

微型超声波电机的研制*

钱卫忠

程启明

(东南大学仪器系, 江苏 南京 210096 盐城工学院计算机系, 江苏 盐城 224003)

摘 要 重点介绍了微型环型行波超声波电机的结构、行波的产生、椭圆运动的产生、驱动原理等, 最后介绍了制作这种电机的实验结果。

关键词 超声波电机; 行波; 椭圆运动

分类号 TP273

文献标识码 A

文章编号 1008-5092(2000)02-0016-03

自 1819 年奥斯特发现电流的磁化作用以来, 人们利用电磁相互作用发明了各式各样的电机, 最近一种新型电机——超声波电机问世了, 它与以往传统电机的原理迥然不同, 这种电机没有线圈和磁路, 而是依靠超声波振动产生的驱动力通过摩擦传递推动转子运动。它具有体积小、重量轻、低速旋转扭矩大、无电磁干扰和低噪声等特点, 在非连续运动领域及精密控制领域, 超声波电机要比普通的电磁电机的性能优越得多。超声波电机在工业控制系统、汽车专用电器、超高精度测量仪器、办公自动化设备、智能机器人等领域有广阔的应用前景, 倍受科技界和工业界的重视。

超声波电机的研究起步于 20 世纪 60 年代初, 原苏联科学家于 1960 年首次发表有关超声波电机驱动方法研究的基础论文, 而后美、日等国相继开展超声波电机的理论和实验研究。目前国外刚进入初步的工业应用阶段, 在日本, 超声波电机被称为“下一世纪的驱动器”。根据日本政府的预测, 今后超声波电机的市场可达 2000 亿日元的需求^[1]。国内从 20 世纪 90 年代初也开始了超声波电机的研究, 目前仍然处于实验室研究阶段。

本文将简要地介绍我们新近研制成功的微型环型行波超声波电机的原理、结构及实验成果。

1 超声波电机的工作原理

1.1 结构

图 1 是环型行波超声波电机的结构示意图。从图 1 中可以发现超声波电机也是由定子和转子构成, 其定子是由压电陶瓷换能器和带齿的金属环构成, 转子是由摩擦材料和金属环构成。图 2 是电陶瓷的极化配置图, 图 2 中“+”和“-”分别表示极化方向。

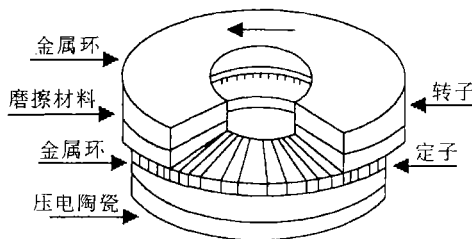


图 1 环型行波超声波电机的结构示意图

Fig. 1 The structure sketch of ringy traveling wave ultrasonic motor

1.2 行波的产生

在分割极化的压电陶瓷上同时加入频率相同、幅值相等的正弦和余弦信号, 两个信号在超声波定子中形成两个驻波 A_1 和 A_2 , 这两个驻波在时间和空间相差 90° , 如下式所示:

$$A_1 = \sin(\omega t) \cos(\alpha N) \quad (1)$$

$$A_2 = \cos(\omega t) \sin(\alpha N) \quad (2)$$

式中 ω 是输入交流电压的角速度, t 是时间, α 表示定子表面的某一位置, N 是定子中驻波的个数。这两个驻波在定子中合成产生行波 $A(t)$,

* 收稿日期: 1999-09-22

第一作者简介: 钱卫忠(1972-), 男, 东南大学仪器系博士研究生, 从事超声波电机、现代检测技术及数字信号处理的研究。

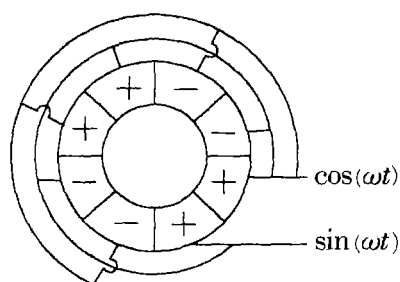


图2 压电陶瓷的极化配置图

Fig.2 The polarized scheme of piezoelectrical pottery and porcelain

α):

$$A(t, \alpha) = A_1 - A_2 = \sin(\omega t) \cos(\alpha N) - \cos(\omega t) \sin(\alpha N) = \sin(\omega t - \alpha N) \quad (3)$$

在作者研究成功的超声波电机中,行波的频率大约是 103 kHz,行波数 N 是 2。

1.3 椭圆运动的产生

超声波电机中椭圆运动是最基本的运动,椭圆运动如何生成和作用,很大程度上决定着超声波电机的结构和性能。图3表示定子弹性体中的挠曲行波,下面分析该弹性体表面上一点的运动轨迹为椭圆。设弹性体的厚度为 T ,行波挠曲波动的波长为 λ ,挠曲纵向振幅为 ζ_0 ,角速度为 ω ,

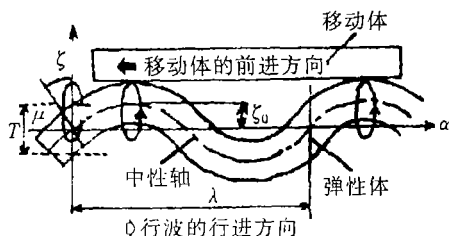


图3 弹性体的挠曲行波

Fig.3 The bend traveling wave of elastomer

则弹性体中性轴的行波可用下式表示:

$$y = \zeta_0 \sin(\omega t - \alpha N) \quad (4)$$

现设弹性体表面上一点为 p ,未挠曲的位置为 p_0 ,则从 p_0 到 p 厚度方向的位移 ζ 为:

$$\zeta = \zeta_0 \sin(\omega t - \alpha N) - \frac{T}{2}(1 - \cos\theta) \quad (5)$$

