

基于高速同步 485 总线通信的多通道伺服控制器设计

王 恒, 白玉新, 张天琪, 张 达, 秦二卫

(北京精密机电控制设备研究所, 北京 100076)

摘要: 文章介绍了一种四通道数字伺服控制器的系统设计和实现方案; 针对研制任务中高通信波特率和多路控制的要求, 设计了以 XC164 为主控制芯片, 基于 JS71175 型 485 协议处理器的高速同步 485 总线通信的多通道伺服控制器, 该控制器在提高了同步 485 通信速率的同时可以实现四路伺服机构的控制、伺服机构动作的锁定及解除锁定, 具有体积小、功率大、集成度高特点; 实验结果表明, 在保证通信稳定的前提下, 通信波特率可达 2 Mbit/s, 总功率可达 1 600 W, 满足任务要求。

关键词: 485 协议处理器; 高速; 同步 485 总线; 多通道; 控制器

Multi-channel Servo Controller Design Base on High-speed Synchronization 485 Bus Communication

Wang Heng, Bai Yuxin, Zhang Tianqi, Zhang Da, Qin Erwei

(Beijing Research Institute of Precise Mechanical and Electronic Control Equipment, Beijing 100076, China)

Abstract: A four-channel servo controller designing and realizing scheme for guided missiles is provided in this paper. According to high communication rate and multi-channel servo control requirements to the research task, the servo controller is designed base on 485 protocol processor of JS71175 and XC164 as main control chip, this controller improve synchronization 485 bus communication rate, meanwhile, realize for-channel servo mechanism control and lock or unlock servo mechanism action, have the characteristics of small volume, high power and high integration. The tests indicate that, under the premise of stable communication, communication rate up to 2Mbit/s, total power up to 1 600 w, and satisfies the task needs.

Keywords: 485 protocol processor; high-speed; Synchronization 485 Bus; multi-channel; controller

0 引言

伺服机构作为伺服控制系统中的不可缺少的关键部分, 是伺服控制系统的执行机构, 伺服机构的性能直接影响伺服控制系统的机动性能和精度。一般根据动力源的不同, 常用的伺服控制系统可分为气动、液动和电动 3 种, 与气动和液动相比, 电动具有能源需求单一, 结构简单, 制造及维修方便, 且易于实现多余度控制, 可靠性高^[1-2]等特点, 因而在军用和其他先进民用的产品中得到越来越广泛的应用^[3-4]。传统的模拟控制器虽然发展的比较成熟了, 但模拟控制器一旦设计完成, 参数调整比较困难, 互换匹配性比较差, 因此其固有的缺点限制了模拟控制器的广泛使用^[5]。近年来, 随着高性能电机控制芯片的出现, 为设计小体积、低功耗、高可靠性、高性能的数字控制器提供了方便, 数字控制器以其灵活、可靠、运算能力强逐渐成为电机控制的主流技术。传统的 485 总线通信基本上是异步通信, 同时以高的波特率通信时, 传输距离较短, 传输误码率比较高, 大大降低了通信的可靠性。为了实现稳定可靠的高速同步 485 总线通信, 同时实现 4 路伺服机构的控制, 设计了基于 JS71175 的高速同步 485 总线通信的多通道伺服控制器。

