

一种高精度卷筒纸印刷机振动测试系统的设计

赵庆海, 赵玮, 赵颠颠, 端木兵帅
(西安理工大学, 西安 710048)

摘要: **目的** 为了解决卷筒纸印刷机高速运转时带来的纸带横向振动问题, 设计一种高精度卷筒纸印刷机振动测试系统。 **方法** 把纸带的横向振动转化为距离测量, 采用超声波测距的方法对纸带横向振动量进行测量, 利用 MSP430 单片机自带的 AD 进行模数转换, 把超声波探头输出距离的模拟量转化成数据量输出, 显示在液晶屏上, 并在 PC 端设计上位机软件, 通过串口通信把测量的数据进行实时显示。 **结果** 通过对测试系统的实验, 得到了实时的振动数据, 经测试, 该系统对振动纸张进行检测的精度达到了 0.1 mm。 **结论** 通过超声波测距方法设计出一套卷筒纸印刷机纸带横向振动测试系统, 减小了测量误差, 提高了测量精度。

关键词: 横向振动; 超声波测距; AD 转化; 上位机

中图分类号: TS803.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)11-0219-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.11.039

Design of High-precision Web Press Vibration Test System

ZHAO Qing-hai, ZHAO Wei, ZHAO Dian-dian, DUANMU Bing-shuai
(Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

ABSTRACT: The work aims to design a high-precision web press vibration test system to solve the problem of lateral vibration of the tape when the web press runs at a high speed. The lateral vibration of the tape was converted to distance measurement, and measured in the method of ultrasonic distance measurement. The analog-digital conversion was conducted with AD attached to MSP430 single chip microcomputer, to convert the analog quantity of ultrasonic probe output distance into the data amount output, display it on the LCD screen, and design PC software at the PC terminal. The measured data were displayed in real time through the serial communication. Through the experiment of the test system, the real-time vibration data was obtained. After the testing, the detection accuracy of the system for the vibration paper reached 0.1 mm. Through the method of ultrasonic distance measurement, a set of transverse vibration test system of web press tape is designed, which reduces the measurement error and improves the measurement accuracy.

KEY WORDS: lateral vibration; ultrasonic distance measurement; AD conversion; PC

卷筒纸印刷机作为现代新闻出版、商业印刷、书刊杂志印刷的最重要的印刷设备^[1], 是以纸带的形式连续供纸, 连续不断完成印刷、折页、收帖等印刷工序, 具有效率高、印品质量好、适应性强和经济效益好等优点。

随着卷筒纸印刷机向着高速度、高精度、高可靠的方向发展, 机械的振动问题日益突出^[2], 随之而来带动着纸带的振动, 在实际的印刷过程中, 造成纸带

振动的原因主要有^[3-4]: 放料张力和印版辊筒张力分别由不同的电机驱动; 进入印刷部件之前的最后一个导纸辊的精度不够; 如果包角过大将会把空气带入也会产生振动等。武吉梅^[5]分析研究了卷筒纸印刷机纸带在印刷过程中会出现横向振动, 且是不可避免的, 严重影响了印刷质量及后续加工工艺的处理, 影响印刷效率, 造成浪费。刘怡丰^[6]对卷筒纸印刷机运动纸带模型进行了分析, 研究了薄膜振动检测和微小振动

收稿日期: 2017-06-12

基金项目: 国家自然科学基金(51505376); 陕西省自然科学基金(2016JQ5038)

作者简介: 赵庆海(1964—), 男, 硕士, 西安理工大学教授, 主要研究方向为测控技术在印刷包装工程中的应用。

测试方法。

基于上述,文中设计出一套卷筒纸印刷机纸带横向振动测试系统,采用超声波传感器测量纸带微小振动,实际的测量出纸带的振动量,并对实验数据进行分析,验证了测试系统的测量精度。

1 测试系统方案的设计

1.1 整体方案的设计

通过研究大量的资料,对比各种测量方式后,系统的整体方案设计见图1。图1中,超声波测距使用2个超声波传感器进行测量,设计成双探头的测量方案,纸带的横向振动数据通过超声波探头进行测量,探头输出结果是模拟电压值,再经过单片机的AD转化,最终以模拟量的数据输出,经过软件处理后的实验数据,上传PC端,显示出纸带横向振动量。

