

基于 XMC4800 的 EtherCAT 总线伺服控制系统设计

马梦意, 徐建明

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310023)

摘要: 在研究实时工业以太网的基础上, 设计了一套支持工业以太网 EtherCAT 总线通讯的伺服驱动系统; 采用英飞凌公司 ARM Cortex-M4 架构且集成 EtherCAT 从站控制器功能的 XMC4800 单片机, 搭建了一种 EtherCAT 总线型伺服驱动器; 设计了 EtherCAT 从站伺服驱动电路, 包括网络通讯电路、电机驱动电路、电流与电压检测电路、编码器检测电路等; 利用倍福 SSC_Tool 软件配置生成从站协议代码和设备描述 XML 文件, 按照 CIA402 运动控制协议添加适用于本系统的对象字典; 在英飞凌的编程软件 Dave 上配置 ECAT_SSC 和 SVPWM 控制的 APP, 生成底层代码; 设计了 ADC 转换结束中断服务子程序, 包含伺服驱动的位置环、速度环、力矩环和电流环控制算法; 基于精密滚珠丝杆模组搭建一个单轴伺服实验装置, 利用 TwinCAT 软件验证设计的 EtherCAT 从站伺服驱动系统的可行性。

关键词: 英飞凌 XMC4800; EtherCAT 现场总线; 伺服驱动器; 矢量控制

Design of EtherCAT Bus Servo Control System Based on XMC4800

Ma Mengyi, Xu Jianming

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Based on the research of real-time industrial Ethernet, a servo drive system is designed which supports the EtherCAT bus communication of industrial Ethernet. An EtherCAT bus-type servo driver is constructed by using the Infineon XMC4800 MCU with ARM Cortex-M4 architecture and a integrated EtherCAT slave Controller. The circuits of the EtherCAT slave servo driver are designed, including network communication circuit, motor drive circuit, current and voltage detection circuit, encoder detection circuit and so on. The slave protocol code and device description XML file are generated by using Beckhoff SSC_Tool software configuration, and the object dictionary suitable for the system is added according to CIA402 motion control protocol. ECAT_SSC and APP controlled by SVPWM are configured on Infineon programming software Dave to generate the underlying code. The interruption service subprogram of ADC conversion termination is designed, and control algorithms of position loop, speed loop, moment loop and current loop with the servo drive are presented. Based on precision ball screw module, a single axis servo experimental device is built. The feasibility of the servo drive system of EtherCAT slave station is verified by TwinCAT software.

Keywords: Infineon XMC4800; EtherCAT Fieldbus; servo driver; vector control

0 引言

现代智能工业^[1]自动化技术是信息社会中的关键和核心技术之一, 自动化技术促进了人类文明的发展。目前, 随着对伺服系统^[2]的信息化管理需求加剧, 将现场总线、实时工业以太网等技术应用于伺服系统中引起了人们的广泛关注, 现代交流伺服系统已呈现开放性、网络化、小型数字化和智能化等发展趋势。因此, 开展实时工业以太网通讯的伺服系统的研究具有重大的实际意义。

工业以太网技术快速发展, 采用全双工通信方式能同

时收发数据, 工业以太网的实时性也逐步提高。传统的伺服驱动器使用模拟接口和 I/O 的控制方式难以实现分布式。智能化具有统一标准协议的伺服控制系统的组建使得实时通信更加智能。目前许多国际组织正努力建立工业以太网统一标准协议, 使工业以太网国际标准化, 故实时工业以太网已成为伺服驱动接口的主流。当前主流实时以太网主要有 EtherCAT^[3]、Profinet、Ethernet、Powerlink、CC-Link IE 等。2003 年, 德国自动化公司 BECKHOFF (倍福) 提出了一种实时工业以太网技术 EtherCAT, 协议中对传统的以太网协议进行修改, EtherCAT 网络完全符合以太网标准并具有较好兼容性, 支持多种拓扑结构^[4], 适用性广泛、效率高、刷新周期短、同步^[5]性能好。

目前主流的 EtherCAT 总线伺服控制系统^[6]方案有 STM32/DSP 加 LAN9252, STM32/DSP 加 ET1100 从站芯片等。Beckhoff 公司 2009 年左右推出的 EtherCAT 从站控制器^[7] (EtherCAT slave control, ESC) ET1100, 芯片总线接口可以扩展为 4 个, 有 8 个现场总线内存管理单元和同

收稿日期: 2019-09-02; 修回日期: 2019-09-20。

基金项目: 国家自然科学基金—浙江省自然科学基金联合基金两化融合项目(U1709213); 国家自然科学基金面上项目(61374103)。

作者简介: 马梦意(1992-), 男, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要从事工业机器人和伺服控制技术方向的研究。

