

基于单片机的交流伺服电机运动控制系统探究

王强

长兴精石科技有限公司杭州分公司 浙江杭州 310012

【摘要】 伺服系统的应用历史悠久，最初主要用于国防工业领域，如舰船和飞机的自动驾驶、炮弹控制以及导弹发射等，这些应用对精度和响应速度有着极高的要求，因此，伺服系统在这些领域的成功应用奠定了其在自动控制技术中的重要地位。随着科技的不断进步，伺服系统的功能和应用范围逐渐扩大，逐步渗透到更为广泛的行业中。本文重点阐述了伺服系统的硬件以及软件设计，并提出了伺服系统的控制策略。

【关键词】 单片机；伺服系统；运动控制系统

Study on AC servo motor motion control system based on microcontroller

Wang Qiang

Hangzhou Branch of Changxing Jingshi Technology Co., LTD. Zhejiang Hangzhou 310012

【Abstract】 The application of servo systems has a long history, initially focusing on the defense industry, such as autopilot systems for ships and aircraft, bomb control, and missile launches. These applications have extremely high requirements for precision and response speed, which is why the successful use of servo systems in these fields has established their significant position in automatic control technology. With continuous technological advancements, the functions and application scope of servo systems have gradually expanded, penetrating into a wider range of industries. This paper focuses on the hardware and software design of servo systems and proposes control strategies for servo systems.

【Key words】 microcontroller; servo system; motion control system

随着制造业对产品的产出和精度要求不断提高,伺服系统的需求也日益增加,这不仅体现在传统的工业自动化领域,还包括了现代机器人技术、医疗设备、纺织机械、包装设备等多个行业。伺服系统的灵活性和高精度使其成为各种自动化设备中不可或缺的组成部分。与此同时,电子信息等高科技技术的成熟为伺服系统的发展提供了更广阔的方向,现代伺服系统不仅仅依赖于传统的机械和电气技术,还融合了先进的传感器技术、数据处理算法和智能控制策略,这种跨学科的结合使得伺服系统的性能得到了显著提升。

一、伺服系统概述

伺服系统,也被称为随动系统,其主要特征是以机械位置或角度作为控制对象,它的核心功能在于能够使目标的状态、方位等输出被控量,能够紧密跟随给定值的任意变换,这种系统通常通过接收控制命令,灵活地调整驱动输出,以满足特定的控制要求,从而实现精确的运动控制。随着对运动控制技术的深入研究,出现了多种不同类型的伺服系统,包括直流伺服电机、步进电机和伺服驱动系统等,这些系统各具特性,能够满足不同应用场景的需求。比如,步进电机在开环控制中表现优异,而伺服电机则在闭环控制中展现出更高的精度和效率。

二、系统硬件设计

在现代自动化控制领域,伺服电机的实际应用极为广

泛,通过键盘输入速度值,并利用单片机将输入速度值转化为脉冲信号,进而发送给电机驱动器。这一过程可以精确控制伺服电机的动作,同时,系统还通过光电编码器反馈电机的实际转动情况,从而实现对伺服电机驱动的螺杆运行速度的检测和控制。控制系统组成如下图 1 所示。

本控制系统主要采用 MCS51 系列单片机 AT89C51 作为核心处理器。AT89C51 单片机的时钟频率可达 12 MHz,具备快速的运算能力和丰富的控制功能。其内部集成了 128 字节的 RAM 和 4 kB 的 EPROM,这使得系统在不需外部存储器的情况下,能够保持结构的简洁和高效。在该系统中,用户通过键盘输入所需的速度值,单片机接收到输入后,经过处理将其转化为相应的脉冲信号。这些脉冲信号被发送到电机驱动器,驱动器根据这些信号控制伺服电机的动作。同时,系统还通过光电编码器反馈电机的实际转动情况,从而实现对伺服电机驱动的螺杆运行速度的检测和控制。

