

文章编号: 1005-0523(2019)06-0087-06

数字式司机控制器的研究

历 洋¹, 彭宝林^{1,2}, 林 平^{1,2}, 刘子英³

(1. 中车株洲电力机车有限公司, 湖南 株洲 412001; 2. 大功率交流传动电力机车系统集成国家重点实验室, 湖南 株洲 412001;
3. 华东交通大学电气与自动化工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 针对传统司机控制器机械结构复杂、数字式水平较低的问题, 提出一种基于微控制器的数字式司机控制器设计方法, 并研制了相应样机。采用非接触式绝对值型光电编码器检测牵引/制动操作手柄位置, 利用软件控制方式代替传统的凸轮组控制开关方式; 同时, 设计了 RS-485 通讯接口, 并采用触摸屏作为人机交互接口, 方便司机操控。该设计有助于简化司机控制器机械结构, 提高其数字化水平。

关键词: 数字式; 司机控制器; 微处理器; 光电编码器

中图分类号: U268

文献标志码: A

DOI: 10.16749/j.cnki.jecjtu.2019.06.013

在电力机车中, 司机控制器是电力机车牵引与制动操作的主令电器。司机控制器负责将驾驶员操作指令转换为相应电信号, 传递给机车控制单元, 实现对电力机车主电路电气设备的控制^[1]。

根据外观形式不同, 传统的司机控制器可分为手轮式、扳把式与平推式^[2], 其典型特征是依靠机械机构、编码器以及触点开关, 实现逻辑开关量与给定信号输出。由于不同车型电气控制逻辑不同, 致使司机控制器在凸轮结构、开关电器数量及其开闭状态等方面均需做出相应调整, 从而造成司机控制器机械结构非常复杂、难以批量化生产等问题, 严重影响了司机控制器的通用性与可维护性。此外, 传统司机控制器还存在机械部件磨损问题, 随着使用时间的增长, 其凸轮机构控制精度可能下降, 同时机械开关也存在失效风险。而且传统司机控制器内部凸轮机构和开关电器所占空间相对较大, 也不具备总线通讯, 无法满足产品小型化、数字式新要求。

针对传统司机控制器存在的问题, 许多学者开展了研究工作。王黎敏等^[1]为了解决编码式司机控制器结构复杂、精度受限以及电位器易磨损氧化等不足, 提出了一种采用非接触式位移传感器取代编码器与电位器的设计方案。苏昌平等^[3]针对传统司机控制器结构复杂、通用性差等缺点, 提出一种数字化司机控制器初步设计方案。陈朗等^[4]分析了司机控制器参考值转换器故障对地铁车辆可靠性的影响, 开发了一种智能冗余参考值转换器。聂畅等^[5]研究了西门子网络控制系统与广州地铁应用的契合度。林平等^[6]探索了新型电子式司机控制器设计, 简化司机控制器结构, 提高其适应性。彭宝林等^[7]针对传统司机控制器结构复杂、部件加工难度大、逻辑控制集成度不高等问题, 设计了一种模块化、结构化新型轨道化司机控制器。

上述研究工作推动了司机控制器技术进步, 但仍有许多问题需要解决。针对司机控制器机械结构复杂、数字式水平较低的问题, 提出一种数字式司机控制器设计方法, 按照“GB/T 34573-2017 轨道交通机车司机控制器”规范进行设计, 采用微处理器数字化控制代替凸轮组控制开关的方式, 并用非接触式光电编

收稿日期: 2019-05-28

作者简介: 历洋(1986—), 男, 工程师, 研究方向为轨道交通高低压电器。

通讯作者: 刘子英(1964—), 女, 教授, 研究方向为轨道交通电气化与自动化。

码器代替电位器,同时设计了 RS485 通讯接口,提高司机控制器数字式水平,有效减小产品尺寸,避免机械磨损的影响。

1 数字式司机控制器设计方案分析

1.1 数字式司机控制器设计原理

数字式司机控制器以微处理器为控制核心,采用模块化设计思想,运用数字化技术实现控制逻辑与操作过程的数字式。如图 1 所示,从功能结构分析,数字式司机控制器包括机械组件与控制电路两部分,机械组件包括操作手柄、控制旋钮及连接手柄主轴与光电编码器的齿轮机构等。而控制电路则由微处理器、触摸屏、非接触式位置编码器、格雷码模块、RS-485 通讯模块等部分组成。