1 系统构成与工作原理

1.1 系统构成

如图 1 所示, 该系统主要由电源模块、主控单元、驱动单元、隔离保护单元、通信单元、AD 采集单元、4 路伺服机构及伺服控制计算机组成。伺服控制计算机为电源模块提供一级 28 V 电源, 同时与伺服控制器间进行 485 通信, 进行指令发送和反馈接收, 伺服控制器根据伺服计算机发送的控制指令进行数据解析, 从而控制各路伺服机构动作; 电源模块作为伺服控制器的电源来源, 为主控单元、驱动单元、通信单元、AD 采集单元和伺服机构反馈提供所需电源; 通信单元实现伺服控制计算机与伺服控制器主控单元间的高速同步 485 通信, 伺服计算机每隔一定时间通过 485 总线向伺服控制器发送控制指令, 伺服控制器根据接收的控制指令控制伺服机构动作的同时, 在很小的时间间隔内向伺服控制计算机和伺服遥测系统反馈当前伺服控制器的参数, 为伺服控制计算机发送下一次控制指令提供数据依据; 主控单元用于接收伺服控制计算机指令和 AD 采集伺服机构位移反馈进行闭环运算, 产生 PWM 和伺服机构方向信号, 同时向伺服控制计算机及伺服机构遥测系统反馈数据; 驱动单元根据主控单元发出的 PWM 信号和伺服机构方向信号驱动 4 路伺服机构, 实现伺服机构的快速动作; AD 采集单元采集 4 路伺服机构的位移反馈, 确定当前伺服机构所处的位置, 为主控单元进行位置闭环提供数据。

1.2 系统工作原理

伺服控制计算机为伺服控制器提供 28 V 电源, 同时提供

收稿日期: 2016-12-19; 修回日期: 2017-01-16。

作者简介: 王 恒(1985-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事伺服控制方向的研究。

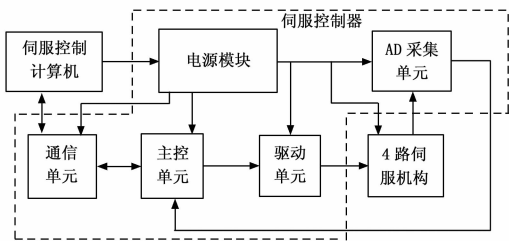


图 1 系统结构框图

遥测及隔离 5 V 电源。电源模块将 28 V 电源转换为控制器需要的 5 V、2.5 V、±10 V 和 15 V 电源，满足伺服控制器工作所需的电源，其中伺服控制器的主控制芯片需 2.5 V 和 5 V 两种电源；AD 采集、485 V 通信处理芯片和隔离保护需 5 V 电源；电机驱动需 5 V、15 V 和 28 V 电源，28 V 电源作为伺服机构动作的功率电；±10 V 为 4 路伺服机构中位移传感器的工作电源。JS71175 型 485 协议处理芯片接收伺服控制计算机发来的指令数据，此时 XC164 控制芯片将 JS71175 型 485 协议处理芯片接收的数据通过总线读取，进行解析判读，根据协议进行自检、解锁或者数据采集，同时将指令执行情况反馈给 JS71175 型 485 协议处理芯片，启动发送，此时 JS71175 型 485 协议处理芯片将反馈的指令执行信息发送给伺服控制计算机，XC164 控制芯片在将指令信息反馈给伺服控制计算机的同时，根据协议及时间要求也将指令执行情况通过 JS71175 型 485 协议处理芯片反馈给伺服遥测系统，实现遥测。

当伺服控制器接到解锁信号时，发出一定占空比的 PWM 信号解除对伺服机构位置的锁定，此时伺服机构才可以按照伺服控制器指令动作，否则伺服机构被锁死，无法动作，伺服机构在动作之前必须进行解锁的主要为防止伺服机构误动作，损坏其它机构，伺服机构在接到解锁信号之前，其动作部件回缩在伺服机构内部，无法动作，必须进行解锁后才能恢复到可动作位置；当伺服控制器通过 JS71175 型 485 协议处理芯片接收到伺服控制计算机的数据采集命令时，伺服控制器根据伺服控制计算机发来的位置指令及 AD 采集芯片采集的伺服机构实际位置信息进行位置闭环运算，产生不同占空比的 PWM 及电机方向信号，无刷直流电机驱动单元根据伺服控制器主芯片发出的 PWM 和方向信号驱动伺服机构中电机转动，从而实现伺服机构位置的精确控制，在控制伺服机构动作的同时，完整接收到伺服控制计算机发送指令信息后必须在 200 μs 内开始将数据反馈给伺服控制计算机，并且在 500 μs 之内将数据反馈完毕，否则伺服计算机将按照伺服控制器无法响应处理；当伺服控制器接收到伺服计算机发来的自检指令后，伺服控制器检测供电电压、伺服机构位置信息、通信状态信息等参数，并判断各参数是否正常，按照协议向伺服控制计算机反馈自检信息。

