

# 永磁无刷电动机技术发展水平及应用前景

李 烨, 严欣平

(重庆大学电机系, 重庆 400044)

**摘 要:** 永磁无刷电动机作为一种新型电动机, 源于其自身的技术优势和卓越性能, 必将伴随着新世纪的脚步, 在相关支撑技术快速发展的推动下, 获得更为广阔的应用和发展空间。

**关键词:** 永磁材料; 无刷电动机; 新世纪; 前景

**中图分类号:** TM 345

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001—6848(2001)01—0031—03

## The Level of Technology of Permanent Brushless DC Motor and It's Useness Prospect

LI Ye, YAN Xin-ping

(Electrical Machinery Department of Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract** As a new style motor, due to its technology superiority and brilliant function, at the same time, with relative sustain technologies quickly developing Permanent magnet brushless DC motor is bound to gain wider space of useness and development in coming new century.

**Key words:** permanent magnet material; brushless DC motor; new century; prospect

## 1 引 言

21 世纪是一个充满无限生机和活力的新世纪, 同时也是各项高新技术蓬勃发展和兴起的世纪, 也定将使现已存在的一些极具潜力的技术获得更为广阔的应用和发展空间, 而作为当今微电机领域颇具潜力和优势的永磁无刷电动机, 在到来的新世纪, 伴随着相关技术的发展, 并源于其自身不可替代的技术优势, 必将占据小电机(含微特电机)的主导地位。本文就此对永磁无刷电动机技术发展现状、趋势及应用前景作一简析。

## 2 永磁无刷电动机简介

无刷电动机诞生于 20 世纪 60 年代后期, 并伴随着永磁材料技术、微电子及电力电子技术、电动机技术等迅速发展起来的一种新型电动机, 同时也是一种典型的机电一体化产品(主要由电动机本体、位置传感器及电子开关线路组成), 因与传统电动机相比, 其转子采用的是由永磁材料制成的永久磁钢, 因此又称作永磁无刷电动机。

永磁无刷电动机可分为方波(注入电动机本体定子绕组为方波形电流)驱动的无刷直流电动机(BLDCM)和正弦波驱动的永磁同步电动机(PMSM)两种类型。与传统有刷直流电动机相比,

BLDCM 用电子换向取代原直流电动机的机械换向, 并将原有刷直流电动机的定转子颠倒(转子采用永久磁钢)从而省去了机械换向器和电刷; 而 PMSM 则是用永磁体取代原绕线式同步电动机转子中的励磁绕组, 定子不作改变, 因而省去了励磁线圈、滑环和电刷。由于 BLDCM(永磁无刷直流电动机)定子电流为方波驱动, 相对于 PMSM 的正弦波驱动, 在相同条件下逆变器获取方波要容易得多, 加之其控制也较 PMSM 简单(但是其低速运行时性能较 PMSM 差——主要是受脉动转矩的影响), 因此, BLDCM 更赢得了人们的广泛关注。

## 3 永磁无刷电动机技术发展现状及趋势展望

电力电子技术自 20 世纪 50 年代后期诞生以来, 发展速度很快, 其主功率器件经历了从最初的晶闸管——GTR——MOSFET——IGBT, 使功率半导体器件的性能得以逐步提高, 同时其相应驱动电路也获得了飞速发展——现可以做到使用一片驱动电路、一个驱动电源就可驱动三相 6 个开关管, 从而大大简化了外围电路尤其是驱动电路的设计; 近几年, 随着微电子技术的快速发展, 智能功率集成电路得以进一步发展和普及, 为逆变器实现智能化、高频化、小型化等创造了条件, 这些都为永磁无刷电动机的驱动线路性能的提高开辟了道路。电力电子技术作为一门极具发展潜力的新兴技术, 相信在到来的

收稿日期: 2000-07-12

21 世纪,必将获得更快更大的发展,从而为永磁无刷电动机技术的高速发展提供不竭动力。

### 3.1 计算机及控制技术

微型计算机(含单片机)自 20 世纪 60 年代后期诞生以来,发展速度十分迅猛,其应用领域几乎成几何级数增长,如今已成功进入国民经济及社会发展的各个领域,而电机控制也不例外。由于永磁无刷电动机其性能的改善和提高,除了与制成电动机本体尤其是转子永磁材料及电子驱动电路有关外,更与其控制器密切相关,而因永磁材料及功率半导体器件性能的提高受着许多客观因素的制约和影响,在一定条件下具有一定的局限性,因此,自 80 年代以来随着微型计算机及控制技术(含控制理论)等的飞速发展,人们更多的是从提高控制器的性能这条途径着手来提高永磁无刷电动机的性能,并取得了一些可喜的成果<sup>[1,2]</sup>;特别是进入 90 年代以后,控制技术尤其是控制理论(策略)发展十分迅猛,而借助于先进的计算机技术(含 FRGA——高密度可编程逻辑器件技术)这一强有力的物质基础,使得人们得以不断尝试着将一些先进的控制策略/方法(滑模控制、变结构控制、模糊控制、专家控制等)引入永磁无刷电动机控制器<sup>[3]</sup>,从而推动着永磁无刷电动机朝着高智能化、柔性化、全数字化方向发展,为其更好地满足新世纪数字化时代发展的需要开辟了道路。

