

基于51单片机和AD5933的便携式电阻抗测试系统设计*

李继承 苏宇航 林晓明 彭晓军

(广东省特种设备检测研究院珠海检测院,广东 珠海 519002)

摘要:针对商用阻抗分析仪存在的价格昂贵、设备笨重等缺点,借助51单片机、AD5933芯片及辅助电路构建了一套便携式电阻抗测试系统。该测试系统可以在0.1~100 kHz频率范围内以0.2~2 V的激励电压对PZT传感器进行电阻抗测量。使用该系统对一维梁结构上宽度为0.5 mm的裂纹损伤扩展过程进行了检测;研究结果表明,所构建的测试系统对于一维梁结构的初始损伤具有很高的灵敏度,对于随后的扩展损伤也能进行有效的检测。

关键词:压电阻抗法;阻抗分析仪;PZT传感器;51单片机;结构健康监测

中图分类号:TN712⁺.5;TP206⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-4801(2019)04-087-03

DOI:10.19508/j.cnki.1672-4801.2019.04.027

近年来,基于智能材料的压电阻抗技术在结构健康监测领域获得了越来越广泛的应用。该技术借助粘贴于结构表面的PZT压电晶片带动本体结构产生振动,通过检测PZT片在外加激励电压作用下电阻抗信号的变化反映出结构机械特性的变化。1993年Liang等^[1]首先从理论上分析了PZT片与结构组成的单自由度弹簧-质量-阻尼系统模型,推导出了PZT电阻抗与结构机械阻抗的关系表达式。此后,Zhou^[2]、Giurgiutiu^[3]、Xu^[4]等从监测结构的空维数、机械阻抗的精确求解、如何考虑粘结层的影响等方面对Liang的模型作了进一步的完善。目前,压电阻抗技术的应用已经成为航空航天、土木建筑、精密机械等领域的研究热点^[5-8]。

压电阻抗法的核心问题是PZT片激励及耦合电阻抗(或电导纳)的测量,目前研究中多是借助商用阻抗分析仪实现的(如HP 4194A等)。该仪器测试频率范围宽、检测速度快、可测参数全,但同时也存在设备笨重、造价昂贵、功率消耗大等缺点,且阻抗测量只应用了该仪器的很小一部分功能。因此,亟需开发出一套携带方便、成本低廉、

能够连续扫频测量的小型PZT片电阻抗测试系统。

1 硬件设计

1.1 阻抗测量电路

AD5933是美国Analog Devices公司生产的一款高精度阻抗测量芯片,片上集成了频率发生器和12位模数转换器(ADC)。频率发生器产生的信号用来激励PZT传感器,传感器的响应信号由片上ADC采样,之后由片上DSP进行离散傅里叶变换(DFT)处理。DFT结果在每个测量频率上返回1个实部数据和1个虚部数据分别存储到2个寄存器,通过串行I2C接口进行数据读取。图1所示为AD5933阻抗测量电路。引脚4和5之间连接参考电阻RFB1,引脚5和6之间连接待测PZT传感器的2个电极。

1.2 控制模块电路

选用STC12C5A60S2单片机作为本系统的控制芯片,该系列单片机是STC公司生产的高速低功耗新一代8051单片机,指令代码完全兼容传统

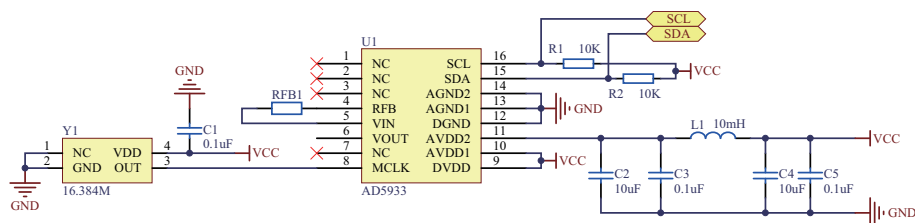


图1 AD5933阻抗测量电路

*广东省质量技术监督局科技项目(2018CT09)

(C)1994-2022 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

8051单片机,速度快8~12倍。工作电压3.5~5.5 V,工作频率0~35 MHz,片上集成1280字节RAM。STC12C5A60S2单片机内部包含中央处理器(CPU)、程序存储器(Flash)、数据存储器(SRAM)、定时/计数器、UART串口、I/O接口、高速A/D转换等模块。STC12C5A60S2单片机系统电路见图2所示。

