

基于 MSP430 的便携式钢丝绳张力测试仪的研制

刘志平 马 铭 肖汉斌 陶德馨

(武汉理工大学物流工程学院 武汉 430063)

摘要:研制了一套基于 MSP430F149 的便携式钢丝绳张力测试仪. 设计的特点在于, 充分利用单片机核心芯片的内部资源, 设计了外围电路和 FFT 程序, 满足了频谱分析对运算速度和容量的需求, 同时结合低功耗、抗干扰能力强的内装 IC 压电加速度传感器, 实现了测试系统的便携化. 结果表明, 本仪器具有较好的重复性和精确性.

关键词:钢丝绳; 张力测试; 频谱分析; 单片机

中图分类号: TP274

0 引 言

在港口码头、矿山和造船厂等部门广泛使用着各种起重机械, 其中钢丝绳的张力分配和钢丝绳的状态对钢丝绳的使用寿命、对设备和人员的安全都有着重要的意义^[1], 因此在很多场合需要对钢丝绳的张力进行测量. 钢丝绳张力的测量方法有多种, 传统的方法可分为直接测量法(如在被测绳上串入测力计等)和间接测量方法(如三点弯曲法、磁通量法和频谱分析法等). 直接测量方法往往不安全或难以操作, 间接测量方法各有特点, 其中频谱分析法因其精度高、方便、适合观测等特点受到广泛应用.

传统的频谱法测钢丝绳张力时, 大多采用普通的加速度传感器, 需要提供电荷放大器等环节将传感器产生的微弱电荷量放大, 并将高阻抗输出转化为低阻抗输出, 然后通过数据采集装置, 由 PC 机实现采集控制和数据处理. 整个测量系统结构较为复杂, 体积较大, 抗干扰能力差, 不适合应用在空间受限、电源不方便, 或工作地点经常变更的场合.

文中研制了一套基于 MSP430 单片机的便携式张力测试仪. 16 位 RSIC 指令集单片机 MSP430F149 具有内置 8 通道 12 位 A/D 转换器, 内置 16 位硬件乘法器, 具有多种超低功耗模式等

特点, 满足便携式测试仪器的低功耗、小空间、低成本的要求. 测试仪选用内装 IC 压电加速度传感器, 它将阻抗变换电路集成在传感器的金属壳内, 极大减少了电缆、环境干扰对传统传感器系统的影响. 内装 IC 压电加速度传感器的集成化、低功耗特点为钢丝绳张力的现场便携式测试提供了极大的方便.

1 钢丝绳张力测试原理

钢丝绳张力测试的理论基础是弦振动理论. 在考虑抗弯刚度的情况下, 钢丝绳的动力平衡微分方程为

$$\frac{M}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0 \quad (1)$$

式中: y 为垂直于钢丝绳方向的坐标; x 为钢丝绳长度方向上的坐标; M 为单位索长的重力; g 为重力加速度; EI 为钢丝绳的抗弯刚度; T 为钢丝绳的张力; t 为时间坐标. 在设定钢丝绳的两端为铰支, 并且不考虑钢丝绳抗弯刚度, 方程(1)的解为

$$T = \frac{4ML^2 f_n^2}{n^2 g} - \frac{n^2 EI \pi^2}{L^2} \quad (2)$$

式中: L 为钢丝绳的长度; n 为钢丝绳的振动阶数; f_n 为第 n 阶振动频率.

