

# 串联弯曲臂压电微电机机理初步研究

佟建华, 邵培革, 王立鼎

(大连理工大学 微机电系统研究中心, 辽宁 大连 116024)

**摘要:** 把两片压电双晶片(PZT Bimorph)串联在一起, 构成串联弯曲臂。一端固定, 另一端自由时, 在相位差为 $\pi/2$ 的一定频率的方波信号驱动下, 弯曲臂的自由端将形成类似椭圆的运动轨迹。以串联弯曲臂为驱动元件, 可用来驱动与其端面相接触的转子转动, 构成串联弯曲臂式压电微电机。本文将对串联弯曲臂的驱动机理进行分析, 在新的微小尺寸驱动机理研究的椭圆运动的基础上, 研制了串联弯曲臂压电微电机的样机, 并且对样机的性能参数进行测试, 转速可以达到110rpm, 输出转矩可以达到22.5 $\mu$ Nm。

**关键词:** 串联压电双晶片; 压电微电机; 机理

**中图分类号:** TM301 **文献标识码:** A

## 1 引言

随着科学技术向微观世界的进步, 高信息密度、高能量密度、高功能密度的微小电子机械器件的研究、开发和应用得到了普遍关注<sup>[1]</sup>。人们期望具有传感、执行、控制功能、体积微小、价格低廉的微小器件能够广泛应用于化工、生物、机械、电子和日常生活, 形成一个新的高技术产业, 改善人类的生活<sup>[2]</sup>。微电机是微执行器领域的重要课题, 可望应用于微小的机器人、微小仪器、微小加工机械等众多领域。

微电机包括静电微电机、电磁微电机、压电微电机等几种形式, 其中压电微电机具有结构简单、储能密度较高的特点, 受到研究者的重视。

目前, 在压电微电机的研究中, 一方面, 将中小尺寸的压电电机微型化, 研制出行波压电微电机、驻波压电微电机; 另一方面, 也在探索新的驱动机理。压电微电机的输出转矩并不理想, 原因之一是逆压电效应产生的压电体的形变过于微小, 解决问题的方法之一是放大输出位移, 而传统的利用杠杆来放大位移的方法在微小系统中不易实现, 为此, 我们提出一种新的压电驱动方

法, 即压电双晶片串联驱动。

## 2 串联弯曲臂式压电微电机的运行机理及结构

### 2.1 运行机理

压电晶片在外加电场的作用下将会发生伸长或缩短变形。将两片极性相反的压电晶片沿其主面粘接在一起, 形成压电双晶片(PZT bimorph)。在电场的作用下, 两个压电晶片分别伸长和缩短, 由于两片压电片相互约束, 压电双晶片就会发生弯曲, 在自由端输出位移, 如图1, 这个位移远远大于压电体的自身形变, 即实现了输出位移的放大。如果把两个完全一样的压电双晶片串联在一起, 加上有规律的电压激励, 就可以实现更大的位移输出。串联臂自由端在一个驱动周期内, 输出位移的轨迹为一个类似椭圆。如图2, 当在时刻1时, 由于两个弯曲臂的驱动电压都为零, 所以串联臂并不产生弯曲变形; 当位于时刻2时, 弯曲臂1的外加电场为零, 弯曲臂2的外加电场为正, 串联臂向右弯曲; 同理, 当位于时刻3时, 弯曲臂1、2的外加电场分别为负、正, 弯曲臂1向左弯曲, 弯曲臂2向左弯曲; 时刻4时, 弯曲臂1向左弯曲,

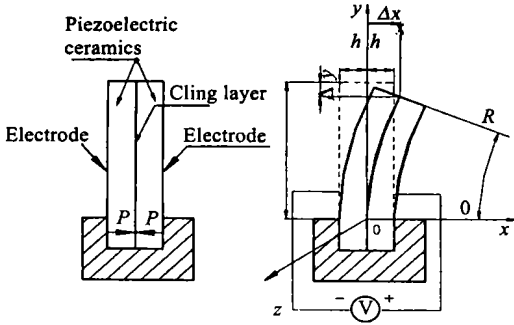


图 1 压电双晶片及其受激变形

Fig. 1 Deflection of a bimorph subjected to external voltage.

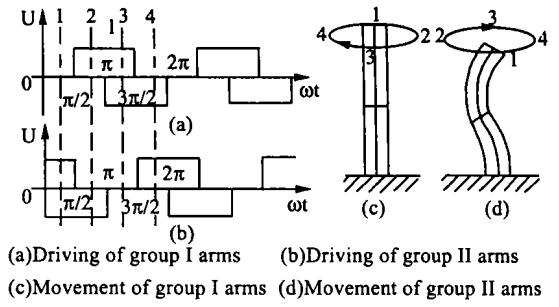


图 4 两组串联弯曲臂的交替驱动原理图

Fig. 4 Working principles of two groups of driving arms.

