

网络化多电机伺服系统监控终端设计*

王志宏,吴益飞,杜仁慧,郭健,陈庆伟
(南京理工大学自动化学院,南京 210094)

摘要:为满足多电机伺服系统调试及各类运行状态数据实时监控的要求,设计了一种基于CAN总线的多电机伺服系统监控终端。介绍了多电机伺服系统总体组成结构,采用PC/104嵌入式计算机和CAN通信模块构建了系统硬件平台,完成了系统软件总体设计,详细介绍了系统软件流程图,并设计了CAN通信协议。实验结果表明,系统可实现各类数据的实时传输、显示及计算,可方便地进行系统参数设置,具有实时性高、人机交互界面友好、运行稳定可靠等优点。

关键词:PC/104;CAN总线;多电机;伺服系统;监控终端

中图分类号:TH166;TG65 **文献标识码:**A

Design of Networked High-speed and High-precision Multi-motor Servo System Monitoring Terminal

WANG Zhi-hong, WU Yi-fei, DU Ren-hui, GUO Jian, CHEN Qing-wei

(School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: To meet the demands of system debugging and real-time running state monitoring in multi-motor servo system, a novel monitoring terminal based on CAN bus is proposed. The general structure of multi-motor system is introduced. PC/104 embedded computer and CAN interface extended card are used as the hardware platform. The system software is designed and the software flow chart is described in detail. The CAN bus communication protocol is also designed. The system can receive and transmit data, display and calculate real-timely. The system parameters can be easily set. The experimental results show that the man-machine interface is friendly, and the system has reliable and high real time performance.

Key words: PC/104; CAN bus; multi-motor; servo system; monitoring terminal

0 引言

随着科技的高速发展,对伺服系统的性能提出了新的要求,系统必须快速、准确地跟踪给定指令,具备良好的动态特性和稳态精度,并具有很高的可靠性和可维护性。在大功率、大负载转矩、大惯量以及需要消除齿隙影响的实际系统中,多电机伺服系统得到了广泛的应用。近年来,高性能多电机伺服系统已广泛应用于雷达测控、数控机床、造纸、纺织等领域^[1-3]。

在多电机伺服系统的调试及使用过程中,需要实时获取系统运行时各个电机和负载的运行状态数据,并通过对相应数据的分析进行控制器参数的整定和故障判断。而在传统的基于CAN总线的多电机系统中,总线上传输的数据较少,只能实现基本的系统状态监控和报警等功能。同时,需要现场对每个电机驱动器参数逐一进行设定,不便于系统的使用和调试^[4-5]。因此,针对基于CAN总线的多电机伺服系统,设计一种实时性高、运行稳定可靠的多功能监控终端很有必要。

本文设计了一种基于CAN总线和PC/104嵌入式计算机的多电机伺服系统监控终端。可设置各电机的工作模式和控制参数,通过图形方式实时显示负载位置、各电机的速度和电流等信息,并计算系统各项性能指标。实验结果表明,系统响应速度快、运行稳定,可靠性高。

1 多电机伺服系统总体组成结构

系统组成结构框图如图1所示,以四台电机为例,各电机分别通过减速器与负载台架的大齿轮相连,同步驱动负载运行。RDC(Resolver-to-Digital Converter)通信板与负载侧的双通道旋变相连,并通过CAN总线与四台驱动器和监控终端相连接。

其中,RDC通信板实时检测负载位置并通过CAN总线发送至其他设备。监控终端可设置电机驱动器的工作模式和控制参数,实时发送指令,接收RDC通信板发送的负载位置和电机驱动器发送的各电机的运行状态数据,并以图形方式实时显示对应曲线。电机驱

收稿日期:2014-03-11

* 基金项目:国家自然科学基金(61074023)

作者简介:王志宏(1983—),男,太原人,南京理工大学博士研究生,研究方向为高精度伺服系统、自适应控制与智能控制,(E-mail) njust.wang@gmail.com.