2 系统软硬件设计及算法描述

2.1 系统硬件设计

2.1.1 主控芯片

主控芯片选用英飞凌公司 XC166 系列的 16 位微控制器 XC164CS-16F，具有 128KB 程序 Flash，6KB 片上 RAM，14 路模拟输入通道，6 个串行接口（2xASC，2xSSC，2xCAN）。

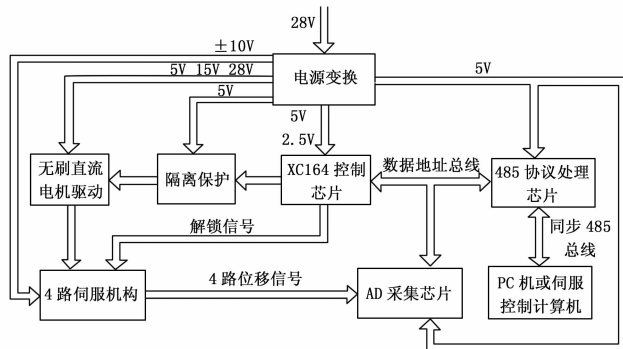


图 2 系统工作原理图

英飞凌的 16 位微控制器系列是用来满足实时嵌入式控制应用的高性能需求，具有以下特性：五级流水线高性能 16 位 CPU 和 MAC 单元；高效的控制指令集；高效的功率管理；集成的片上存储器（2KB 双口 RAM，2KB 高速数据 SRAM，2KB 的高速程序/数据 SRAM，128KB 的片上程序存储器）；外部总线接口（12MB 的外部寻址空间，8 位或 16 位数据总线）；16 级优先级的中断系统；8 通道的外围时间控制器；智能片上外设子系统（14 通道模数转换，两个捕获/比较单元，捕获比较单元灵活产生 PWM 信号，两个多功能通用定时器单元，两个异步/同步串行通道），79 个具有独立位寻址功能的 IO 引脚等^[6]。

2.1.2 485 协议处理器

485 协议处理器选用我国自行研发的 JS71175 型协议处理器，该处理器实现双总线上 485 协议数据同步串行通信，内嵌 4Kx8Bit 双口 SRAM，电路工作电压为 +5 V，兼容 +5 V/+3.3 V，主时钟工作频率为 40 MHz，工作温度为 -55 ~ 125℃。

JS71175 型 485 协议处理器内含两个相互独立的半双工发送/接收器，经过编程可独立进行同步串行通讯，并以 DMA 方式与内部 RAM 进行数据交换。电路 CPU 接口和双口 RAM 外端接口复用，支持 SDLC 同步通讯协议，有普通接收、地址识别、广播监听等模式，接收和发送数据具有 CRC 校验，电路还具有波特率选择、中断屏蔽等功能，功能框图如图 3 所示^[7]。

在使用中，JS71175 的 12 位地址总线和 8 位数据总线分别与主控芯片 XC164 的地址及数据总线相连。

2.1.3 隔离保护

伺服控制器主控制芯片 XC164 控制芯片根据伺服控制计算机指令以及伺服机构的位移反馈信号实时计算 PWM 的占空比和方向信号，并将该信号实时发送给电机驱动，从而控制伺服机构的运动。由于电机驱动功率较大，为了避免伺服机构动作干扰伺服控制器，在 XC164 控制芯片和电机驱动间加入隔离单元。

在 XC164 芯片输出给电机驱动的 PWM 和方向信号上加入光耦进行隔离，避免因伺服机构动作干扰控制系统。

同时为了避免伺服控制计算机与伺服控制器间产生相互干扰，在伺服控制器与伺服控制计算机间增加数字隔离，选用 SILICON LABS 公司的 SI8462 芯片，该芯片具备体积小、功