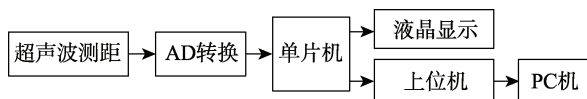


图1 系统方案设计
Fig.1 System scheme design

1.2 双探头测量位移方案的设计

该测试系统采用双探头的测量方案^[7],即在纸带的上下各放置1个超声波测试模块,分别标记为超声波探头1、探头2。纸带在静止状态下(见图2中直线所示)进行超声波探头的安装,把纸带放置在2个探头的中间位置,即2个探头到纸带的距离相同,设置此时探头1,2到纸带的位置为标准距离 S_0 。卷筒纸印刷机开机后,纸带出现横向振动(见图2中曲线所示),进行振动量的测量后,探头1,2分别到2个探头的距离为 S_1, S_2 。

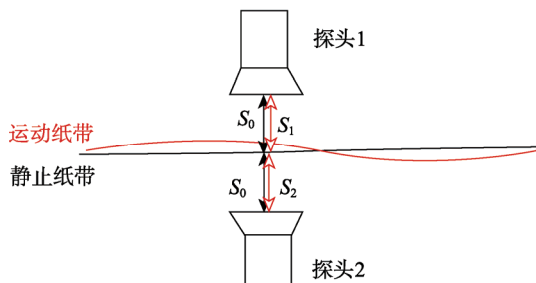


图2 双探头设计方案
Fig.2 Dual-probe design scheme

在图2中,对 S_1, S_2 进行数据处理,得到最终的纸带振动量 S ,如式(1)中,超声波探头1测量得到的纸带振动量是 $|S_1 - S_0|$,探头2测量得到的纸带振动量是 $|S_2 - S_0|$,对2个测量结果求平均值,提高了测量的精度。标定纸带向上振动为正方向,向下振动为

反方向。若 $S_1 \leq S_2$,则纸带向上振动, S 为正值; $S_1 > S_2$,纸带向下振动, S 为负值。

$$\begin{cases} S = \frac{|S_1 - S_0| + |S_2 - S_0|}{2} & S_1 \leq S_2 \\ S = -\frac{|S_1 - S_0| + |S_2 - S_0|}{2} & S_1 > S_2 \end{cases} \quad (1)$$

超声波探头的测量距离设置为60~100 mm,公式中的 S_1, S_2 的数值范围都是在60~100 mm。如果纸带振动过大,超出60~100 mm时,则数据无效,应该舍弃无效的数值,直接使用另一个测量值与 S_0 相差的绝对值作为测量结果,又分为2种情况,见式(2)。

$$\begin{cases} S = |S_2 - S_0| & 60 \leq S_2 \leq 100 \cap S_1 < 60 \\ S = -|S_1 - S_0| & 60 \leq S_1 \leq 100 \cap S_2 < 60 \end{cases} \quad (2)$$

式中的第1种情况是纸带向上振动,进入探头1的盲区,即 $S_1 < 60$,但是 $60 \leq S_2 \leq 100$ 是在探头测量范围内,所以 S 的值是利用 S_2 和 S_0 求差值;第2种情况纸带向下振动,进入探头2的盲区,即 $S_2 < 60$,但是 $60 \leq S_1 \leq 100$ 是在探头测量范围内,所以 S 的值是 S_1 和 S_0 求差值得到的振动量。

1.3 超声波传感器的选择

超声波传感器是一种可以把电信号和声能相互转换的装置,可以分为电动式、电磁式、磁滞式和压电式。经过对比各种超声波探头的性能,该测试系统选择NU200F18收发一体的压电式超声波传感器,探头内部自带温度补偿系统,不需要再设计温度补偿电路,和其他传感器相比,测量精度较高,见图3。