文献[2]等研究了采用式(2)计算钢丝绳张

力 T 时带来的误差,本测试仪器采用标定的方法,通过提供标定系数来计算张力 T 。

2 便携式钢丝绳张力测试仪的设计

图1为便携式钢丝绳张力测试系统示意图,图2为测试系统的硬件结构图。

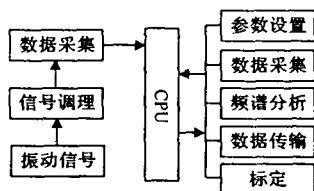


图1 钢丝绳张力测试系统示意图

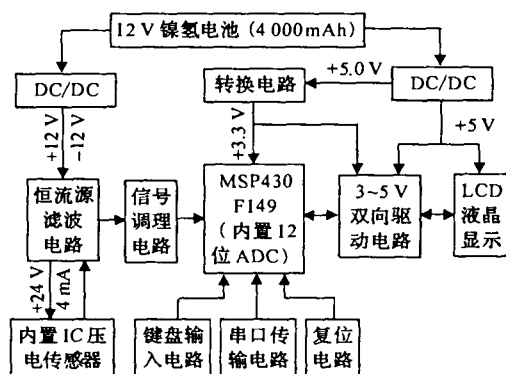


图2 测试系统硬件电路图

测试系统可大致分为4个模块:电源模块、传感器模块、MSP430外围电路模块以及信号采集与分析模块。

2.1 电源模块

测试仪器需要多种工作电压共存:MSP430F149单片机典型供电电源3.3V,LCD和信号调理电路工作在5V的电压下,压电加速度传感器需要提供典型值为24V,4mA的恒流源.整个系统采用12V,4.0Ah镍氢充电电池供电,采用DC/DC电源模块WRA12A12和WRA12B05分别得到24V传感器电源和+5V电源.单片机3.3V电源由+5V转换得到。

2.2 内装IC加速度传感器模块

压电式加速度传感器是输出量(电荷或电压)与加速度成正比的装置,它以压电晶体受外力作用在晶体表面上产生电荷的压电效应为基础.压电式加速度传感器具有灵敏度高、固有频率高、信噪比高、结构简单、体积小,工作可靠等优点.但传统的传感器产生的电荷量甚微、要求极高的输出阻抗、需要低电容低噪声电缆等缺点,通常要通过中间环节——前置放大器,将弱信号放大,并将传

感器的高阻抗输出变为低阻抗输出,然后接信号处理电路后记录和显示.前置放大器由于连接电缆的变化、现场环境以及电磁干扰等都会对系统的灵敏度和低频性能产生影响,且会提高对安装的要求。

随着集成电路技术的快速发展,美国的PCB公司、LANCE公司,瑞士的KISTLER公司,丹麦的B&K公司等相继研制了内装集成芯片的压电加速度传感器.这些加速度传感器将阻抗变换电路集成化后密封在传感器的金属壳内,使得电缆、环境等的干扰得到极大的衰减,从而带来了低功耗,简化了测试系统,提高了测试的精度和可靠性。

本测试仪选择了内装IC压电加速度传感器,此类传感器需要外界提供典型值为24V,4mA的恒流源才能正常工作,而传感器的交流振动加速度输出信号叠加在传感器的8~12V直流偏置上.文中设计了恒流源转换电路,并根据需要设计高通滤波器,隔掉叠加在输出交流加速度信号上的直流偏置。

内置IC压电加速度传感器的工作原理如图3所示.其中电阻 R_1 接地与否,取决于要求的低频下限和测试仪器输入阻抗。

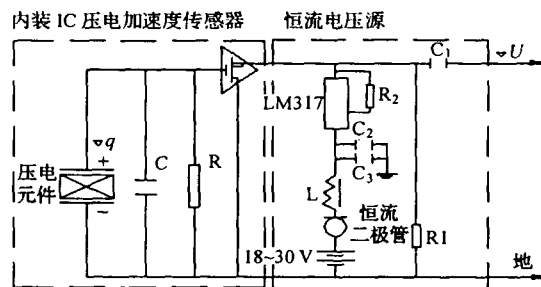


图3 内置IC传感器工作原理图

2.3 MSP430F149的外围电路模块^[3]

MSP430F149的外围电路包括:键盘输入电路、复位电路、串口通信电路等。

1) 键盘输入电路 测试仪器需要0~9数字和小数点输入,还需要一些功能键,综合考虑采用16个按键,为节省I/O资源,采用4×4行列扫描的方式实现键盘接口,仅占用MSP430F149的P1口。

