

双总线架构圆纬机编织机构控制单元设计*

彭来湖¹, 杨 敏¹, 史伟民¹, 汤 炜¹, 刘凤臣²

(1. 浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018;

2. 杭州娃哈哈集团有限公司, 浙江 杭州 310009)

摘要: 针对圆纬机编织机构形式多样、三角及进纱路数繁多、现有控制电路复杂、驱动线路易相互干扰等问题, 采用模块化设计思路, 提出了一种基于CAN总线和RS485总线的双总线架构圆纬机编织机构控制单元设计方案。阐述了控制单元硬件的电路设计, 重点论述了CAN总线和RS485总线多节点通讯在圆纬机编织机构控制单元的实现和应用层协议制定, 并给出了CAN总线和RS485总线接口驱动程序的设计。实时性测试结果表明, 双总线数据传输时间与理论值相符合, 该控制单元符合圆纬机控制实时性高的要求; 同时现场调试结果证明, 该控制单元性能稳定可靠, 抗干扰能力强, 具有较好的扩展性。

关键词: 双总线通讯架构; CAN总线; RS485总线; 多节点

中图分类号: TS103.7; TH39; TH69

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)06-0668-06

Knitting mechanism controller design of circular knitting machine based on double bus architecture

PENG Lai-hu¹, YANG Min¹, SHI Wei-min¹, TANG Wei¹, LIU Feng-chen²

(1. College of Machinery and Automatic Control, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;

2. Hangzhou Wahaha Group Co. Ltd., Hangzhou 310009, China)

Abstract: Aiming at the problems of various forms, multi triangles and feeders of the knitting mechanism in circular knitting machine, complexity of the existing control circuit, mutual interference in drive circuit, a design project of the knitting mechanism control module of circular knitting machine based on double bus architecture was proposed with modular design. The hardware circuit of control module, the realization of the CAN bus and RS485 bus multi-node communication and the implementation of the application layer protocols in the knitting mechanism control module of circular knitting machine, the CAN and RS485 driver were discussed. The test of instantaneity shows that the control module meets with the requirement of high instantaneity as the time of double bus data transmission is the same as the theories value. The results of the control module running indicate that it has a stable performance, anti-jamming ability and easy scalability.

Key words: double bus architecture; CAN bus; RS485 bus; multi-node

0 引 言

圆纬机大筒径、细针距、多路数、高速度的发展趋势, 对控制系统的性能提出了更高的要求。随着电子自动化控制技术, 计算机选针、选色技术以及人机界面对话和网络信息传导的功能在针织大圆机上的广泛应用^[1], 国外圆纬机自动化和智能化水平较高, 控制

系统抗干扰能力强, 性能稳定。国产的控制器与进口控制器相比, 存在选针准确性低、实时性不高、扩展性和抗干扰性不强等缺点, 往往控制电路复杂, 驱动线路易相互干扰, 性能不稳定。

圆纬机编织机构是圆纬机中的一个核心机构单元, 用于实现成圈、集圈、浮线等编织动作, 编织机构动作的准确性和时效性直接关系坯布的质量。现有

的控制系统以单一总线架构为主,随着网络节点数的增加,总线通讯实时性和可靠性都会降低,已不能满足圆纬机编织机构形式多样,三角及进纱路数繁多的控制要求。

通过深入研究CAN总线和RS485总线的特性^[2],本研究设计一种结合CAN总线和RS485总线的圆纬机编织机构控制单元双总线架构,并根据圆型纬编机编织工艺的控制要求,以高性能Cortex-M3内核的ARM芯片为CPU对编织机构控制单元进行模块化设计。

