文章编号:1005—7277(2002)06—0011—04

一种宽范围高精度直流力矩电机速度控制系统的实现

薛霜硕, 汪达兴

(中国科学院国家天文台 南京天文光学技术研究所, 江苏 南京 210042)

摘要: 结合所做的天文望远镜控制系统项目, 介绍一种宽范围、高精度直流力矩电机速度控制系统的实现方案。对实现高精度速度控制所采用的关键技术锁频锁相控制方法, 计算机的实时数据采集、显示和硬中断等进行了介绍。实际中该系统采用直流力矩电机直接驱动的控制方法, 达到了很高的速度控制精度和较宽的调速范围。

关键词: 速度控制; 直流力矩电机; 鉴频鉴相; 宽范围; 高精度

中图分类号: TM359.6　　**文献标识码**: B

Realization of control system for a wide-range and high-precision velocity DC torque motor

XUE Shuang-shuo, WANG da-Xing

(*Nanjing Astronomical Optics Technology, Nanjing* 210042, *China*)

Abstract: A scheme of control system for a wide-range and high-precision velocity DC torque motor is introduced. Combining the project of telescope control system, the key technologies such as locking frequency, phase circuit, real-time data collecting, display and hardware interrupt are also presented. Practically, the control method applying direct-drive option for DC torque motor can achieve wide-range and high-precision velocity control.

Key words: speed adjusting; DC torque motor; frequency and phase discrimination; wide-range; high-precision

1 引言

天文望远镜一般可分为地平式和赤道式, 地平式结构简单, 由铅垂方向方位轴和水平方向水平轴 (也叫高度轴) 组成。若跟踪天体周日运动 (天体的方位与高度都随时在变化), 必须同时二根轴旋转, 且二根轴的旋转速度也分别需要不断地变化。赤道式由与地球自转轴平行的赤经轴 (或称极轴) 和赤纬轴组成。赤经轴是跟踪轴, 望远镜在跟踪天体周日运动时, 回绕其转动, 此跟踪轴的转速是 24 小时一转。而对于恒星等天体观测, 往往只要赤经轴跟踪即可 (赤纬仅在找星时旋转), 赤道式结构控制方便, 因而采用较为普遍。随着计算机技术的发展, 地平式装置日益被天文工作者所接受。

高精度和宽调速范围的直流力矩电机直接驱动速度控制系统在国内天文望远镜的研制中尚未应用。本文介绍的控制系统主要解决了在宽范围内实现高精度的调速, 可以用较简单的方法实现对天文望远镜的控制。虽采用较经典的鉴频鉴相控制原理, 但在控制方法上有其独到之处。此系统的研制源自于所接天文望远镜项目, 该项目的主要难点在于对控制速度精度要求极高, 且在较宽的范围内连续可调。实质上是一个要求响应迅速、调速范围宽和精度极高的速度控制系统。采用锁频锁相、计算机控制技术和独特的控制方法, 最后达到 30 分钟 1 个角秒的跟踪误差, 上万档次的调速范围, 满足了使用要求。

2 控制系统

控制系统的总结构如图 1 所示。由计算机控制部分、单片机系统、直流力矩电机驱动控制部分和被控对象等。手、自动两种控制方式, 两部分相对独立, 工作时主要以计算机控制为主 (自动方式), 完成良好的人机交互界面、数据的计算和数字量的输入输出、实时显示、外部中断和错误报警等功能。采用 Windows98 下的 DOS 操作方式, 用 C 语言