2) 复位电路 系统复位电路的设计一定要使系统能够充分复位,在各种复杂情况下稳定可靠地工作.复位性能不好会影响系统的正常运行.MSP430的NM/RST复位管脚与不可屏蔽中断功能管脚复用,低电平输入系统复位.复位电路要保证充分的低电平时间.复位电路原理图如图4所示。

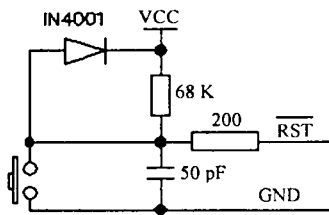


图4 复位电路

3) LCD显示电路 显示采用图形点阵液晶显示器YM12864 A。此款显示器与CPU接口采用5条控制总线(P4.0~P4.4)和8条并行数据总线(P3.0~P3.7)输入输出,内部有显示数据锁存器,自带驱动LCD所需负电压,操作指令简单。需要注意的是由于该显示模块控制器工作在+5V下,因此与MSP430单片机之间存在逻辑电平转换的问题。逻辑电平转换主要采用带3.3~5V电平转移的八总线接收传送器SN74LVC4245来实现。

4) 串行通信电路 MSP430单片机串行通信的方式可以采用硬件USART模块,也可以通过定时器模块的支持来实现串行通信。MSP430F149芯片内部集成有两个串行同步/异步模块(USART),能实现两种通信协议,即UART异步通信协议和SPI同步通信协议。本仪器采用UART协议,通过低功耗RS232接口芯片MAX3221E实现与PC机的通信。

2.4 数据采集与信号分析模块

MSP430F149带有8通道12位逐次逼近型A/D转换器,参考源可接内置参考电压,也可外接参考电压。有多种时钟源可由用户选择提供给ADC12,转换结果存放在专门的桶型缓存内。本仪器采用定时器A中断实现一次A/D转换,ADC12设置为单通道多次转换模式,采用内部参考电压源。采满512点后,系统将采集的结果存放到MSP430F149的FLASH ROM中。

对512点的采集数据进行频谱分析,需要两个条件:计算速度和存储容量。

MSP430F149内置16位硬件乘法器,能够实现8位、16位乘法和乘加运算。执行乘法只需将两个操作数分别存入乘法器的寄存器中,当第二个操作数写入后,相应的乘法操作立即执行,一般整个乘法过程仅需要4个指令周期。频谱分析需要运行大量的乘、加法运算,硬件乘法器使得在可接受的时间内得到分析结果成为可能。

FFT算法采用算法简单、编程效率高的基2时间抽取法。由于采集的数据是实序列,如果直接

按FFT运算流程图,就是把 $x(n)$ 看成一个虚部为0的复序列进行计算,增加了存储量和运算时间。为进一步减少运算量,采用实序列FFT算法,用 $N/2$ 点FFT计算一个 N 点实序列的DFT^[4]。

由于512点实序列FFT计算,仅容量为256点的浮点型数组就需要2个。每个浮点型数据占用4个字节,因此需要2k字节。而MSP430F149内置的RAM仅有2k,显然不能满足需求。RAM不够常见的方法是通过外扩RAM,MSP430外扩RAM存在一定的难度。此处灵活地利用F149自带的多达60k的FLASH ROM实现了512点的FFT运算。首先将512点FFT分为两个256点FFT计算,然后再将每个256点FFT分为2个128点FFT计算。这样FFT的程序仅为128点复序列FFT程序,大大减少数组容量和运算时间。带来的麻烦是每次需要将大量的中间数据保存在FLASH ROM中。