徐建明(1970-), 男, 江西吉安人, 教授, 博士研究生导师, 主要从事工业机器人和运动控制技术方向的研究。

步管理器,支持 E-BUS;需要外置 PHY 芯片,成本较高,对性能和接口数量有要求,可以选用此方案。2015 年美国 Microchip 公司推出的 LAN9252 芯片是集成了两路以太网 PHY 的 2/3 端口 ESC 芯片,最多有 3 个接口,最多支持 3 个 Fieldbus 存储管理单元^[8]和接口。以上两种 ESC 芯片方案需要外部的处理器 MCU 通过串行 SPI (Serial Peripheral Interface, 串行外设接口) 或者并行 FSMC (Flexible Static Memory Controller, 可变静态存储控制器) 等与其进行数据交互,需要编写 MCU 与 ESC 芯片的底层驱动代码^[9],多芯片协同工作方案成本较高、调试难度较大、开发周期长,且在 layout 布局时占用 PCB 空间大,MCU 与 ESC 芯片交互的高速信号容易受到干扰。

2015 年英飞凌公司推出的 XMC4800 微处理器内置一个 ESC 和 ARM Cortex M4 内核。内部的 EtherCAT 处理单元 (EPU) 接收、分析和处理 EtherCAT 数据,启用和协调对 ESC 的内部寄存器和内存空间的访问。MCU 支持最高 2MB 的嵌入式闪存、352Kb 的内存,是业内唯一支持 125℃ 的 M4 产品,可靠性高,且成本较低。配合 Dave 强大的 IDE (Integrated Development Environment, 集成开发环境),更方便地进行基于 EtherCAT 从站设备的开发。

本文以 EtherCAT 总线技术和矢量控制^[10]为理论基础,选用英飞凌公司的 XMC4800 为主控芯片,设计一种 EtherCAT 总线的从站伺服驱动系统。设计了 EtherCAT 网络通讯电路、电机驱动电路、电流与电压检测电路^[11]、编码器检测电路等。利用倍福 SSC_Tool 软件配置生成从站协议代码和设备描述 XML 文件,按照 CIA402 运动控制协议添加适用于本系统的对象字典^[12];在英飞凌的编程软件 Dave 上配置 ECAT_SSC 和 SVPWM 控制的 APP,生成底层代码;编写了伺服驱动的位置环、速度环、力矩环和电流环控制算法程序。最后搭建了一个单轴伺服实验装置,利用 TwinCAT 软件验证了所设计的 EtherCAT 从站伺服驱动系统的可行性。

1 系统结构及原理

EtherCAT 是一种将工业以太网和现场总线技术相结合的工业总线,符合以太网标准,具有带宽利用率高、实时性强、拓扑结构灵活、配置简洁、传输速度快、成本低等优势。本课题结合总线技术,利用倍福主站 TwinCAT 3 软件和自主设计的伺服驱动器,搭建电机驱动控制系统。基于 XMC4800 的 EtherCAT 总线伺服控制系统总体结构如图 1 所示;该系统的整体结构包括:工控机 TwinCAT 3 主站、EtherCAT 从站伺服驱动器、编码器、伺服电机。主站 TwinCAT 3 扫描从站,配置从站参数后开始进行运动轨迹位置和速度的规划,然后在每个 DC (Distribute Clock) 周期将位置和速度等控制命令下发给从站驱动器,并且实时获取电流、速度、位置等电机反馈的参数信息,形成闭环控制。

2 系统硬件设计

基于 XMC4800 的 EtherCAT 总线伺服控制系统的硬件

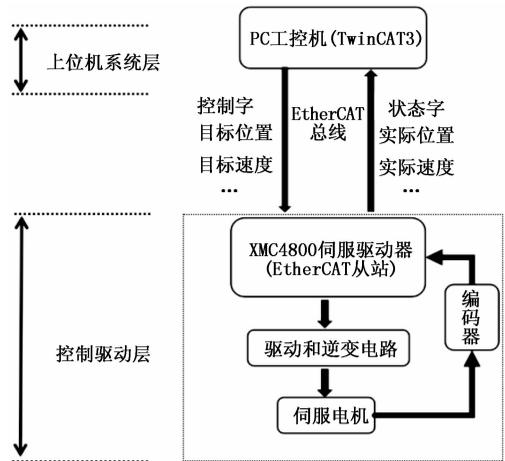


图 1 系统总体结构图

包括两部分:EtherCAT 总线从站网络通讯和伺服电机驱动。在设计原理图的时候采用英飞凌的引脚分配工具 Infineon_XMC_Pinout_Tool 选择 MCU 设备和封装,勾选需要的外设,对引脚进行分配。设计的伺服驱动器网络控制和伺服驱动部分都集成在一个 PCB 板子上,采用两层板的设计结构。