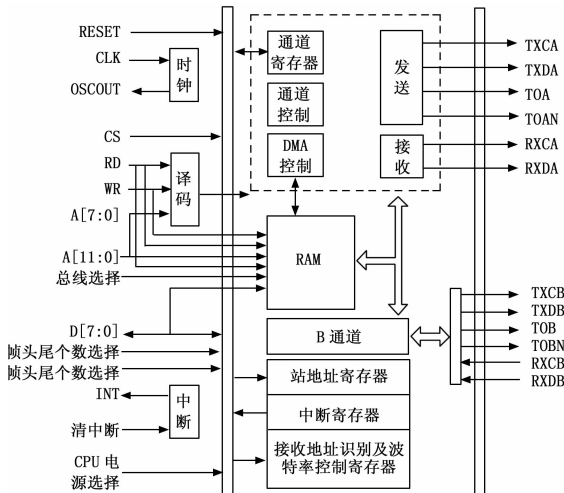


图 3 JS71175 功能框图

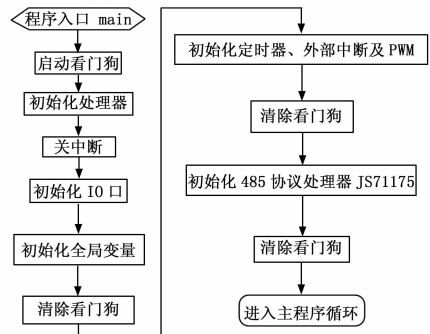


图 4 主程序流程图

耗低、通信波特率高达 150 Mbps，同时隔离电压高达 2.5 kV。

2.1.4 主控芯片与 485 协议处理器间通信

本伺服控制器选用 16 位 XC164 芯片作为主控芯片和 8 位的 JS71175 作为 485 协议处理器，两者之间采用地址和数据总线进行通信。但由于两者位宽不同，因此如果直接将数据和地址总线相连，必然导致通信出错。

为了确保主控芯片与 485 协议处理芯片间总线通信正常，将 485 协议处理芯片的 8 位数据总线与主控芯片的数据总线连接，即将 485 协议处理芯片的数据总线 $D_0 - D_7$ 分别与主控芯片的 $D_0 - D_7$ 总线直接相连；但由于两芯片位数不同，地址总线不能直接一一相连，采用错位相连技术，可避免因位数不同导致的通信错误，即将 485 协议处理芯片的 12 位地址总线 $A_0 - A_{11}$ 分别与主控芯片的 $A_1 - A_{12}$ 相连，即可实现主控芯片与 485 协议处理芯片间正常总线通信。

2.2 系统软件设计

伺服控制器的控制程序主要功能是通过高速同步 485 总线接收伺服控制计算机的指令，采集伺服机构的反馈信号，通过指令信息与反馈位置信息进行位置闭环运算，精确控制伺服机构运动至指定位置，同时将指令执行情况反馈给伺服控制计算机及遥测系统。控制程序主要包括控制主程序、定时器中断子程序和外部中断子程序三部分。

2.2.1 控制主程序

控制主程序主要完成系统初始化、看门狗初始化、功能寄存器初始化、全局变量初始化、定时器及外部中断初始化、JS71175 型 485 协议处理器初始化，初始化伺服控制器的初始参数等，主程序流程图如图 4 所示。

2.2.2 定时器中断子程序

定时器中断子程序主要完成清除看门狗、判断伺服控制计算机指令大小并进行限幅、采集 4 路伺服机构位置反馈信号并进行滤波等处理、闭环运算并根据运算结果进行 PWM 占空比和电机转向设置、将伺服机构反馈信息及伺服控制计算机指令信息反馈给遥测系统，为了精确控制伺服机构高速动态响应，该定时器每间隔 0.5 ms 一次中断进行伺服机构位置闭环运算，