测试结果表明,采用本方法实现的512点FFT,仅需1.8s,完全能够满足现场的工作需要。

3 实验和现场测试

在实验室条件下,对本测试系统进行了验证。图5为测试系统的实物图。钢丝绳重2.44kg/m,绳长7.5m,采用击振锤人工击振方式,测试结果见表1。

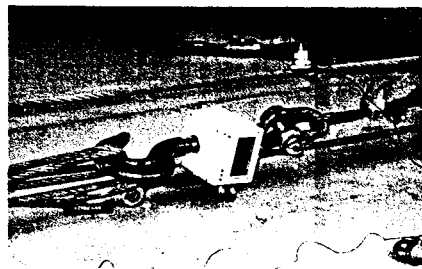


图5 钢丝绳张力测试仪的实验室测试

表2为测试仪器在武汉某港口龙门起重机钢丝绳张力测试的结果(检测信号频谱分析后,由软件算法判断各阶频的峰值位置及对应阶数。不同的钢丝绳分析时取合适的同阶频率进行计算张力,本测试结果采用4阶频计算张力)。8根钢丝绳吊起的总重量为152.88kN,其中吊具113.68kN和空箱39.2kN,钢丝绳长度为17.5m,8根钢丝绳绳受力基本均衡,则理论值为19.11kN。测试结果与理论结果有很好的吻合。

表1 实验室钢丝绳张力测试结果

	频率阶数								
	No. 1			No. 2			No. 3		
	f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3
频率/Hz	6.812	13.626	20.439	6.750	13.503	20.255	6.816	13.633	20.453
计算值/N	25 482			25 026			25 517		
测量值/N	25 120			25 670			25 010		
相对误差/%	1.44			2.51			2.03		

表2 现场钢丝绳张力测试结果

	频率阶数							
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
	f_4	f_4	f_4	f_4	f_4	f_4	f_4	f_4
频率/Hz	10.059	10.059	10.156	10.156	10.254	10.156	10.254	10.059
计算值/kN	18.90	18.90	19.27	19.27	19.64	19.27	19.64	18.90
相对误差/%	1.1	1.1	0.8	0.8	2.78	0.8	2.78	1.1

4 结 论

1) 采用了MSP430F149的单片机,完成了单片机的外围电路设计和软件设计.该系统具有低功耗的特点,适合于便携式操作;该系统内置8通道12位AD转换器,提高了转换电路的可靠性;该系统内置硬件乘法器,能胜任大量的乘法和加法运算;该系统内置60 k的FLASH ROM,可以存放大量的中间数据.

2) 采用了内装IC压电加速度传感器,使得电缆、环境等对测试结果的干扰得到极大的衰减,大大简化了测试系统,提高了测试的可靠性.同时也具有低功耗的特点.

3) 实验室测试和现场测试结果表明,该仪器

具有较好的测试精度.

与传统的张力测试仪器相比,本测试仪器具有体积小,重量轻,抗干扰能力强等特点,适合在工地和野外进行钢丝绳张力测试,具有较为广泛的应用前景.

参 考 文 献

- 1 顾必冲,孙学功. 钢丝绳缺陷数据采集系统的设计与实现. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2002,26(1):8~10
- 2 许俊. 斜拉索索力简化计算中的精度分析. 同济大学学报,2001,29(5):611~615
- 3 魏小龙. MSP430系列单片机接口技术及系统设计实例. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.307~396
- 4 胡广书. 数字信号处理理论、算法与实现. 北京:清华大学出版社,2003.178~180

A Portable Testing Instrument Based on MSP430 for Tension of Steel Wires

Liu Zhiping Ma Ming Xiao Hanbin Tao Dexin
(School of Logistics Engineering, WUT, Wuhan 430074)

Abstract

A portable testing instrument based on MSP430 for tension of steel wires has been developed in this paper. Peripheral electric circuits of MSP430 and FFT program have been designed. Requirements of computing speed and memory capacity have been satisfied. Piezoelectricity acceleration transducer, which has the characteristics of low power consumption and anti-jamming, has been utilized to make the instrument portable. Experiments show that the instrument has good repeatability and accuracy.

Key words: steel wire; tension measure; frequency spectrum analysis; monolithic processor