2.1 电源模块设计参数

伺服系统 DC48V 供电,LM2596-12 和 LM2596-5 作为开关电源降压芯片,分别降压到 12V 和 5V 给 MOS 驱动芯片和运放芯片供电。MCU 等芯片所需要的 3.3 V 电压由 AMS1117-3.3 转换得到。NCP1117ST18T3G 把 3.3 V 转换为 1.8 V 给 PHY 芯片的模拟电压供电。

2.2 最小系统及外围电路设计参数

采用 32 位主频 144 MHz 的 XMC4800 主控 MCU,16 位旋转拨码开关用于设置多轴伺服从站网络地址,EEPROM 存储电路用于驱动器掉电数据保存,USB 电路方便和上位机进行图形化界面调试和电机参数配置。

2.3 EtherCAT 网络通讯模块设计参数

XMC4800 内部集成 ESC,只需要一个 12 M 的石英晶振,ESC 通过 PHY 芯片 BCM5241 交互数据,由隔离变压器 H1102NL 连接到 RJ45 外部接口。带有两个 EtherCAT 接口,一进一出。可进行多种拓扑结构的系统组网。

2.4 电流采样模块设计参数

两个霍尔电流传感器 ACS711 采集 U、V 两相电流,经过搭建 TLV2374 的运放电路把采集到的模拟量给到单片机。传感器灵敏度 110 mV/A,最大量程 12.5 A,满足系统要求。

2.5 电机驱动模块

MOS 驱动芯片 IRS2003 供电电压 12 V,驱动 N 沟道场效应管 SW350R06VT,耐压 60 V 最大负载电流 24 A,满足系统 48 V 供电电压,驱动 100 W 电机的要求。

2.6 编码器电路设计参数

带有绝对值式编码器伺服电机,编码器位置获取电路用 ADM485 芯片搭建 RS485 通讯电路,芯片通讯速度 2.5

Mbps, 芯片供电电压 5 V。

2.7 数字输入输出电路设计参数

5 路数字输入采用光耦 EL3H4-G 隔离包括左、中、右限位和两个普通数字输入。3 路数字输出采用 EL357 光耦隔离包括到位信号、抱闸信号和报警信号, 负载 1.5 A 电流。

基于 XMC4800 的 EtherCAT 总线伺服控制系统总体硬件原理如图 2 所示。

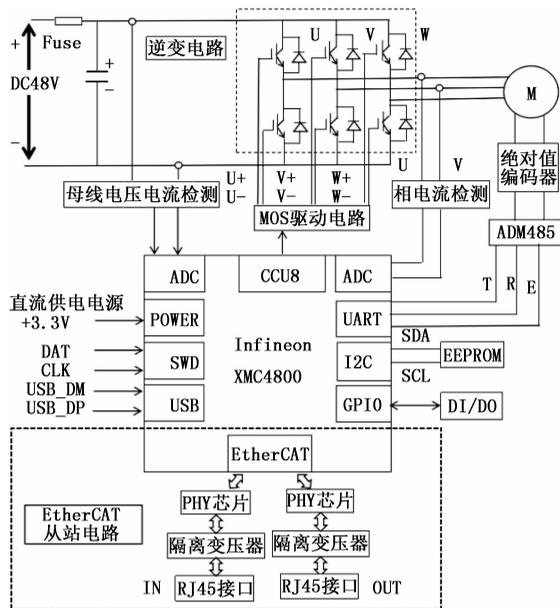


图 2 基于 XMC4800 的 EtherCAT 总线伺服控制系统总体硬件原理框图

3 系统软件设计

3.1 系统主程序模块的设计

英飞凌 XMC 系列微处理器寓意跨市场单片机, Dave 软件可视化界面方便配置使得开发难度降低。官方推出的固件库把 MCU 中的寄存器底层驱动都封装起来, 软件的配置在模块 APP 的对话框内编辑, 然后生成底层代码, 开发者直接调用 API 函数即可。系统主程序里面有对系统文件的初始化配置、外设的头文件的定义、EtherCAT 初始化、系统初始化状态的判断和处理、EtherCAT 网络的主循环。系统主程序流程如图 3 所示。