数字式司机控制器整体设计方案应力求与现有司机控制器控制逻辑保持一致,为保证良好操控性,保留牵引/制动机械手柄,但采用电子电路实现控制信号输出;取消凸轮组控制开关方式,采用控制电路组件实现开关逻辑关系,并采取冗余设计。减少数字式司机控制器安装工作量,提高产品工艺水平。

1.2 数字式司机控制器功能模块

1.2.1 牵引/制动控制模块

数字式司机控制器牵引/制动控制模块主要包括操作手柄及非接触式位置编码器,用于操纵电力机车牵引、制动工况。操作手柄具有牵引(T)、停止(O)和制动(B)3个工作区域。操作手柄垂直居中时为停止位,向前推动进入牵引工作区,向后拉动则进入制动工作区,操作手柄工作范围为 $-42.5^{\circ}\sim+42.5^{\circ}$ 。

操作手柄通过齿轮机构带动非接触式位置编码器转动,如绝对值光电编码器。位置编码器以数字量将操作手柄位置信息发送给微处理器;微处理器将接收到的位置信息转换为 9 位格雷码,通过电子线路隔离输出,传送到机车控制单元。同时,微处理器还可以利用数字/模拟转换器(DAC)将操作手柄位置信息转换为 0~10 V 电压模拟信号。

1.2.2 换向控制模块

换向控制模块有前进(F)、倒车(B)以及停止(N)3种状态。3种工作状态切换可通过触摸屏或物理开关实现。为防止误操作,传统司机控制器均设计了机械闭锁机构。数字式司机控制器保留了必要的机械闭锁,同时还设计了软件闭锁,例如所有操作必须在操作手柄处于零位时才能进行,前进操作切换为倒车操作,必须经过停止状态等。

1.2.3 触摸屏

触摸屏是数字式司机控制器与司机驾驶员之间重要的人机交互接口,实时显示司机控制器工作状态,并负责将司机操作指令传递给微处理器。设计中应选取工业级触摸屏,其工作温度范围至少应达到 $-30\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。同时,触摸屏显示界面简洁、易读,并具有良好触摸体验。

1.2.4 RS-485 通讯

RS-485 是工业场合最常用的通讯接口,具有性价比高、抗干扰能力强等优点,适合数据量不大的应用场合^[8]。数字式司机控制器需要交互的信息包括司机控制器工作状态与给定量,需要通讯的数据量相对较小,因此选取 RS-485 通讯方式。同时考虑到通讯可靠性,采用隔离式 RS-485 通讯。

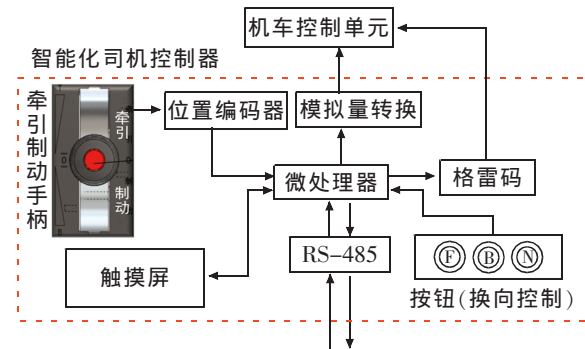


图 1 数字式司机控制器原理框图
Fig.1 Block diagram of digital driver controller principle

2 数字式司机控制器硬件与软件设计

2.1 数字式司机控制器硬件设计

2.1.1 微控制器选型

考虑到数字式司机控制器对处理器运算能力与稳定性综合要求,选取 ST 公司 STM32F103ZE 微处理器进行设计。该处理器基于 32 bit ARM Cortex-M3 内核,具有 512 Kbytes 程序空间及 64 Kbytes 内存,运行速度可达 72 MHz。该处理器技术成熟、性价比高,非常适合嵌入式控制应用。