驱动器可实时接收监控终端发送的指令信息、RDC 通信板发送的位置信息以及各电机的速度和电流等信息,通过对这些信息实时地计算处理得到各自的控制量,完成对各电机的控制。

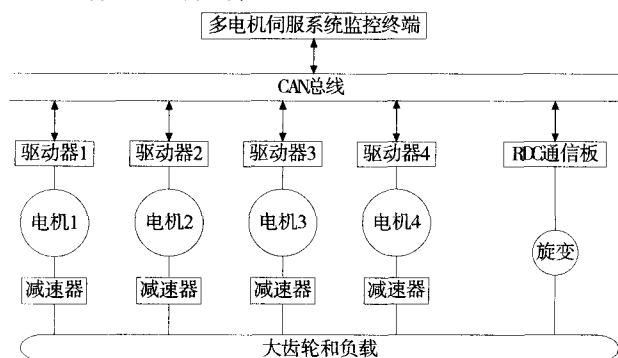


图1 多电机伺服系统组成结构框图

系统控制原理结构框图如图2所示,选电机1作为主电机,可根据设置的模式工作在位置、速度、电流三环或速度、电流双闭环模式,其他电机作为从电机,工作在电流闭环模式,每个电机通过各自的转速同步控制器,利用从CAN总线上接收的其他电机的转速完成差速负反馈控制量的计算,并与主电机速度控制器的输出相加,得到最终的电流给定控制量,驱动各电机同步运行^[6,9]。

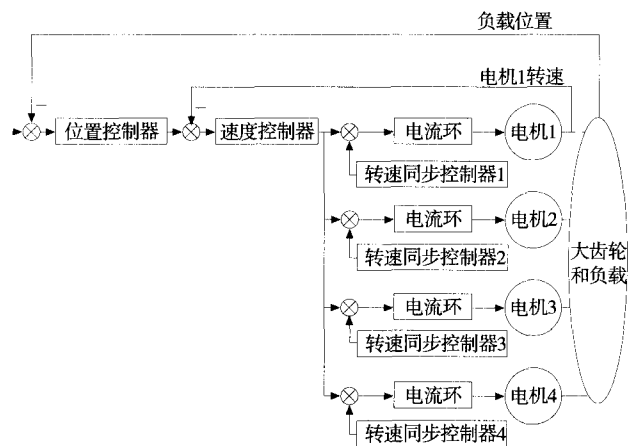


图2 多电机同步控制原理结构框图

2 监控终端硬件平台构建

为保证系统在不同工业环境下工作的稳定性和可靠性,同时考虑系统的小型化、低功耗以及可扩展性等要求,选用盛博公司的SPT4系列PC/104嵌入式计算机模块作为系统的控制单元,包括一个基于x86架构的TM5800处理器,板载USB接口、VGA接口以及以太网接口等,便于连接各种外设构成低功耗的工控机系统。

系统中各设备通过CAN总线实时地交换数据,因此,选用盛博公司的CSD系列CAN总线接口扩展模块,为系统提供两路隔离的CAN2.0总线接口。

3 监控终端软件设计

系统中各设备通过CAN总线连接,位置环、速度环和电流环的采样时间分别为5ms、1ms和0.1ms,因

此需要在每个速度环,即每1ms内完成CAN总线上各设备之间的信息交换。监控终端需要在1ms内通过CAN总线接收四台驱动器和RDC通信板的五个数据包,并发送一个位置或速度指令数据包,同时完成各电机和负载状态对应的实时曲线的绘制和显示。可见,监控终端对软件的实时性要求非常高,需采用中断的方式进行CAN总线数据的接收。

Windows操作系统具有强大的功能和友好的人机界面,但由于其多任务调度机制,难以快速响应外部事件中断。因此,选择在DOS环境下使用C语言进行软件的设计开发。设计的软件运行效率高,可靠性高,可充分利用系统硬件资源,完成高实时性的中断响应。