其次,在电机的选择上,系统采用了松下 MSMA082A1G 型交流伺服电机,并内置高分辨率的增量式旋转编码器,分辨率高达 10,000。这种高分辨率编码器可以提供精确的反馈信息,确保电机在运行过程中的高效控制。伺服电机的选择不仅影响系统的性能,还直接关系到控制精度和响应速度。松下的伺服电机以其优良的性能和可靠性,广泛应用于各种自动化设备中。同时,驱动器在伺服电机控制系统中起着至关重要的作用。系统选用的松下 MINAS A 系列伺服驱动器 MSDA083A1A。伺服驱动器的连接器 CN I/F 用于接收外部控制信号,而连接器 CN SIG 则用于连接伺服电机的编码器,确保信号传输的准确性和稳定性驱动器的主要功能包

括接收控制信号、处理反馈信息、输出控制电流等。通过精确的控制算法，驱动器能够实现对电机的精确控制，确保其按照预设的指令运行。

伺服电机是一种高性能的电动机，其控制方式主要有三种：位置控制、速度控制和转矩控制。这三种控制模式各自针对不同的应用需求，能够高效地实现对伺服电机的精确控制，使其在自动化和工业应用中发挥重要作用。首先，在位置控制模式下，伺服驱动器通过接收来自单片机发出的脉冲和方向信号来进行控制。这些信号被转换为特定的脉冲系列形式，以便后续处理。首先，这些脉冲信号经过电子齿轮分频处理，以提高系统的响应速度和精度。然后，偏差可逆计数器将处理后的信号与来自光电编码器的反馈脉冲信号进行比较，形成一个位置偏差信号。其次，光电编码器是伺服系统中的关键组件，通过电机转动反馈其脉冲数。并通过 4 倍频处理，生成更高频率的反馈信号，使得控制系统能够对电机的位置进行精确的实时监测和调整。随后，将指令信号与反馈信号相比得到速度偏差信号，该信号对于控制系统至关重要，因为它直接影响电机的动态响应和稳定性。经过速度环的比例积分控制器调节后，输出相应的电流指令信号。电流指令信号是伺服电机控制的核心，它决定了电机的驱动电流，从而影响电机的运行状态。在电流环内，这些电流指令信号会经过矢量变换，实现对电机转矩电流的精确控制。矢量控制技术使得伺服电机能够在不同的工作状态下，实现更为灵活的控制。最终，通过 SPWM 技术，电流指令信号被转换为控制信号，输出给伺服电机。这一过程确保了电机能够按照预设的指令准确运行，满足不同工作条件下的需求。

在位置控制过程中，光电编码器的选择对控制精度至关重要。编码器主要分为增量式光电编码器和绝对式光电编码器两种类型。首先，对于增量式光电编码器来说：这种编码器结构简单，操作易懂，具有较长的使用寿命和高分辨率，因此在实际应用中较为普遍。它通过检测旋转的增量变化来输出脉冲信号，适合于需要高速度和高精度的控制场合。其次，对于绝对式光电编码器来说，相较于增量式编码器，绝对式编码器按照二进制编码输出，信号线较多，且精度依赖于位数，设计上较为复杂。然而，绝对编码器的优势在于它能够在电机静止时输出绝对角度信息，适用于全闭环高级数控机床等对精度要求极高的场合。

控制系统组成如图 1 所示。

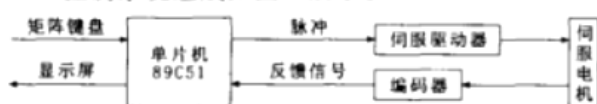


图 1 控制系统

三、系统软件设计

单片机的核心功能驱动电机的精确转动。本系统所采用的 89C51 单片机通过采用定时器中断来生成周期性脉冲序

列，以有效地释放 CPU 资源，避免软件延迟导致的效率降低。定时器的使用在该系统中至关重要。89C51 单片机有两个定时器模块，分别是定时器 0 和定时器 1。为了产生精确的脉冲频率，我们通常使用定时器 0，其设置为 16 位定时器模式。定时器的初值需要根据系统时钟频率和所需的脉冲周期进行计算。在中断服务程序中，定时器的初值被重新加载，以保持稳定的脉冲输出。每当定时器中断发生时，P3.1 端口的状态会被反转，从而产生一个脉冲。这种设计使得 CPU 在非中断时间段可以处理其他任务，确保系统的高效性。

