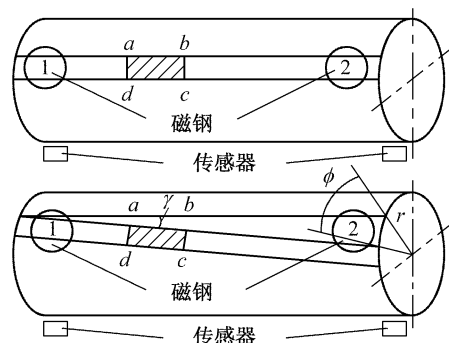


图 1 检测系统原理图

收稿日期: 2004-11-16

基金项目: 山东省教育厅科技计划资助项目 (J02A06)

$B=12\text{ mT}$,厚 1.5 mm 的磁钢),然后在试验台上沿被测构件的周向在图 1 中位置 1 和 2 的正上方分别布置两个霍尔传感器。当霍尔传感器与被测构件间有相对转动时,传感器就会产生一系列类似于半正弦的非标准电压信号,这些信号经传感器电路处理(图 2)转换成标准的数字电压信号送到二次仪表中处理。若构件受扭力产生切应变,则两霍尔传感器将输出两个频率相同但相位不同的信号(图 2 中信号 1 和 2)。两信号的相位差与构件的切应变成正比。

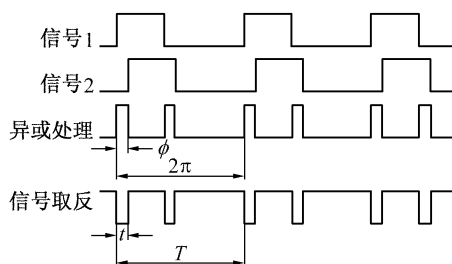


图 2 传感器电路处理后的信号波形图

根据图 1 描述的几何关系,有

$$\gamma = r \frac{\phi}{l} \quad (1)$$

式中 l 为两磁钢的中心距离。因此只要测出扭角 ϕ 即可测试构件的切应变。由处理后的波形可以看出 ϕ 在波形中对应相应的时间 t ,而传感器旋转一周的角度是 2π ,若再测出旋转一周的时间 T 就有

$$\frac{t}{T} = \frac{\phi}{2\pi} \quad (2)$$

所以有

$$\phi = \frac{2\pi t}{T} \quad (3)$$

考虑到贴磁钢时的位置误差,试验时可先测出两列信号的初始相位差 φ ,因此就有

$$\phi = \frac{2\pi t}{T} + \varphi \quad (4)$$

系统中二次仪表的主要任务就是测出 t 和 T 。

2 传感器电路及二次仪表

2.1 传感器电路

霍尔传感器是利用霍尔效应进行工作,具有结构简单、体型小、频率响应宽、动态范围大、无接触和寿命长等特点。该系统设计的霍尔传感器为 THS103A 型,信号预处理电路主要由不等位电势补偿电路、差动放大电路、电压比较电路及异或电路组成^[2]。THS103A 的供电电压是 5 V ,输出电压是 $50\sim 120\text{ mV}$,不平衡率 20% 。不等位电势是由元件本身的物理加工缺陷造成的,因此在把感应电压

送至下一处理电路前需要进行零点校正。它可通过图 3 中的电路进行补偿,其中电阻 $R1$ 可用来进行零点调整,实现不等位电势的补偿。补偿后的霍尔传感器在零外加磁场中,输出为 0 V 。差动放大电路主要放大霍尔传感器产生的微弱信号,并把两路信号变成一路信号送至电压比较器。电压比较器是由 CF3140 组成的零电压比较器,双电源供电,电压 $\pm 5\text{ V}$ 。该电路要求放大器的失调电压 V_{io} 很小,最好调到零。使用时,器件不能在线路带电的情况下接入和断开,以免瞬态电压变化引起损坏,而电源断开时输入端也不能加信号^[3]。信号经零电压比较器后产生两路 $0\sim +5\text{ V}$ 电压信号,再经过斯密特整形电路处理就能获得标准方波信号,两路方波信号送至异或电路进行逻辑处理即可得到两传感器的输出信号,如图 2 中异或处理信号。

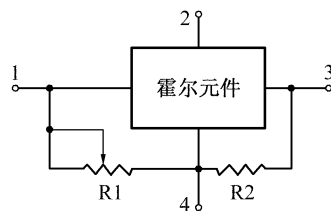


图 3 霍尔元件补偿电路

2.2 二次仪表

系统的二次仪表首先将由异或电路产生的信号再进行一次取反,得到图 2 中的取反信号,分别把这两路信号接入单片机(MCU)中进行运算和控制等处理。MCU 选择标准型的 89 系列单片机 AT89C52,它有 8 kB 的 Flash 存储器, 256 字节内部 RAM 存储器, 32 条可编程输入/输出(I/O)线,三个 16 位的定时器/计数器,八个中断源及可编程串行接口。系统程序存储在 Flash 存储器中。异或信号及其取反信号分别接/INT0 和/INT1,设定下降沿触发中断,即当输入信号由 1 变 0 时,产生中断。当/INT0 来了一个上升沿,那么/INT1 就对应一个下降沿,用这个下降沿来触发中断进行计时,而当/INT1 的上升沿来临时,/INT0 对应下降沿,利用该下降沿触发中断,结束计时。二次仪表完成上述计时测试,再送至上位机处理。上位机编程采用 VB 语言,可视化编程可以很好地建立 PC 机与操作者的人机对话,而且 PC 机的计算能力比 MCU 强。通过可编程串行接口与上位机的通信,可以把测量结果迅速送至 PC 机中进行运算,显示结果,进行打印和存储,得到应变检测结果。