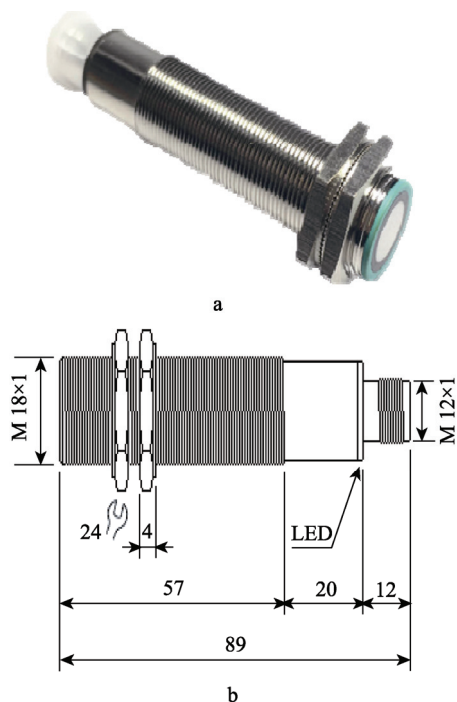


图3 超声波探头实物及剖面
Fig.3 Ultrasonic probe in kind and profile

超声波传感器的核心部件是内部的压电晶片,利用正压电效应进行工作,压电晶片的材料和大小的选择也会影响探头的性能。NU200F18 超声波传感器的主要性能指标:检测范围为 50~1000 mm;盲区 60 mm;中心频率 200 kHz;工作电压 15~30 V;工作温度-20~60 ℃;分辨率 0.1 mm;输出模拟电压 0~10 V。

2 系统硬件和软件方案的设计

2.1 硬件结构方案的设计

系统的硬件电路设计包括单片机及超声波探头的供电模块,单片机最小系统设计,电阻分压电路,LCD 显示电路,通讯模块设计^[8-9],综合考虑成本和性能 2 个方面,最终设计的硬件系统结构见图 4。

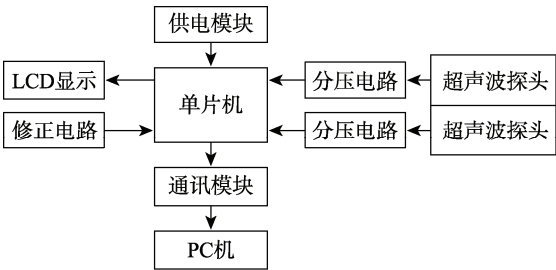


图 4 硬件系统结构
Fig.4 Hardware system structure

从图 4 可以看出,整个测试系统的流程主要是:供电系统供电后,硬件电路开始工作;在超声波探头

进行供电后,测距完成;得到的电压值经过输入单片机,经过 AD 转换后,得到测距结果;测量数据显示到 LCD1602 液晶显示器;经过通讯模块,把数据传输给上位机,绘制出振动实时曲线;保存实验数据,进行数据分析。

2.1.1 MSP430 单片机简介

该测试系统中,选用的 CPU 是 MSP430F149 芯片,是一种超低功耗的混合信号控制芯片。具有 16 位 RISC 结构和有 16 个寄存器和常数发生器,时钟资源丰富,功率消耗低。MSP430F149 单片机最小系统电路见图 5。

MSP430F149 的最小系统电路见图 5。包括振荡电路、复位电路和电源电路^[10-11]。该测试系统的是利用 MSP430F149 芯片自带的 ADC 模块,把超声波探头得到的模拟信号进行数字信号转换,从而测量得出纸带横向振动量。MSP430F149 的 ADC 的主要特性有:采样速度快,最高可达到 200 kbps;12 位转换精度,1 位非线性微分误差,一位非线性积分误差;内置采样与保持电路等优点。

2.1.2 通讯模块电路简介

该系统采用的是串口通信,把单片机采集到的信号传送到 PC 机进行显示和保存。MSP430 单片机具有 USART0 和 USART1 通信模块,都可以实现 USRT 异步通信和 SPI 同步通信。该系统使用的是 USRT0 的异步通信模式和上位机进行串口通信^[12]。

