

文章编号: 1000-5013(2011)03-0263-03

圆环定子驻波型步进超声波电机的设计

姜晓玉, 洪尚任, 王国炎

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 设计一种可调步距的圆环定子驻波型步进超声波电机, 样机的工作频率为 36.3 kHz, 空载转速为 $10 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 在一个周期的激励信号作用下, 电机转子转过的角度为 $0.001\ 65^\circ$. 利用 ANSYS 软件, 对所设计的电机样机的圆环定子进行仿真分析, 研究激励频率、输入电压和预压力对转速的影响. 结果表明: 电机的转速会随着激励频率的增加先增加后减小, 当激励频率为 36.3 kHz, 达到振动体振幅的最大值; 电机的转速会随着输入电压的增大先增大, 当输入电压达到 7 V 时, 对应最大转速为 $10 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$; 电机的转速会随着预压力的增加先增大, 当到达最佳预压力 2.7 N 时, 继续增大预压力电机, 转速反而降低.

关键词: 超声波电机; 圆环定子; 步进; 驱动电源; 驻波型

中图分类号: TM 383.602

文献标志码: A

与传统电磁步进电机相比, 步进超声波电机具有结构简单、易微型化、无电磁干扰、易控制、步进精确、断电自锁、快速响应和环境适应能力强等特征^[1], 在光学仪器、机器人、军事设施、医疗设备等应用前景广泛^[2]. 按使用的波形分类, 可分为行波型步进超声波电机和驻波型步进超声波电机; 以步距为特征, 则可分为可调步距型步进超声波电机、定步距型步进超声波电机和纳米步距型步进超声波电机. 可调步距型步进超声波电机是通过驱动电源的通断, 使超声波电机产生起停而实现步进运动, 并通过输入电源的脉宽来控制步距的. 本文设计出一种圆环定子驻波型的可调步距型步进超声波电机.

1 超声波电机的结构设计

圆环定子驻波型超声波电机实物, 如图 1 所示.

1.1 圆环定子

圆环定子采用 $B(0,4)$ 振型作为工作振型^[3]. 由振动理论可导出圆板的振型驻波, 圆板的自由振动微分方程为

$$D\Delta^4\omega(r,\theta,t) + \rho\frac{\partial^2\omega(r,\theta,t)}{\partial t^2} = 0. \quad (1)$$

经计算并修正后, 可以得到定子的几何尺寸: 内径为 4.5 mm, 外径为 20 mm, 厚度为 5 mm, 定子齿的尺寸为 3 mm×5 mm×3 mm, 均匀间隔设计在圆环的中间部位. 弹性体整体材料采用 45 号钢, 杨氏弹性模量为 217 GPa, 泊松比为 0.33, 密度为 $7\ 800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

1.2 压电陶瓷

设计压电陶瓷振子时, 谐振频率即是工作频率. 通常根据所需要的工作频率来设计压电陶瓷的尺寸. 选用 PZT-8 压电材料做的压电陶瓷圆环作为驻波超声波电机的压电片, 其主要参数: 自由介电常数 ϵ_{33} 为 1 000, 损耗角正切 $\text{tg} \delta \leq 0.3\%$, 频率常数 N_t 为 $2\ 000 \text{ Hz} \cdot \text{m}$, 相对介电系数 K_t 为 64%, 压电常数 d_{33} 为 $225 \text{ pm} \cdot \text{V}^{-1}$, 电学品质因数 Q_m 为 1 200.

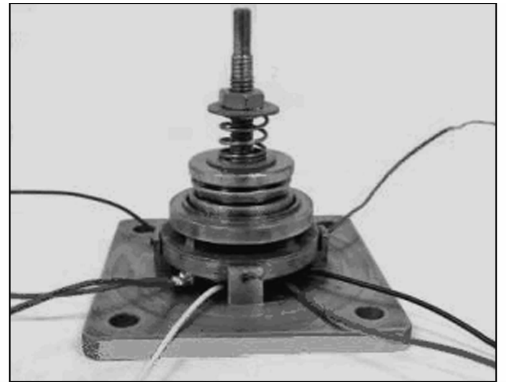


图 1 圆环定子驻波型超声波电机

Fig. 1 Circle stator of standing wave type ultrasonic motor

收稿日期: 2010-01-19

通信作者: 洪尚任(1944-), 男, 教授, 主要从事机电系统及超声波电机的研究. E-mail: srhong@hqu.edu.cn.