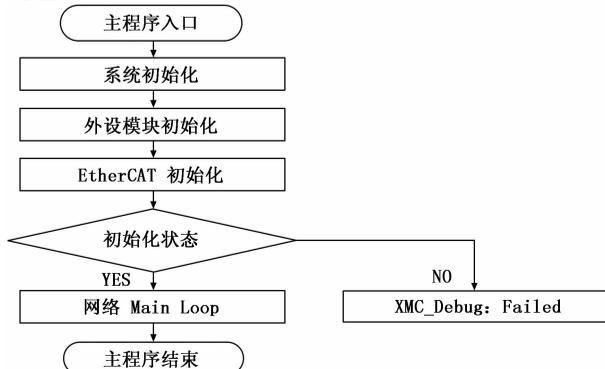


图 3 系统主程序流程图

3.2 EtherCAT 总线从站协议软件的设计

ESC 的软件系统搭建包括 EtherCAT 从站协议栈代码和设备描述文件的生成以及对 MCU 的软件编程配置。EtherCAT 从站协议栈代码和设备描述文件生成的流程框图如图 4 所示。首先编辑 xlsx 文件, 里面包括 PDO 和 SDO 对象字典索引的编辑, 然后用倍福的从站代码生成工具 Slave Stack Code Tool 把英飞凌提供的 Infineon_XMC_ECAC_SSC_Config.XML 文件和编辑好的 xlsx 文件导入进去, 设置厂商 LOGO 图片、公司名字、产品代码、设备名称、版本号等基本信息和 EtherCAT 的硬件配置、EtherCAT 状态机的配置、同步性配置还有过程数据和邮箱的配置。最后生成 EtherCAT 协议栈代码 SSC 文件夹, SSC 文件夹里面有支持 CIA402 运动控制的 Src 文件夹代码还有设备描述文件。

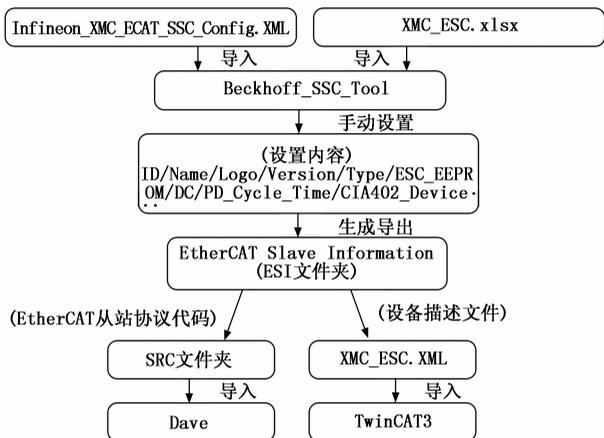


图 4 EtherCAT 从站协议栈代码和设备描述文件生成的流程框图

使用 DAVE-IDE-4.4.2-64Bit 软件前需安装 3 个固件库: DAVE Project Library Manager、DAVE APPs Library Manager、Contributed DAVE APPs Library Manager。建立一个工程项目选择芯片型号, 添加相应的 APP 来进行配置, 因为要搭建 EtherCAT 从站系统, 所以需要添加 1 个 ECAT_SSC 模块 APP, 2 个 EVENT_DETECTOR、EVENT_GENETOR、INTERRUPT 模块 APP。根据原理图引脚分配对软件相对应的端口设置, 并配置 APP 的功能, 生成底层驱动代码。ECAT_SSC 的 APP 单元的主从结构如图 5 所示。

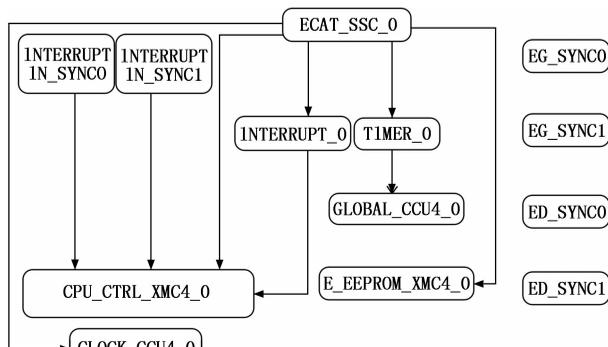


图 5 ECAT_SSC 的 APP 单元的主从结构

EtherCAT 应用层使用 CoE 协议 (CANopen over EtherCAT) 实现伺服控制的周期性任务。从站的过程数据 (process data objects, PDO) 的对象字典配置列表如表 1 所示。

表 1 从站的过程数据的对象字典配置列表

索引	对象字典	名称	对象字典	名称
0x1601 (RXPDO)	0x6040	控制字	0x6098	回零方法
	0x607A	目标位置	0x609A	回零加速度
	0x60FF	目标速度	0x6099:1	回零低速
	0x6071	目标力矩	0x6099:2	回零高速
	0x60FE	数字输出	0x6060	工作模式
	0x60B8	探针功能		
0x1A01 (TXPDO)	对象字典	名称	对象字典	名称
	0x6041	状态字	0x60B9	电子探针状态
	0x603F	错误代码	0x60BA	探针 1 上升沿
	0x6064	实际位置	0x60BB	探针 1 下降沿
	0x606C	实际速度	0x60BC	探针 2 上升沿
	0x6077	实际力矩	0x60BD	探针 2 下降沿
	0x60F4	跟随误差	0x6061	工作模式显示
	0x60FD	数字输入		