该系统采用 USB 转串口芯片 CH341T 提供串口

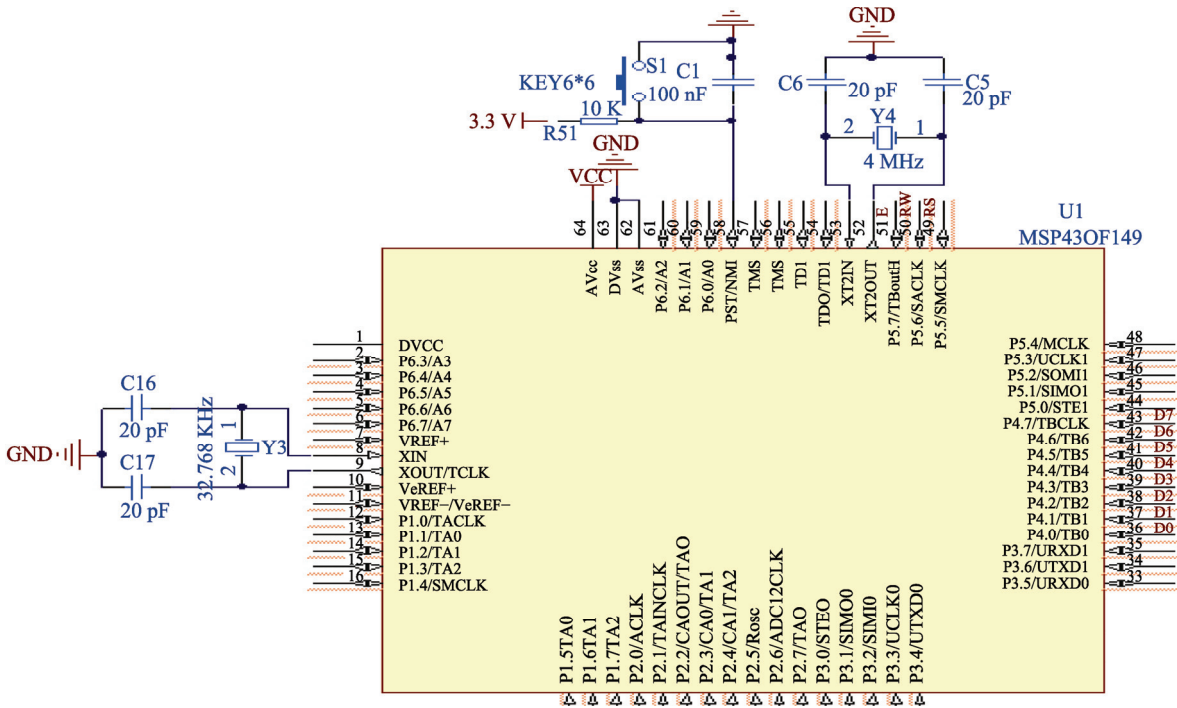


图 5 MSP430F149 外围电路
Fig.5 MSP430F149 peripheral circuits

发送使能、串口接收就绪等交互式的速率控制信号^[13]。电路见图 6。

2.2 系统软件方案的设计

2.2.1 主程序的设计

该测试系统的主函数流程见图 7。

2.2.2 上位机界面的设计

使用 VS2010C# 创建上位机软件包括程序的编写和界面的设计 2 个部分^[14], 最终设计完成的上位机界面见图 8, 所有的工具设置必须配合相对应的函数编写才能最终实现上位机软件的应用。

