 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i1.4485

A brief analysis of the current situation and development prospects of AC servo system

Yang Liu

China Institute of Network and Communication Technology, Shijiazhuang, Hebei, 050011, China

Abstract

Ac servo system is a kind of AC motor as the control object, can achieve high-precision, high-performance control mechatronics system, usually composed of servo drive, servo motor and feedback device, it is an important part of the motion control system, with the development of modern industrial technology and microelectronics technology progress, Various hardware and control technologies related to AC servo systems have been rapidly developed. With the improvement of AC servo system performance and the reduction of price, it has gradually become the development trend of modern servo drive system. This paper briefly analyzes the general situation, application status and development trend of AC servo system.

关键词

伺服系统；技术特点；应用现状；发展趋势

Keywords

servo system; technical characteristics; application status; development trend

浅析交流伺服系统的现状与发展前景

刘扬

中国电科网络通信研究院，中国 · 河北 石家庄 050011

摘　要

交流伺服系统是一种以交流电动机为控制对象，能够实现高精度、高性能控制的机电一体化系统，通常由伺服驱动器、伺服电机和反馈装置组成的，它是运动控制系统的重要组成部分，随着现代工业技术的发展和微电子技术的进步，与交流伺服系统相关的各种硬件和控制技术获得了快速发展。随着交流伺服系统性能的提升和价格的降低，其逐渐成为现代伺服驱动系统的发展趋势。本文从交流伺服系统的概况、应用现状和发展趋势等方面进行了简要分析。

1 交流伺服系统简介

“伺服”一词来自英文单词 Servo 的音译，是指运动系统按照人们的外部指令要求进行运动。随着科技的发展，伺服系统从一开始的液压模式发展到目前的电气模式。电气伺服系统主要由伺服电机、反馈和控制装置组成。其中伺服电机是运动的主要执行部件，是伺服系统的核心部件，作用是将电能转换为机械能，根据控制器的指令带动负载进行精确的位置、速度或力的控制。近些年，随着微处理器技术、大功率高性能半导体功率器件技术和电机永磁材料制造工艺的发展及其性价比的日益提高，交流伺服技术逐渐成为主导产品。交流伺服电机克服了直流伺服电机存在的电刷、换向器等机械部件所带来的各种缺点，逐步取代了直流电机，交流伺服系统也逐渐变成了市场主流。

【作者简介】刘扬（1981–），女，中国北京人，硕士，高级工程师，从事伺服控制研究。

2 交流伺服系统的发展现状

2.1 交流伺服系统的分类

首先，交流伺服系统按照接收和处理指令信号的方式可分为以下三类：模拟式伺服系统，驱动器采用模拟电路实现控制功能，结构简单、成本较低，但控制精度和灵活性有限；全数字式伺服系统，驱动器以数字信号处理器（DSP）或微控制器（MCU）为核心，采用数字控制算法，可实现高精度、高灵活性的控制，并且易于实现智能化和网络化功能；以及介于两者之间的数字模拟混合式伺服系统。其次，按照伺服系统的伺服电机来分也可以分为两类，一是利用永磁同步伺服电机组成的伺服系统，具有高效、高功率密度、高精度等优点，在工业自动化、机器人、数控机床等领域应用广泛；二是用鼠笼式异步电机构成的伺服系统，结构简单、成本低、可靠性高，适用于对精度要求不是特别高的场合。

2.2 目前交流伺服系统相关产品的概况和性能分析

随着交流伺服系统在国民经济中的应用日趋广泛，目前市场上与交流伺服系统相关的产品种类日益齐全，从交流

伺服电机、变频器、各类伺服控制器到车间和厂级监控工作站等一应俱全。

2.2.1 伺服电机

伺服电机是指在伺服系统中控制机械元件运转的发动机，是一种辅助马达间接变速装置，可控制速度、位置精度非常准确。其工作原理是驱动器控制的 U/V/W 三相电形成电磁场，永磁铁制成的转子在此磁场的作用下转动，同时电机自带的编码器将转子的位置反馈给驱动器，驱动器根据反馈值与目标值进行比较，调整输出的电信号，精确控制电机的转速和位置。目前市场上的伺服电机按照容量可以分为超小型、小型、中型和大型。由于永磁材料制造技术不断提高，以钕铁硼为代表的新型永磁材料被用于永磁伺服电机的制造。同时交流伺服电机也采用了更合理的结构设计和更先进的位置编码器，通信速率、通信周期、数据长度和分辨率等指标都有较大提高。这些新材料、新技术的应用使得伺服电机在体积不断缩小的情况下，性能却得到大幅度的提升。