从站设备的名称为 XMC_ESC, 主站接收数据对象包括: 状态字、错误代码、实际位置、实际速度、实际力矩、跟随误差、数字输入、电子探针状态、电子探针上升沿 1、电子探针下降沿 1、电子探针上升沿 2、电子探针下降沿 2、工作模式显示, 主站下发数据对象包括: 控制字、目标位置、目标速度、目标力矩、数字输出、电子探针功能、回零方法、回零加速度、回零高速、回零低速、工作模式设置。EtherCAT 通讯模块包括 EtherCAT 处理单元 (EPU)、内存、现场总线存储单元、同步管理器, 具有自动转发、回传和 PDI 数据交互的功能。EtherCAT 处理单元 (EPU) 接收、分析和处理 EtherCAT 数据流。EtherCAT 模块程序的初始化流程如图 6 所示。模块首先配置 PLL 系统时钟, 失能时钟然后判断内存校验初始化是否完成, 如果完成则开启中断加载 EEPROM, 写进用户进程。如果内存校验初始化失败则初始化输入输出引脚, 设置 ECAT 中断, 解除复位, 启动从站协议。

EtherCAT 处理单元启用和协调 ESC 的内部寄存器和内存空间的访问, 通过 PDI 接口函数实现 EtherCAT 主站和从站数据交互。EtherCAT 从控制器的地址空间 64 K。第一个 4K 字节块 (0x0000 到 0x0FFF) 用于寄存器和用户内存。地址 0x1000 以后的内存空间用作进程内存。XMC4800 支持进程数据 RAM 的 8K 字节。主从站数据交换与进程内存相比, 具有特殊的功能, 如 SyncManager (同步管理器) 和 FMMU (现场总线内存管理单元)。现场总线存储器管理单元将逻辑地址逐位映射到 ESC 的物理地址。同步管理器负责 EtherCAT 主站和从站之间的数据交换和邮箱通信, 可以为每个 PDO 和 SDO 数据配置通信方向, 根据 SyncManager 状态将地址映射到不同的缓冲区供模块访问。

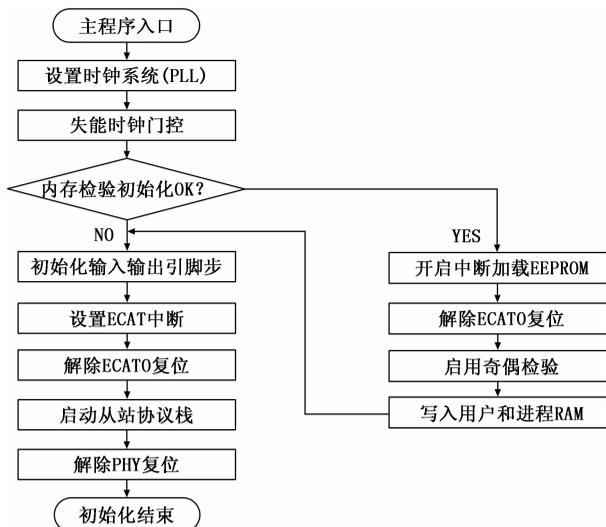


图 6 EtherCAT 模块程序的初始化流程框图

3.3 基于 XMC4800 伺服驱动软件的实现

XMC4800 伺服驱动器的软件主要包括两个部分: 初始化程序和中断服务子程序。初始化程序包括各个模块和变量的初始化, ADC 转换结束中断服务子程序运行伺服驱动控制算法, 串口中断服务子程序实现绝对值编码器实时位置采集和速度计算。XMC4800 中的 CCU8 单元产生 3 对互补的带死区的 PWM 波, 控制三相半桥驱动工作。通过 CCU8 单元计数更新事件触发 ADC 同步采样。本次设计中设置 PWM 频率 15 K, 死区上升沿时间 900 ns, 死区下降沿时间 900 ns, MOS 开关延时 50 ns。伺服驱动各模块单元的主从结构如图 7 所示。