精确实时调整 PWM 占空比和方向信号，由于遥测系统需至少间隔 2.5 s 才能接收伺服控制器反馈的遥测信数据，因此在该定时器中断中进行向遥测系统反馈数据时间间隔判断，及时准确的将遥测数据反馈给遥测系统，定时器中断子程序流程图如图 5 所示。

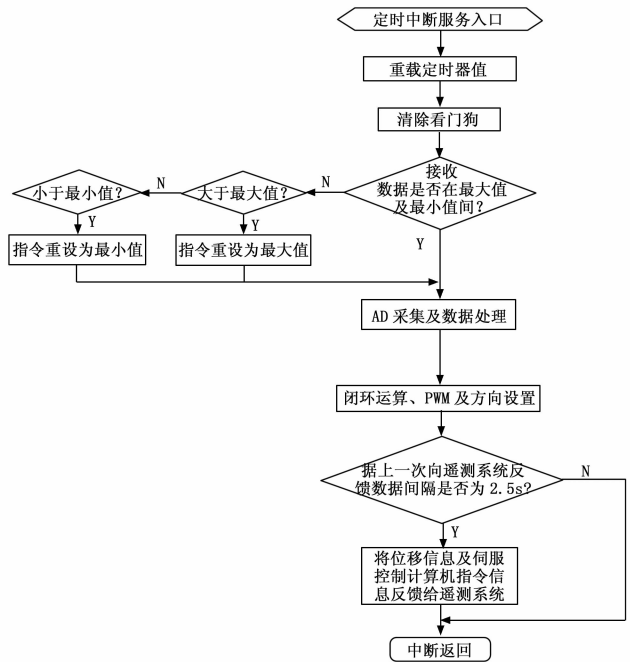


图 5 定时器中断子程序流程图

2.2.3 外部中断子程序

外部中断子程序主要完成清除 JS71175 型 485 协议处理器中断信号、判断是接收还是发送中断、读取协议处理器中的伺服控制计算机发送的指令、解析伺服控制计算机指令、将指令执行情况反馈给伺服控制计算机，伺服计算机发送完整伺服控制指令后，伺服控制器必须在 200 μ s 之内开始按照协议将数据反馈给伺服计算机，同时在 500 μ s 之内将数据反馈完毕，否则伺服计算机将按照伺服控制器无法响应进行处理，启用应急机制，因此为了避免在伺服控制器完好情况下因数据响应慢导致启用应急机制问题，该软件外部中断优先级在程序中为最高优先级，在接收到伺服控制计算机发送的指令后，首先进行指令解析和数据反馈，每次数据发送完成后，伺服控制器需将 JS71175 型 485 协议处理器置为等待接收状态，以备第一时间

