

基于复合放大机构的压电直线电机

徐晶晶¹, 陈西府^{1,2}, 王 寅¹, 黄卫清¹

(1. 南京航空航天大学 机械结构力学及控制国家重点实验室, 江苏 南京 210016;

2. 盐城工学院 机械工程学院, 江苏 盐城 224051)

摘 要: 为利用驱动足椭圆轨迹的改变实现对压电直线电机输出性能的控制, 提出并设计了一种基于复合放大机构的压电直线电机。电机驱动足由三角机构和杠杆机构构成, 电机工作时在三角机构顶端能形成椭圆轨迹, 杠杆机构能调节椭圆轨迹的大小。在电机结构设计过程中利用有限元软件进行关键参数的选择, 制造出了样机并进行性能测试。结果表明, 电机在低电压、宽频带内能稳定运行。通过改变放大系数, 研究了椭圆轨迹对电机输出性能的影响, 结果表明, 在驱动信号不变时, 通过改变放大系数能实现驱动足顶端椭圆轨迹的调节, 从而改变电机的输出性能。

关键词: 压电直线电机; 椭圆轨迹; 输出性能; 复合放大机构; 结构设计

中图分类号: TM356

文献标识码: A

A Piezoelectric Linear Motor Based on Combined Amplification Structure

XU Jingjing¹, CHEN Xifu^{1,2}, WANG Yin¹, HUANG Weiqing¹

(1. State Key Lab. of Mechanics and Control of Mechanical Structures, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 2. School of Mechanical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China)

Abstract: In order to control the output performance of piezoelectric linear motor by changing the elliptical trajectory of the driving foot, a piezoelectric linear motor based on combined amplification structure was proposed and designed in this paper. The driving foot consisted of a lever and tri-angle structure, the elliptical trajectory was formed at the top of the triangle structure when the motor operated, and the lever structure was used to adjust the formed trajectory. Key parameters of the motor were selected according to software emulation in structure design. A prototype was fabricated and tested, and in a wide low frequency range it ran steadily with low driving voltage. The effect of the elliptical trajectory on the motor output performance was studied by changing the amplification factor of the lever structure. It showed that under constant driving signal, the adjustment of the elliptical trajectory at the top of the driving foot was able to realized by changing the amplification factor, thus the output performance of the motor was changed.

Key words: piezoelectric linear motor; elliptical trajectory; output performance; combined amplification structure; structure design

0 引言

压电直线电机是压电作动器的一个分支, 其中共振式电机是利用压电元件的逆压电效应在弹性体(定子)内产生共振, 再利用摩擦驱动转化为动子的直线运动^[1-3], 而非共振式电机一般通过采用几何放大结构产生的变形进行驱动, 不必达到共振状态, 国内已有此方面的研究^[4]。

近年来, 柔性铰链机构和压电驱动器的结合在许多领域得到了应用^[5], 如微操作、精密工作台等, 其中利用柔性铰链作为杠杆支点的位移放大结构更

是普遍出现在压电直线电机的设计中。

本文基于柔性铰链, 研制了一种复合位移放大结构的压电直线电机, 定子采用模块化设计, 由驱动足和支架组成, 驱动足由三角和杠杆机构组合; 支架上安装压电叠堆, 并通过导向块将其位移传递到驱动足的杠杆臂上, 通过调节导向块在杠杆臂上的位置即可实现对电机椭圆轨迹的调节。

1 电机的工作原理

定子的两端分别装有一块压电叠堆, 通过楔块预紧, 叠堆位移通过导向块传向中间的驱动足, 通过

收稿日期: 2012-04-05

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(50735002)

作者简介: 徐晶晶(1986-), 男, 山东省临沂人, 硕士, 主要从事非共振式压电直线电机的研究。黄卫清(1965-), 教授, 博士生导师, 主要从事超声电机技术的研究。