1 控制单元双总线架构

圆纬机编织机构主要有织针、三角和纱嘴,其相互配合实现织物的编织。其中,纱嘴、织针和三角(除密度三角外)由气阀来驱动,密度三角由步进电机来驱动。气阀控制单元通过2路CAN总线与实时控制单元进行通信;密度电机控制单元通过RS485总线与实时控制单元进行通信。考虑到圆纬机编织机构控制单元的扩展性,本研究结合现有的圆纬机编织机构,对控制单元进行模块化设计。气阀控制单元共9个模块,包括3个选针气阀控制模块、3个纱嘴气阀控制模块和3个三角气阀控制模块;密度电机控制单元,共6个模块,每一个控制模块驱动6个步进电机。每一个气阀控制模块和密度电机控制模块都有各自独立的CPU控制各自的动作,互不干扰,增加了抗干扰能力,提高了扩展性和实时性。

圆纬机编织机构控制单元双总线架构如图1所示。

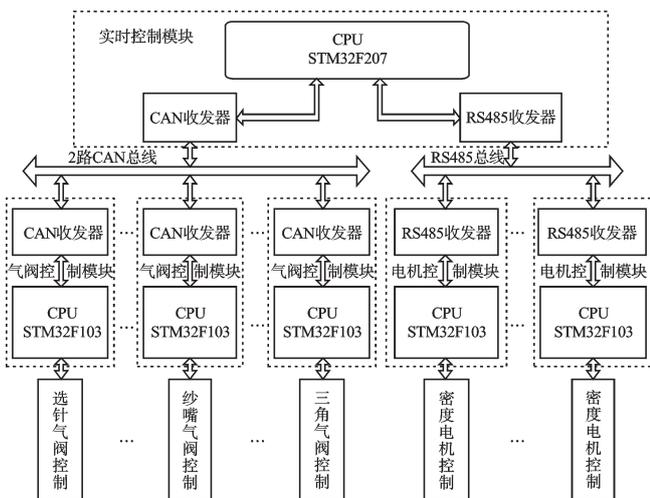


图1 编织机构控制单元双总线架构

控制单元的核心选用ST公司的ARM芯片STM32F207。芯片采用32位Cortex-M3内核,最高工作频率可达120 MHz,闪存1 MB,最多可提供140个I/O端口,同时内部具有6路UART口和2路CAN控制器,支持CAN2.0B协议,集成度高且稳定性好,符合该

控制系统的硬件要求。气阀和电机控制选用ST公司基于Cortex-M3内核的ARM芯片STM32F103。整个控制单元采用同一公司同一系列的ARM芯片,缩短了开发周期,降低了成本和系统复杂性,提高了系统各单元间通讯的稳定性和可靠性。

2 控制单元硬件电路设计

2.1 密度电机驱动电路设计

密度电机用于实现调整衣片的松紧程度。本研究选用两相四线混合式步进电机作为密度电机,同时采用BD63860步进电机驱动芯片,可准确完成织物密度的调节。步进电机控制信号(STEP、SM_EN、DIR、MT和SM_RESET)通过光耦隔离分别连接BD63860的CLK、ENABLE、CW/CCW、MT和RESET 5个引脚,实现芯片工作电压3.3 V与+5 V的隔离,防止干扰。根据BD63860的数据手册,本研究设置参考电压VREF为2 V,电流输出为1.2 A。由于密度电机运行速度不高,采用混合衰减模式解决电机衰减时出现振动大和噪音高等问题。本研究采用电阻来设置细分方式,默认为8细分方式,通过设置CR1和CR2连接的电阻电容,设定电机PWM频率。

2.2 气阀驱动电路设计

气阀驱动电路采用NPN型达林顿管TIP122作为驱动气阀的控制元件,因此设计气阀驱动电路主要计算驱动电流。本研究采用电阻分压的方法,保证光耦输出端的电压 U_o 为+24 V。考虑到气阀发热问题,TIP122工作于饱和区。由气阀规格为DC24 V/2.5 W,得到集电极电流 $I_c = 104 \text{ mA}$ 。当基极电流 $I_b > (I_c/\beta) = 0.1 \text{ mA}$ 时(β 为放大倍数,由数据手册得到),三极管就处于饱和状态。在设计时,令 I_b 为0.8 mA,而TIP122导通时,基极与发射极之间的电压 $U_{BE} = 0.7 \text{ V}$,所以根据 $I_b = (U_o - U_{BE})/R$,得到连接基极的电阻 R 为30 k Ω 。经过计算,使用TIP122能够有效地驱动气阀。