接收伺服计算机发送的指令并进行数据反馈，外部中断子程序流程图如图 6 所示。

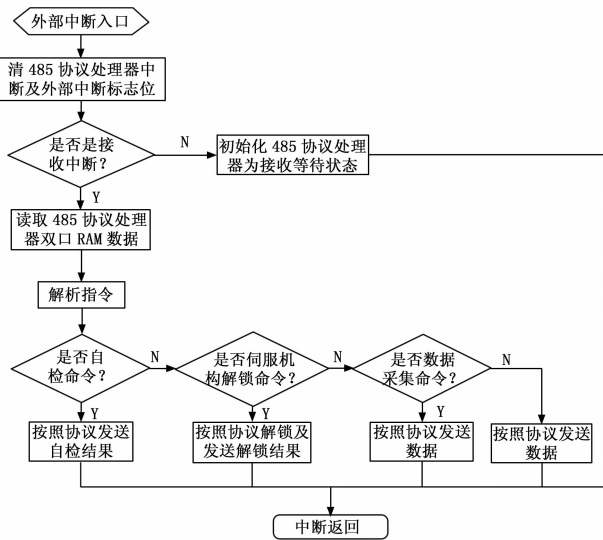


图 6 外部中断子程序流程图

3 实验及结果分析

选用 4 个伺服机构和本文设计的控制器组成一套伺服控制系统，每个伺服机构功率为 400 W，利用地面测试仪模拟伺服控制计算机，测试仪每间隔 1 ms 以 2Mbit/s 的速度向伺服控制器发送指令，测试仪接收并记录伺服机构控制器反馈的指令执行情况 & 反馈的数据，同时测试仪接收并记录伺服机构反馈的遥测信号。地面测试仪配置为 Intel 2.6 GHz，双核 CPU，2 G 内存，配备专用双通道高速同步 485 板卡，利用 LabWindows 开发上位机测试软件。

地面测试仪在发送伺服机构自检和解锁指令后，每间隔 1 ms 向伺服控制器发送一次数据采集指令，伺服控制器接收到完整的指令后向地面测试仪反馈数据并根据接收的指令完成闭环运算控制伺服机构动作，利用 TEK 示波器监视通信情况在伺服计算机将一帧指令发送完毕后，伺服控制器在 50 μs 之内开始响应反馈数据，在 300 μs 之内完成所有数据反馈，伺服计算机接收到伺服控制器反馈数据，监测数据显示伺服控制器满足伺服计算机要求在接收到指令 200 μs 之内开始反馈数据和在 500 μs 之内将数据反馈完毕的要求，满足快速、高速 485 通信要求。

利用测试仪向伺服控制器发送指令，控制伺服机构实现 0.2 Hz，15°正弦响应，如图 7 所示，图中蓝色曲线为测试仪指令信息，红色曲线为伺服控制器反馈给测试仪的伺服机构位置信息，图中已用文字标明实验结果如下：伺服机构正向最大摆角为 14.979°，负向最大摆角为 -14.953°，回环宽度为 0.357°。

测试仪发送指令，伺服控制器控制伺服机构实现 0.2 Hz，10.5°阶跃响应，如图 8 所示，实验结果如下：伺服机构正向最大摆角为 10.986°，负向最大摆角为 -11.195°，最大线速度为 486.782°/s。