增减调节垫片的数量,可实现对驱动足振幅大小的调节,如图1(a)所示。

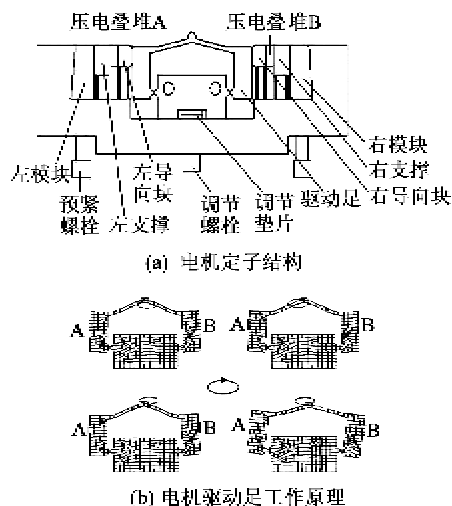


图1 电机定子结构及工作原理

对应图1(a)中的压电叠堆按A、B编号,设左边的压电叠堆与微杠杆臂的接触平面为A,右边的为B,由于压电叠堆不能在负压状态下工作,所以驱动信号设为正向偏置,设驱动信号为

$$\begin{cases} u_A(t) = V[1 + \sin(\omega t + \pi)] \\ u_B(t) = V[1 + \cos(\omega t + \pi)] \end{cases} \quad (1)$$

式中: $u_A(t)$ 、 $u_B(t)$ 分别为A、B侧压电叠堆上随时间变化的电压值; V 为输入电压的峰值; ω 为电压变化的角速度。

利用ANSYS对电机的运行过程进行模拟,得到驱动足的运行过程,如图1(b)所示。由图1(b)可看出,驱动足顶端作周期性往复运动,且轨迹是一个椭圆,因此施加一定预压力将驱动足压在直线导轨上,在摩擦力的作用下,驱动足将会推动导轨作直线运动。如果互换两块叠堆的驱动信号,椭圆轨迹的旋转方向与之前正好相反,导轨将作反向直线运动。

在图1所示的定子结构中,A、B平面在杠杆臂上的位置是可调的,即通过增减图1(a)中调节垫片的数量,来改变两平面中心到杠杆臂末端的距离 H' 。 H' 的值越大代表杠杆的放大系数越大,因此定子的这种结构可用来研究杠杆结构放大系数的改变对电机输出性能的影响。

2 电机的结构设计

电机主要包括定子、夹持装置和直线导轨,其中定子是叠堆初始输出的转换机构,夹持装置的作用是限制定子运动中多余的自由度,并提供预压力将

定子压紧在直线导轨上。

2.1 定子的模态分析

通过有限元软件ANSYS得到电机定子定子在100~10 000 Hz范围内的共振点为2 479.5 Hz、5 958.4 Hz、8 080 Hz、9 186.2 Hz,即电机在100~10 000 Hz的频率范围内有四阶共振模态,非共振电机的工作频率要尽量避开这些共振点。

2.2 电机的整体设计

电机定子通过螺钉固定在滑板上,两者之间加垫板使定子不直接与滑板平面接触,滑板上的轨道与3个滚子紧密接触,约束了不必要的自由度。通过推杆和弹簧的组合施加定子和直线导轨间的预压力;对于定子的驱动足和支架组合,调整垫片的数量可调整导向块与驱动足间接接触平面的位置,从而改变驱动足的受力位置。

