

超声波电机的原理与应用

周传运

超声波电机(Ultrasonic Motor, USM)是国外近20年发展起来的一种新型电机。事实上,在超声波电机问世之前,已有以压电效应驱动的电机,但其频率并不局限于超声波范围。早在1948年,威廉和布朗就申请了“压电马达”的美国专利;1964年,前苏联基辅理工学院设计了第一个压电旋转电机;1970~1972年,西门子公司和松下公司发明了压电步进电机,不过因无法达到较大的输出转矩而没能实际应用。1980年,日本的指田年生研制成超声波压电电动机(即现代意义上的超声波电动机),克服了传统压电电动机转换效率低和变位微小的缺陷,使压电电动机进入工业实用阶段。

一、超声波电机的原理和结构

超声波电机的原理 超声波电机利用压电材料的逆压电效应产生超声波振动,把电能转换为弹性体的超声波振动,并把这种振动通过摩擦传动的方式驱使运动体回转或直线运动。超声波电机没有磁极和绕组,它一般由振动体和移动体组成,为了减少振动体和移动体之间相对运动产生的磨损,通常在二者间加一层摩擦材料。当在振动体的压电陶瓷(PZT)上施加20KHz以上超声波频率的交流电压时,逆压电效应能够在振动体内激发出几十千赫的超声波振动,使振动体表面起驱动作用的质点形成一定运动轨迹的超声波频率的微观振动(振幅一般为数微米),如椭圆、李萨如轨迹等,该微观振动通过振动体和移动体之间的摩擦作用使移动体沿某一方向做连续宏观运动。因此,超声波电机是将弹性材料的微观形变通过共振放大和摩擦耦合转换成转子或滑块的宏观运动。根据这一思想,日、德等国近几年相继研发出多种超声波电机,如环形行波USM、步进USM、多自由度USM等,且行波型USM已有较成熟的设计。下面以行波型USM的旋转说明其工作原理。

行波型USM要旋转,需具备两个条件:与转子相接触的定子表面质点须做椭圆运动,定子、转子之间的接触面须有摩擦力。图1中的弹性体为定子,其上部为转子,定子、转子间夹一层摩擦材料。摩擦材料一般粘接在转子表面上。利用电能激励压电陶

瓷复合振子,使之产生超声振动,并在弹性体内产生行波。当电信号频率调整到与定子(弹性体)的机械共振频率一致时,定子的振动幅度最大,并形成行波。在行波的弯曲传播过程中,定子表面的质点就会形成椭圆振动轨迹。当无数个这样的粒子都以同相位振动时,就会在定子表面形成力矩,力矩方向与行波传播方向相反。该力矩依靠定子、转子间的摩擦力驱动转子运动。转子的运动速度由定子表面质点的振幅和频率决定,振幅大则速度快;另外,加大定子、转子间压力,增加其间的摩擦力,也会增大转子受到的力矩。

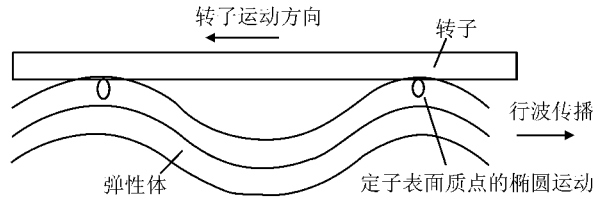


图1 定子表面质点的椭圆运动轨迹

环形行波型超声波电机的结构 图2为环形行波型USM的结构示意图。主要部件为定子和转子。定子由弹性环、压电陶瓷环和粘接在其上的带有凸齿的弹性金属环组成,弹性环由不锈钢、硬铝或铜等金属制成。凸齿的作用是放大定子表面振动的振幅,使转子获得较大的输出能量。压电陶瓷环采用的是施加交变电压后能够产生机械谐振位移的“硬性”压电陶瓷材料,其质量好坏直接影响电机性能。粘接剂多用高温固化的环氧树脂胶。

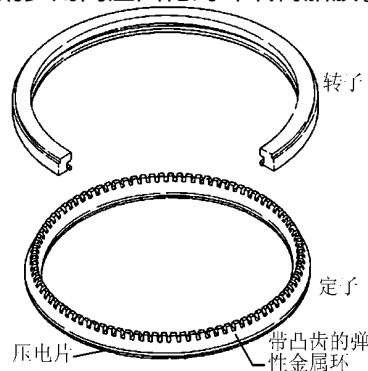


图2 环形行波型USM的结构示意图

转子由转动环和摩擦材料构成。转动环一般用不锈钢、硬铝或塑料等制成。摩擦材料必须牢固地粘接在转子的接触表面,从而增加定子、转子间的摩

擦系数,一般为高聚物,多采用聚酰胺或某些树脂通过胶合芳香族聚酰胺纤维制成的片状合成塑料板。

二、超声波电机的技术特点

不受磁场干扰的影响 从其原理和结构可以看出,USM 没有线圈与磁路,因而在运转时不受外界磁场影响,而且本身也不会产生磁场。在一些无法应用传统电磁电机的特殊场合——强磁场干扰和严格限制磁场等(如核磁共振装置、磁悬浮列车、严格消磁的精密仪器等必须采用电机的部位),USM 都能一展身手。

