

文章编号 1004-924X(1999)04-0071-05

端面摇摆式微型电磁电机工作原理 及运动学分析

贾 智 王立鼎 梁静秋 姚劲松

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘 要 介绍了一种新型结构原理的电磁式微电机及其特点,并对电机的转速比进行了理论分析。通过对 $\Phi 5\text{mm}$ 的试验样机进行初步实验研究,验证了本文提出的设计思想。

关键词 微电子机械系统 端面摇摆 电磁微电机

中图分类号 TM384 **文献标识码** A

1 引 言

微电子机械系统简称微机械,是八十年代崛起的新兴热点技术。它是一个独立的微小机电系统,主要由微驱动器、微传感器、微执行器、微控制器以及微能源等要素组成。而以微电机为代表的微驱动器在微机械系统中起着举足轻重的作用。从微机械诞生的那天起,微电机一直是国内外微电子机械系统研究领域中的重点课题。

电磁式微电机是依照传统的电磁原理制作的。转子依靠作用线圈的电磁力来驱动,通过电磁作用以电磁场为媒介将电能转化为机械能。然而,在微机械领域的微小尺寸空间内,传统电磁电机的工作原理和结构形式已不可能实现,业已成熟的传统电机设计理论也就不完全适用。这就需要在微机械这种新环境下,重新考虑电磁电机的工作机制和结构原理,并建立起全新的设计理论和工艺技术基础。目前,电磁式微电机的理论和试验研究起步不久,尚处于探索和待完善阶段。大量的理论和试验工作还有待于我们去完成,因而它是一个具有潜力的有待于开发的领域。

本文介绍了一种称为“端面摇摆式微型电磁电机”的设计方案,并据此设计制作了一个 $\varnothing 5\text{mm}$ 的试验样机。通过对样机的初步试验研究得出了一些重要的结果。

2 端面摇摆式微型电磁电机工作原理及特点

图 1 是此种电机的结构原理图。可以看出,定子和转子的工作面分别为锥顶重合而锥角不同的外锥面和内锥面。定子内部均匀排放着几个驱动线圈。如果按一定方式给线圈通电,定子内部将产生一个旋转磁场,在旋转电磁力的作用下,锥形转子将在定子内锥面上做圆周纯滚动,从而产生一个与滚动方向相反的转动,此即为转子输出的旋转运动。锥形转子的运动包括两个方面:一是转子绕其中心线的旋转;二是转子相对锥顶的摆动。弹性联轴节可将转子的旋转耦合输出,而将转子的微小摆动吸收掉。

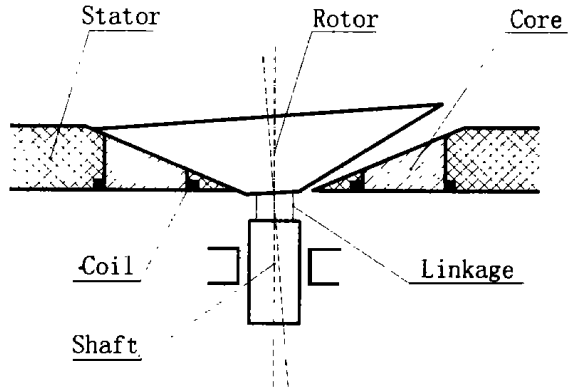


Fig. 1 Schematic diagrams of the motor

该电机利用定子内平面线圈所产生的法向电磁力来驱动转子旋转,并充分利用了有限的径向空间以提高线圈电磁力的综合作用半径,因而与普通电磁微电机相比可产生更大的扭矩输出。从磁场旋转到转子转动是行星减速的传动方式。行星减速的特点是大减速比,转子转速可控制得比较低。但从功能角度来看,传动功率一定的条件下,低转速意味着大扭矩,即该电机将电磁制动与行星减速两种机制结合在一起,可实现低转速大扭矩的性能。