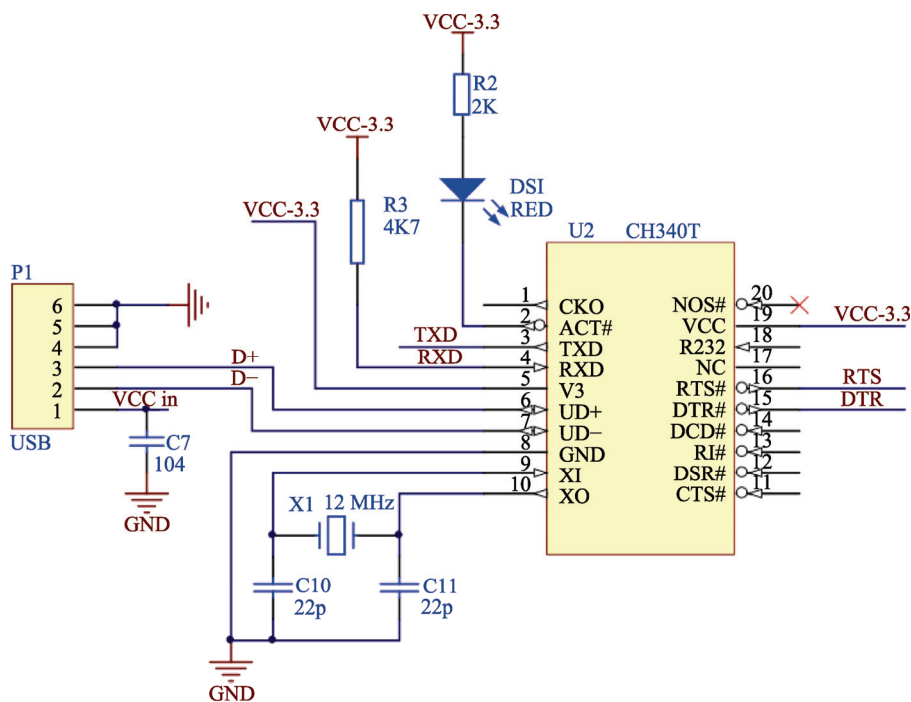


图 6 CH341T 电路

Fig.6 CH341T circuit

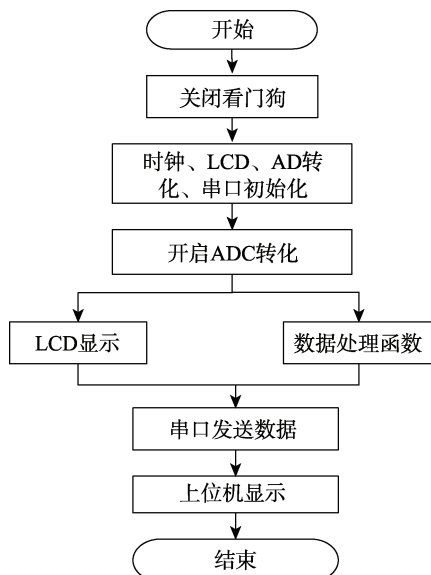


图 7 主程序流程

Fig.7 Main program flow chart

串口通信使用的 Serial Port 控件^[15], 在其属性中设置和单片机的参数一致的串口通信相关参数。上位机界面的串口设置包括 2 个下拉选项: 串口号, 包括 COM1, COM2, COM3, COM4, 是 PC 机常见的串口

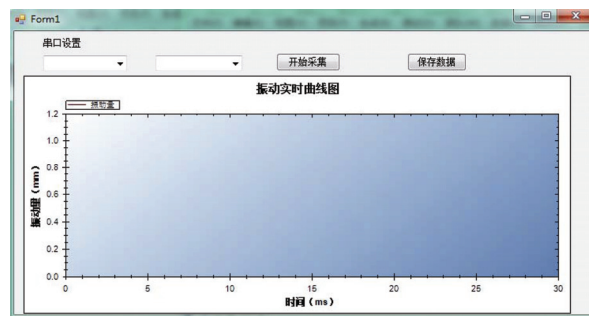


图 8 上位机软件界面

Fig.8 PC software interface

号; 串口波特率, 该系统设置的单片机和上位机都使用 9600 波特率。上位机采集到的端口数据后, 使用 Zed Graph 绘图工具绘制曲线, “振动实时曲线图”其中横坐标是时间, 使用了 time 控件, 纵坐标是振动量, 单位 mm; 按下“保存数据”按钮, 把上位机的得到的串口数据存储为 TXT 文件。

3 实验结果与数据分析

3.1 AD 转换实验数据分析

从图 9 中可以看出, 给定电压 0~12.000 V,

表 1 修正前实际电压和测量电压值
Tab.1 Actual voltage and measured voltage
before the correction