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

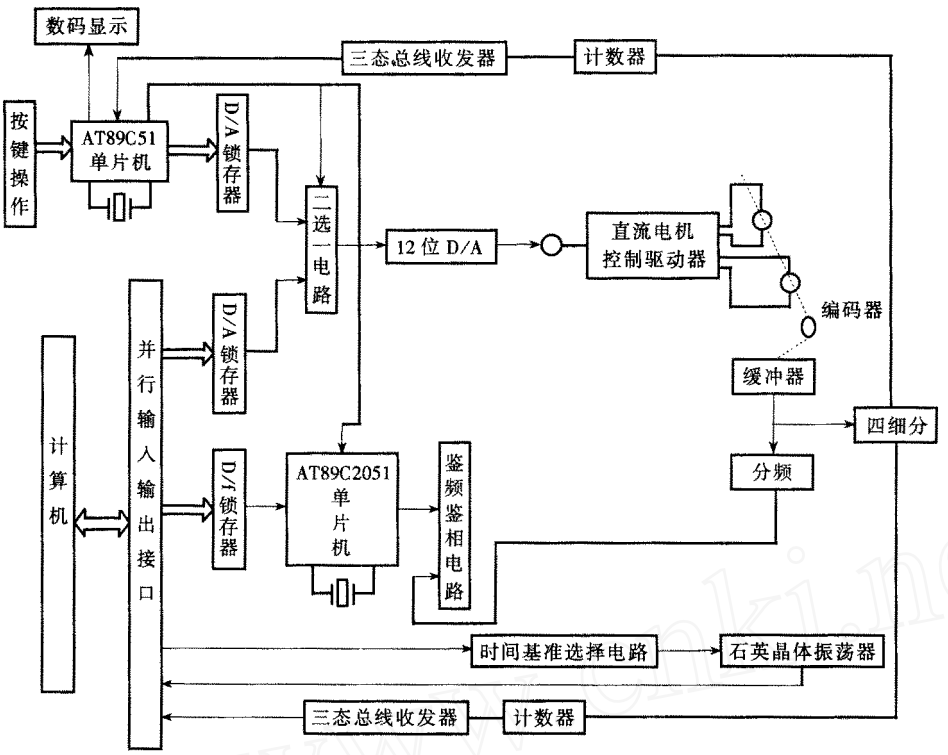

图1 控制系统总结构框图

编译控制软件,当然也可开机直接进入指令操作模式、运行程序,这样实时性和稳定性较好。手动控制的核心是两个单片机系统,由AT89C51和AT89C2051组成,完成与计算机通信、按键操作、数码显示和锁频锁相环的频率给定等功能。选用永磁直流力矩电机,高分辨率编码器作为速度反馈检测。

选用的直流伺服控制器,具有较完善的保护功能,包括对输出电流的短路、过压、欠压和过热的保护;自动复零和封锁功能;完善的模拟信号和反馈信号输入,并具有一个附加的模拟输入端,适合于用作鉴频鉴相的输入端。

电机直接驱动望远镜轴的控制方式,系统的负载具有较大的惯性。下面主要从两个部分来介绍此控制系统,计算机控制软件和锁相环闭环控制。

3 计算机控制软件

3.1 计算机控制流程图及主要控制数据

根据控制系统对计算机的要求,选用实时操作系统费用比较高且必要性不大,普通的操作系统已能满足控制的要求,选用Windows 98操作系统下的DOS方式。一方面,是由于该操作系统性能相对较稳定,实时性较强;另一方面,在DOS方式下硬中断控制实现比较方便等,当然也可以采用VC++编制控制程序。控制接口用ISA插槽,32位数字量输入输出接口加外部中断入口。在DOS方式下,用C语言编程,虽实时性较强,但编制用户界面的工作量要占整个控制软件的1/3还要多,这也增加了控制软件编制的难度。在图形模式下编制界面的汉字显示,文本模式下编制数据输入输出和显示等部分,计算机控制软件主程序的简化流程图如图2所示。

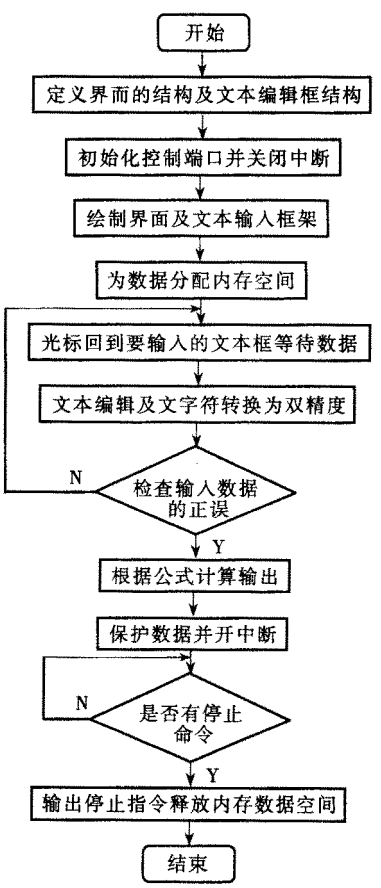

图2 计算机控制软件流程图

3.2 计算机给定量及采取的误差检测方法

3.2.1 计算机给定量

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

计算机主要完成计算送出以下 2 个给定量:

(1) 12 位 D/ A 变换数字量给定

$$D = 800 \pm \frac{v_{norm}}{V_{max}} \times 7FFH \qquad (满量程为 \pm 5\ V)$$

式中: D 为要输出的给定数字量; V_{max} 为最大的转速要求; v_{norm} 为控制对象的速度要求。

(2) 16 位频率发生器的输入量

$$D_f = 2^{16} - \frac{2\pi}{v_{norm} \times K_0 \times K_1} + N'$$

式中: D_f 为频率给定输出值; v_{norm} 为控制对象的速度要求; K_0 为旋转编码器的刻线值; N' 为 AT89C2051 中断耗时; K_1 为 89C2051 每一字节的耗时值 0.47994×10^{-6} 秒。

3.2.2 计算机检测误差的方法

由于本系统的速度精度要求很高,需用不同的时间间隔 1 秒和 10 秒来检测速度精度及稳定程度。由恒温晶体振荡器给出的时间基准脉冲,保证了单片机定时器的精度,分别以这些时间为周期向计算机发出外部中断信号。计算机软件的中断服务程序主要任务是在上述的时间间隔读入编码器计数器的反馈数字量,作为速度检测显示。采用 16 位的可逆计数器能满足反馈检测的要求,如果不是一次就能把这 16 位一起读入计算机, 那么在计算机软件上必须加上防止读错的措施。比如每一次读 8 位, 分两次读入, 则计数器就有可能在读第二组数据时发生翻转,这时读的就是不正确的数据。

计算机检测误差的方法,当锁频锁相闭环频率锁定后, 这时只存在相位上的误差如图 3 所示。取误差脉冲平均值 $\overline{N} = \frac{N_1 + N_2 + \cdots + N_m}{m}$, 式中: N_1、N_2、$\cdots N_m$ 为 m 次的误差脉冲的测定。取

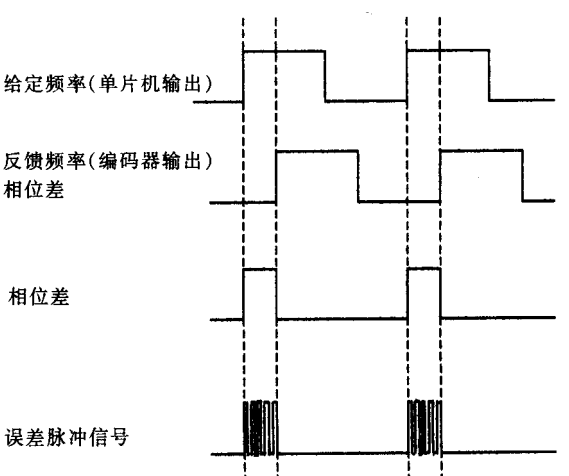

图 3 误差数据采集

$\Delta N_1 = N_1 - \overline{N}$, $\Delta N_2 = N_2 - \overline{N}$, $\cdots$, $\Delta N_m = N_m - \overline{N}$。均方根误差为: $\sqrt{\Delta N} = \sqrt{\frac{\Delta N_1^2 + \Delta N_2^2 + \cdots + \Delta N_m^2}{m}}$。由于速度的波动, 每一组的脉冲值不相同, 可根据情况选择 m 为 50～100 之间, 误差讯号的脉冲当量为 0.9375″/ bit。

4 数字锁相闭环控制系统

本系统采用的是速度、电流和数字锁相三环控制。速度闭环和电流闭环分别由线性度较好的直流测速发电机、电流检测传感器和直流力矩电机驱动控制器组成。根据需要配置新的速度和电流环参数, 使之满足本控制系统的需要。也即, 系统参数的更改应使加了锁相环后,仍有良好的动态特性和一定的稳定裕度。锁相环路是一个闭环的跟踪系统,它能够跟踪输入信号的相位和频率。它跟踪固定频率的输入信号时频差趋近于零;跟踪频率变化的输入信号时精度也很高。

如图 4 所示为一个典型的锁相闭环直流电机速度控制方框图, 电路由普遍锁相环、电机驱动电路和转速计等部件组成。在驱动直流电机时,电机驱动电路只要完成对误差电压的放大就可以了,而在驱动交流电机时, 不仅需要放大误差电压, 还要将放大后的误差电压变换为平衡二相乃至三相电压,以便于对电机实施控制。转速计的作用是检测电机转速并将其变换成相应的反馈脉冲加到鉴相器上。