基金项目: 国务院侨办科研基金资助项目(04QZR10)

根据定子尺寸取压电陶瓷片的尺寸:内径为 10 mm,外径为 34 mm. 压电陶瓷片沿厚度方向进行极化,并产生厚度方向的振动. 对于沿厚度方向振动的压电振子来说,厚度尺寸应远小于直径的大小(小于 1/10),取陶瓷片厚度为 2 mm.

1.3 步进角

可调步距型步进超声电机是在驻波超声波电机的基础上,通过驱动电源的通和断来实现电机按所设计的步距角来产生步进运动,通过软件延时的方法来控制每一步的驱动时间. 其中,电机定子振动包括起始强迫振动、稳态强迫振动和自由振动衰减 3 个阶段. 由于定子的阻尼比较小,所以起始强迫振动和衰减强迫振动两阶段的耗时短.

取超声波电机定子强迫振动起始时间为 1.35 ms,定子稳态强迫振动时间应远大于强迫振动起始时间(取大于 10 倍的时间),则最短通电时间应为 14.85 ms(取整为 15 ms). 由转速-频率实验可知,在一个周期的激励信号作用下,电机转子转过的角度约为 $0.001\ 65^{\circ}$.

1.4 胶粘剂^[4]

超声波电机的主要部件采用粘接结构. 胶粘剂要满足高强度、无内应力、疲劳极限高,不明显影响振动体及体系的固有振动频率,能量可有效传递,噪声小等条件. 因此,考虑采用 502 胶水将压电陶瓷粘接在定子的背面.

1.5 其他部件

下端盖主要用来固定轴和支撑定子. 转子上设计有台阶结构,便于固定上面的推力球轴承. 轴通过花键与转子联结,转子转动时带动轴旋转. 此电机的预压力通过弹簧的弹性形变提供,调整螺母的位置来改变弹簧的压缩量即可改变预压力大小.

2 仿真实验与分析

利用 ANSYS 软件,对所设计的电机样机的圆环定子进行仿真分析,研究激励频率(f)、输入电压(U)和预压力(P)对转速(n)的影响,结果如图 2 所示. 在实验过程中,某一参数变化时,假定其他参数(预压力为 2.7 N,直流电压为 7 V,激励频率为 36.3 kHz)不变^[5].

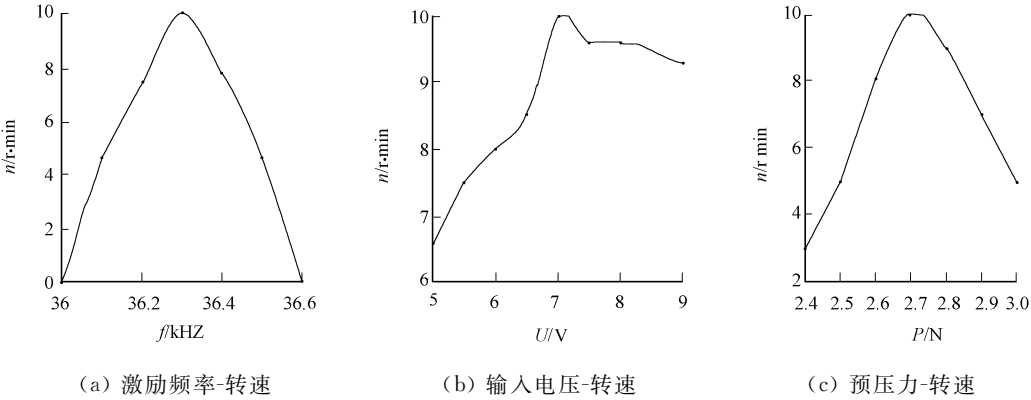


图 2 仿真实验结果

Fig. 2 Simulation result

从图 2(a)可知,电机的转速会随着激励频率的增加先增加后减小,最高转速为 $10\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,对应激励频率为 36.3 kHz,达到振动体振幅的最大值,即电机的谐振频率为 36.3 kHz. 在激励频率为 36 kHz 和 36.6 kHz 时,电机转速为零,表示驻波超声波电机的工作频率可调范围较小. 为了精确选择电机的最佳工作频率,超声波电机驱动器的输出信号应有较高的频率分辨率,便于微调激励频率.