V			
实际电压	测量电压	实际电压	测量电压
0.000	0.008	7.000	6.912
1.000	0.908	8.000	7.906
2.000	1.902	9.000	8.872
3.000	2.856	10.000	9.910
4.000	3.808	11.000	10.886
5.000	4.771	12.000	11.776
6.000	5.880		

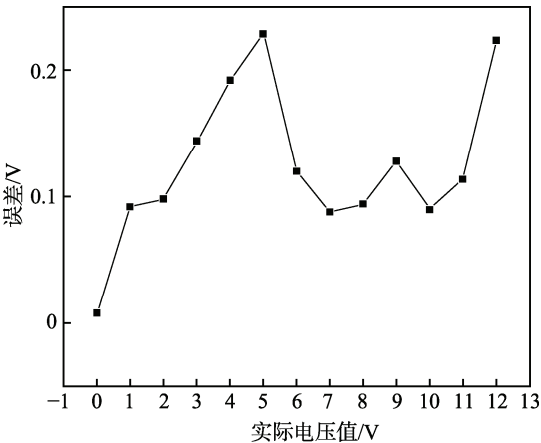


图 9 修正前电压误差
Fig.9 Pre-correction voltage error

经过 ADC 转化后，得到的电压值和实际电压值的误差较大，最高达到 0.23 V，无法满足高精度 AD 转化，达不到测试系统的要求。为了提高 ADC 的转化精度，改进硬件电路设计，最终得到修正后 ADC 测量结果见表 2。

表 2 修正后实际电压和单片机测量电压值
Tab.2 Actual voltage and measured voltage of
SCM after the correction

V			
实际电压	测量电压	实际电压	测量电压
0.000	0.004	7.000	6.993
1.000	0.988	8.000	7.989
2.000	1.992	9.000	8.990
3.000	2.987	10.000	9.987
4.000	3.988	11.000	10.986
5.000	4.991	12.000	11.976
6.000	5.986		

从图 10 中可以看出，经过 ADC12 转化得到的电压值和实际电压值的偏差，保留两位有效数字，除了在 12 V 电压时误差为超过 0.01 V，其他的误差都在 0.01 V，实现了 ADC12 转化的实验要求，满足系统的精度需要。

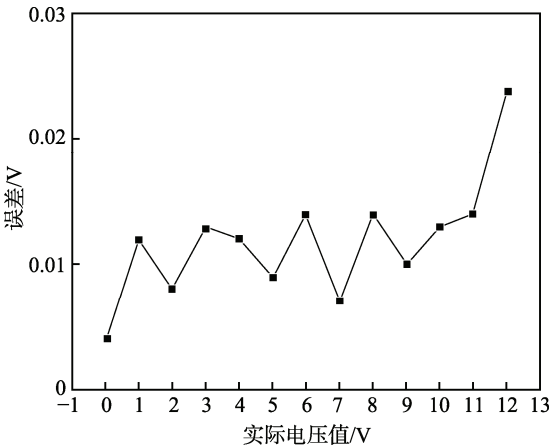


图 10 修正后电压误差
Fig.10 Voltage error after the correction

3.2 超声波测距实验数据分析

连接好系统硬件电路，得到的实验数据见表 3。从表 3 中可以看出，在 50.00 mm 和 110.00 mm 时是超声波探头的盲区 and 超过设置区，所以对这 2 个数据进行舍弃，保留两位数据，误差数据见图 11，得到的距离误差在 0.1 mm 以内。

表 3 实际距离和超声波测距值
Tab.3 Actual distance and ultrasonic ranging values

实际距离/mm	测量值/mm	误差/mm	偏差百分比/%
50	10.06	舍弃	
60	59.98	0.02	1.4
65	64.9	0.1	7.8
70	70.07	-0.07	4.9
80	80.04	-0.04	2.8
90	89.91	0.09	6.4
100	100.05	-0.05	3.5
110	100.13	舍弃	