### 3.2 检测技术

永磁无刷电动机本身作为一种典型的机电一体化装置,其自身是一闭环系统,必须通过转子磁极位置信号作为电子开关线路的换向信号。而实现永磁无刷电动机的转子磁极位置检测,早期大都是通过转子上安装位置传感器(如霍尔元件等)来实现对转子位置的实时检测,这种方法又称直接法;但由于永磁无刷电动机体积偏小尤其是小功率伺服驱动系统,往往直接在转子上安装上述位置传感器有些不便,同时加之所安装位置传感器为硬性器件,在使用过程中不免要磨损,因此,不仅难以长期保持所要求检测精度,而且也加大了维护难度。为此,人们一直都在致力于无需像上述那样安装位置传感器,而根据同步电动机(永磁无刷电动机其电动机本体就是同步电动机),通过辨识的方法来实现转子磁极位置的间接测量的研究,即利用定子绕组的感应电动势(电压)间接获得转子磁极位置,因此,又称间接检测法;与直接检测法相比,省去了位置传感器,从而可简化原电动机的本体结构的复杂性,特别适合于小尺寸、小容量永磁无刷电动机。但是早期由于受到微

机技术等发展的限制,难以满足精度和实时性的要求,80 年代以后,随着微机技术的快速发展,使得无转子位置传感器的永磁无刷电动机得以进入实用化阶段<sup>[4]</sup>;另外,随着多功能传感器的问世,在永磁无刷电动机伺服驱动系统中已有用一个传感器同时检测转子磁极位置、速度及伺服位置的实用化应用成果<sup>[5]</sup>,从而大大简化了系统结构。相信,随着检测技术及相关技术的进一步发展,一些更为先进的速度及转子位置辨识方法将会应运而生,从而将推动无传感器永磁无刷电动机走向实用化。

## 4 永磁直流无刷电动机应用前景展望

永磁无刷电动机自诞生之日起因卓越的性能和不可替代的技术优势,就倍受人们的关注,特别是自 70 年代后期以来伴随着永磁材料技术、计算机及控制技术支撑技术的快速发展及微电机制造工艺水平的不断提高,大大促进了永磁无刷电动机技术的发展及性能的不断提高,从而为其在更加广阔的高性能中、小伺服驱动领域获得广泛应用并日趋占据主导地位奠定了坚实的物质和技术基础,如今永磁无刷电动机已广泛地应用于航空、航天、机器人、家用电器、FA(工厂自动化)等领域。今后随着永磁无刷直流电动机技术及相关支撑技术等的不断发展以及人类社会的不断进步,永磁无刷电动机将获得更为广泛的应用,并将呈现出以下趋势(特点):

(1) 电驱动系统的快速发展及对电动机本体的多样化及高性能化、高精度的要求,为永磁无刷电动机这样极具优势的高性能新型电动机提供了一个更为广阔的发展和应用空间。

电驱动系统是指以电能为电源,通过电动机本体、驱动器及传感器与控制器进行能量变换的动力系统,是世界主要动力群(还包括燃油动力系统、液压动力系统及气压动力系统等)之一。近 20 年,随着电力工业的快速发展及相关技术发展的推动,电驱动系统已日渐成为当今世界动力群的主流,受到了人们的亲睐和广泛关注,这样,随着其应用范围的逐步拓宽,其电机本体多样化趋势已日趋明显,永磁无刷电动机、开关磁阻电动机、步进电机等微特电机的综合性能的提高,也就使得微特电机大量进入电驱动系统作为执行元件成为必然趋势,而永磁无刷电动机作为微特电机中的“佼佼者”如虎添翼,必将在高性能工业驱动场合获得广泛的应用。

(2) 交流伺服驱动技术的飞速发展,使得交流伺服驱动系统取代传统直流伺服驱动系统将成为必然

的发展趋势,而作为交流伺服驱动系统的佼佼者——高性能永磁无刷电动机伺服驱动系统,更将成为高性能伺服驱动系统发展的主要方向,从而成为促进永磁无刷电动机在高性能伺服驱动领域应用推广的催化剂。