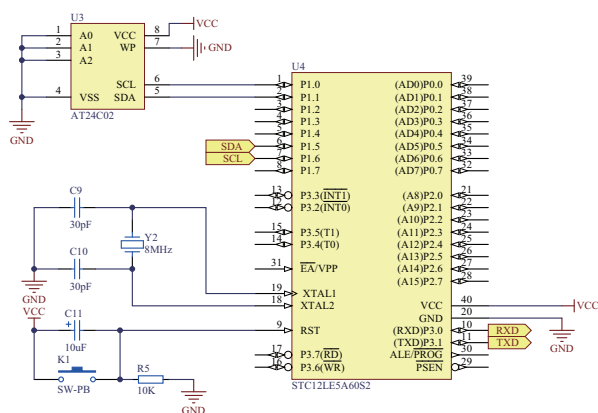


图2 STC12C5A60S2单片机系统电路

1.3 串口通信电路

选用CP2102芯片实现单片机与上位机的

USB接口进行通信,见图3所示。CP2102通过驱动程序将PC的USB端口虚拟成COM口达到扩展的目的,COM口使用运行在PC上的应用软件以访问一个标准硬件COM口的方式访问基于CP2102的器件,通过USB完成PC与CP2102之间的数据传输。

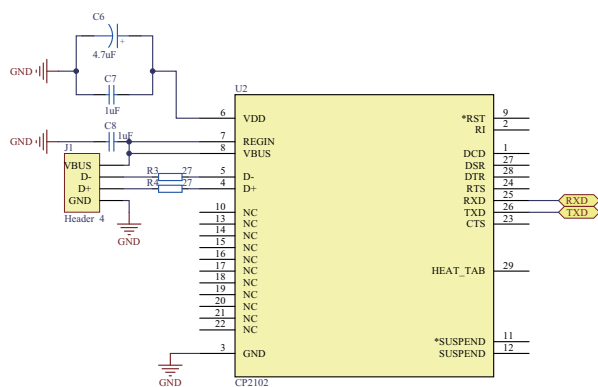


图3 串口通信电路

1.4 电源模块

电源直接由上位机的USB口取电,使用TPS77601芯片将电压由5 V降低到4.5 V,见图4所示。

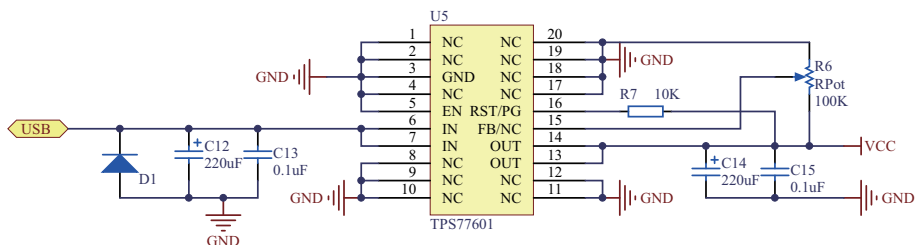


图4 电源模块电路

整套系统的工作过程由STC12C5A60S2单片机控制,通过I2C总线将控制指令写入AD5933的控制寄存器。首先将起始频率、频率增量和扫描点数写入AD5933芯片相应的寄存器,然后控制寄存器控制AD5933进入标准模式,用起始频率初始化芯片,开始频率扫描。每扫描完成一个频率,计算该频率下PZT片响应信号的DFT,变换结果的实部和虚部分别存放在芯片的实部数据寄存器和虚部数据寄存器,通过串口调试软件读取寄存器中存储的数据。完成一次频率扫描后,控制寄存器驱动芯片跳转到下一检测频率进行信号激励。

2 应用验证

采用本研究所构建的便携式电阻抗测试系统

所示。铝梁试样的尺寸为300 mm×40 mm×10 mm,圆形PZT片的直径为10 mm、厚度为1 mm、标称频率为2 MHz。借助强力胶将PZT片粘贴于一维梁试样左侧距端部100 mm位置处。首先在20~80 kHz的频率范围内对待检测梁进行初步扫描,测量数据点数为201,相邻点之间的频率间隔为0.3 kHz,结果如图6所示。