3.1 软件总体设计

监控终端的软件主要包括系统初始化模块、人机界面绘制模块、驱动器参数设置模块、指令生成发送模块、数据存取模块、CAN中断模块等六个模块,如图3所示。

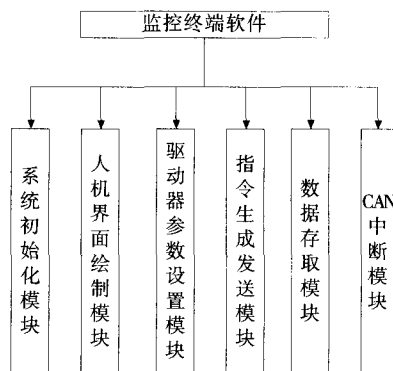


图3 监控终端软件组成结构框图

系统初始化模块完成系统参数和各功能模块的初始化工作。人机界面绘制模块绘制了友好的人机交互界面。驱动器参数设置模块可设置四台电机的工作模式和控制器参数。指令生成发送模块可生成不同幅值的速度或位置阶跃、斜坡、正弦指令,并通过CAN总线发送至电机驱动器。数据存取模块可在一次实验结束后,将此次实验数据存储到数据文件中或读取已经保存的实验数据。CAN中断模块以中断的方式接收四个驱动器和RDC通信板的CAN数据包,并将接收到各设备信息绘制成对应的曲线,实时显示在图形界面中。

3.2 主程序设计

监控终端主程序流程图如图4所示。

程序开始运行后,首先进行系统初始化;然后绘制出程序的图形窗口,提供友好的人机交互界面;接下来进入程序的主循环,读取键盘和鼠标的按键信息,并执行对应的操作,当鼠标点击退出键时,将释放变量,并退出程序。

在主程序中,当鼠标点击参数设置键时,将重新绘制程序窗口,显示参数设置界面,可查看或修改各驱动器的工作模式和参数,如图5所示。

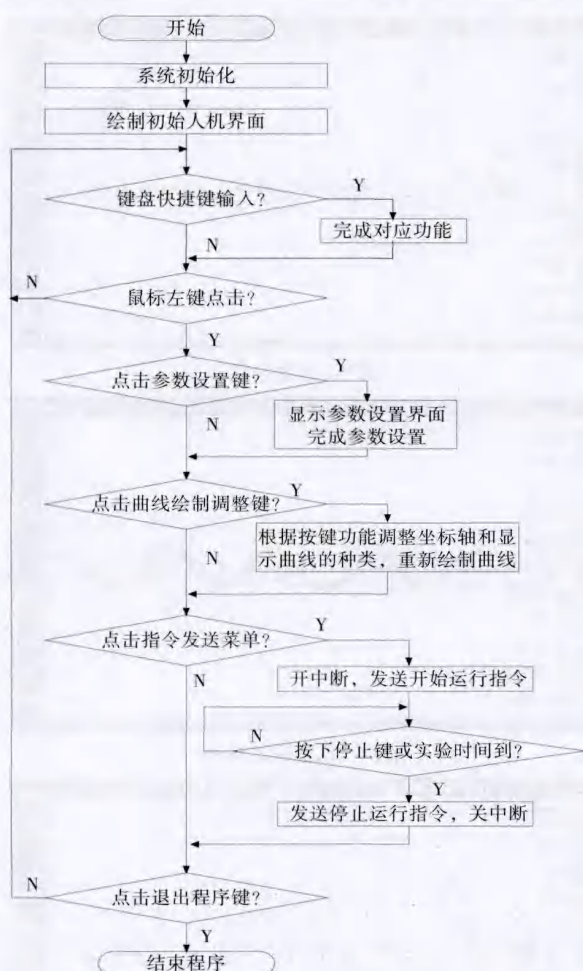


图4 监控终端主程序流程图

| 1Byte | 1Byte | 1Byte | 2Bytes | 2Bytes | 2Bytes | 2Bytes |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Id1 | Id2 | Id1 | Id2 | Id1 | Id2 | Id1 |
| Model1 | Model1 | Model1 | Model1 | Model1 | Model1 | Model1 |
| Model2 | Model2 | Model2 | Model2 | Model2 | Model2 | Model2 |
| Kpd | Kpd | Kpd | Kpd | Kpd | Kpd | Kpd |
| Kid | Kid | Kid | Kid | Kid | Kid | Kid |
| Kpq | Kpq | Kpq | Kpq | Kpq | Kpq | Kpq |
| Kiq | Kiq | Kiq | Kiq | Kiq | Kiq | Kiq |
| KpU | KpU | KpU | KpU | KpU | KpU | KpU |
| KiU | KiU | KiU | KiU | KiU | KiU | KiU |
| KpP | KpP | KpP | KpP | KpP | KpP | KpP |
| KiP | KiP | KiP | KiP | KiP | KiP | KiP |
| Alpha | Alpha | Alpha | Alpha | Alpha | Alpha | Alpha |
| Beta | Beta | Beta | Beta | Beta | Beta | Beta |
| Offset | Offset | Offset | Offset | Offset | Offset | Offset |
| Upload Paras | Upload Paras | Upload Paras | Upload Paras | Upload Paras | Upload Paras | Upload Paras |