任务要求伺服机构 0.2 Hz，15°正弦响应摆角偏差为 ±0.2°；0.2 Hz，10.5°阶跃响应摆角偏差为 ±0.8°，伺服机构最

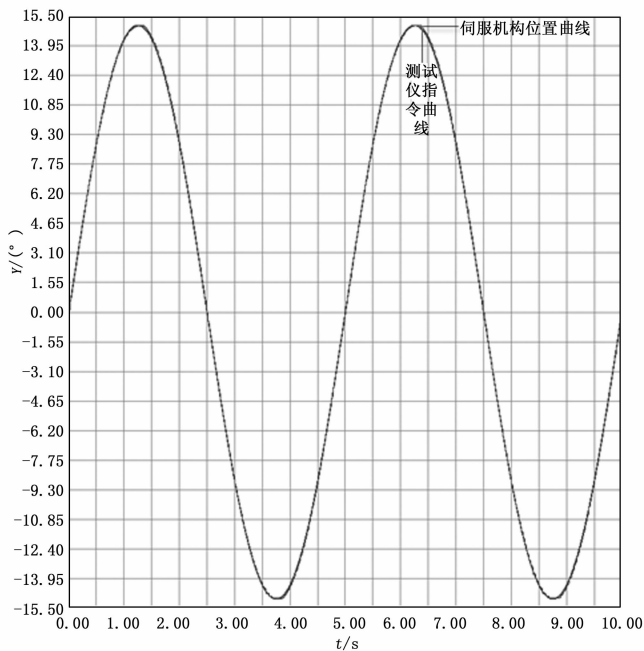


图 7 0.2 Hz 15°正弦响应曲线

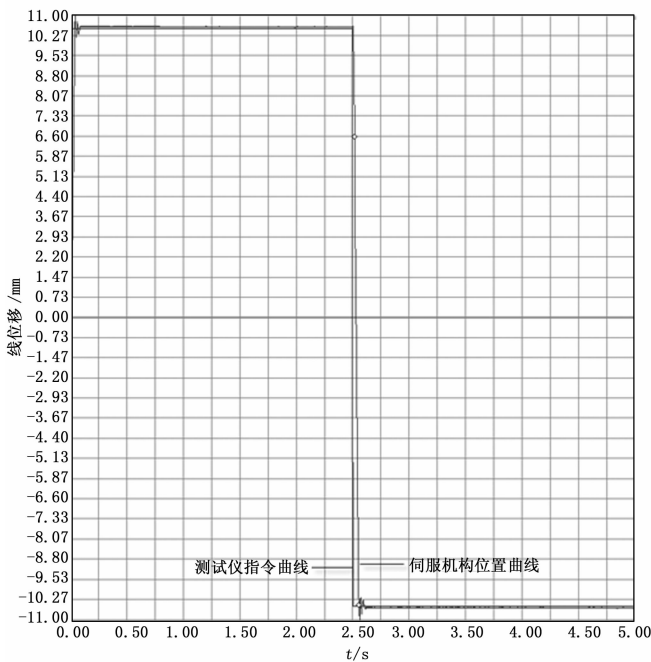


图 8 0.2 Hz 10.5°阶跃响应曲线

大线速度不小于 400°/s，试验结果表明：伺服控制器控制精度均在要求范围之内，满足要求。

4 结论

本文结合无刷直流电机控制系统的具体应用和实际控制要求，对基于英飞凌 XC164 和 JS71175 型 485 协议处理器的硬件进行了设计和开发，编写了嵌入式控制软件和测试仪软件。试验结果表明：基于 JS71175 高速同步 485 总线通信的多通道伺服控制器在保证通信稳定的前提下，通信波特率可达 2

Mbit/s, 大大提高了基于 485 通信协议的通信速率, 同时具有体积小、功率大、集成度高、可实现多路控制的特点。

参考文献:

[1] 骆光照, 王 鹏, 吴 梅, 等. 弹用电动舵机的混合 H2/H ∞ 控制器设计 [J]. 弹载与制导学报, 2003, 23 (3): 4-6.

[2] 朱忠惠. 推力矢量控制伺服系统 [M]. 北京: 宇航出版社, 1995.

[3] Atallah K, Maxwell C. Permanent magnet brushless drives for aircraft flight control surface actuation [J]. IEE Colloq. On All-Elec-

tric Aircraft, Savoy place, London, 1999: pp. 8/1-8/5.

[4] Lyshevski S E. High-torque density integrated electro-mechanical flight actuators [J]. IEEE trans. On Aerospace and electronic systems, Jan. 2002, 38 (1): 174-183.

[5] 无人机舵机控制系统的硬件设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (5): 1076-1078.

[6] Infineon XC164CS 16-Bit single-Chip Microcontroller Data Sheet [Z]. V2.1, Jun. 2003.

[7] JS71175 型 485 协议处理器手册 [Z].

(上接第 84 页)

加入相同的输入信号及干扰, 得到输出响应如图 13 所示。

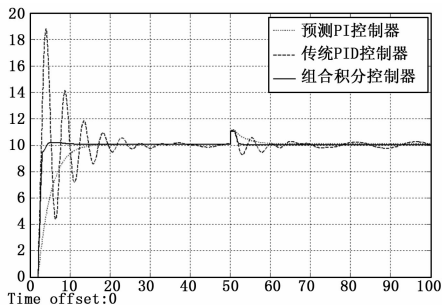


图 13 模型失配的情况下各种控制器在双重控制系统中的响应特性

模型失配的情况下, 组合积分控制器仅存在微量超调, 且响应时间仍然很短; 预测 PI 控制器超调量亦很小, 响应时间较短。在抗干扰特性上, 组合积分控制器能最快使系统恢复稳态。