电路采用光耦HCPL181实现+24 V和VDD 5 V的隔离,增强抗干扰能力。由于电磁线圈控制气阀导通,如果一直保持导通状态,则发热量过大,本研究采用高压导通和PWM占空比保持的方法达到降低发热量、减少功耗和保护气阀的目的。

2.3 CAN总线接口电路设计

抗干扰能力和通讯实时性是设计CAN总线接口电路需要考虑的重要因素。CAN总线接口电路采用TJA1050作为CAN收发器,波特率最高可达到1 Mbps,可以至少连接110个节点,实现多节点高速通讯;高速光耦TLP2116实现电源隔离,减少信号滞后,保证CAN通讯的实时性,提高CAN通讯的传输效率。为了

进一步提高CAN总线的传输速度,光耦U1的输出端OUT2和TJA1050的数据输入端TXD接上拉电阻 R_1 。光耦输入端电阻 R_2 和 R_3 起到限流作用,为光耦提供合适的电流;电容 C_2 和 C_6 为滤波电容,实现杂波信号的过滤,提高抗干扰能力。双通道的高速光耦TLP2116可以实现系统的双路CAN总线通讯设计,提高系统的总线扩展能力。为了解决远近端阻抗不匹配的问题,在CAN总线末端接120 Ω 终端电阻^[3]。

CAN总线接口电路如图2所示。

2.4 RS485总线接口电路设计

RS485总线用于密度电机与实时控制单元之间的通讯。由于密度电机需要向实时控制单元反馈报警信号和电机的状态,实现通信双方能够在同一时刻进行发送和接收数据,接口电路采用RS485全双工模式^[4],四线制的接法(RXD_N、RXD_P、TXD_N、TXD_P)。为了实现全双工模式,通讯双方都采用SP490E作为RS485总线收发器。SP490E是一个低功耗差分收发器,数据传输速率高达10 Mbps。采用SP490E可以实现数据差分高速传输,提高RS485通讯的抗干扰能力和数据传输速度,保证通讯的可靠性和稳定性。

考虑到总线传输的实时性,依据TLP2116数据手册,光耦的最大传输延时为75 ns,符合RS485总线高

速传输,因此电路采用双通道高速光耦TLP2116。同时采用TLP2116可以实现多路总线通讯设计,提高控制单元的扩展性。光耦的输出端OUT1与收发器发送数据输入端TXD的上拉电阻 R_2 ,保证了光耦输出电平的确定性,提高了RS485总线通讯的传输速度。RS485总线的末端的终端电阻 R_3 和 R_6 起到总线阻抗匹配作用^[5]。

RS485总线接口电路如图3所示。

3 CAN多节点通讯设计与实现

3.1 CAN总线多节点通讯设计

3.1.1 CAN总线多节点通讯可行性分析

圆纬机编织机构单元与实时控制单元之间的通信比较复杂,因此CAN总线通讯要求CAN具有高实时性。衡量CAN网络通信的实时性指标是通信传输延时时间^[6]。根据CAN总线的位填充机制,单个扩展帧的传输延迟时间 C_m 表示为^[7-9]:

$$C_m = (64 + 8S_m + N) \times \tau_{bit} \quad (1)$$

式中: S_m —数据的字节数, S_m 为8个字节; τ_{bit} —总线时间,设计采用1 Mbps波特率, $\tau_{bit} = 1 \mu s$;N—位填充的位数,扩展数据帧的位填充位数为0~23。