图5 参数设置界面

此时, CAN 总线上传的数据较少, 采用查询的方式接收 CAN 总线数据。监控终端在 CAN 总线上发送的数据包括各驱动器参数的设置和查询, 以及指令的发送。数据包格式如图 6 所示。

| 1Byte | 1Byte | 2Bytes |
|--------------|----------------|--------|
| 设备ID号 ID1 | 数据类型ID号 ID2 | 数据 |

图6 监控终端发送的数据包格式

每个数据包有四个字节数据, 前两个字节分别对应设备 ID 号 ID1 和数据类型 ID 号 ID2, 如表 1、表 2 所示, 后两个字节为传送的数据。表 2 中, 参数

MODE1 和 MODE2 共同确定了电机的工作模式^[9], 系统中使用的电机为永磁同步电机, 驱动器采用矢量控制算法, 电流环由 d 轴电流环和 q 轴电流环构成, 对应的电流环控制参数也有两组^[10]。

表1 设备 ID 号 ID1 的定义

| ID1 | 0x00 | 0x01 | 0x02 | 0x03 | 0x04 |
|------|------|------|------|------|------|
| 接收设备 | 所有电机 | 电机 1 | 电机 2 | 电机 3 | 电机 4 |

表2 数据类型 ID 号 ID2 的定义

| ID2 | 数据类型 | ID2 | 数据类型 |
|------|------------------|------|------------------|
| 0x01 | 开始运行 | 0x17 | 速度环比例系数 k_{pv} |
| 0x02 | 停止运行 | 0x18 | 速度环积分系数 k_{iv} |
| 0x03 | 参数查询 | 0x19 | 位置环比例系数 k_{pp} |
| 0x11 | 工作模式 MODE1 | 0x1A | 位置环积分系数 k_{ip} |
| 0x12 | 工作模式 MODE2 | 0x1B | 同步控制系数 α |
| 0x13 | 电流环比例系数 k_{pd} | 0x1C | 备用参数 β |
| 0x14 | 电流环积分系数 k_{id} | 0x1D | 偏置力矩 $offset$ |
| 0x15 | 电流环比例系数 k_{pq} | 0x21 | 位置指令 |
| 0x16 | 电流环积分系数 k_{iq} | 0x22 | 速度指令 |

当鼠标点击曲线绘制调整键时, 将根据对应的按键完成坐标轴的缩放和平移, 调整所显示曲线的类型, 并在新坐标下重新绘制曲线。

当鼠标点击指令发送菜单时, 首先打开 CAN 接收中断, 并通过 CAN 总线发送开始指令, 电机驱动器接收到开始指令后运行, 开始闭环控制, 每 1ms 将电机的速度和电流等信息通过 CAN 总线发送给监控终端和其他驱动器。RDC 通信板也在接收到开始指令后运行, 每 1ms 采样一次负载位置信息并通过 CAN 总线发送给其他设备。接下来将由中断程序完成 CAN 总线数据的接收和实验曲线的实时绘制, 主程序进入循环等待, 直到实验时间到或按下结束按键时, 通过 CAN 总线发送停止运行指令, 使 CAN 总线上的各设备停止工作, 结束本次实验, 最后关闭 CAN 接收中断, 重新进入主程序的循环中。

在每次实验结束后, 可根据本次实验得到的数据进行性能指标的计算, 如阶跃响应的超调量, 调节时间, 以及误差的范围、平均值和均方差等, 便于实验结果的分析 and 系统调试。

3.3 中断程序设计

CAN 中断程序流程图如图 7 所示。

中断开始后, 首先接收 CAN 数据包, 通过 CANID 判断数据的发送源并将数据存放在对应的动态数组中^[7,9], 若收到的是驱动器 1 发送的数据包, 将通过 CAN 总线发送实时的速度或位置指令。最后画出接收到的速度、电流和位置等数据对应的曲线, 并显示接收到的 CAN 总线上各设备的数据包数量。系统中需要每 1ms 发送一次实时的速度或位置指令, 如果在监控终端的程序中使用 1ms 的定时, 将存在与电机驱动器的定时同步问题, 增加程序处理的复杂度。因此, 可将驱动器 1 每 1ms 定时发送的数据包作为定时信号,