综合以上分析, 在烟草烘丝过程的双重控制系统应用中, 组合积分控制器在性能上不仅大大优于传统 PID 控制器, 相比预测 PI 控制器也更具优势。

以上控制策略已经在某卷烟厂的烘丝过程生产中得到了应用, 并经过了数个月的实际应用过程检验。图 14~15 为使用组合积分控制器前后的出口水分控制效果对比。

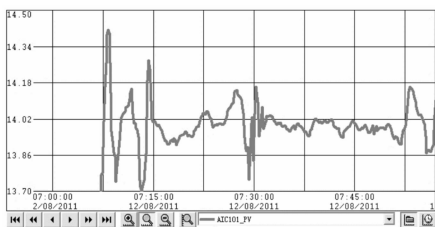


图 14 应用组合积分控制器前的出口水分控制效果

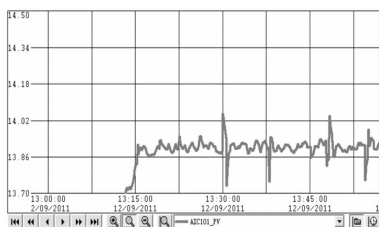


图 15 应用组合积分控制器后的出口水分控制效果

在原有控制策略下, 出口水分波动偏离设定值最大可达近 3%。尤其当进料水分变化较大时, 控制性能会受到较大的影响。应用组合积分控制器后, 不仅在各种情况下都能够将出口水分严格控制在设定值 $\pm 0.6\%$ 的范围内, 且波动幅度大为减小, 控制性能得到改善。该项改进使得企业的经济效益得到了明显提升。

5 结论

本文为了提升烟草工业烘丝过程中出口水分的控制效果, 引入组合积分控制器, 对其实现对一阶加纯滞后 (FOPDT) 环节的控制及与双重控制结合的可行性和新型控制系统的性能进行了论证, 证明这一控制器在双重控制系统中, 控制性能具有响应速度快, 鲁棒性能强的特点, 不仅大大优于传统的 PID 控制器, 和预测 PI 控制器等先进控制器相比也更具优势, 在流程工业实际应用如烟草烘丝过程中具有较大的应用价值。

参考文献:

[1] 刘兆坤, 李 晔, 王亚刚, 等. 基于阶跃辨识的 PID 自整定研究与软件开发 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (7): 2306-2308.

[2] 邱望标, 李 超, 李雪梅. 基于 PID 控制的烟草烘丝机温度控制系统研究 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (26): 12708-12709.

[3] 王 谦. 基于继电器反馈的预测 PI 控制系统性能评价 [D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2008.

[4] 任正云, 吕 骏. 改进的双重控制策略在工业中的运用 [D]. 上海: 东华大学, 2013.

[5] 王艳红, 韩光胜. 烟草烘丝过程的水分控制 [J]. 北京工业大学学报, 2000, 26 (4): 90.

[6] 罗 平. 组合积分系统研究及应用 [D]. 上海: 东华大学, 2009.

[7] 郑 达, 方建安. 组合积分系统的控制理论与应用研究 [D]. 上海: 东华大学, 2009.

[8] 周艳明. 精馏塔先进控制算法理论分析与设计 [D]. 上海: 东华大学, 2014.

[9] 傅 磊, 任正云. 新型双重控制算法在烟叶复烤过程的应用 [J]. 控制工程, 2014, 21 (S₀): 100-101.

[10] 梁魏峰. 烘丝控制模式的建立与实现 [J]. 烟草科技, 2003 (2): 16-17.

[11] 徐俊山, 康惠骏. 烘丝机烟丝含水率的预测 PI 控制 [J]. 电气传动自动化, 2007, 29 (6): 32-25.

[12] 何芝强. PID 控制器参数整定方法及其应用研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2005.

[13] 齐 蒙. 预测控制及其应用研究 [D]. 上海: 东华大学, 2013.

[14] 王 谦, 徐进学, 王向东. 预测 PI 控制器性能评价与参数整定 [J]. 自动化技术与应用, 2008, 27 (2): 36-39.