从图 2(b)可知,电机的转速会随着输入电压的增大先一直增大,当电压达到 7 V 时,对应最大转速为 $10\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$;继续增大输入电压对电机转速的影响已不大. 这是因为最初压电陶瓷的逆压电效应会随着外加电压的增大而逐渐增强,但当电压增大到一定值,逆压电效应也相应增加到最大,即振动体的振幅增到最大程度. 当电压再继续增大,压电逆效应已趋于饱和,也就是振幅不会再继续增大. 所以电机的转速达到最大值后,输入电压的增大对电机转速影响不大.

从图 2(c)可知,电机的转速会随着预压力的增加先增大;当到达最佳预压力时,继续增大预压力,电机转速反而降低。分析表明,当预压力较小时,定子和转子主要在定子波峰点接触,接触区域内也全是驱动区。随着预压力增大,定子和转子间的接触范围开始增大,驱动区越来越大,转子转速逐渐提高。当预压力增大到一定程度时,定子与转子的接触范围已经增大到超过了等速点,而定子在等速点以外的表面质点的周向速度小于转子。此时,一方面接触区域开始出现阻碍转子运动的阻止区;另一方面定子和转子的径向滑动最剧烈的地方已经处于接触区域内。继续增加预压力,阻碍运动区的比例开始变大,包含进更多径向滑动比较剧烈的区域,转子的转速逐渐降低。

3 结论

进一步的理论分析和实验测试,可以得到如下 4 点结论。

(1) 采用周向点固支的固支模式,可使固支点的分布与定子齿错开,减少对定子齿处振幅的影响。

(2) 用驱动电源有规律导通与关断的方法来对超声波电机进行控制,将超声波电机的非线性和不确定性转换成一定数量的脉冲信号与电机运转角度的线性关系。

(3) 通过对电机扫频后可知,定子上的齿对谐振频率也有影响。因此,应对定子齿进行优化设计,从而减少误差。

(4) 该电机定位准确、响应快、控制方便,且不受通电时间的影响,对其进一步研究是很有必要的。

参考文献:

- [1] 金家楣,赵淳生. 双模态切换式步进超声电机[J]. 南京航空航天大学学报,2006.
- [2] 赵淳生. 21 世纪超声电机技术展望[J]. 振动、测试与诊断,2003,20(1):7-12.
- [3] 胡敏强,徐志科,金龙等. 超声波电机振动模态有限元分析[J]. 中国电机工程学报,2002,22(11):92-96.
- [4] 李宝库. 超声波电机用胶粘剂的拓展研究[J]. 微特电机,2000,28(1):43-44.
- [5] 王国焱. 圆环定子驻波型超声波电机及其驱动电源设计[D]. 泉州:华侨大学,2007.

Design on Standing Wave Type Ultrasonic Motor with Circle Stator

JIANG Xiao-yu, HONG Shang-ren, WANG Guo-yan

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: An adjustable step-length stepping ultrasonic motor is designed in this paper. The working frequency of the prototype is 36.3 kHz, the no-load speed is $10 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, and the turning angle of stator is 0.00165° in a periodic excitation signal. Using ANSYS software, the simulation analysis to the circle stator of the prototype is realized, is made and the influence on speed from excitation frequency, input voltage and pre-pressure are studied. The results show that motor speed will increase first and then decrease as the excitation frequency increased and when the excitation frequency is 36.3 kHz, it will achieve the maximum amplitude of the vibration body; motor speed will increase first as the input voltage increases, when the input voltage is 7 V, the corresponding maximum speed is $10 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$; motor speed will increase first with the pre-pressure increases, when the pressure reaches 2.7 N but the pressure to increase motor speed will decrease as the pre-pressure continue to increas.

Keywords: ultrasonic motor; circle stator; stepping; driven power; standing wave

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 崔长彩)