3 转子减速比分析

锥转子的运动可看成是围绕其锥顶的定点转动。可用进动角 ψ ,张动角 θ 和自转角 φ 三个角变量来描述,如图 2(a)所示。图中 $OXYZ$ 是定坐标系, OZ 轴与定子锥面的中心线重合; $OX'Y'Z'$ 是固连于转子上的动坐标系并和转子一起运动; α 是转子摆角,即转子中心线与定子中心线之间的夹角; β 是定子内锥半角。

刚体绕定点的运动,在每一瞬时都可视为绕瞬时轴的转动,瞬时轴通过固定点。

设, $\vec{\omega}_\psi = \psi \vec{k}$; $\vec{\omega}_\theta = \theta \vec{n}$; $\vec{\omega}_\varphi = \varphi \vec{k}'$

式中, \vec{k} 、 \vec{n} 、 \vec{k}' 分别为轴 OZ 、 ON 、 OZ' 方向的单位矢量。

则瞬时轴的位置以及转动角速度由下式决定

$$\vec{\omega} = \vec{\omega}_\psi + \vec{\omega}_\theta + \vec{\omega}_\varphi = \psi \vec{k} + \theta \vec{n} + \varphi \vec{k}'$$

在此, $\theta = \alpha$ 为常数。转子在静止的定子内锥面上做无滑动的纯滚动,转子与定子的交线必为转子转动的瞬时轴。于是可画出图 2(b)所示的计算图。

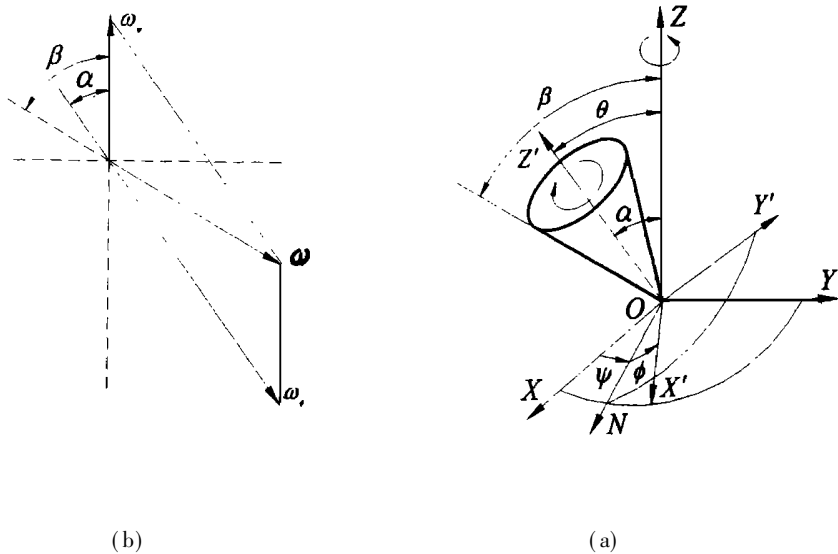


Fig. 2 Rotor motion analysis

将各量分别向水平轴和垂直轴投影

$$\begin{cases} \omega \cos(90^\circ - \beta) = \omega_p \cos(90^\circ - \alpha) \\ \omega \sin(90^\circ - \beta) = -\omega_\psi + \omega_p \sin(90^\circ - \alpha) \end{cases}$$

$$\omega = \frac{\sin \alpha}{\sin(\beta - \alpha)} \omega_\psi$$

设旋转磁场的角速度为 ω_f , 即轴 OZ' 绕 OZ 旋转的角速度则

$$\frac{\omega}{\omega_f} = \frac{\sin \alpha}{\sin(\beta - \alpha)} \quad (1)$$

此式即为电机转子降速比计算公式。从此可以看出, 电机转子降速比仅与转子摆角 α 和定子内锥角 β 有关。转子摆角 α 越小, 即转子与定子的锥角之差越小, 转子降速比越小; 当转子摆角 α 一定时, 定子内锥角 β 越大, 转子降速比也越小。从理论上讲, 通过调整 α 与 β 的值, 可以使电机转子降速比在 $0 \sim \infty$ 的范围内变化。但在实际中为确定 α 与 β 的值, 还必须考虑到电机的电磁性能, 加工工艺性和其它问题。