与此同时，用户的输入也至关重要。为了实现对电机的控制，系统集成了键盘中断服务程序。当用户按下控制键时，外部中断将被触发，系统能够根据按键的输入改变电机的转动方向或速度。这种交互方式使得用户能够灵活地控制电机的工作状态，增强了系统的可操作性。此外，液晶显示模块为用户提供了实时的电机状态反馈。通过液晶显示，用户可以直观地了解电机的当前状态、转动速度等重要信息。液晶显示的初始化以及状态更新由专门的子程序负责，这些程序确保液晶屏能够及时反映电机的运行情况。用户在操作过程中，液晶屏将显示相应的提示信息，从而提高了用户体验。在整个系统中，时间常数的计算是设计的关键。确定适当的时间常数不仅影响到脉冲的产生频率，也直接关系到电机的响应速度和控制精度。因此，在设计阶段，需要对时间常数进行详细的分析和优化，以确保系统能够在不同的工作条件下稳定运行。

其中由于定时 / 计数器以加 1 方式计数，假定计数值为 X ，时间常数的具体计算如下，装入定时 / 计数器的初值为：

$$\alpha = 2^n - X$$

其中， n 取决于定时 / 计数器的工作方式，

记每个机器周期为 T_1 ，则定时时间为：

$$T = X \cdot T_1$$

因此，应装入的时间常数为：

$$\alpha = 2^n - X = 2^n - \frac{T}{T_1}$$

四、伺服系统的控制策略

伺服驱动系统在高速加工中的应用要求其具备高加减速速度、快速响应和强抗干扰能力。成功的控制策略不仅要满足这些基本要求，还需针对具体的动态特性进行优化，以实现理想的控制效果。

（一）传统的控制策略

在现代自动控制领域，PID 控制算法被广泛应用，成为许多控制系统的基础。这一算法的核心在于它能够有效地整合过去、现在和未来的信息，从而在动态控制过程中提供持续的反馈和调整。此外，PID 控制算法的配置通常被认为是几乎最优的，这意味着在许多实际应用中，它能够实现良好的控制效果，满足对系统性能的高要求。其较强的鲁棒性使得 PID 控制器能够适应各种干扰和系统参数变化，确保其在

不确定环境中的稳定运行。特别是在交流伺服电机驱动系统中，PID 控制具有不可替代的地位。该系统要求快速响应和高精度控制，而 PID 控制算法正好满足了这些需求。此外，随着技术的不断进步，PID 控制算法也与许多新型控制思想相结合，形成了许多有价值的控制策略。这些发展不仅丰富了控制理论的内涵，也为实际工程应用提供了更多的解决方案，推动了各行业的进步和发展。

其次，通过 Smith 预估计器与控制器的并联配置，能够补偿控制对象的时间滞后，在伺服系统中，逆变器的电力传输延迟和速度测量的滞后会显著影响系统的性能。通过引入 Smith 预估计器，设计者可以在控制器设计阶段忽略这些滞后因素，从而简化控制器的设计过程。此外，Smith 预估计器与其他控制算法的结合，能够形成更为有效的控制策略。例如，将其与 PID 控制算法结合，可以充分发挥 PID 控制的优势，同时利用 Smith 预估计器的预测能力，进一步提升系统的控制性能。这种组合不仅能够应对复杂的动态环境，还能在面对不确定性和外部干扰时，保持系统的稳定性和可靠性。总之，Smith 预估计器的引入为控制系统的设计提供了新的思路，使得工程师能够更灵活地应对时间滞后带来的挑战，推动了伺服系统及其他自动控制领域的发展。通过这种创新的控制策略，系统的整体性能得到了显著提升，为实现更高效的自动化控制奠定了基础。