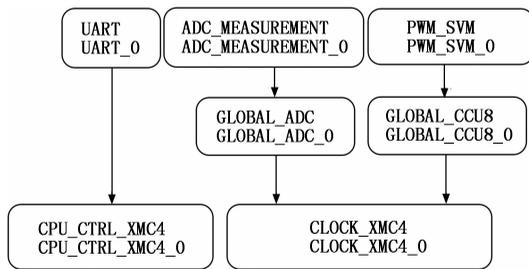


图 7 伺服驱动各模块单元的主从结构图

当系统上电微控制器完成初始化后, 绝对值编码器串口通讯工作, 读出转子当前绝对位置。霍尔电流传感器 ACS711 组成的电流检测电路对相电流和母线电流进行采集, 输出信号进入片内 ADC。MCU 读取电机编码器的位置速度信号, 设计位置、速度、力矩和电流控制环。相电流通过 Clark 变换、Park 变换, 经电流调节器输出给定相电压, 再利用 Park 逆变换得到给定电压空间量, 经 SVPWM 算法和 CCU8 输出 6 路 SVPWM 信号。ADC 转换结束中断服务子程序流程如图 8 所示。

CSP 模式下的控制结构如图 9 所示, 该模式下运动控制的对象字典分别为控制字 (0x6040)、状态字 (0x6041)、主站下发给驱动器的目标位置速度 (0x607A)、电机转子的

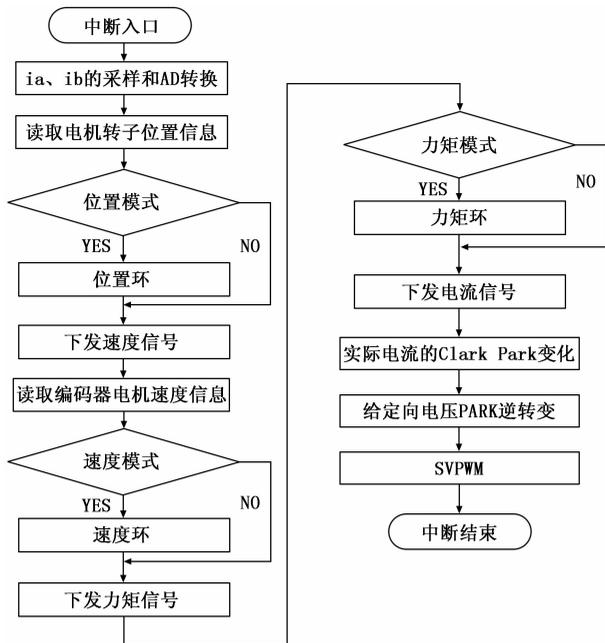


图 8 ADC 转换结束中断服务子程序流程图

实时位置信息 (0x6064) 和电机转子的实际速度 (0x606C)。EtherCAT 从站程序完成初始化后, 等待主站状态请求信号的响应。主站通过控制字 (0x6040) 控制驱动器状态的改变, 从站驱动器的状态通过状态字 (0x6041) 反馈给主站。当主从站成功切换进入 OP (Operation) 工作模式后, 主站规划运动控制轨迹下发位置信号, 从站在协议栈电机控制的函数里面把目标位置赋值给 FOC 的入口参数, 随后在中断服务程序里面经过矢量控制算法驱动电机旋转。伺服从站把电机的实际位置、实际速度和实际力矩反馈给主站, 形成闭环控制。

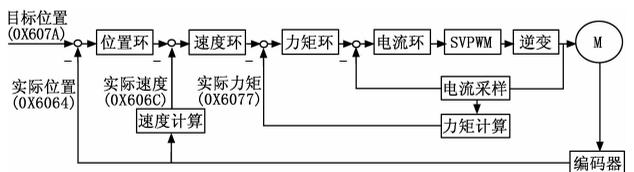


图 9 CSP 模式下的控制结构图

4 实验结果与分析

本课题测试 EtherCAT 总线的伺服驱动器的主站采用倍福 Twincat3, 设置并安装网关驱动, 把设备描述 XML 文件放在主站电脑硬盘 C:\TwinCAT\3.1\Config\Io\EtherCAT 路径的文件夹内, 扫描从站设备, 进行 EEPROM 烧写工作, 待烧写完成后再次扫描从站, 即可看到设备和对象字典的列表。本实验采用周期性同步位置模式 (CSP 模式), 主站设置 500us 的分布时钟周期, 在 DC 模式下, 给伺服电机轴上使能, 然后在对象字典工作模式中写入十进制数 8 选定 CSP 模式。OP 状态下 TwinCAT 主站扫描到从站设备和对象字典如图 10 所示。