因此由式(1)得,单个扩展帧的传输延迟时间 C_m

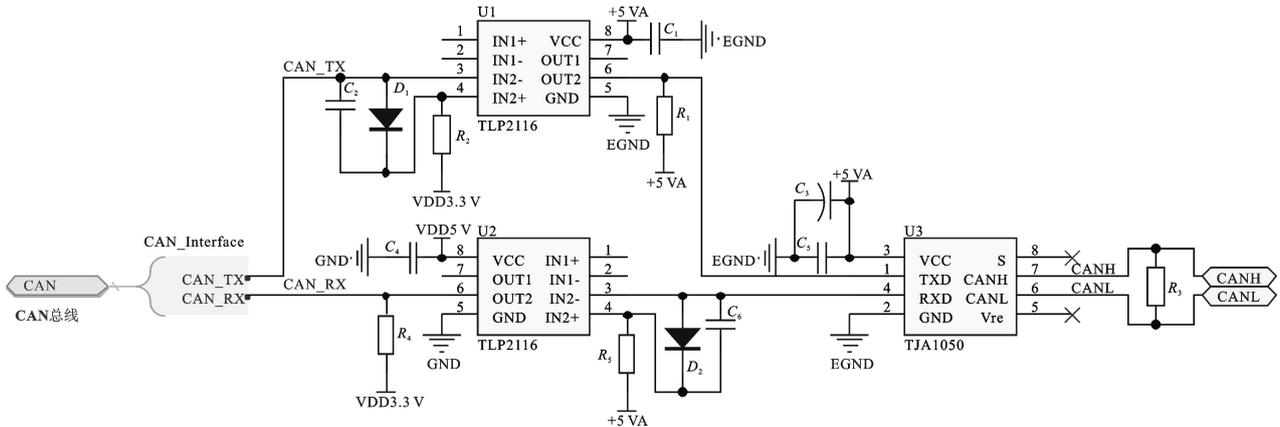


图2 CAN总线接口电路

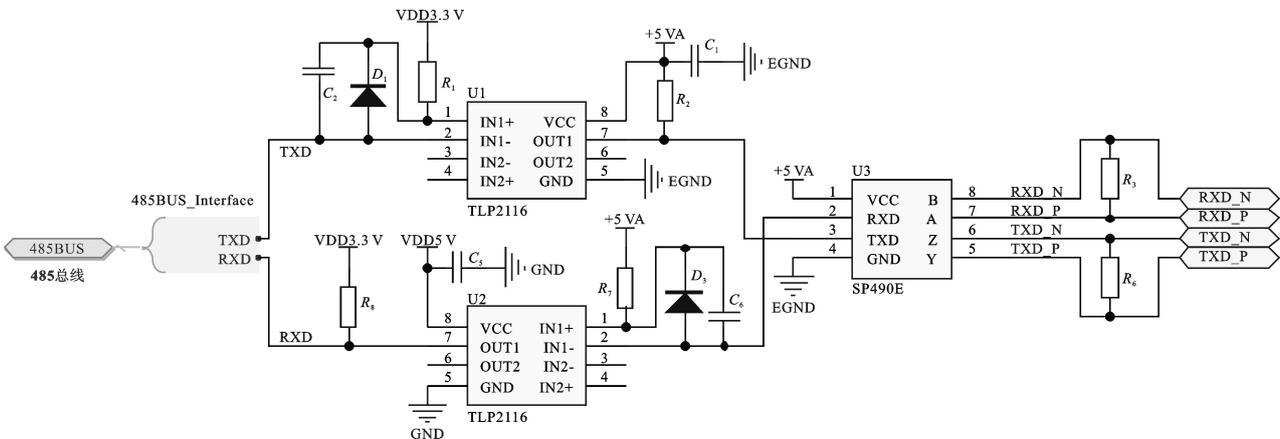


图3 RS485总线接口电路

为 128 μs ~151 μs 。

以中国台湾三达 SDG-4A 双面机为例,其转速 $W=23 \text{ r/min}$ 、筒径 $R=864 \text{ mm}$ 、机号 $E=28 \text{ 针/英寸}$,则针距 $G=0.907 \text{ mm}$ 。根据计算公式($T=G/W$)可得到移过每一针时间 $T=872 \mu\text{s}$ 。通过计算可知,CAN 总线的传输延时 $C_m < T$,因此采用 CAN 总线进行通讯符合圆纬机的控制要求。