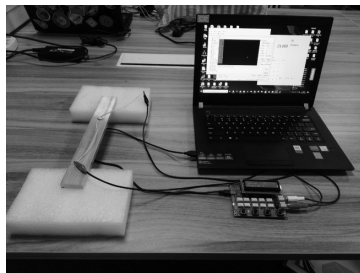


图5 便携式电阻抗测试系统

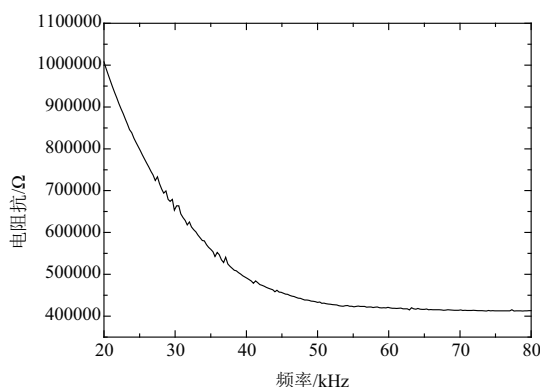


图6 原始状态PZT电阻抗测试结果

观察图6发现,25~35 kHz频段内电阻抗峰值的幅度更加明显,峰值分布更加集中,因而选用该频段进行损伤检测。检测用采样点数为201,相邻点之间的频率间隔为50 Hz。使用线切割方式在一维铝梁结构上制作了8种不同程度的裂纹损伤,裂纹与PZT片之间的距离为100 mm,裂纹宽度为0.5 mm,长度沿横截面方向以2 mm的间隔不断扩展。图7所示为不同损伤状态下PZT电阻抗的测试结果。

从图7中可以看出,随着裂纹长度增加PZT片电阻抗信号中各谐振峰出现位置逐渐向低频方向移动。以29.9 kHz位置处的谐振峰为例,当裂纹长度增大到16 mm时,谐振峰对应频率降低到29.6 kHz,偏移量达到300 Hz。随着裂纹长度的增大,一维梁结构的刚度降低,在PZT电阻抗图中表现为谐振峰对应频率向低频方向偏移。

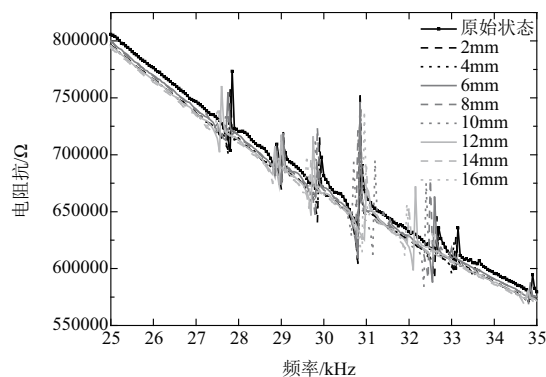


图7 不同损伤状态PZT电阻抗测试结果

3 结论

本文利用51单片机、AD5933芯片及辅助电路构建了一套便携式电阻抗测试系统,利用本测试系统对一维梁结构上不断扩展的裂纹损伤进行了检测,得出如下结论:

1)利用本测试系统可以在0.1~100 kHz频率范围内以0.2~2 V的激励电压对PZT传感器进行电阻抗测量,相邻点之间的频率间隔1 Hz以上;

2)对于一维梁结构上原始状态后不断扩展的裂纹损伤,由于梁结构刚度的下降,在PZT电阻抗谱中表现出谐振峰对应频率逐渐向低频方向移动的现象;

3)本套电阻抗测试系统携带方便、成本低廉,为压电阻抗法结构健康监测技术的现场应用提供了新的解决手段。

参考文献:

- [1] LIANG C, SUN F P, ROGERS C A. Dynamic output characteristics of piezoceramic actuators [C]//Proceedings of Smart Structures and Intelligent Systems, SPIE, Albuquerque, 1993:286-298.
- [2] ZHOU S W, LIANG C, ROGERS C A. A dynamic model of piezoelectric actuator-driven thin plates [C]//SPIE North American Conference on Smart Structures and Materials, Orlando, FL, 1994:550-562.
- [3] GIURGIUTIU V, ZAGRAI A N. Embedded self-sensing piezoelectric active sensors for on-line structural identification [J]. Journal of Vibration and Acoustics, 2002(124):116-125.
- [4] XU Y G, LIU G R. A modified electro-mechanical impedance model of piezoelectric actuator-sensors for debonding detection of composite patches [J]. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 2002(13):389-396.
- [5] 李继承,林莉,孟丽娟,等.激励电压对压电阻抗法检测灵敏度影响研究[J].振动、测试与诊断,2013,33(3):421-425.
- [6] 孟丽娟,李继承,罗忠兵,等.考虑弯曲和轴向振动模态的一维梁压电阻抗模型及试验研究[J].应用声学,2012,31(5):339-344.
- [7] 吴迪,李继承,林莉,等.考虑粘结层和阻抗解析表达式的压电阻抗模型[J].压电与声光,2012,34(1):61-64,68.
- [8] 罗忠兵,林莉,曹欢庆,等.基于压电阻抗技术的奥氏体不锈钢力学损伤定量监测[J].实验力学,2012,27(5):601-606.