驱动器采用 DC48V 开关电源供电, 电机选用 100 W、48 V 的永磁同步电机, 配套绝对值编码器, 在精密滚珠丝

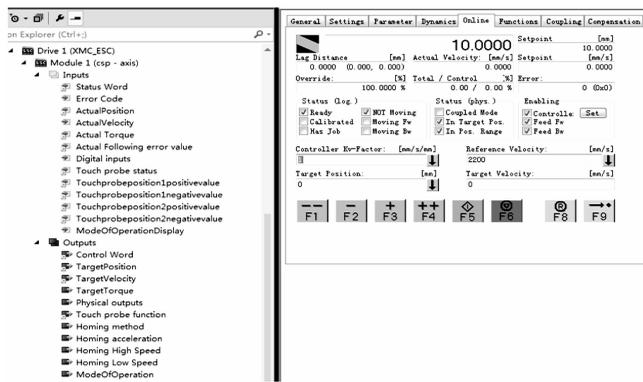


图 10 OP 状态下 TwinCAT 主站扫描到从站设备和对象字典图

杆模组 (型号: KK4001C, 导程: 1 mm, 导轨长度: 150 mm) 上面实验。电机起始位置为 0, 10 转/s 的速度开始运动, 加减速为 1500 mm/s²。上位机设置电机 10 转工作行程, 对应滚珠丝杆模组 10 mm 前进距离, 实际位置通过 Twincat3 软件的示波器插件显示出来。横坐标时间单位: s, 纵坐标行程单位: mm, 在第 2 秒到第 3 秒时间段内丝杆滑块匀速从 0 mm 运动到 10 mm, 速度为 10 mm/s。滑块运行的实际位置波形如图 11 所示。

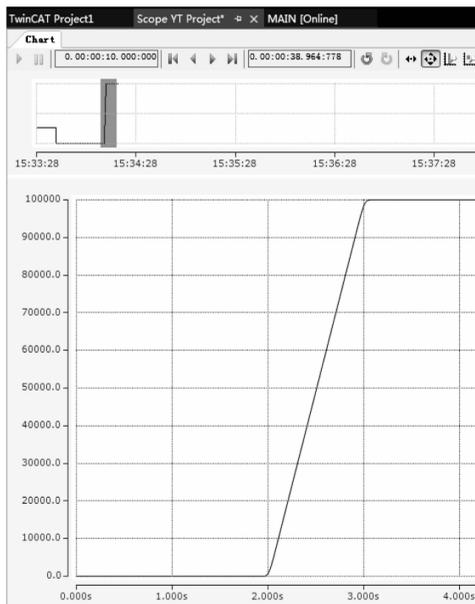


图 11 电机实际位置的波形图

5 结束语

本文研究了一种基于英飞凌 XMC4800 的 EtherCAT 总线伺服驱动器, 系统由 XMC4800 作为主控芯片, 由 MOSFET 搭建的半桥驱动作为系统的功率驱动, 设计了 EtherCAT 从站电路、系统电源电路、电流采样电路、编码器位置采集电路和数字输入输出电路。本次系统硬件设计完成了 EtherCAT 从站和伺服驱动器的硬件开发工作、EtherCAT 总线通讯和电机驱动的程序设计。利用安装 Twincat3 主站软件的 PC 机对从站进行调试, 主站通过 EtherCAT 总

线对伺服驱动进行运动控制的轨迹规划, 可以驱动 100 W 带有绝对值编码器的永磁同步电机正常运转。本次实验验证了系统的正确性和可行性, 达到了预期的功能效果。

参考文献:

[1] 柳光耀. 基于 XMC4500 永磁同步电机交流伺服系统的设计与实现 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.

[2] 李传明, 崔更申, 尹 鹏. 基于 STM32F4 的电机控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (10): 3370 - 3372.

[3] 刘山源. 一种自定义的 EtherCAT 工业以太网现场总线 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2018, 211 (7): 40 - 44.

[4] 单春荣, 刘艳强, 郇 极. 工业以太网现场总线 EtherCAT 及驱动程序设计 [J]. 制造业自动化, 2007, 29 (11): 79 - 82.

[5] 梁润汉, 王清理, 李 昕. 基于 EtherCAT 总线的伺服运动监控系统设计 [J]. 计算机工程与设计, 2011, 32 (8): 2660 - 2663.

[6] 陈 萍. 基于 XMC4500 的异步电机矢量控制变频调速系统设计 [D]. 杭州: 浙江大学, 2014.

[7] 黄 庆, 黄守道, 刘 竹. 基于 EtherCAT 的高性能伺服系统设计与实现 [J]. 微特电机, 2013, 41 (4): 42 - 45.

[8] Cena G, Bertolotti IC, Scanzio S. Evaluation of EtherCAT distributed clock performance [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2012, 8 (1): 20 - 29.

[9] Huo L G, Zhou Y F, Liu G D. A high-performance digital servo driver for magnetic levitation planar motor [J]. Advanced Materials Research, 2013, 712 (2): 2113 - 2118.