ST公司的 ARM 芯片 STM32F207 内部具有两路独立的 CAN。考虑到 CAN 总线通信的负载率以及数据传输延时,本研究采用两路 CAN 与气阀驱动单元进行通信,一路 CAN 与 6 块气阀驱动板进行通信,另外一路 CAN 与 3 块气阀驱动板进行通信;同时设置接收方的 CAN 过滤器使有效报文被唯一站点接收,减少了报文的传输延时,提高了 CAN 通讯的实时性和可靠性,并且 CAN 总线处理能力还有一定的余量,提高了系统的可扩展性,完全满足圆纬机编织机构的控制要求。

3.1.2 CAN 应用层协议制定

根据圆纬机编织机构单元的控制特性,本研究以 CAN2.0B 协议为基础,定义圆纬机控制通讯协议 sCAN,如表 1 所示。本研究采用 CAN2.0B 协议扩展数据帧 29 位标识符作为 sCAN 协议 ID 及指令位域;ID28 位为预留位、ID27~ID22 为 6 位源地址 ID(发送方 ID)、ID21~ID16 为 6 位目标地址 ID(接收方 ID)、ID15~ID8 为 8 位指令代码、ID7~ID0 为 8 位功能代码。协议中接收方 ID 有 6 位,最多有 64 个不同地址 ID,满足 9 块气阀驱动板与 ARM 芯片之间的通讯,同时具有一定的地址余量,提高控制系统的扩展性。

表 1 CAN 协议 ID 及指令位域

ID28	ID27~ID22	ID21~ID16	ID15~ID8	ID7~ID0
预留位	6 位源地 址 ID	6 位 目标地址 ID	8 位 指令代码	8 位 功能代码

3.2 CAN 总线多节点通讯实现

3.2.1 CAN 驱动程序开发

CAN 驱动程序主要完成数据的接收和发送,包括 CAN 控制器的初始化、数据发送和接收。CAN 初始化模块,包括时钟初始化、波特率设置、配置 CAN 工作模式、配置中断工作方式、配置过滤器等。数据发送主要采用查询方式。为了提高数据传送的效率和实时性,CAN 报文的接收采用中断方式。CAN 初始化中开启 CAN 中断,接收时进入中断函数对收到的报文进行处理。接收到的报文标识符只有与标识符列表模式下的过滤器匹配时,报文才能被存放到相关联的 FIFO 中,并且所匹配的过滤器序号被存入过滤器匹配序号中。CAN 数据接收主要采用了 CAN 3 级缓存来连续保存报文,以减少报文的丢失。

3.2.2 基于命令解析的主程序开发

主控制层发出 CAN 命令,底层气阀驱动板通过 CAN 收发器接收到 CAN 命令并对 CAN 命令进行解析。首先通过 if 函数来判断指令代码(CAN-RMB0_Buffer1.FCode)是否为气阀控制指令。如果 CANRMB0_Buffer1.FCode 为 0x12,则通过 switch(CAN-RMB0_Buffer1.FParameter)函数判断功能代码并调用相应的处理函数:

case 0xA1 表示气阀测试指令,主要包括气阀选针板测试(0x01~0x03)、气阀纱嘴板测试(0x11~0x13)、气阀三角板测试(0x21~0x23)和气阀状态回归(0xFF); case 0x01~case 0x03 表示 1~3 号气阀选针板动作; case 0x11~case 0x13 表示 1~3 号气阀纱嘴板动作; case 0x21~case 0x23 表示气阀三角板动作。