因为挠曲振动的振幅 ζ_0 比挠曲行波的波长 λ 要小得多,所以挠角 θ 是非常小的值,则 p_0 到 p 厚度方向的位移 ζ 近似为:

$$\zeta = \zeta_0 \sin(\omega t - \alpha N) \quad (6)$$

而从 p_0 到 p 的横向位移 ζ 为:

$$\zeta = -\frac{T}{2} \sin\theta \approx -\frac{T}{2} \theta \quad (7)$$

因为挠角 θ 可以用下式表示:

$$\theta = \frac{\partial y}{\partial \alpha} = -\zeta_0 N \cos(\omega t - \alpha N) \quad (8)$$

则 p_0 到 p 的横向位移近似为:

$$\zeta = -\frac{T}{2} \sin\theta \approx -\frac{T}{2} \theta = \frac{T}{2} \zeta_0 N \cos(\omega t - \alpha N) \quad (9)$$

则有:

$$\left(\frac{\zeta}{\frac{T}{2} \zeta_0 N}\right)^2 + \left(\frac{\zeta}{\zeta_0}\right)^2 = 1 \quad (10)$$

即定子弹性体表面上任意一点的运动轨迹为椭圆,满足了超声波电机所需的基本运动。

1.4 驱动原理

图4中定子弹性体中行波的形成激励来源于底层的压电陶瓷,由压电陶瓷的逆压电效应知,当压电陶瓷在交变的电压作用下其内部会产生伸张与压缩的驻波,这样上层粘附的齿状金属弹性体

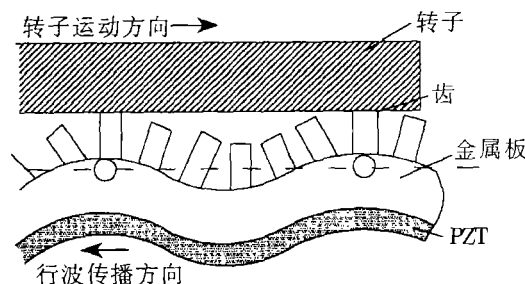


图4 行波超声波电机驱动原理

Fig.4 The drive principle of traveling wave ultrasonic motor

在压电陶瓷的变形作用下也形成相应的形变。若压电陶瓷经过合适的分割极化(空间上形成 90° 的相差),同时在适当的电压(幅值、频率、相位)作用下,在齿状金属弹性体表面可以形成单一方向运动的行波。在弯曲行波传播的过程中,齿状金属弹性体表面质点的运动成椭圆运动轨迹。如果将转子以适当的压力作用于定子弹性体表面上,则转子将在质点摩擦力的驱动下产生运动,其运动方向与齿状金属弹性体中行波前进的方向相反。如果改变定子弹性体中行波的前进方向(通过改变所加驱动电压的相位实现),转子将反向运动。

2 实验结果

我们研制成功的微型超声波电机外形尺寸为:外径 20 mm,高度为 3.5 mm。

转速的测量采用上海转速表厂生产的 SZGB-11 光电转速器和 XJP-101 转速显示仪,在驱动

频率为 103.2 kHz, 电压有效值为 50 V 的两路正弦和余弦信号作用下, 调节对转子的预压力, 测得电机无负载转速的范围为: 0 rpm ~ 630 rpm。

最大启动转矩的测量采用挂砝码的办法, 电机驱动信号同上, 调节给转子的预压力, 测得最大启动转矩为: $4.66 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

参 考 文 献

- 1 菅野伸和. 超音波モータ[J]. 日本時計学会志, 1988(124): 63 ~ 79.

Design of Micro Ultrasonic Motor

Qian Weizhong¹⁾ Cheng Qiming²⁾

(1) Department of Instrument, Southeast University,
Jiangsu Nanjing 210096, PRC
(2) Department of Computer Engineering of Yancheng
Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, PRC

Abstract The principle of the micro circular traveling wave ultrasonic motor is described mostly, which include the structure of the motor, the principle of traveling wave, the principle of elliptical motion, the drive principle of the motor. Finally, the experiment result of the motor which works successfully in our lab is introduced.

Keywords ultrasonic motor; traveling wave; elliptical motion

(上接第 4 页)

Researches in the Theory of Vibration Isolated Nanometre Micro Dynamic Test-platform

Liu Pingcheng¹⁾ Yang Xiaohong¹⁾ Wu Xiaolin²⁾ Yang Sheng²⁾

(1) Department of Mechanic Engineering of Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, PRC
(2) Nanjing University of Aeronautics and Astronautics 506 Teaching and Studying Room, Jiangsu Nanjing 210016

Abstract According to the mechanical analysis of two-dimensional vibration isolating system, the author achieved the conclusion about mass, stiffness and damping ration which is useful to design multi-dof vibration isolating system, and designed a vibration isolating system of nanometre-micro dynamic test-platform. This paper shows the system having a fine vibration isolating effect and the method of the vibration isolating design also having a certain reference value to the design with super-low transfer ratio of super-precision machine tool and super-micro positioning mechanism, etc.

Keywords nanometre; micro dynamic test-platform; vibration isolation; transfer ratio