2.2.2 伺服控制器

伺服控制器是伺服系统的核心部件，它由控制器主板、信号接收模块、驱动模块、保护模块和通讯模块组成，具有高精度控制、高速度响应、高可靠性、可编程性和多种控制方式的特点。传统的模拟控制存在系统调试困难、易产生漂移、不易复杂计算，无法实现现代控制算法等缺点，随着伺服系统的发展，传统的模拟控制逐步成为采用全数字化结构，伺服控制系统以现代矢量控制思想实现了电流向量的幅值控制和相位控制的现代伺服系统取代。其先进的技术和工艺主要有以下几方面：

①在控制算法方面，比例、积分、微分控制是最常用的控制算法之一，通过调整比例系数、积分时间和微分时间、使系统能够快速、准确地跟踪目标位置或速度，同时具有较好的稳定性和抗干扰能力；自适应控制能够根据系统的运行状态自动调整控制参数，以适应不同的工作条件和负载变化，提高系统的鲁棒性和适应性；智能控制如模糊控制、神经网络控制等，这些算法可以处理复杂的非线性系统，具有更好的控制性能和自学能力。现代伺服系统一般采用将控制算法固化在专用硬件环路中的方式利用硬件来进行电流环控制，减少了主 CPU 的运算量。并采用高速的 d-q 轴变换电流单元提高了转矩控制精度，保证了系统在稳态及瞬态运行时都具有良好性能。

②电机控制技术方面，矢量控制通过对电机的磁场和转矩进行解耦控制，实现对电机的高精度控制，使电机在不同的负载和速度下都能保持良好的性能；直接转矩控制则是利用直接控制电机的转矩和磁链，不需要复杂的坐标变换的特点，具有响应速度快、控制精度高的优点。

③通信技术方面，工业以太网具有高速、可靠、实时性强等优点，能够实现伺服控制器与上位机、其他设备之间的快速数据传输和通信；现场总线，如 Profibus、Modbus、CANopen 等，是一种低成本、高可靠性的通信方式，目前广泛应用于工业自动化领域。

④传感器技术方面，位置传感器常用的有编码器、旋转变压器等，能够精确测量电机的位置和转速，为伺服控制器提供反馈信号，实现闭环控制；电流传感器，用于测量电机的电流，实时监测电机的工作状态，实现过流保护和电流环控制。

⑤电路设计与制造工艺方面，印刷电路板（PCB）设计上，需要考虑电磁兼容性（EMC）、信号完整性、散热等问题，合理布局电路元件，优化布线，以确保伺服控制器的性能和可靠性；先进的焊接工艺，如表面贴装技术（SMT）、波峰焊、回流焊等，确保焊接质量，提高电路的稳定性和可靠性。

⑥电磁兼容性设计工艺方面，通过屏蔽技术，对伺服控制器的外壳、内部电路等进行屏蔽处理，防止外部电磁干扰进入控制器内部，同时也减少控制器内部电磁辐射对外部设备的影响；同时随着滤波技术的进步，在电源输入和信号输入输出端安装滤波器，滤除电源中的高频噪声和干扰信号，提高系统的抗干扰能力。

⑦在机械结构设计与制造工艺方面，结构设计需要考虑伺服控制器的散热、安装、防护等问题，设计合理的外形尺寸和结构布局，确保控制器在不同的工作环境下都能正常运行；制造工艺上更多地采用高精度的加工设备和工艺，确保机械结构的精度和质量，提高伺服控制器的稳定性和可靠性。

⑧最后在软件编程与调试工艺上，软件编程采用高效、稳定的编程语言和编程方法，编写伺服控制器的控制程序和通信程序，确保程序的可读性、可维护性和可扩展性；调试工艺通过先进的调试工具和方法，对伺服控制器进行硬件调试和软件调试，确保控制器的各项功能和性能指标达到设计要求。

2.2.3 上位控制群的广泛应用

随着科技的发展和生产工艺的提高，工业生产对于机械化设备的高速度、高精度和小型化的要求越来越高，因此上位机控制群的应用越来越广泛。这种控制系统具有可从上层直连到底层的通用输入、输出控制单元以及视觉传感系统，编程语言可按照用户要求进行选择和配置。上位控制群在自动化控制系统中起着承上启下的作用，它不仅要与现场设备进行实时通信和数据采集，还要为操作人员提供良好的监控和操作平台。目前，该系统在工业自动化、能源管理、智能交通、智能家居等多个领域有着广泛的应用。

2.3 我国交流伺服系统的主要差距

交流伺服系统的性能指标主要包括调速范围、定位精度、稳速精度、动态响应和运行稳定性等五方面。我国现阶段的伺服系统与国外先进水平还有一定的差距。首先，国外高性能伺服电机的响应频率已经高达 900Hz，而国产的绝大

部分产品的频率都在 200 ~ 500Hz，差距是非常明显的。其次，国产产品在系统运行的稳定性方面和世界先进水平也存在较大差距。最后，由于国外对伺服控制技术的封锁，使得以软形式进行伺服控制的伺服系统的核心技术与世界先进水平存在较大的差距，严重制约了我国高性能伺服系统的发展，因此研发最先进的永磁同步电机伺服控制技术已经成为这一领域当前最为迫切的任务之一。