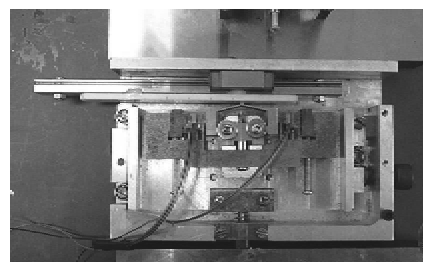


图2 电机样机

3 电机的实验研究

实验装置主要包括激光测振系统、示波器、稳压电源、驱动电路、秒表等设备。激光测振系统主要构成设备有激光头、激光控制器、信号发生器、功率放大器、计算机等。

3.1 驱动足顶端振幅与频率的关系

利用多普勒激光测振系统,测试了驱动足顶端的纵向和横向的位移,结果如图3所示。

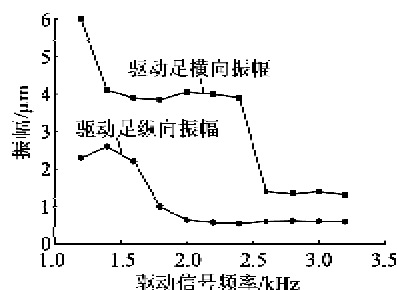


图3 驱动足顶端的纵向振幅和横向振幅

驱动足的顶端振幅与压电叠堆的自身特性密切相关,由于压电叠堆在超过一定的频率时,其振幅就不再随频率的变化而改变,这恰好说明了图3中振

幅在一定频率范围不随频率变化的特性,图3中,在2 600 Hz以上的频率区间内,驱动足顶端的振幅不随频率的变化而变化。

3.2 电机的速度-预压力关系

在驱动电压90 V(正向偏置45 V)、驱动频率3 800 Hz的条件下,测试了电机预压力大小与电机输出速度与预压力的关系曲线,如图4所示。由图可看出,定子与直线导轨间的预压力对电机的输出性能影响较大,且敏感度较高。当预压力过小时,定子与直线导轨间的正压力过小,导致摩擦力较小,输出力也因此受限;当预压力过大时,定子被压紧在直线导轨上,不能正常脱离,所以力也不能输出。因此选择一个最优的预压力对于电机的运行很重要。由图4可知,当定子与直线导轨间的预压力为4 N时,电机的输出速度最大,所以合适的预压力对电机输出性能至关重要。

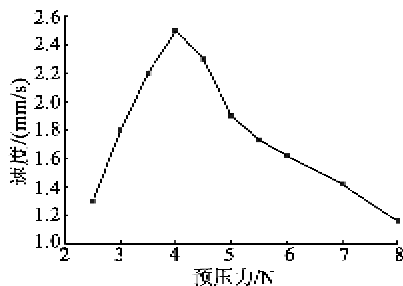


图4 电机的速度-预压力曲线

3.3 电机的速度-频率关系

在预压力为4.5 N、驱动信号电压峰-峰值80 V时,研究了电机的输出速度随驱动频率变化的规律,测得结果如图5所示。由图可看出,电机的驱动频率在一定频率范围内可调,这与共振式压电直线电机不同,且在此区间内电机的输出速度与驱动频率的线性较好。当频率超过此范围时,由于叠堆的电容较大,发热量剧增,电机工作不稳定性增加,因此要保证电机的工作在频率不超出速度最大时对应的频率,该电机的工作频率为3.2~4 kHz,远离电机

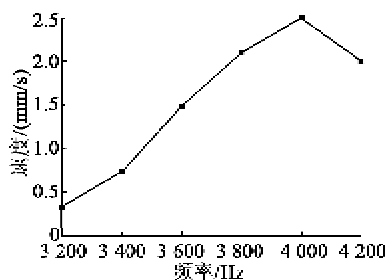


图5 电机的速度-频率曲线

的共振频率,当驱动频率为4 kHz时,电机的最大速度为2.5 mm/s。

3.4 杠杆放大系数与电机输出的关系

通过在定子的驱动足安装底部增加垫片,可改变驱动足左右杠杆臂的受力位置(见图1(a)),从而改变杠杆结构的放大系数,并通过实验测试这种改变对电机输出性能的影响。

设置预压力为4 N,驱动频率为4 kHz,驱动电压为90 V(正向偏置45 V),测得电机的速度、输出力与 H' 的关系曲线如图6、7所示。

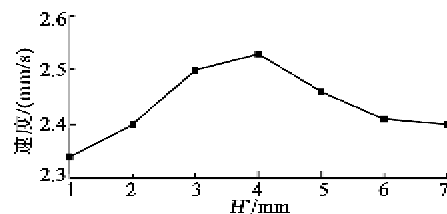


图6 电机输出速度与 H' 的关系曲线

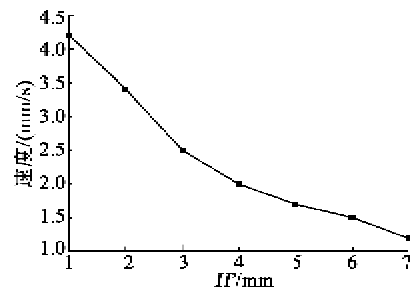


图7 电机输出力与 H' 的关系曲线

在定子结构中,杠杆放大系数随着 H' 的增大而增大,即椭圆轨迹各半轴得增大。轨迹半轴在小范围内的增大,可解释为增长了驱动足与导轨的接触距离,在驱动频率一定的情况下提高了速度,但由于组合放大结构的内部反力是随 H' 增大而逐渐增强的,所以输出力始终呈减小趋势。

4 结束语

本文设计了一种基于复合位移放大机构的非共振式压电直线电机,电机定子采取了模块化设计,通过定子中预留的可更换机构实现了驱动足顶端椭圆轨迹的调节,并研究了其对电机输出性能的影响。

参考文献:

- [1] 赵淳生. 世界超声电机技术的新进展[J]. 振动、测试与诊断, 2004, 24(1): 1-5.
ZHAO Chunsheng. Recent progress in ultrasonic motor techniques [J]. Vibration, Test and Diagnosis, 2004, 24(1): 1-5.

(下转第249页)