[10] 吴一鸣, 刘景林. 基于 TMS320F2812 的永磁同步电动机矢量控制系统设计 [J]. 电子设计工程, 2014, 22 (10): 169 - 172.

[11] 周长攀, 苏健勇, 杨贵杰, 等. 基于双零序电压注入 PWM 策略的双三相永磁同步电机矢量控制 [J]. 中国电机工程学报, 2015, 35 (10): 2522 - 2533.

[12] 吕晓凡, 牟日波, 周 彬. EtherCAT 伺服驱动器总线接口研究 [J]. 装备制造技术, 2018, 287 (11): 15 - 19.

(上接第 88 页)

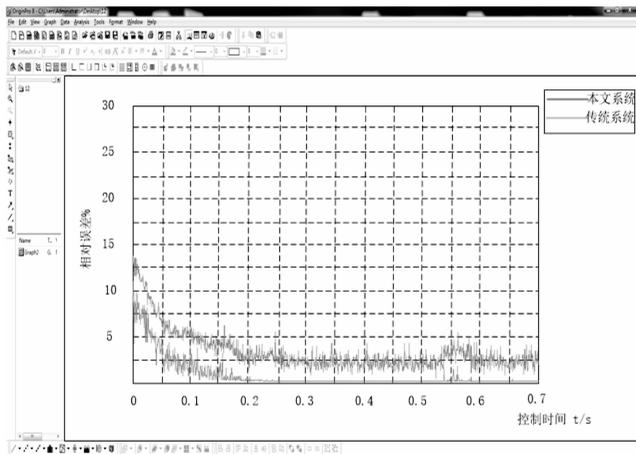


图 11 控制误差对比图

相对误差低 2.4% 误差控制能力高出 25 倍。本文研究的控制系统控制效果明显优于传统控制系统。由于传统控制系统控制面板过于繁琐, 所以各个部件难以灵活工作, 互相之间配合并不协调。本文研究的基于 STM32 嵌入式系统的无人物流车运输控制系统能够精准地调节速度, 由于采用了旋转编码器, 所以控制系统在工作时, 编码器就会随之转动。当转轴发生变化时, 码盘也会不断变化, 输出一系列的脉冲信号, 根据输出的脉冲信号调整发动机的转速, 改变无人物流车运输控制系统的速度和方向。码盘上方有多个光栅, 所以测试精度极高。STM32 单片机具有很强的控制能力, 能够很好地确保各个零件正常工作。

4.4 实验结论

根据上述实验结果, 得到如下实验结论: 将 STM32 嵌入式系统应用到无人物流车的控制系统设计中, 能够大大提高控制系统的控制能力, 相较于传统控制系统, 本文研

究的无人物流车运输控制系统能够更好地控制各个部件的工作, 提高各个部件的速度, 使零件能够在最短的时间内完成工作。基于 STM32 系列单片机无人物流车运输控制系统不仅能够提高控制速度, 同时能够加强控制精度, 减少控制误差, 具有很强的发展潜力。

5 结束语

本文基于 STM32 系列单片机针对无人物流车设计了一种控制运输系统, 将常见的电机模型设定为机械平台, 根据控制系统体术的细化要求加入各种传感器, 结合 PID 算法和 PWM 调速方式, 实现速度调控和速度检测等工作。本文的研究开创了智能控制的新领域, 但是仍然存在很多问题, 如控制过程稳定性、避障能力、循迹能力等, 未来需要进一步进行完善。

参考文献:

[1] 马 静, 张 玉. 无人小车速度控制系统的设计与实现 [J]. 电子设计工程, 2017, 25 (16): 138 - 142.

[2] 宋刘德, 尹 珠, 姚善化, 等. 基于模糊控制的井下无人运输机车控制系统设计 [J]. 工矿自动化, 2018, 41 (10): 8 - 11.

[3] 吴才聪. 基于 STM32 的无人艇航迹控制器的设计与实现 [J]. 武汉理工大学学报 (交通科学与工程版), 2018, 42 (4): 100 - 104.

[4] 郑润芳, 张 海. STM32 的小车自主定位与控制系统设计 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2017, 13 (9): 46 - 49.

[5] 夏好广. 基于 STM32 的多功能模拟量输入输出系统设计 [J]. 铁道机车车辆, 2018, 38 (1): 19 - 22.

[6] 黄维芳, 唐厚君, 赵俊旭, 等. 基于 ARM 的气动物流传输控制系统的设计与研发 [J]. 电气自动化, 2018, 33 (1): 81 - 82.

[7] 韩爱国, 王 萌. 基于 MC9S12XEP100 的纯电动物流车整车控制器设计 [J]. 自动化与仪表, 2017, 32 (9): 20 - 23.