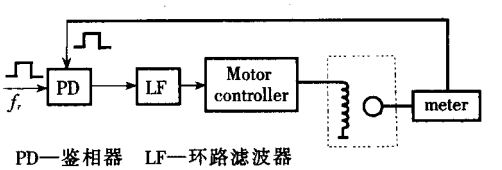

图 4 电机速度控制方框图

由于 D/ A 输出给定与双闭环速度控制系统的速度在一定范围内成比例,而速度和编码器的反馈输出紧密相关, 因此锁相环的频率给定与 D/ A 变换器的给定联系在一起,有一定的对应关系。单片机根据计算机计算结果,利用内部定时器发相应频率的脉冲作为鉴频器的基准输入。鉴相器和滤波器将相位和频率误差转化为误差电压输入驱动控制器的电压附加输入端,使速度反馈频率跟随给定频率变化达到锁定状态即没有频差,达到了很高的速度控制精度。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

5 影响系统精度的主要因素

5.1 测量传感器读数误差

望远镜的轴在低速运转时,计算机对电机转动的位置定时采样并显示,其显示值主要取决于光栅编码器的分辨率,为了要获得全部速度范围内的最小读数误差,需要较高的光电编码器的刻线数,这在技术上是有困难的,此外还影响高速的运行。因此充分考虑这个因素,本系统低速时的主要误差来自于光栅编码器分辨率读数误差。

5.2 给定频率误差

在高速运转时,由于单片机定时器字长的限制,高速时将产生不可忽略的给定频率误差。

对于鉴频鉴相系统来说,只要相位能够锁定,系统本身的精度足以满足要求。由于 MCS51 系列单片机,每个机器周期为 12 个时钟振荡周期,因此定时器的分辨率是时钟振荡频率的 1/12。这样给定频率的发生器产生了一个非线性误差,在低速运行时给定频率分辨率极高,对精度的影响较小;而在高速运行时,这时由于执行一条单片机软件指令大多都需一个机器周期,这将会影响给定频率的精度。但天文望远镜的高速要求并不高,赤道式为 1°/S,地平式根据盲区不同一般不超过 5°/S～10°/S。

5.3 计算机计算误差

由于计算机要把屏幕上输入的数据代入公式进行计算,计算结果只取其整数部分,过程中有小数点的取舍等误差因素不可避免。

6 结束语

对本系统选用 MCS51 系列单片机的速度要求达到了极限(选用 25 兆晶振),若选用更高速度的单片机系列将有利于控制系统的实现。本文对所接项目高精度直流力矩电机控制系统作了介绍,该系统在高精度直流力矩电机控制领域有一定的通用性。其控制方法不仅适用于天文望远镜,也可用于雷达、天线等控制系统。

参考文献:

[1] 方心平,张厥盛. 集成锁想环路 —原理、特性、应用[M]. 北京:人民邮电出版社,1990.

作者简介:

薛霜硕 (1975-),男,1997 年毕业于武汉科技大学自动化系工业电气自动化专业,1999 年 9 月～2002 年 6 月就读于中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所天体物理(自动控制与信息处理方向),硕士研究生。

汪达兴 (1941-),男,毕业于东北大学自动控制系,现为中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所研究员,硕士生导师。长期从事电气传动自动控制的研究,先后多次参加中科院、江苏省和国防等部门的重点科研任务,如"1.26 米红外线望远镜"、"六轴天线/天线罩测试转台控制系统"、"20 英尺冷藏集装箱控制系统"等。其中"1.26 米红外线望远镜的研制"获中国科学院科技进步一等奖、国家科技进步二等奖,并获得一项国家专利。

收稿日期: 2002-07-15

® 交流异步电机软起动及优化节能控制技术研究综述
® 变频器应用的若干问题探讨
® 基于 DSP 的交流电动机变频调速控制系统
® 大功率直流传动装置输入电压降低时的对策
® 普通型交流异步电动机 T型等值电路参数的估算方法
® 直接转矩控制低速运行区段的建模与仿真研究
® 考虑电枢反应非线性的直流电机速度跟踪控制研究
® 基于 RS-485 总线的变频控制系统通讯协议及其实现

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net