在每次收到驱动器1发送的数据包后发送速度或位置指令,实现1ms的定时发送。

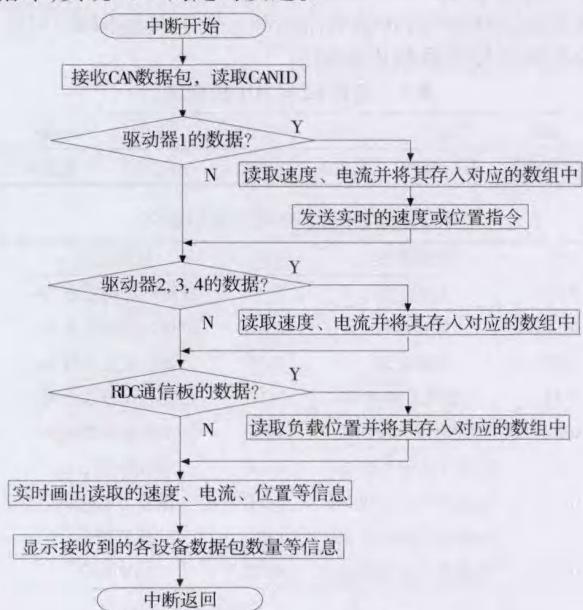


图7 CAN中断程序流程图

4 系统调试和实现

CAN总线是系统的重要组成部分,实现了监控终端与总线上各设备的高速数据传输,必须确保其正常稳定地工作。为了提高CAN总线上数据传输的稳定性和可靠性,从软硬件两方面采取了以下措施:

(1)硬件方面,CAN总线的线缆采用带屏蔽层的双绞线,并在总线两端加入120欧姆的终端匹配电阻。系统中各设备的金属外壳和连接线缆的屏蔽层必须接地,同时还需对接入系统的电源进行滤波,去除电源中的高频干扰。

(2)软件方面,由于监控终端在每1ms内需从总线上接收5个数据包,为了保证数据被实时地接收和处理,采用了中断方式进行数据接收。在软件设计过程中,对中断响应函数进行了优化,确保能及时地接收数据,并实时绘制对应曲线。另外,程序中采用调用系统中断的方式获取鼠标信息,在实验过程中移动鼠标会影响CAN总线数据接收的中断响应,造成丢包。因此,需在开启CAN中断前调用系统函数关闭鼠标,在实验结束关闭CAN中断后再重新打开鼠标,消除鼠标对CAN中断的影响。

通过以上措施,提高了CAN总线的抗干扰能力和监控终端数据接收的稳定性,系统运行过程中没有出现丢包现象。

系统中使用了四台科尔摩根永磁同步电机M-403-B,额定功率2.2kW,最大转速3000rpm。系统工作在位置环跟踪模式,跟踪 $60^\circ/\text{s}$, $60^\circ/\text{s}^2$ 的位置正弦信号。使用设计的监控终端,实验得到的位置、位置误差、速度和电流曲线如图8~图11所示。

