

文章编号 1004-924X(2007)03-0368-04

压电陶瓷驱动系统及控制方法研究

范 伟,余晓芬,奚 琳

(合肥工业大学 仪器科学与光电工程学院,安徽 合肥 230009)

摘要:给出了一种压电陶瓷驱动系统的控制方法,利用 VB 中的 Timer 控件和压电陶瓷电源的 DLL 动态连接库函数,实现了控制电压的实时可编程输出。针对压电陶瓷驱动器的非线性和迟滞特性,应用 MATLAB 分别拟合出压电陶瓷驱动器在往返行程中电压与位移值的多项式拟合曲线,得到了电压与位移的关系式,为进一步修正和减少非线性及迟滞误差的影响、提高系统的定位精度,提供了分析的依据。

关 键 词:压电陶瓷驱动器;控制方法;迟滞;非线性

中图分类号:TN384 **文献标识码:**A

Research on driving system and controlling means of PZT

FAN Wei, YU Xiao-fen, XI Lin

(School of Instrument Science and Opto-electronic Engineering,
Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: A controlling means of PZT driving system was introduced in detail. By application of DLL library for PZT power supply and Timer control of VB, the real-time programmable output of control voltage was realized. According to the nonlinearity and hysteresis of PZT, the polynomial curves of the round-trip voltage and displacement of PZT were charted, and the relational expression of voltage with displacement was obtained by MATLAB. The research supplies further scientific ways to amend and reduce the effect of nonlinearity and hysteresis error, and can improve the positioning accuracy of the system.

Key words: PZT; controlling means; hysteresis; nonlinearity

1 引 言

随着科技的发展,在超精密加工、微电子工程、生物工程、纳米技术等领域都迫切需要亚微米以至纳米级的精密定位技术。压电陶瓷驱动器具有位移分辨率高、体积小、响应快、输出力大、不发

热等优点,受到了广泛的关注。但其固有的迟滞、蠕变、非线性严重地影响了它的应用^[1-3]。

迟滞特性就是压电陶瓷在电场作用下,升压曲线和降压曲线的位移非重复性。非线性和迟滞是影响压电陶瓷开环定位精度的主要因素。为了减少压电驱动器的非线性和迟滞给定位精度带来的影响,国内外学者提出了多种方法。如以电荷

驱动代替经典的电压驱动,但电荷控制法需要专用的控制电荷放大设备且在较宽的频率范围内,不能保证压电陶瓷的电荷与微位移具有良好的线性度^[4]。此外还有采用闭环反馈控制,这种模式需要一个附加的位移传感器来测定位移量,与控制器的目标位移进行对比校正,组成一个复杂的控制调整机构^[5],但是由于位移检测元件的限制和控制元件频响等问题的影响,容易出现系统的震荡和不稳定,其补偿精度并不能很好地满足高精度定位控制的要求。

Visual Basic 综合运用了 Basic 语言和可视化设计工具,巧妙地将 Windows 应用程序编程的复杂性封装起来,能够迅速地编制程序界面,具有快速的程序开发环境,这在界面设计和程序开发上是非常有效的。VB 可以通过 DLL 动态链接库函数,操作电源,从而实现压电陶瓷控制电压的实时可编程输出。

MATLAB 作为一个功能强大的数学工具软件,它把科学计算、程序编写以及结果的可视化等都集中在一个使用非常方便的环境中,在很多领域得到了广泛的应用。由于它具有强大的图形处理功能和功能强劲的工具箱,可以利用它实现实验数据的拟合和图形的绘制。

本文针对如何构建和控制压电陶瓷驱动系统,并通过大量实验数据,拟合出电压和位移的关系多项式,从而有效地修正和减少非线性及迟滞误差的影响,提高系统的定位精度进行了下面的实验研究。

2 压电陶瓷驱动系统的构建

压电陶瓷驱动器的位移输出是通过加在其上的高压驱动电源产生的,这就要求压电陶瓷驱动电源具有高精度、高分辨率和优良的稳定性等特点。本研究采用了 HPV 型压电陶瓷驱动电源。该电源可以实现和计算机之间的通讯,具有模拟、手动、SPP(并口)控制等多种控制方式。压电陶瓷驱动器的位移测量系统由 TESA 公司生产的 TT80 型电感测微仪来完成,其主要技术指标如下:分辨率为 $0.01 \mu\text{m}$;零点漂移 $< \pm 0.005\% / \text{C}$;仪表的指示误差 $< 0.15\%$ 。压电陶瓷采用了进口 PST150/7 * 7/20 型压电陶瓷,标称位移为 $20 \mu\text{m}$ 。系统结构图如图 1。