2.1.2 牵引/制动控制电路

采用位置编码器指示牵引/制动操作手柄位置,为了避免接触式编码器摩擦损耗,选用非接触式光电编码器作为位置编码器。根据工作原理不同,非接触式光电编码器可分为增量型与绝对值型两种类型。增量型光电编码器输出脉冲个数与其主轴旋转角度成正比,能够反映编码器主轴的相对位置。当设备掉电或有干扰信号作用时,内部设备记忆的零点信息可能发生偏移,从而造成增量型光电编码器定位误差。而绝对值型光电编码器的每一个位置对应一个确定的数字码,其示值与测量中间过程无关^[9]。

因此,选用绝对值型光电编码器进行设计,具体采用欧姆龙 E6CP-AG3C 绝对值型光电旋转编码器。该编码器额定工作电压为 5~12 V DC,8 位数字量输出,具有抗干扰能力强、运行稳定性高等特点。

设计中需要注意的是,绝对值型光电编码器工作电压为 12 V DC,而微处理器工作电压为 3.3 V DC。为了保证牵引/制动控制电路能够正常工作,采用 ACPL-247 多通道光电耦合器进行电平匹配。

2.1.3 通讯接口电路

通讯功能是司机控制器数字式的基础,为了保证通讯可靠性,数字式司机控制器通讯接口电路采用美国模拟器件公司带磁隔离的 RS-485 收发器 ADM2483 进行设计,其最大通讯速率可达 500 Kbps,如图 2 所示。其中,TVS1~TVS3 为瞬态抑制二极管,起到浪涌保护作用。

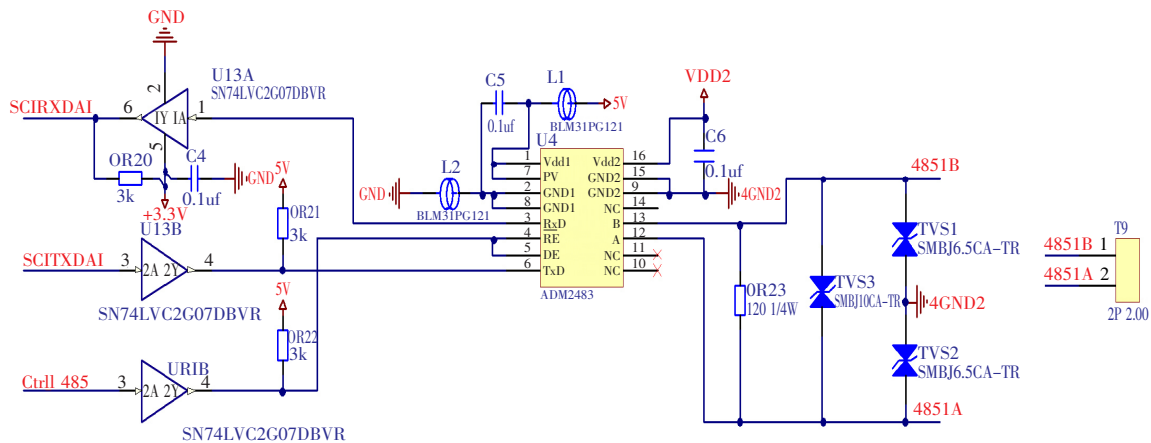


图 2 RS-485 通讯电路

Fig.2 Communication circuit of RS-485

2.1.4 显示与存储电路

采用迪文科技 5 英寸工业级串口触摸屏进行显示界面设计,该触摸屏工作温度为-30~70 °C,显示分辨率为 800×480,满足设计要求。为了便于设计人机交互界面,该触摸屏内置 250 MHz T5 双核处理器与 64 M 字节用户存储空间,可采用 USART HMI 开发软件进行 GUI 编程设计。微处理器与触摸屏之间通过 UART 接口进行通讯,实现显示内容更新与按键操作读取。此外,还设计了 EEPROM 存储电路,用于存储数字式司机控制器操作记录,便于用户进行设备维护。

