

本文简要介绍超声马达的工作原理和特点, 及其发展现状和应用前景。指出为提高超声马达所需要研究和解决的问题。介绍了按定子振动激发方法的分类方法, 例举几种研究较多的超声马达, 并说明其各自的特点。

一、引言

超声马达是一种新型电机, 它由压电效应或磁致伸缩效应在一弹性体中激发起某种类型的波动或振动, 同时又藉界面间摩擦力的作用, 驱使与之接触的另一运动体作单一方向的运动, 即转动或直线移动。在转动情形即是超声旋转马达, 按电磁马达的术语, 弹性体部份可称定子, 运动体部份可称转子。在直线移动情形就是超声直线马达。

1973年 Bath 提出了超声马达的模型, 80年代开始得到了迅速的发展, 现在已有多种规格的商品生产。由于和电磁马达相比有其自己的特点, 例如速度低, 力矩大, 在许多应用中可免去减速装置而可直接驱动, 尤其是它能适应以计算机为代表的现代电子技术体积小、响应快、精度高和无磁场干扰等一些要求, 超声电机被认为在机器人、计算机、机动车和仪器仪表等领域有广泛的应用前景。事实上, 在一些高技术产品中已选用超声马达作为驱动电机, 并取得很好的效果。

然而, 超声马达尚属发展的初始阶段, 其工作过程的精确理论、技术特性的极限估计、控制特性的分析、效率的提高、新振动模式的应用, 以及摩擦材料的开发等尚有许多问题有待研究解决。目前, 日本在超声马达的研究、开发和应用方面居世界领先地位。据报导, 到98年时日本超声马达的市场规模估计将达数千亿日元。

应用声学

二、原理

当定子中存在某种波型的波传播或某种模式的振动时, 它在与转子相邻界面上的质点产生椭圆形位移轨迹的振动。设水平和垂直位移分量分别为 u 和 w 我们考察界面上很小的一个局部 (图1)。超声马达一般工作频率为数十千赫, 振动的位移幅度为数微米, 由此可估计出速度振幅为每秒1米左右, 而加速度则可达到重

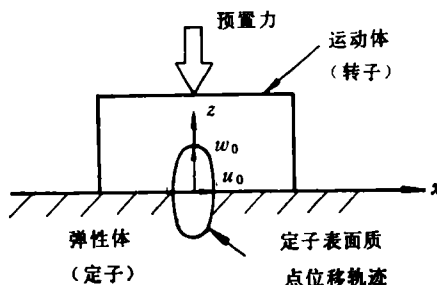


图1 超声马达工作原理

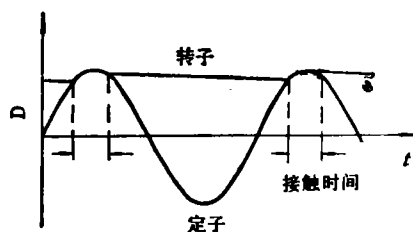


图2 定子界面质点的和转子的法向位移对时间的关系

力加速度的数万倍。故转子虽由予置力 w 紧压在定子上, 但在 Z 方向不可能随定子作同样幅

度的同步振动.在每一振动周期内,仅有一部份时间二者是接触的(图2),于此同时,定子界面质点速度的水平分量亦正好是最大,使与之相对的转子,在界面上受到一次摩擦力的驱动.可以看出,定子表面质点的法向位移 w 将影响界面间的摩擦力,而速度的水平分量将影响转子的速度.实际上,在转子界面上附有一层特殊的摩擦材料,它的性能对整个电机性能的影响是很大的;它的摩擦系数、弹性模量、硬度、耐磨性、加工性、热稳定性和化学稳定性以及使用时产生的噪声大小,都应满足一定的要求.定量研究由振动到单向运动的转换机理、对改善或控制超声马达的性能是极为重要的,但迄今为止,这方面的工作还很少^[1-2].

对超声马达的分析,使用了超声换能器理论、振动和波的理论、等效电路方法和有限元方法等,但仍有很多方面缺乏理论分析.例如在85年曾发表了一种模式转换型超声马达^[3],其中采用了扭转耦合器,它能把纵振动转换为弯曲振动,再转换成扭转振动,最后产生所需要的椭圆形位移轨迹的质点振动,所以是一关键性的部件.尽管这种马达的性能很不错,但几年来未见有更多的报道和新的进展,原因可能是没有解决理论问题,为进一步提高提供依据.顺便指出,我们也从实验发现,其他形式的结构也能提供模式转换的功能.