一个多世纪以来,电动机作为机电能量转换装置,其应用范围已遍及国民经济及社会生活的各个领域,早期主要类型是直流电动机、异步电动机及同步电动机(二者常统称为交流电动机),相应的也就形成了直流电动机伺服驱动系统(又称直流传动系统)和交流伺服驱动系统(又称交流传动系统)。在80年代以前,由于受相关技术发展的限制,同时直流电动机也较交流电动机诞生早,且直流伺服技术较交流伺服技术成熟,因此,直流伺服驱动系统一直占主导地位。但是源于传统直流电动机均采用电刷以机械方法进行换向,将带来不可克服的“机械磨损、电火花、噪声、无线电干扰、寿命短”等致命弱点;同时与交流电动机相比,传统直流电动机存在着制造成本高、体积庞大、维护困难等缺点,因此,使其应用范围受到了一定限制,尤其是在高性能中、小功率伺服驱动场合。为此,人们一直在致力于提高交流伺服驱动性能的研究,实现采用交流电动机取代传统直流电动机,以满足不同应用场合的需要。而自70年代以来,随着电力电子技术、控制技术、计算机技术等快速发展,使得先前交流电动机控制复杂、调速困难等疑难问题得以逐步解决,尤其是80年代以来,随着矢量控制技术的不断成熟,极大的推动了交流伺服驱动技术的发展,使得交流伺服驱动系统的性能可以与直流伺服系统媲美,特别是自永磁无刷电动机技术发展的日趋成熟,在一些高性能伺服驱动场合更有取代直流伺服的趋势。这样便为永磁无刷电动机赢得了又一广阔的应用领域。

(3) 光机电一体化技术及信息技术的迅猛发展,将大大促进微特电机产业的发展和大范围应用,而永磁无刷电动机作为微特电机中最具发展潜力和优势的机电一体化产品必将成为新世纪的朝阳产品。

光机电一体化技术和信息技术作为20世纪末诞生的“高新技术”必将在到来的新世纪里获得更加快速的发展和广泛的应用,尤其是信息技术的发展将更为迅猛,这样,对作为这两大技术(含其产业)的基础元件之一的微特电机必将迎来又一个快速发展的春天,而作为微特电机中的永磁无刷电动机成为新世纪的一大朝阳产品也就理所当然。

(4) 节电、环保意识的不断增强,将成为永磁无

刷电动机获得更为广泛应用的强有力。

随着人类社会不断向前发展,人们对自己的生存环境提出了越来越高的要求——建设绿色家园已日渐成为人们的普遍共识,而每天由汽车(燃油汽车)排放的尾气造成的污染据统计几乎占了空气污染的30%(尤其是在城市);另外,电力工业的可持续发展及人类社会的持续、健康发展的需要,对用电设备的节能性能要求也日趋提高,而电动机每年几乎占据了近70%的用电量,因此,提高电动机的节能性能也就成了人们一直关注和研究的热点,在原有电动机基础上可以通过采取相应的补偿措施来提高电动机的节能效果,由于受一些客观条件的制约,采取这种方式实现电动机节能性能具有一定的局限性,为此寻求一些新型的节能效果较好的电动机也就成了大家的共识。而永磁无刷电动机的诞生,尤其是随着其技术的快速发展和日渐成熟,通过选用高性能的永磁无刷电动机来满足上述两方面的要求已是一种必然趋势。因此,可以预言,在新世纪,永磁无刷电动机将在电动汽车、家用电器及FA(工厂自动化)等领域获得更加广泛的应用。

## 5 结 语

永磁无刷电动机作为一种极具发展前景的新型电动机,可以预言,在到来的21世纪,将持续目前良好的发展势头,并将赢得更为广阔的发展空间和获得更加广泛的应用,并最终成为21世纪小电机行业的领头羊。

## 参考文献:

- [1] 王季轶 无刷电机的现在和将来[J] 微特电机, 1998, (5).
- [2] TM JahnsmWL Soong Pulsating Torque Minimization Techniques for permanent Magnet AC Drives- A Review IEE Trans[J] on Industrial Electronics, 1996, IE- 43(2).
- [3] 袁南儿 计算机新型控制策略及其应用[M] 清华大学出版社, 1999
- [4] 刘昌旭 无位置传感器BLDCM 的自适应闭环调速系统[J] 微电机, 1996, (3).
- [5] 张万峰 BLDCM 伺服系统结构及动态特性分析[J] 微特电机, 1998, (6).

作者简介: 李焯(1973—), 男, 硕士研究生, 研究方向为永磁无刷直流电动机的智能化控制策略研究。