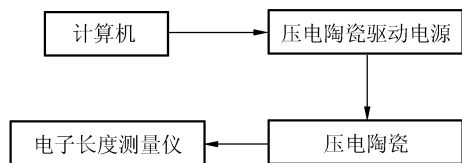


图 1 压电陶瓷驱动系统结构图

Fig. 1 PZT driving system

将并口电缆线一端接到计算机的并口上,另一端接在电源的 EPP 接口上。然后把 WinIo.sys 拷贝到 Windows\System32\Drivers\下,将 WinIo.reg 文件内容写入注册表,重新启动计算机。最后把 outv.dll 拷贝到 Windows\system32\下,将 outv.bas 加入到工程中,即完成了压电陶瓷电源动态链接库函数的安装和模块的声明,可以通过软件编程对该电源操作,实现控制电压的输出。

利用 VB 编写电压控制信号输出程序时,为了操作该电源,必须调用上述安装的 outv.dll 动态链接库。由于 DLL 过程存在于 VB 应用程序之外的文件中,在使用时必须指定过程的位置和调用参数。为此在程序中首先要使用 Declare 声明 DLL 过程,才可以把它当作 VB 自己的过程使用。VB 调用模块声明如下:

```
Public Declare Function outv Lib "outv.dll"
(ByVal iPowerAddress As Long, _ByVal iPowerVolMin As Long, ByVal iPowerVolMax As Long, _ByVal fVol As Single, ByVal iPowerTD As Long) As Long. 此函用于输出控制电压值,其中,iPowerAddress 为电源地址,iPowerVolMin 和 iPowerVolMax 为输出电压最小和最大值,fVol 为输出电压值,iPowerTD 为电源通道选择。
```

3 压电陶瓷驱动器控制方法研究

3.1 电压与位移值多项式的拟合

压电陶瓷驱动器的非线性和迟滞是影响压电陶瓷开环定位精度的主要因素。通过大量的实验,可以看到压电陶瓷驱动器具有很好的重复性,因而可通过构造电压与位移值的多项式拟合曲线,加以修正。其电压位移曲线如图 2 所示。

最小二乘原理是一种在多学科领域中获得广泛应用的数据处理方法,采用这一方法可以妥

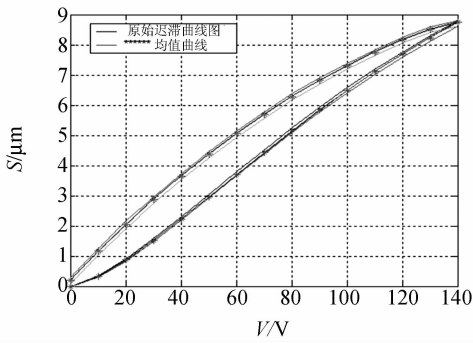
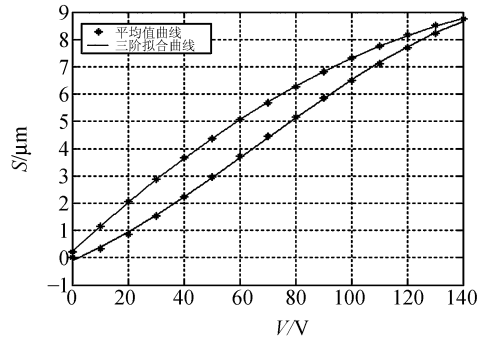


图 2 压电陶瓷驱动器迟滞、非线性曲线

Fig. 2 Hysteresis and nonlinearity curves of PZT



(c)三阶拟合曲线

(c)The third order curve

图 3 1~3 阶拟合曲线

Fig. 3 Simulated curves from the first order to the third order

善解决参数的最可信赖值估计、组合测量的数据处理、用实验方法来拟定经验公式等一系列数据处理问题。本文针对压电陶瓷的迟滞和非线性，通过大量的实验数据，采用 MATLAB 进行基于最小二乘原理的曲线拟合，得出其多项式拟合曲线，如图 3 所示。

通过图 3 可以看出，应用最小二乘原理，通过 MATLAB 对电压和位移曲线进行拟合，当拟合多项式为三阶时，拟合曲线与实际原始数据基本重合。这时拟合多项式为：

往 $V=0.131\ 3X^3-1.618\ 8X^2+19.942\ 2X+2.308\ 5$
 返 $V=0.127\ 4X^3-0.745\ 4X^2+12.894\ 0X-3.494\ 6$
 其中： V 为驱动电压值； X 为期望位移值。其部分 MATLAB 程序源代码如下：

```

x5=[0.00 0.32 0.87 1.52 2.23 .....];
f5=[0.21 1.16 2.05 2.88 3.65 .....];
%原始位移数据
y=0:10:140;%电压值
p1=polyfit(y,x5,3)%最高次数为 3 的拟合曲线
x1=polyval(p1,y)%计算拟合曲线的数据
.....
plot(y,x5,'* ',y,x1,y,f5,'* ',y,x2)%绘制原始数据图形
grid on
legend('平均值曲线','一次拟合曲线')
xlabel('电压:V/v');
ylabel('位移:S/um');