三、超声旋转马达

超声旋转马达的种类是多种多样的.如按定子表面质点椭圆形轨迹振动的激发方法来区分,则可分为驻波型的、行波型的、模式转换型的、多模式型的、模式旋转型的和混合换能器型的等.现举出二种研究较多的旋转马达如下:

① 图3是定子作弯曲振动的行波型超声马达工作原理图,基于该原理的超声马达,外形上可做成环形的或圆盘形的,能灵活地适应具体的使用要求.它的机电转换效率较低,一般小于5%,但如作结构上的改进,在定子上采用一种梳状机构,增大定子的有效振幅,则效率可

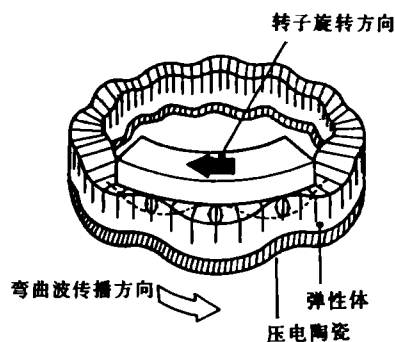


图3 行波型超声马达工作原理图

提高几乎10倍,达到45%左右.改变电源的振幅、频率或相位,就可进行调速或改变转向.由于转子结构简单、转动惯量小,所以瞬态响应时间短,一般为10ms左右,目前最高水平已小于1ms,例如M. Sugihara等^[4]的工作,达到起动响应为0.57ms、制动响应为0.33ms,能用于高分辨率的控制,象光学系统中反光镜、快门等机构的控制.图4a为一环形超声马达的负载特性,该马达外径36mm、内径28mm、高度8mm、重量12g.曲线的形状对超声马达,包括超声直线马达,有普遍性.图4b为其瞬态特性.这类马达已有多种规格的商品生产.

② 另一种研究得较多的超声马达,其定子是用以非轴对称平面振动的压电圆板或环形板.可能有的振动模式很多,一般选用谐振频率较低、椭圆形位移轨迹较大、机电耦合因数高和电极设置较简单的.转子和定子的摩擦接触可以设计成在定子的外圆周上相切或相接;如果定子是环形压电板,则也可在内圆周上相切或相接.选择“接”应该比选择“切”好,在切的情况下,作为定子的压电片圆周上接触处位置固定不变,磨损严重,不利于整个马达的使用寿命.这种马达的力矩和效率均较小,例如一种试制型的马达,其力矩为0.68kgf·cm,效率为10%.它的优点是可以开发成薄型的超声马达^[5-6].

③ 图5表示一种混合换能器型超声马达的工作过程^[7-8].它由扭转振子产生的水平位移 u 和多层压电执行器产生的垂直位移 w 来合成

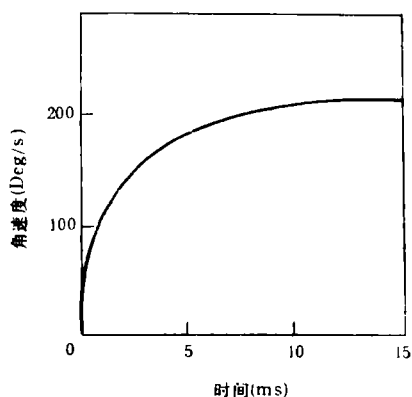
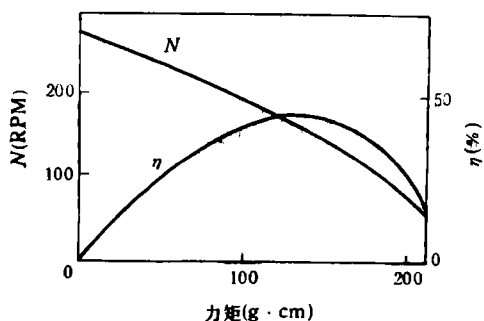


图4 一环形超声马达的
(a) 负载特性, ν 是转速, η 是效率。
(b) 瞬态特性。

定子表面质点的椭圆形位移轨迹。振子和执行器的谐振频率并不要求相同,当利用同一电源激励时,一般是使扭转振子工作于谐振状态。由于 ω 和 ω 是独立产生的,因此亦可以独立地对

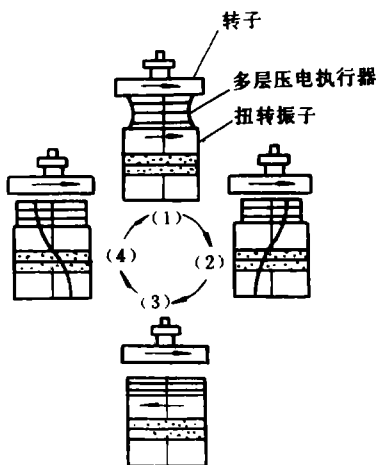


图5 混合换能器型超声马达的工作过程

它们进行控制,这是一个很大的优点,例如可以在小的 ω 时仍保持足够大的 ω ,从而使马达在低速时运转时也有很好的稳定性。如改变振子和执行器电源的相位差,就能控制马达的转速和转向。另外可以看出,这种马达在定子和转子整个界面上每一点由振动到旋转的运动方式的转换都是同相进行的,这与行波型电机不一样,因此对摩擦材料一些性能的要求上会出现有差异,例如对硬度允许的范围也许更宽些。图5所示电机的最大效率为40%,最大力矩为 $3\text{kgf} \cdot \text{cm}$,电机直径为20mm。