3 软件系统设计

软件设计模块化和结构化,使用 MCS-51 汇编语言对 MCU 进行编程^[4]。整个程序由主程序、开始计时中断子程序、终止计时中断子程序以及通信子程序组成。计时中断子程序流程示于图 4。

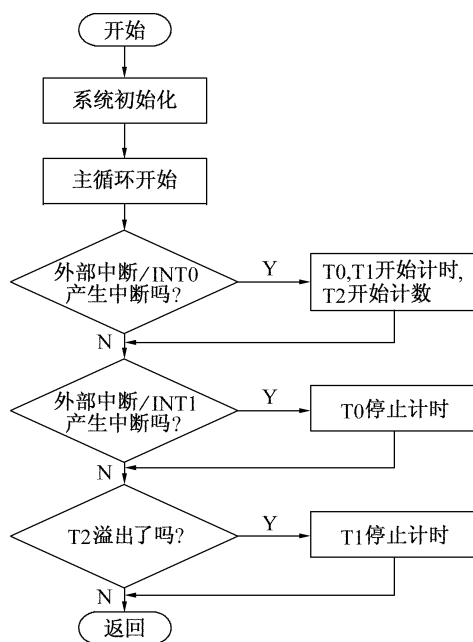


图 4 中断子程序流程图

在该检测系统的软件设计中,定时器 T0 的工作方式为 0,定时周期为 8.192 ms,一次定时器中断为 1,产生报警。定时器 T1 的工作方式为 1,定时周期为 65.536 ms,一次定时器中断也为 1,产生报警。AT89C52 中增加了一个 16 位定时器/计数器 T2。T2 设置成可重装入的计数器,当 T2 计数被测部件旋转一周产生的两个脉冲后就会溢出,产生中断。它的功能比其它两个定时器更强,具有三种工作方式,分别为捕捉方式、自动常数重装入方式和波

特率发生器方式。T2 的工作是靠软件对 T2CON 寄存器进行设置而定义的。程序编制中要注意两个计时器的触发计时和中断计时的顺序,因为程序在执行过程要占用 MCU 的处理时间,合理安排执行程序可以补偿因程序执行而带来的计时误差。

由于程序是在运行中读取计数寄存器 TLx 和 THx(x 为 0 或 1),为防止读数错误,必须在软件设计中进行数据判断。解决方法是先读 THx,后读 TLx,再读 THx,若两次读取的 THx 值一样,则可确定读入的数据是正确的;若两次读取的值不一样,则必须重读^[4]。

4 结束语

实验室仿真试验表明,该系统运行正确,操作方便。计时最小单位是 20 μ s,测试扭转角精度达 0.002 rad,能实现受扭构件扭转角的实时在线定量检测。试验发现,必须要防止数字信号和模拟信号的互相干扰,对电源要进行滤波,特别是滤除高频信号。由于系统中要用到的芯片的供电电压不一样,要求设计合理的供电电路,防止烧片。另外,由于磁信号检测系统本身比较复杂,还有很多不确定因素存在,需在具体应用中进一步研究。

参考文献:

- [1] 谭继文,王广丰,舒杰,等.机械构件线应变在线检测新技术研究[J].机械科学与技术,2004,23(5):534—535.
- [2] 童诗白,华成英.模拟电子技术基础[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [3] 梁廷贵,王裕琛.集成运算放大器电压比较器分册[M].北京:科学技术文献出版社,2003.
- [4] 高锋.单片微型计算机原理与接口技术[M].北京:科学出版社,2003.

(上接第 10 页)

肯定了过零效应的同时积极寻求或完善其它辅助条件将会更好地促进该技术的成熟。

(4) 试验证实了金属磁记忆检测技术能够对受载试件进行损伤检验,能够较好地反映试件受载情况,对疲劳试验的开展具有一定的推动作用。

参考文献:

- [1] 任吉林,郭冠华,宋凯.磁记忆检测机理的探讨[J].无损检测,2002,24(1):29—31.

- [2] 仲维畅.金属磁记忆法诊断的理论基础——铁磁性材料的弹-塑性应变磁化[J].无损检测,2001,23(10):424—426.
- [3] Doubov Anatoli A. Diagnostics of metal items and equipment by means of metal magnetic memory[A]. Proc of ChSNDT 7th Conference on NDT and International Research Symposium[C]. Shantou: 1999. 181.
- [4] 陈玉玲,葛森,吴森.应力集中引起的金属磁记忆现象的研究[J].中国矿业大学学报,2004,33(5):592.
- [5] 任吉林,林俊明.金属磁记忆检测技术[M].北京:中国电力出版社,2000.