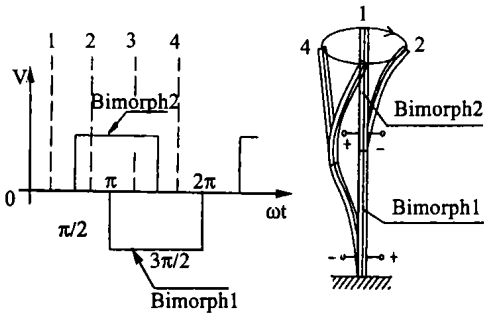


图 2 串联弯曲臂椭圆运动形成机理

Fig. 2 Elliptic orbit of a series bending arm.

### 2.2 结构

串联臂式压电微电机的结构如图 5 所示。在一个圆柱体底座上,在同一半径内放置 6 支共两组插在基座槽内的串联弯曲臂。每一支串联弯曲臂是由两支完全一样的压电双晶片首尾连接串联在一起而形成的,它作为驱动部件,与圆形转子直接接触,当两组串联弯曲臂在规律性方波电压激励下,自由端产生较大幅度椭圆运动,进而依靠自由端与转子之间的摩擦力驱动转子转动。

弯曲臂 2 不变形。在一个周期内,由于存在惯性,串联弯曲臂的自由端就可以完成一个类似的椭圆运动,利用摩擦力,驱动上面与之接触的转子转动。如果把串联弯曲臂分成 I、II 两组,每组三支,交错垂直均布于同一个圆周面上,如图 3。当两组驱动臂的驱动电压的相位差为  $\pi$  的时候,就可以实现两组驱动臂的交替驱动,当一组串联臂驱动位于工作行程时,另一组正位于空行程,如此反复下去,即可实现转子的稳定高速高转矩运转。如图 4 所示。

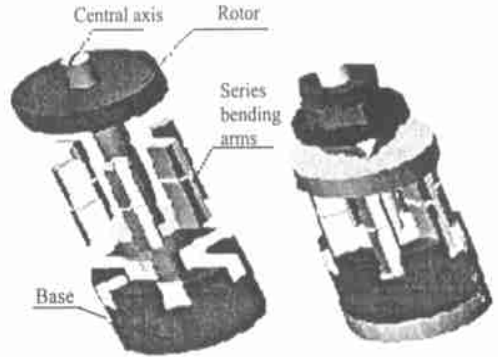


图 5 串联臂压电微电机结构

Fig. 5 Structure of series bending arms piezoelectric micromotor.

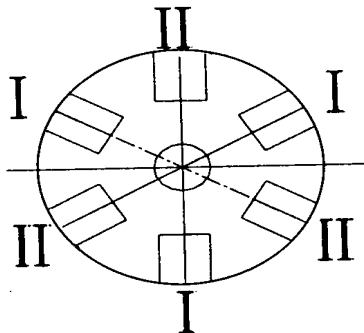


图 3 六支串联弯曲臂分布图

Fig. 3 Top view of 6 series bending arms.

### 2.3 驱动电源

串联弯曲臂压电微电机的驱动电源分为信号发生和放大两个部分组成,信号发生器通过对单路方波信号移相产生四路相位差分别为  $\pi/2$  的方波信号;放大电路将信号发生器产生的信号作为门控信号,控制驱动电源的频率。在信号发生电路产生的四路相位差为  $\pi/2$  的信号分别控制下,可实现四路相位差为  $\pi/2$  的偏置方波驱动信号,驱动压电微电机运转,如图 6 所示。

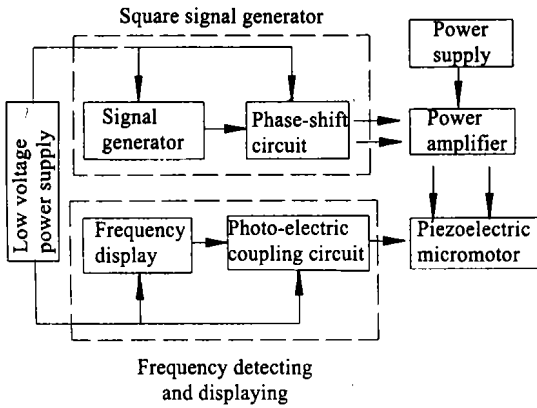


图 6 串联臂压电电机驱动电路

Fig. 6 Driving circuit of the micromotor.