3 交流伺服系统的发展前景分析

3.1 交流伺服系统的应用前景

现代交流伺服系统首先被应用到的是具有高精度控制要求的宇航和军事领域，例如火箭发动机、导弹发射车和雷达控制等方面。随着技术的不断进步，和生产精度和自动化要求的不断提高这一技术逐渐进入到工业和民用领域，并得到迅速发展和广泛应用。在工业方面主要用于高精度数控机床、智能机器人以及其他的数控机械。在数控机床中的部分高端产品已经开始采用永磁交流直线伺服系统。由于科技和经济的不断发展，工业生产中对于工业机械的高精度要求以及工业机械向自动化、数字化和智能化不断发展，同时，由于机电一体化技术的不断成熟，自动驾驶技术和智能化楼宇的出现标志着这一技术已经逐步走进我们的日常生活。因此，交流伺服系统在未来必将得到越来越广泛的应用。

3.2 交流伺服系统的发展方向分析

3.2.1 数字化

随着数字技术和微处理技术的不断进步，以模拟电子器件为主的伺服控制单元将会被采用全数字处理器的伺服控制单元全面取代，从而实现伺服系统全数字化。在伺服控制方面将逐步转变为软件控制，以便在伺服系统中应用现代先进的控制方法。

3.2.2 高性能化

随着工业生产和科学研究对精度要求的不断提高，交流伺服系统需要进一步提高位置、速度和力矩的控制精度。这将促使研发更先进的控制算法和传感技术，以实现亚微米甚至纳米级的定位精度；同时，在高速加工、机器人快速运动等应用场景中，要求交流伺服系统具备更快的动态响应能力，能够在短时间内实现速度和位置的快速变化，并且保持稳定和精确。

3.2.3 高集成化

下一代伺服系统将采用高集成化的多功能控制单元。将电机、驱动器、传感器和控制器等集成在一起，形成一体化的伺服模块，减少系统的复杂性和布线难度，提高系统的可靠性和稳定性。同时，模块中对于每一个控制单元，均可以通过软件对系统参数进行重新设置，以改变伺服系统的性能以适应不同用户的需求，既可以使用内置的传感器构成半闭环调节系统，又可以通过接口连接外部传感器构成全闭环调节系统。

3.2.4 智能化

智能化是目前自动控制的一个发展方向，因此伺服驱动系统智能化是一种必然趋势。最新伺服控制单元的智能化特点主要有：①参数记忆功能。所有参数都可以保存在伺服单元内部，甚至可以在运行过程中由上位计算机实时加以修正；②故障自查与分析功能。当系统出现故障时，其类型和可能的原因可以清楚地显示出来，以便于维修和调试；③参数自整定的功能。新一代的伺服单元能够通过试运行自动进行系统的参数整定和优化。系统将结合人工智能、机器学习等技术，使交流伺服系统能够自动学习和适应不同的工作环境和任务要求，实现智能化的故障诊断、参数自整定和控制策略优化。

3.2.5 模块化和网络化

为适应工厂自动化的迅猛发展，最新的伺服系统都配置了标准的串行通信及局域网接口，支持多种工业网络协议，如 EtherCAT、Profinet、ModbusTCP 等，实现与其他设备和系统的无缝连接和协调工作，以便增强伺服单元与其他控制设备的互联能力，可实现远程监视、远程参数设置和远程诊断等功能，方便设备的管理和维护；也可使数台以至数十台伺服单元与上位控制计算机连接形成一个完整庞大的数控系统，有效提升了工厂自动化的水平。

4 结语

随着科技的发展，运动控制领域的自动化水平不断提高。在此背景下，作为运动控制核心的交流伺服系统的发展日新月异。伺服控制由传统的模拟控制向数字化、智能化和网络化不断迈进。本文对交流伺服系统的构成、应用现状以及未来的发展趋势进行了简要的讨论，限于篇幅，分析不够深入，以供大家参考。

参考文献

[1] 李旭. 智能伺服系统的研究[J]. 天津成人高等学校联合学报. 2004(05)

[2] 陈吉红,朱志红,熊清平. 发展我国伺服驱动产业的探讨[J]. 伺服控制. 2007(02)

[3] 卢礼华,梁迎春,于福利,苏宝库. 机电伺服系统机构和控制集成设计方法研究现状[J]. 航空精密制造技术. 2008(06)

[4] 郑泽东,李永东. 永磁同步电机伺服控制系统的研究现状及发展[J]. 伺服控制. 2008(12)

[5] 舒志兵,董科,章杰,卢宗春,汤世松. 伺服运动控制系统及其数控加工应用[J]. 自动化博览. 2010(11)