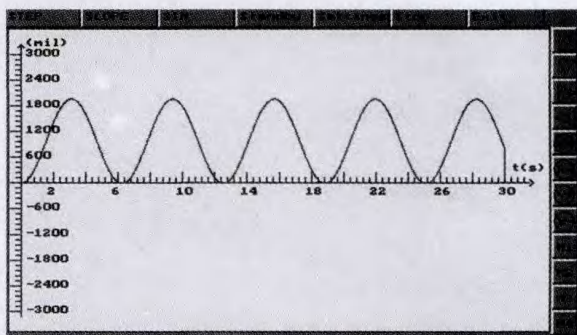


图8 位置曲线

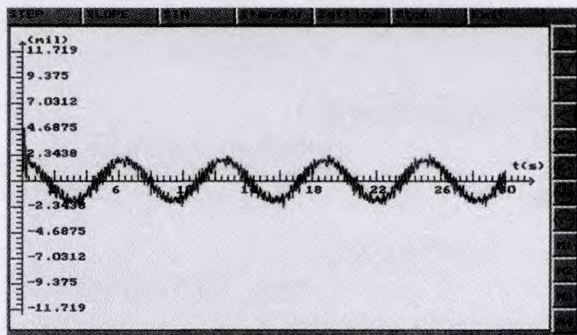


图9 位置误差曲线

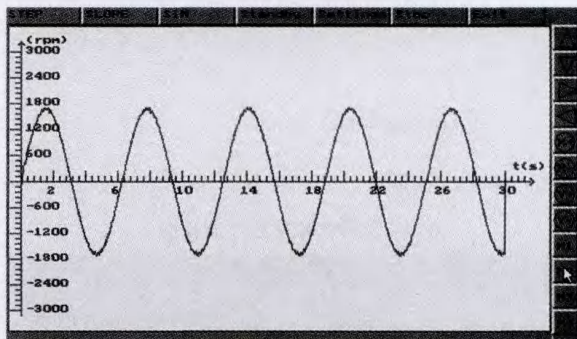


图10 速度曲线

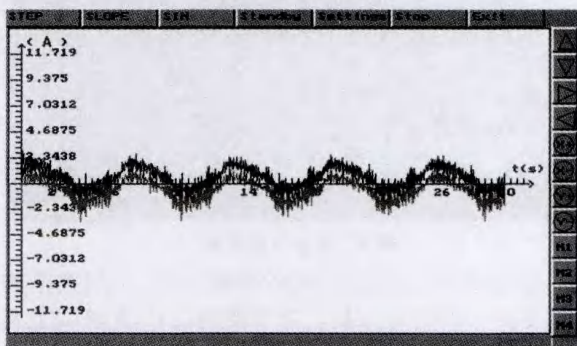


图11 电流曲线

实验结果表明,监控终端运行稳定可靠,可实现多种数据的实时显示和分析,为系统调试、控制器设计、系统故障诊断等提供了便利。

5 结束语

本文设计了一种基于CAN总线和PC/104嵌入式计算机的多电机伺服系统监控终端,(下转第57页)

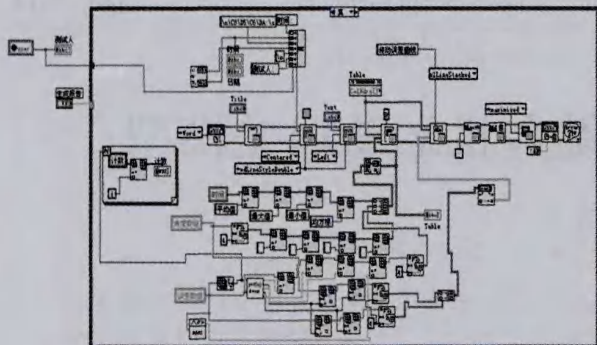


图6 实验报告程序框图

3 实验结果及波形

驱动电机为台达交流伺服电机,两个扭矩传感器精度均为0.5%,选用 Akribis 力矩电机及磁粉制动器作为系统负载,所能提供的最大扭矩为 100N·m,表1为型号 XB1-100-100 谐波减速器在各个转速和负载下所测得的平均效率值,由所测得的数据可以看出,在同转速下,负载越大(小于谐波减速器最大负载),谐波减速器的传动效率越高;在相同负载下,转速越高,谐波减速器的传动效率越低。

表1 谐波减速器的传动效率

| 效率 电机转速 | 负载 扭矩 (%) | 10(N·m) | 50(N·m) | 100(N·m) |
|------------|--------------|---------|---------|----------|
| | | | | |
| 5(rpm) | | 26.88 | 61.09 | 69.70 |
| 50(rpm) | | 20.81 | 53.80 | 64.90 |
| 200(rpm) | | 14.34 | 43.52 | 57.14 |

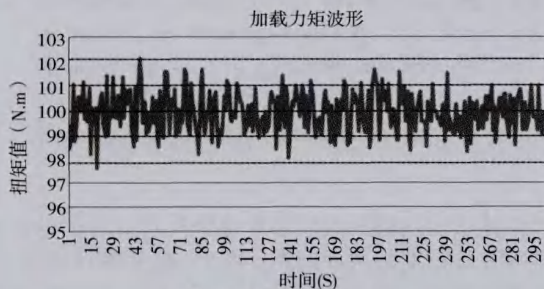


图7 力矩波形图(1)

(上接第54页)可实时接收并处理CAN总线上各设备的信息,响应速度快,实时性好,可靠性高,具有友好的人机界面。系统结构简单,可扩展性强,适用于不同的应用场合,具有一定的应用和推广价值。