图 7 串联弯曲臂压电电机照片

Fig. 7 Photo of the series bending arms piezoelectric micromotor.

### 3 样机测试

根据以上分析, 我们制作了样机, 采用简化结构, 安装了三支串联弯曲臂, 并且使用同一组驱动电压。样机的外径为 15mm, 高 23mm, 转子直径与定子直径相同。串联臂的尺寸为 1.1mm × 2.36mm × 10mm, 材料为 PZT\_5 压电陶瓷, 其材料性能参数如表 1:

表 1 PZT\_5 压电陶瓷主要参数

Table 1 Main parameters of PZT\_5 piezoelectric ceramics.

$K_{31}$	$d_{31} 10^{-12} (C/N)$	$f_m (C/S)$	$f_n (C/S)$
0.28	170	115500	119000

其中,  $K_{31}$  为压电陶瓷的平面机电耦合系数,  $d_{31}$  为压电系数,  $f_m$  为最大导纳频率,  $f_n$  为最小导纳频率。基座、中心轴和转子采用精密机械加工而成, 材料为铜; 压电双晶片是两片压电晶片通过 AAA 胶粘结而成; 串联弯曲臂是在一个压电双晶片的中间位置划掉表面的电极而形成的串联结构; 导线直接焊接在电极表面。如图 7。中心轴除了起支持的作用以外, 还起到串联弯曲臂的定位作用, 保证三支串联弯曲臂的同圆周排布。三支串联弯曲臂的驱动使得转子不但绕着中心轴转动, 还在垂直方向做上下的振动。图 8、9、10、11 为电机性能参数测试统计。

根据试验测试得知, 当驱动频率为 4076Hz 左右, 驱动电压为 280V<sub>p-p</sub> 的时候, 串联弯曲臂压电电机样机的转速可以达到每分钟 110 转, 转矩可以达到 22.5μNm, 转速和转矩与驱动电压大

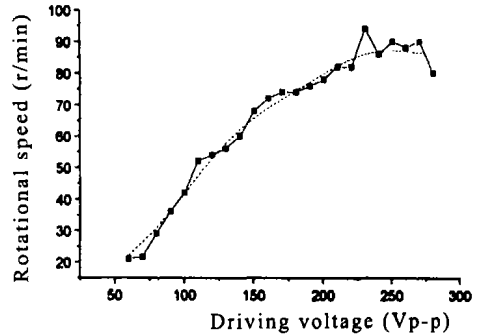


图 8 转速与驱动电压之间的关系 ( $f = 4076\text{Hz}$ )  
Fig. 8 Relationship between rotational speed and driving voltage ( $f = 4076\text{Hz}$ ).

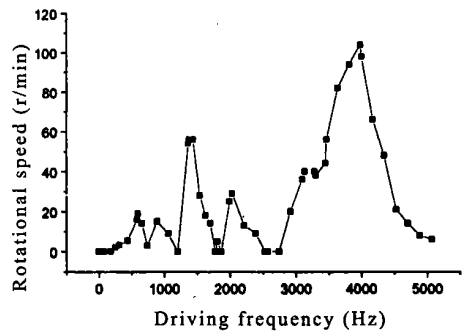


图 9 转速与驱动频率之间的关系 ( $U = 280V_{p-p}$ )  
Fig. 9 Relationship between rotational speed and driving frequency ( $U = 280V_{p-p}$ ).

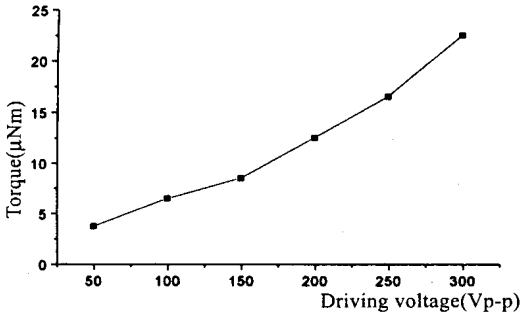


图 10 转矩与驱动电压之间的关系 ( $f = 4076\text{Hz}$ )

Fig. 10 Relationship between torque and driving voltage ( $f = 4076\text{Hz}$ ).

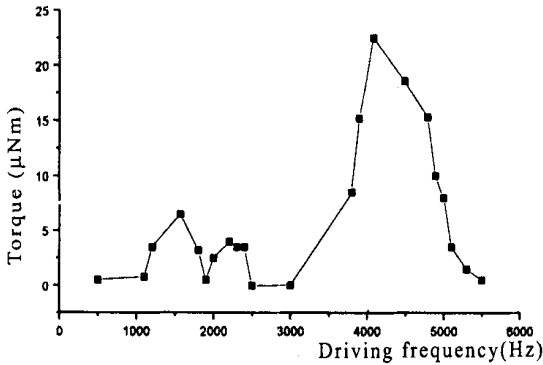


图 11 转矩与驱动频率之间的关系 ( $U = 280\text{V}_{\text{p-p}}$ )

Fig. 11 Relationship between torque and driving frequency ( $U = 280\text{V}_{\text{p-p}}$ ).