CAN 命令解析如图 4 所示。

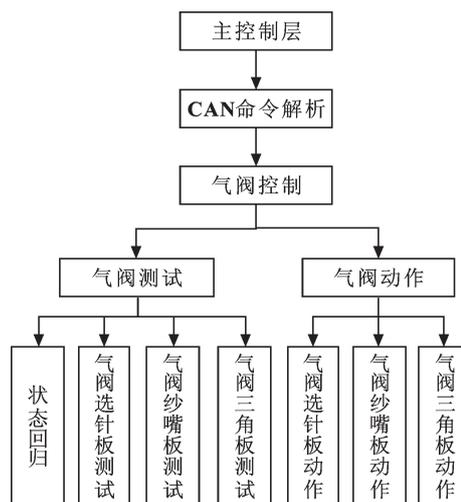


图 4 CAN 命令解析框图

4 RS485 多节点通讯设计与实现

4.1 RS485 总线多节点通讯设计

4.1.1 RS485 多节点通讯可行性分析

对于 RS485 总线通讯,衡量实时性的指标仍是通信传输延时。RS485 总线传输延时主要由通信速率以及总线上的传输信息量决定。采用数据包的形式进行通讯,总共 17 个字节,同时每个字节都有开始位和结束位,则一个数据包有 170 位;本研究采用 1 Mbps 的波特率,总线时间为 1 μs 。根据 RS485 总线单字节数据传输的特性^[10],完全传输一个数据包的时间为 170 μs ,小于移过每一针时间 T ,符合圆纬机的控制要求。

同时,控制单元采用 6 路独立的 UART 口与密度电机驱动板通讯,实现每一路 UART 口与一块密度驱动板之间的通信,速度相当于单路总线的 6 倍,降低了 RS485 总线的负载率,提高了数据的传输速度;软件设计采用 CRC 冗余校验方式,以清除错误数据包,提高

通讯的可靠性。

经分析,采用RS485总线多节点通讯,有效地提高了RS485总线通讯的稳定性、可靠性和实时性,完全满足了圆纬机密度电机的控制要求,符合圆纬机编织机构控制单元高可靠性和高实时性的要求。

4.1.2 RS485应用层协议制定

根据圆纬机密度电机的控制特性,RS485通讯以数据包的形式进行数据传输。数据包包含8位识别代码、8位指令代码、8位功能代码、8字节数据、4字节CRC校验码和2字节完成标识符。数据包结构简单,同时8字节的数据可以简单实现一块驱动板6个步进电机的控制,降低了软件开发的复杂度。协议中接收方可通过识别码来判断数据是否有效,减少了数据接收错误率,提高了通讯的可靠性和实时性。

4.2 RS485总线多节点通讯实现

4.2.1 RS485驱动程序开发

RS485驱动程序分为UART初始化、数据发送和接收3个部分。UART初始化模块,主要设置时钟、波特率、串口工作模式和中断工作方式等。数据发送采用查询方式。为了提高数据传输的效率和实时性,数据的接收采用中断方式。主控制器发送数据,底层密度电机驱动板接收到数据,通过判断该数据中的识别码;如果识别码被正确识别,密度电机驱动板接收带有CRC校验码的数据包,并判断CRC校验码是否正确;如果错误则舍弃所有数据,正确则将数据存入并清空接收寄存器,等待下次接收。

4.2.2 基于命令解析的主程序开发

主控制层根据上位机的指令发出RS485命令,以实现底层密度电机的各个动作的控制。密度电机动作作为密度电机控制和密度电机检测,程序采用while函数的层层嵌套来实现各种命令的解析,完成密度电机的控制。本研究通过while函数来判断指令代码是否分别为密度电机控制控制指令(0x11)和密度电机检测控制指令(0x21):

如果指令代码为0x11,则继续通过while函数判断功能代码并调用相应的处理函数:0xA1表示电机归零,主要包括单个电机归零(0x01)、全部电机归零(0x02)和状态回归(0xFF);0xA2表示1~3表示电机跑位,主要包括单个电机脉冲测试(0x01)、单个电机位置测试(0x02)、指定脉冲运动(0x03)和指定位置运动(0x04)。

如果指令代码为0x21,通过while函数判断功能代码并调用相应的处理函数:0xA1表示电机零位请求,主要包括单个电机号零位(0x01)和指定电机板零位(0x02);0xA2表示电机零位应答,主要包括单个电