能够直接驱动负载 现在我们常用的电磁电机,若要使其产生较大的转矩,必须采用减速机构,因转矩与电机的旋转速度成反比;而 USM 的转速一般较低,且能直接产生较大的转矩,无须减速机构,就可直接驱动负载,从而减少了减速机构所占用的体积,也使应用更具灵活性。据报道,浙江大学于 2002 年 7 月初步建立了大力矩 USM 数学模型,其力矩达 13.0N·m,该数值与 1kW/380V 四极三相异步电机的最大输出转矩相当。

断电后具有自锁功能 一般的电磁电机在断电后并不会立即停止,而 USM 在突然断电后会立即停止运转,不会因惯性继续运动。在需要移动定位的场合,USM 的这一特点使其易于实现精确定位,精度可达到纳米级。

除此之外,USM 还具有噪音低、重量轻、体积小、响应速度快、结构简单等一系列优点。然而由于 USM 依靠摩擦力驱动,导致功耗增加,同时摩擦生热也会造成 PZT 老化等一系列问题,从而限制了 USM 的推广应用。现阶段的 USM 寿命一般较短,同时也不适合高速旋转。USM 的磨损一直是研究者关注的焦点,如何减少磨损、怎样由直接接触驱动改为间接驱动等问题,是国内外研究者的努力方向。

三、超声波电机应用范围及我国的现状

USM 有望在各种工业控制装置、机器人、航空航天、家电产品、办公自动化设备、高精密仪器等方面替代现有传统电机所构成的驱动机构和伺服系统。日本有关专家预言:21 世纪将是超声波电机广泛应用的时代。早在 1994 年,美国有关研究报告预计:在不远的将来,超声波电机将取代全部小型传统

电机。据文献报道,日本 1994 年超声波电机的市场规模已达 200 亿日元,2005 年达 1500 亿~2500 亿日元。日本佳能(CANON)公司最早将 USM 用于照相机的透镜驱动,因为 USM 可以做成中空结构,使对焦系统结构简单,而且直接驱动,自锁省去了减速机构,电机断电后会自动停止,照相机对焦快速、准确。扫描隧道显微镜(STM)也通过 USM 调焦,美国航空航天局用于检测宇宙飞船船舱外壁的多功能自动爬行系统中也采用 USM。

USM 的研究已引起我国的高度重视,一直作为基金重点支持项目。我国从 20 世纪 90 年代开始研究超声波电机,但还没有规模应用的产品。东南大学超声波电机研究小组从 1995 年开始研究超声波电机。在探索超声波电机结构原理、运行机理的基础上,进行了大量电机结构优化和性能提高方面的工作,研制成功了环形行波型、柱体摇摆型、三自由度球型和自校正步进型超声波电机等,其中的三自由度球形 USM 可用于机器人的关节部位,也可驱动摄像机进行广角度拍摄。2002 年 3 月在清华大学周铁英教授指导下研发的微型 USM 获得成功,它仅重 36 毫克、长 4 毫米、直径 1 毫米。报道说:“装载超声马达的微型机器人,可以轻松地清除血管、心脏的堵塞,探测肠胃疾病,甚至可能做到把药物放到具体的病灶处”。

(山东省济宁职业技术学院 272037)

材料因加电压而造成体积变化的效应称为逆压电效应。

振动体相当于传统电机中的定子,由压电陶瓷和金属弹性体制成。

移动体相当于传统电机中的转子。

封三照片说明

饮食男女,人之大欲存焉。现代化的飞速发展使生活节奏不断加快,轻松快捷地提高生活质量,已成为人们热切追求的目标。烹饪机器人的诞生给未来生活带来了变革。

这台名叫“爱可”的烹饪机器人能够模拟厨师工作,以炒、爆、煸的烹饪手法烹制美味的中国菜肴。顾客只需将“爱可”专用配菜盒装入其进料口,按指示屏简单操作,几分钟后一道美味的菜肴便完成了。相信在不久的将来,烹饪机器人将会走进您的生活。

(李博文)