体呈线性关系。为了防止压电陶瓷被击穿,驱动电压限制在  $300\text{V}_{\text{p-p}}$  以下。电机在  $1500\text{Hz}$ 、 $2400\text{Hz}$ 、 $4100\text{Hz}$  左右的时候驱动臂发生协共振,输出的转速和转矩都比较大,在  $4100\text{Hz}$  左右达到最大值。由于样机的驱动臂只有三条,可以预见,如果在六条驱动臂的驱动下,串联弯曲臂式压电微电机的输出性能必定会有更大的改善和提高。

## 4 结 论

提出了串联方式放大位移的一种新方法,分析了运行机理,设计了电机的结构并制造了典型的样机,通过测试得到了电机转速、转矩和驱动电压、频率之间的关系,为进一步实现预期的微型化以及高转矩、高转速的优化提供了理论和实践基础。

## 参考文献:

- [1] 上羽贞行,富川义郎.超声波马达理论与应用[M].上海:上海科学技术出版社,1998.
- [2] 邵培革,曲炳郡,王立鼎.串联臂驱动压电微电机研究[J].仪器仪表学报,1999,20(4):170\_171.
- [3] 史小军,堵国梁,朱为.超声波电机及其应用[J].电子器件,1997,20(4):37\_45.
- [4] 梁克平.串联臂压电微电机及其驱动系统的研究[D].大连:大连理工大学,2001.
- [5] 邵培革.微小压电电机研究[R].大连:大连理工大学,2000.
- [6] 梁克平,邵培革,杨敬涵,等.串联臂压电微电机及其驱动电源的研究[J].仪器仪表学报,2001,22(5):91\_93.
- [7] Suzuki Y, Tani K, Sakuhara T. Development of a new type piezoelectric micromotor[J]. *Sensors and Actuators*, 2000, 83: 244\_248.
- [8] 杨宜民.新型驱动器及其应用[M].北京:机械工业出版社,1997.

## Research on the mechanism of a series bending arms piezoelectric micromotor

TONG Jian\_hua, SHAO Pei\_ge, WANG Li\_ding

(MEMS Research Center, Dalian Univ. of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** Series bending arms are composed of two piezoelectric bimorphs, one end of which is fixed and the other end is free. Driven by two signals of the biased bar with phase difference of  $\pi/2$ , the free end of a cantilever arm will move along an elliptic orbit. When the cantilever is used to drive a cylinder rotator, the end of the surface contacts the free end of the cantilever, the rotator will rotate. This paper analyzes the drive mechanism and puts forward a new drive theory. A new micromotor model was designed, and its movement parameters were tested, the rotational speed being up to 110rpm, and the torque reaching about 22.5  $\mu\text{Nm}$ .

**Key words:** series piezoelectric bimorph; piezoelectric micromotor; mechanism

作者简介: 佟建华(1973-), 男, 吉林长春人, 博士研究生, 研究方向: 压电微执行器。E-mail: tongjh@student.dlut.edu.cn

## 中国光学与应用光学文摘

《中国光学与应用光学文摘》(双月刊)是由中科院文献情报中心、中科院光学情报网和中科院长春光学精密机械与物理研究所联合主办,经国家科委批准的国家一级检索期刊。该刊主要收集我国科研人员在国内外期刊中发表的有关光学、光电子学以及光学在各领域的应用等方面的论文,国内召开的有关会议论文和国内有关单位的学位论文。该刊1985年创刊,现全部以文摘形式报道国内光学领域的最新研究成果与进展。每期报道文献750篇。

2001年《中国光学与应用光学文摘》仍通过邮局发行,邮发代号:12-140,定价9.00元/期,订阅本刊的新老订户可去邮局订阅该刊,在邮局漏订或想补订该刊的订户,可随时与《中国光学与应用光学文摘》编辑部联系,银行汇款与邮局汇款皆可。

单 位: 中科院长春光学精密机械与物理研究所《中国光学与应用光学文摘》编辑部

邮 编: 130021

银 行: 中行吉林省分行营业部

账 户: 04 单位 438 部

账 号: 01471908091001

地 址: 吉林省长春市工农大路 61 号

联系人: 杨妹清

电 话: (0431)5684692 转 2438

E-mail: xxfw@ciomp.ac.cn