机号零位(0x01)和指定电极板零位(0x02)。

RS485命令解析如图5所示。

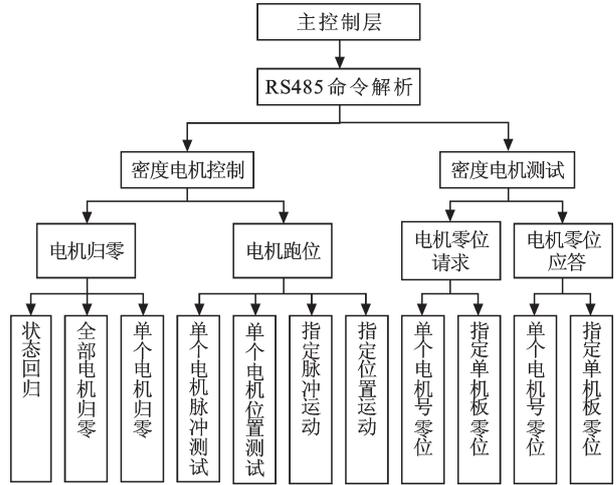


图5 RS485命令解析框图

5 测 试

圆纬机双总线架构编织机构控制系统测试包括:CAN总线和RS485总线传输延时测试以及系统稳定性、可靠性的测试。总线传输延时测试采用示波器采集数据波形的方法。通过以29位帧ID 0x000112A1和8字节数据0x00、0x01、0x01、0x00、0x00、0x00、0x00、0x00为传输数据,对CAN总线传输延时进行测试;采用17字节的数据包(数据包数据为0xAA、0x00、0x11、0xA1、0x01、0x06、0x01、0x00、0x00、0x00、0x00、0x00、0x19、0x46、0x4D、0x34、0xFF)对RS485总线传输延时进行测试。CAN总线发送数据测试波形如图6、图7所

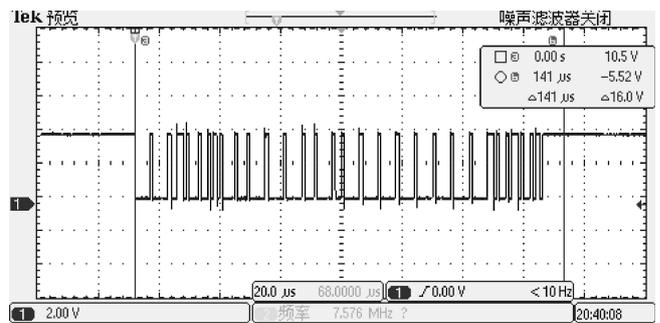


图6 CAN总线数据传输波形

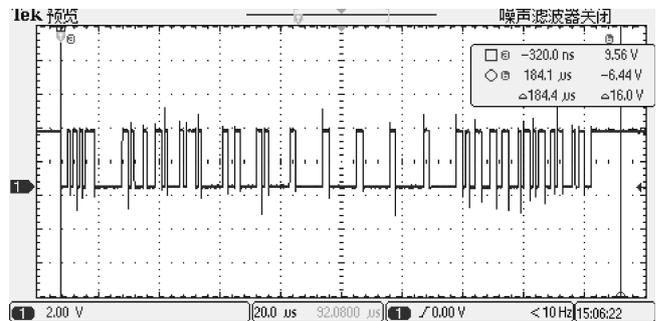


图7 RS485总线数据传输波形

示。

图6表明:CAN总线单个扩展帧传输时间为141 μs ,其中位填充的位数 $N=13$,则根据式(1)可得理论值 $C_m=141 \mu\text{s}$,与实际所测得的时间数据相符合。图7表明:RS485总线数据传输时间为184.4 μs ,与理论值170 μs 存在一定的误差。经分析,误差主要来源于RS485总线两字节数据传输之间存在的1 μs 左右的延时。由图6和图7波形得到的数据与发送数据相符合,同时总线数据传输时间都小于移过每一针时间 T ,符合圆纬机实时性的控制要求。

本研究以圆纬机23 r/min的转速连续编织48 h作为测试条件,对系统的稳定性和可靠性进行测验。采用CAN总线监测仪和RS485总线监测仪实时捕获总线数据,监测结果表明,总线上发送和接收的数据正确,气阀和密度电机准确地按指令动作,编织动作正常,系统运行稳定可靠。