四、超声直线马达

直线马达在原理上和旋转马达是一样的。只是结构形式上不同,它同样可以有行波型的、多模式型的、混合换能器型的等等。M. Kurosawa^[9]等研制的行波型超声马达的最高速度为1m/s,瞬态响应时间为10ms。虽然振动系统的效率达86%,但电机的效率很低,仅1.6%。

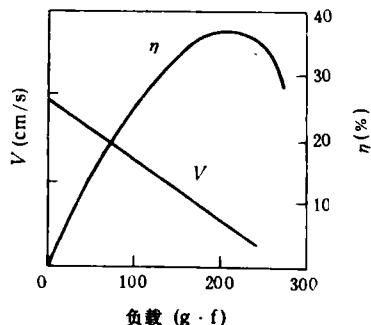


图6 混合换能器型超声直线马达负载特性。

混合换能器型^[10]也同样具有低速时稳定性好的优点,图6为其输出特性。它的效率较高,但由于它未计及与振子有同数量级功耗的执行器功耗,故整个马达的效率约比曲线所表示的低一半左右。

另外,在象传真机、打印机等很多现代自动化办公设备中都需用输送纸张的机构。现用机构体积较大,是小型化进程中的障碍之一。由此出现了由平板振子输送纸张的机构,实际上,

(下转封三)



GGC-401A 型河床断面测绘仪通过验收

由航天部二五所与船舶总公司第七研究院第七二六所共同开发研制的“GGC-401A 型河床断面测绘仪”，于 5 月 16 日—20 日，在七二六所的浙江莫干山对河口水库试验站水域，进行了水上动态验收试验。来自航天部、船舶总公司等有关单位的领导和工程技术人员 30 多人参加验收试验，一致通过验收。

GGC-401A 型河床断面测绘仪由水声回波测深、雷达测距、计算机实时信号处理绘图打字输出等部分组成。它随着水陆两用车的航迹，能实时精确地测量

并显示河床距离与相对河床水深，绘出河床断面图形，是舟桥工程的现代化探测仪器之一。这次验收试验经过近距离 800m、远距离 1600m 数次往返航行，仪器工作稳定，测量数据准确，可靠性高，河床断面清晰，受到使用、参试单位的上级领导和技术人员好评。该仪器的开发试制成功，填补了国内这一领域的空白，在国内外可期望有广阔市场。

(徐开兴)

VMOS 大功率器件超声波清洗机系列产品试制成功

北京市新技术产业试验区的金星超声波应用技术研究所最近完成了 VMOS 大功率管超声波发生器及 VMOS 超声波清洗机。其超声波功率从 150W 至 1000W，频率为 35KC 和 28KC，构成了新型的超声波清洗机系列。VMOS 功率器件与晶体管比具有高开关速度、低开关损耗、低拖尾电流、对温度不敏感、无二次击穿、栅极电压激励所需信号功率小等优点，这使得 VMOS 超声波清洗机发生器可靠性高、效率高、体积小、重量轻。采用大功率 VMOS 器件制做超声波清洗

机有其前途。

金星超声波研究所的技术人员长期从事 VMOS 器件及其应用的研究工作，对 VMOS 器件及其应用技术积累了经验。所研制的 VMOS 系列超声波清洗机，电路设计比较先进，整机性能可靠。电路中设置了扫频跟踪及过流保护电路，从而提高了发生器对负载的适应能力和安全可靠。该系列产品目前已试销。

(金书筍)

(上接第 41 页)

它就是一种超声直线马达。矩形平板振子同时作适当模式的纵振动和弯曲振动，而在其表面上的质点产生椭圆轨迹的振动。纸张代替了超声直线马达的运动体部份，它在振子和压置其上的滚筒之间被输送过去。送纸机构的厚度仅 2.3cm，滚筒压力为 0.4kg 时送纸速度约 53cm/s。滚筒压力为 0.8kg 时最大输出力为 0.27kg。

参 考 文 献

[1] Inaba R. Tokushima A. Kanasaki O. Ise Y. and Yoneno H. *Proc. IEEE 1987 Ultrason. Symp. Proc.*, 747—756.

- [2] Ueha S. *Proc IEEE 1989 Ultrason. Symp. Proc.*, 749—753.
- [3] A. Kumada, *Japanese J. Appl. Phys.*, 24-2(1985) Suppl. 739—741.
- [4] Sugihara M. Kishi T. and Inaba R., *Japanese J. Appl. Phys.*, 29-1(1990) Suppl. 197—199.
- [5] Takano, T., *J. Acoust. Soc. Jpn.(E)*, 11-3(1990), 161—172.
- [6] Takano T., *IEEE Trans., UFFC* 37-6 (1990), 558—565.
- [7] K. Nakamura, *Proc. 13th Int. Congress. Acoust.* (1989), 425—428.
- [8] K Nakamura, *IEEE Trans. UFFC* 38-3 (1991), 188—193.
- [9] Kurosawa, M. *Ultrasonics* 27-1(1989), 39—44.
- [10] Kurosawa, M. *Japanese J. Appl. Phys.* 28-1 (1989), Suppl. 158—160.