```

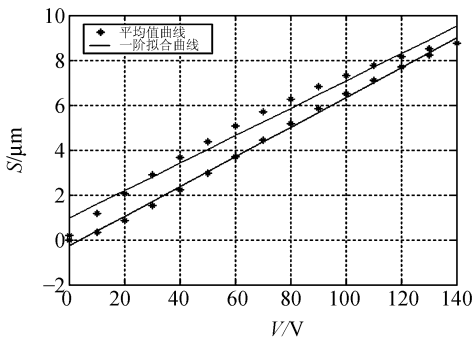
3.2 压电陶瓷驱动控制电压程序的设计

针对上文中得到的电压与位移值的关系多项式，就可以通过 VB，调用压电陶瓷电源的 outv.dll 动态链接库函数，实现控制电压的可编程输出。部分程序源代码如下：

```

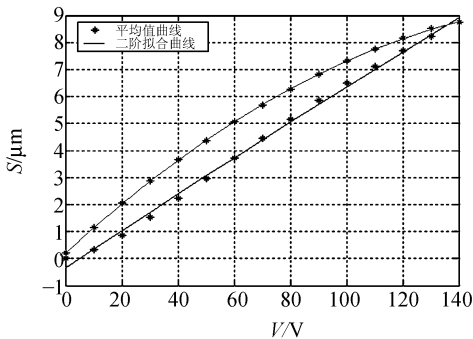
Dim i, a, b, c As Single
Dim OutvDLL ' // 声明变量
Private Sub Command1_Click()
If Check1.Value = 1 Then
x = Text1.Text ' // 赋值移值

```



(a)一阶拟合曲线

(a)The first order curve



(b)二阶拟合曲线

(b)The second order curve

```

b = Text2.Text
c = Text3.Text
iPowerAddress = 0 ' //电源地址
iPowerVolMin = 0 ' //电压最小值
iPowerVolMax = 300 ' //电压最大值
iPowerTD = 1 ' //电源通道
V=0.131 3X3-1.618 8X2+19.942 2X+2.308 5
fVol = V ' //赋电压值

```

```

OutvDLL = outv ( iPowerAddress, iPower-
VolMin, iPowerVolMax, fVol, iPowerTD) ' //
输出电压
Debug.Print fVol
End If
.....
End Sub
程序面板如图4所示:

```

4 结 论

本文详细地介绍了压电陶瓷驱动系统的控制方法,通过VB编程,利用VB中的Timer控件和压电陶瓷电源的outv.dll动态连接库函数,实现了控制电压的实时可编程输出。针对压电陶瓷驱动器的非线性和迟滞特性,应用最小二乘原理,通过MATLAB分别拟合出了压电陶瓷驱动器在往返行程中,电压与位移值的多项式拟合曲线,得到了电压与位移的关系式,为进一步修正和减少非线性和迟滞误差影响、提高系统的定位精度,提供了科学的依据。经测试,当采用三阶多项式时,拟合误差在往返行程中最大分别为30 nm和70 nm,仅为原始迟滞误差1.34 μm的5.2%。



图4 压电陶瓷驱动系统程序面板图

Fig.4 Program panel drawing of PZT driving system

参考文献:

- [1] LIU Y T, FUNG R F, HUANG T K. Dynamic responses of a precision positioning table impacted by a soft-mounted[J]. *Piezoelectr. Actuator Precision Eng.*, 2004, (8): 252-260.
- [2] 田延岭, 张大卫, 闫兵. 二自由度微定位平台的研制[J]. *光学精密工程*, 2006, 14(1): 94-99.
TIAN Y L, ZHANG D W, YAN B. Development of a 2-DOF micropositioning table[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(1): 94-99. (in Chinese)
- [3] 孙立宁, 孙绍云, 曲东升, 等. 基于PZT的微驱动定位系统及控制方法的研究[J]. *光学精密工程*, 2004, 12(1): 55-59.
SUN L N, SUN SH Y, QU D SH, *et al.*. Micro-drive positioning system based on PZT and its control[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2004, 12(1): 55-59. (in Chinese)
- [4] 魏燕定, 陶惠峰. 压电驱动器迟滞特性的Preisach模型研究[J]. *压电与声光*, 2004, 26(5): 365-367.
WEI Y D, TAO H F. Study of Preisach model of hysteresis in piezoelectric actuator[J]. *Piezoelectr. & Acoustoopt.*, 2004, 26(5): 365-367. (in Chinese)
- [5] JANOCHA H, KUHNEN K. Real-time compensation of hysteresis and creep in piezoelectric[J]. *Sensor Actuator*, 2000, 79: 83-89.

作者简介: 范伟(1980—), 男, 甘肃玉门人, 合肥工业大学仪器科学与光电工程学院博士研究生, 主要研究方向为精密测试技术及仪器。E-mail: fwking7758@yahoo.com.cn