6 结束语

双总线架构圆纬机编织机构单元通过CAN总线和RS485总线,以总线多节点的方式传输数据,保证了各个模块间通讯的稳定性和可靠性。以双总线多节点方式进行各个控制单元间的数据通信,相对于单一总线而言,双总线中每一总线的节点数量减少,减短了传输线的长度,降低了总线负载,提高了通讯速度,进而提高整个系统的实时性和抗干扰能力。

现场调试证明,圆纬机编织机构可以准确快速地接收数据,完成编织过程,满足圆纬机控制系统高实时性、高稳定性和高可靠性的要求。

参考文献(References):

- [1] 汤文宏. 2010中国国际纺织机械展览会暨ITMA亚洲展览会针织机械述评[J]. 针织工业,2010(8):1-8.
- [2] 孙磊,李平舟. 智能测控系统中的RS485总线和CAN总线[J]. 电子科技,2009,22(9):46-48.
- [3] 杜洪亮,张培仁,王亮,等. CAN总线远程传输可靠性的设计方法和实现[J]. 电子技术,2009(3):1-3.
- [4] 李乐,郑宾,秦建斌. 全双工RS485总线发送机制的研究[J]. 中国仪器仪表,2008(2):41-43.
- [5] 李兵. RS-485总线传输系统的一些关键技术[J]. 湖南第一师范学报,2004,4(4):104-115.
- [6] 袁远,李红信. CAN网络实时性分析及改进[J]. 电子设计工程,2010,18(6):110-112.
- [7] 田静,黄亚楼,王立文,等. CAN总线固定优先级调度算法的应用[J]. 计算机工程,2006,32(23):94-96.
- [8] TINDELL K, BURNS A, WELLINGS A. Calculating controller area network (CAN) message response times [J]. **Real-Time Systems**, 1995, 3(8): 1163-1169.
- [9] 李佳,朱元,田光宇. CAN与TTCAN通信延迟时间的分析[J]. 清华大学学报:自然科学版,2006,46(2):261-265.
- [10] 周建章,赵颖. 基于RS-485主从通信协议的改进[J]. 电子质量,2011(1):23-25.

[编辑:张翔]

(上接第653页)

- [6] 宋丽梅. 磁阻式电子罗盘的软件集成设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学理学院,2007.
- [7] 李希胜,王家鑫,汤程,等. 高精度磁电子罗盘研制[J]. 传感器技术学报,2006,19(6):2441-2444.
- [8] 钱正洪,白茹,黄春奎,等. 先进磁电子材料和器件[J]. 仪表技术与传感器,2009(11):96-101.
- [9] 钱正洪,杨昌茂,白茹,等. 集成磁电子器件研究[J]. 计算机与数字工程,2010,38(9):59-61.
- [10] 汤玉林,李俊文,翟光杰. 利用GMR效应的电子指南针[J]. 数据采集与处理,2005,20(3):342-345.
- [11] BAKER B. A Baker's Dozen: Real Analog Solutions for Digital Designers [M]. Boston: Newnes, 2005.
- [12] SILICON LABORATORIES INC.. C8051F35x Delta Sigma ADC User's Guide[Z]. LABORATORIES INC., 2005.
- [13] INTERSIL CORPORATION. Instrumentation Amplifier Application Note[Z]. INTERSIL CORPORATION, 2009.
- [14] 经纬,魏丽丽,王力. PCB地平面的分割[J]. 印制电路信息,2007,3:39-43.
- [15] 任建峰. 电子设备PCB组件的动态特性研究[J]. 机电工程技术,2010,39(2):101-105.
- [16] LI Xi-sheng, KANG Rui-qing, SHU Xiong-ying. Tilt-Induced-Error Compensation for 2-Axis Magnetic Compass with 2-Axis Accelerometer [C]//World Congress on Computer Science and Information Engineering. Los Angeles/ Anaheim: [s.n.], 2009:122-125.
- [17] FANG Jian-cheng, SUN Hong-wei, CAO Juan-juan. A Novel Calibration Method of Magnetic Compass Based on Ellipsoid Fitting[J]. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, 2011, 60(6):2053-2061.

[编辑:李辉]