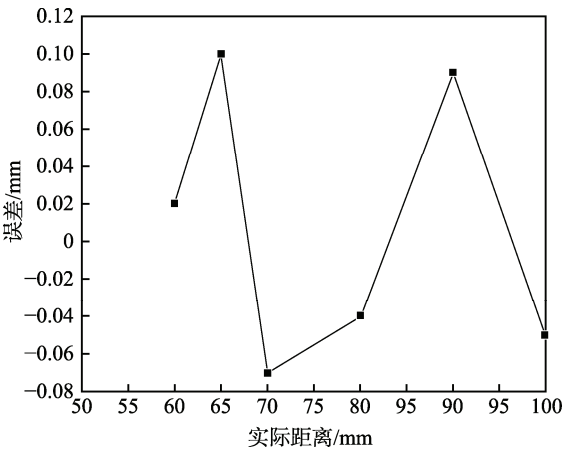


图 11 测距结果误差
Fig.11 Error of distance measurement

从测距结果误差图的实验数据可以看出,测量结果的误差值在 0.1 mm 以内,实际的超声波测距的实验结果在可控范围内,可以实现测试系统的预期要求。

3.3 上位机界面实验数据显示

振动实时曲线见图 12。当出现抖动幅度过大时,会出现图 13 中情况,曲线跳跃比较大,曲线横坐标的最小分度自动更改,此时的数据应忽略不计。

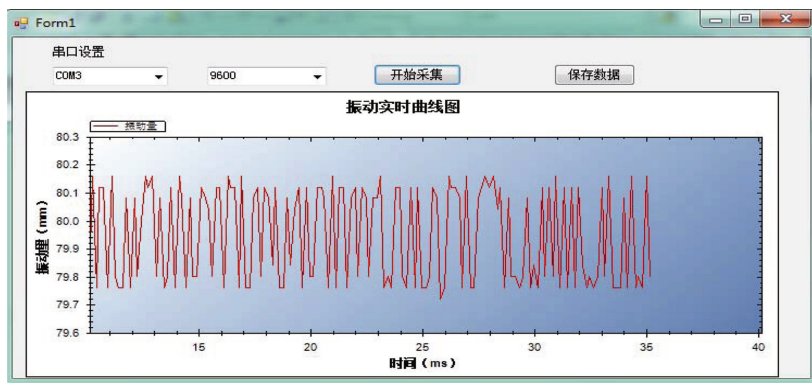


图 12 振动实时曲线
Fig.12 Real-time curve of vibration

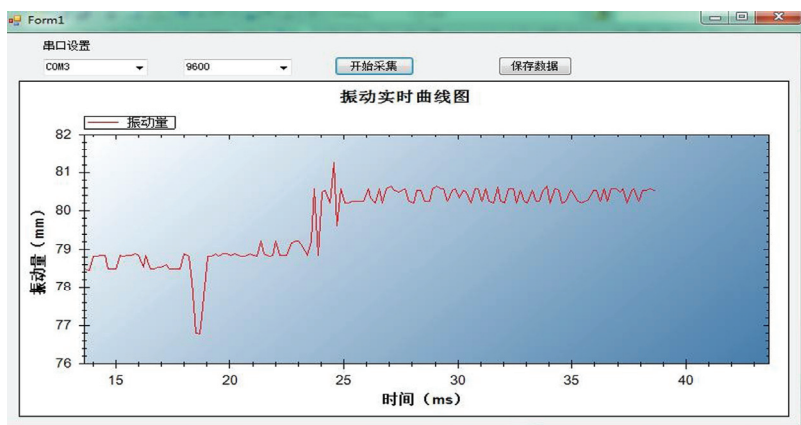


图 13 振动过大时实时显示曲线
Fig.13 The real-time display curve when the vibration is excessively large

4 结语

针对卷筒纸印刷机纸带振动问题,研究了薄膜振动测试的方法,分析了微小振动的测试方法,选择合适的测试方法进行纸带振动的测量,通过理论分析测试系统的可行性,设计了双探头测试方案,提高了测量结果的精度,并对实验数据进行分析,最终测试系统对振动纸张进行检测精度达到 0.1 mm,完成测量结果的显示,通过上位机程序,实现纸带横向振动数据的实时显示。下一步的研究方向:考虑把文中设计的测试系统实际安装到卷筒纸印刷机上,并研究怎样设计安装方式,保证印刷机的振动对测试系统的测量纸带振动是没有影响的,然后进行动力学分析。

参考文献:

[1] LAL R, RANI R. Axisymmetric Vibrations of Compo-

site Annular Sandwich Plates of Quadratically Varying Thickness by Harmonic Differential Quadrature Method[J]. Acta Mechanica, 2015, 226(6): 1993—2012.