[参考文献]

- [1] Ren Jun, Li Chun-Wen, Zhao De-Zong. CAN-based synchronized motion control for induction motors[J]. International Journal of Automation and Computing, 2009, 6(1): 55-61.
- [2] 贺安超,刘卫国,马珊. 基于CAN总线的多电机嵌入式监控系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(7): 1605-1608.
- [3] 刘景林,王帅夫. 数控机床用多步进电机伺服系统控制[J]. 电机与控制学报, 2013, 17(5): 80-86.
- [4] 施雅婷. 基于CAN总线的多电机分布式控制系统研究[D]. 南京:南京邮电大学, 2011.

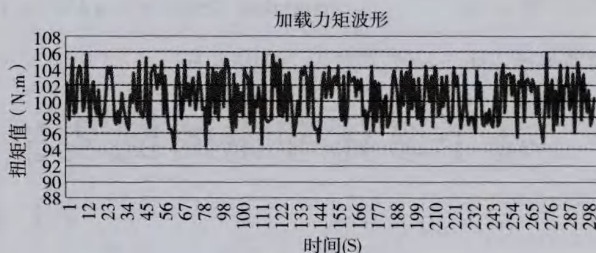


图8 力矩波形图(2)

图7和图8都为驱动电机转速为200rpm,给定负载为100N·m下所测得的力矩波形图。图7为力矩电机与磁粉制动器共同加载的波形图,图8为单独由磁粉制动器加载的波形图。从结果可以看出采用力矩电机与磁粉制动器相结合的方法使得加载精度较高,提高了系统测试的精度。

4 结束语

该套测试系统的设计通用性强,硬件只需作少许的改动就可以测试谐波减速器另一项指标—传动误差。软件部分通过调用通用的模块进行组合,就可以完成传动误差测试的软件编程。用户界面简洁,易于操作,测试方便快捷。通过多次实验,体现了该套系统具有可靠性好,测试精度高等优点。

[参考文献]

- [1] 阳培,张立勇. 谐波齿轮传动技术发展概述[J]. 机械传动, 2005, 3(1): 15-19.
- [2] 万筱剑,姚志飞,孔翔. 谐波齿轮减速器虚拟测试系统的研究[J]. 制造业自动化, 2011, 4(33): 15-16.
- [3] 韩敏,刘坤,吴开春,等. 谐波齿轮减速器测试系统的研究[J]. 机床与液压, 2010(38): 90-91.
- [4] 蔡振,吕新生,李志远,等. 基于虚拟仪器的微型减速器机械效率测试系统[J]. 仪表技术与传感器, 2008(10): 31-33.
- [5] 胡利永,郑堤. 齿轮蜗杆减速机效率动态测量[J]. 机床与液压, 2005(10): 149-150.
- [6] GB/T 14231-93, 齿轮装置效率测定方法[S].
- [7] 李曼,冯华光. 减速器性能测试虚拟仪器的研究与开发[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2006(1): 33-34.
- [8] 孙瑞涛,辛洪兵,丁熙元,等. 谐波齿轮传动系统的各误差分量及其综合[J]. 北京工商大学学报(自然科学版), 2002, 20(1): 49-50.
- [9] 骆庆. 基于LABVIEW的蜗杆减速器测试系统[J]. 机电工程, 2007, 24(8): 109-110. (编辑 赵蓉)

- [5] 张伟. 基于CAN总线的雷达伺服协调控制研究[D]. 成都:电子科技大学, 2011.
- [6] 邓先荣. 天线伺服系统多电机同步控制方法[J]. 现代雷达, 2005, 27(6): 45-48.
- [7] 郭宽明. CAN总线原理和应用系统设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2008.
- [8] 李正军,陈亮. 基于PC104的CAN总线接口设计及其嵌入式应用[J]. 仪表技术与传感器, 2008(7): 57-59.
- [9] Wang Zhihong, Chen Qingwei, Wu Yifei. Research on Multi-motor Synchronous System Based on CAN[C]. 8th World Congress on Intelligent control and Automation, Jinan China, July 2010, 4209-4213.
- [10] 唐任远. 现代永磁电机[M]. 北京:机械工业出版社, 2005. (编辑 赵蓉)