4 电机试验

为验证本文提出的端面摇摆式微型电机的工作原理, 我们设计制作并组装了一个外形尺寸为 $\varnothing 5\text{mm}$ 的试验样机并对该机进行了初步的试验。

表 1 是样机的有关结构参数。其中, 电机减速比是根据定子外锥角与转子内锥角的设计值, 通过 (1) 式计算得出的理论值。为降低磁路中的磁阻, 减少漏磁, 转子和铁芯均采用高磁导率的软磁材料—铁镍合金来制作, 而定子则采用非磁性材料—聚矾。

Table 1 Specifications of the Motor

Rotor	Cone angle	11.42°
	material	nickel iron permalloy
Stator	Inner cone angle	18.92°
	material	polysulfone
	Number of poles	8
Inductor	Coil turns	30
	Core material	nickel iron permalloy
Motor	Gear ratio	0.658
	Outer radius	2.5mm

为保证电机能够正常稳定地工作,我们使用单片机作为主控制器设计制作了一个控制电路。该电路能够激发出 10rpm~ 10000rpm 的旋转磁场并提供几种控制模式。

试验表明,旋转磁场在 50rpm~ 2000rpm 范围内时,电机转子可在 24rpm~ 680rpm 内连续稳定地输出转速,其转速值略小于通过(1)式得到的理论计算值。这是因为,转子在定子内锥面上滚动时,它们之间还是存在着一定的相对滑动,从而导致转子转速的下降。另外,该电机的旋转方向(正反转)可以任意控制。

5 结 论

本文提出了一种新型的端面摇摆式电磁微电机结构,并对 $\Phi 5\text{mm}$ 的试验样机进行了初步的试验。试验结果表明,在一定速度范围内,电机可以非常稳定地连续输出转速,其可重复性非常好,电机的启动,停止,正转,反转的控制也非常稳定。这表明,本文提出的电机设计思想是可行的。

参 考 文 献

- 1 吕琼莹,车录峰.微型电磁驱动器.仪器仪表学报,1996,17(1):346350
- 2 Wagner B, Kreutzer M, Benecke W. Linear and rotational magnetic micromotors fabricated using silicon technology. IEEE MEMS Workshop, 1992. 183189
- 3 Guckel H, Christenson T R, Skrobis K J, Jung J S, Klein J, Hartojo K V, Widjaja I. A first functional current excited planar rotational magnetic micromotor. IEEE MEMS Workshop, 1993. 711
- 4 Ahn C H, Allen M G. A new toroidal meander type integrated inductor with a multilevel meander magnetic core. IEEE Trans Magnetics, 1994, 30(1)
- 5 Ahn C H, Allen M G. A fully integrated surface micromachined magnetic microactuator with a multilevel meander magnetic core. IEEE J Microelectromech Syst, 1993, (2): 1522

Analysis of Working Principle and Kinematics of Electromagnetic Micromotor with New Type of Structure

JIA Zhi, WANG Li Ding, LIANG Jing-Qiu, YAO Jir Shong
(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

This paper introduced a new type of electromagnetic micromotor and discussed its features and analyzed the movement of the motor. The ideas introduced by this paper was verified to be correct by some preliminary experiments on this motor.

Key Words: Micro electro mechanical systems (MEMS), Wobble, Electromagnetic micromotor

贾 智 男, 1963 年出生, 中国科学院长春光学精密机械研究所博士研究生。1988 年毕业于吉林工业大学机械工程系, 获硕士学位。现主要承担国家科委攀登计划 B 微电子机械系统中的课题研究, 已发表论文 4 篇。