（二）现代控制策略

随着工业自动化的不断发展，尤其是在高精度微进给等高性能应用场合，传统控制策略的局限性逐渐显露。在高精度微进给系统中，控制对象的结构与参数变化是一个不容忽视的因素。由于设备的磨损、温度变化或材料特性变化等原因，系统的动态特性可能会随时间发生显著变化。此外，许多控制对象表现出不同程度的非线性特性，这些非线性因素可能导致传统控制策略的失效。因此，为了实现更好的控制效果，现代控制策略的研究与应用显得尤为重要。首先，自适应控制通过实时调整控制参数以应对系统特性的变化，能够有效应对不确定性和时变因素。它特别适用于那些工作条件经常变化的系统，确保在变化的环境中也能保持良好的控制性能。

变结构控制则关注于在系统状态变化时调整控制结构，以保持系统的稳定性和性能。这一策略对于非线性系统尤为有效，能够通过切换不同的控制律来适应不同的工作状态。

参考文献

[1]高聪.基于 STM32 单片机+X7043 的四轴伺服控制器设计[J].物联网技术, 2023 (6) .

[2]熊孝新, 姜铮铮.基于单片机的交流伺服电机运动控制系统研究[J].数码设计, 2019 (20) .

[3]孙娟.基于单片机实现机器人运动控制系统[J].杨凌职业技术学院学报, 2012 (2) .

作者简介: 王强 (1988.01.30) 男, 汉族, 杭州西湖区, 本科学历, 现任长兴精石科技有限公司杭州分公司技术总监, 研究方向: 信息技术。

鲁棒控制则强调在面对外部干扰和模型不确定性时,依然能够保持系统的稳定性和性能。这种控制策略通过设计控制器,使其对模型的不确定性具有较强的抵御能力,从而在各种情况下都能实现预期的控制效果。

（三）智能控制策略

对于复杂的系统,可以采用智能控制方法。首先,模糊逻辑控制是一种基于模糊集理论和模糊逻辑推理的智能控制方法。它通过将人类专家的经验 and 知识转化为模糊规则,能够在不确定性较高的环境中进行有效的决策。其次,神经网络作为一种强大的信息处理工具,理论上具有极强的综合能力。神经网络通过模拟人脑的神经元连接,能够学习和适应环境的变化,从而实现自我优化。然而,目前在神经网络的实际应用中,缺乏相应的计算机硬件支持,尤其是专用的神经网络集成电路芯片尚未成熟。这使得神经网络在伺服系统中的应用仍需进一步探索和发展。

专家控制则是一种基于专家知识的控制方法,通常用于复杂的过程控制中,尽管在伺服系统中的研究相对较少,但其潜力不容忽视。专家控制通过将领域专家的经验 and 知识系统化,形成一套完整的控制规则,能够在复杂环境中提供有效的控制策略。随着智能化技术的发展,专家控制有望在伺服系统中找到更多的应用场景,尤其是在需要高精度和高可靠性的任务中。在未来,随着智能控制技术的不断发展和完善,预计将会出现更多创新的控制方法和应用场景。这将推动伺服系统向更高的智能化水平迈进,使其在更多领域发挥更大的作用。智能控制的广泛应用将为各行各业带来更高的效率和更低的能耗,推动整个社会向智能化、自动化的方向发展。

总结

综上所述,伺服系统将继续向智能化和高效化的方向发展,伴随人工智能和物联网技术的普及,伺服系统的应用前景将更加广阔。无论是在智能制造、自动化生产线,还是在家居自动化、智能交通等领域,伺服系统都将发挥更为重要的作用。随着技术的不断创新,伺服系统将不断满足日益增长的市场需求,为各行各业的自动化进程提供强有力的支持。