[2] RAISROHANI M, MARCELLIER P. Buckling and Vibration Analysis of Composite Sandwich Plates with Elastic Rotational Edge Restraints[J]. Aiaa Journal, 2012, 37(5):579—587.

[3] GUPTA U S, LAL R, SHARMA S. Vibration Analysis of Non-homogenous Circular Plate of Nonlinear Thickness Variation by Differential Quadrature Method[J]. Journal of Sound & Vibration, 2006, 298(4/5): 892—906.

[4] SHINC C, CHUNG J, HONG H Y. Dynamic Responses of the In-plane and Out-of-plane Vibrations for an Axially Moving Membrane[J]. Journal of Sound & Vibration, 2006, 297(3): 794—809.

[5] 武吉梅, 王忠民, 王砚, 等. 印刷运动纸带的横向振

- 动特性[J]. 中国机械工程, 2009(13): 1519—1523.
- WU Ji-mei, WANG Zhong-min, WANG Yan, et al. Transverse Vibration Characteristics of Printed Moving Tape[J]. China Mechanical Engineering, 2009(13): 1519—1523.
- [6] 刘怡丰. 高速卷筒纸平版印刷机印刷滚筒系统的抗振分析[J]. 装备机械, 2012(3): 59—67.
- LIU Yi-feng. Anti-vibration Analysis of High-speed Web Offset Printing Press System[J]. Equipment Machinery, 2012(3): 59—67.
- [7] 邹轶. 近距离高精度超声波测距系统的设计[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.
- ZOU Yi. Close-distance High-precision Ultrasonic Ranging System Design[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2009.
- [8] 苑洁, 常太华. 基于 STM32 单片机的高精度超声波测距系统的设计[J]. 电子设计工程, 2011(15): 76—78.
- YUAN Jie, CHANG Tai-hua. Design of High Precision Ultrasonic Distance Measurement System Based on STM32 Single Chip Microcomputer[J]. Electronic Design Engineering, 2011(15): 76—78.
- [9] LING Wang. Distance Measurement System of High Precision Ultrasonic Based on Data Fusion[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 3277(608/609): 8850—884.
- [10] 孙鸿昌, 许红梅, 张绿原. 基于 MSP430F149 的高精度超声波测距仪设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2012(4): 93—94.
- SUN Hong-chang, XU Hong-mei, ZHANG Lv-yuan. Design of High Precision Ultrasonic Distance Meter Based on MSP430F149[J]. Automation and Instrumentation, 2012(4): 93—94.
- [11] LIANG X U, DIAO X M, ZHOU H J, et al. Design of Wireless Environment Monitoring Sensor System Based on MSP430F149[J]. International Electronic Elements, 2006.
- [12] 孙玉秋. 卷筒纸印刷机张力系统的检测[J]. 包装工程, 2008, 29(1): 78—80.
- SUN Yu-qiu. Web Printing Machine Tension System Detection[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1): 78—80.
- [13] HSU C C, LU M C, WANG W Y, et al. Distance Measurement Based on Pixel Variation of CCD Images[J]. ISA Transactions, 2009, 48(4): 389—395.
- [14] BING H J, FANG B L, HUAN L, et al. Based on the AVR Micro Controller's Serial Communication Protocol Implementation[J]. Advanced Materials Research, 2013, 2482(734/735/736/737): 2838—3841.
- [15] 王紫军, 孙楚平. 上位机编程实现与 USB-HID 设备通信[J]. 电子世界, 2012(7): 22—25.
- WANG Zi-jun, SUN Chu-ping. Host Computer Programming and USB-HID Equipment Communication[J]. Electronic World, 2012(7): 22—25.