2.2 数字式司机控制器软件设计

数字式司机控制器软件设计包括微处理器程序设计与触摸屏程序设计。

2.2.1 微处理器程序设计

数字式司机控制器微处理器程序由主程序与中断处理程序组成。主程序主要包括端口初始化、中断初始化、读取EEPROM默认设置、编码器数据格式转换以及显示内容数据格式转换等子程序,主程序流程图如图3所示。采用固定时间间隔进行数据格式转换,每0.1s执行一次。

中断处理程序主要包括定时器、RS-485通讯等中断,其中定时器中断是多个功能模块的基础,便于实现操作功能分时处理。微处理器每10ms产生一次定时器中断,每次中断处理不同操作,如读取编码器位置、获取按键状态、更新显示内容等,如图4所示。

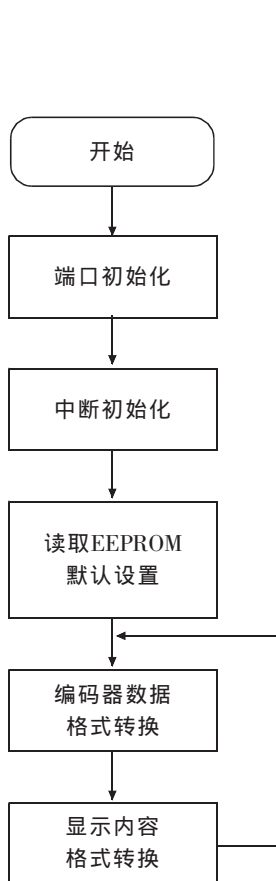


图3 主程序流程图
Fig.3 Main program flow chart

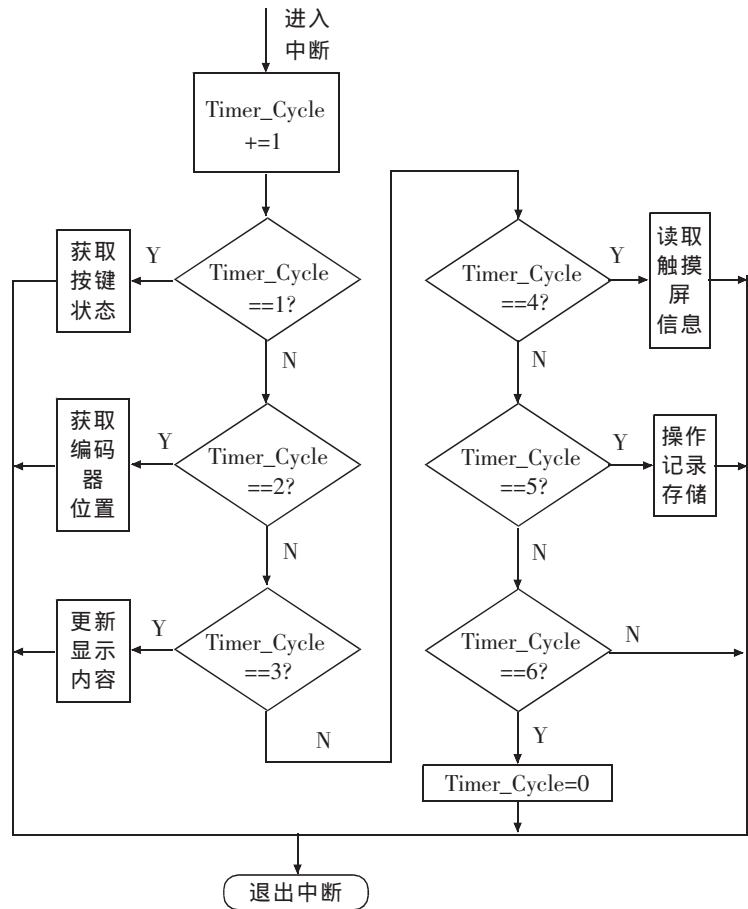


图4 定时器中断流程图
Fig.4 Timer interruption flow chart

2.2.2 触摸屏程序设计

如图5所示,利用USART HMI 电脑端软件工具能够实现所见即所得的触摸屏显示界面设计,该软件允许插入用户自定义的图片,并提供了字库及大量标准化控件。在电脑端完成界面设计后,将编译好的程序存入TF卡,然后再导入触摸屏,即可实现显示功能设计。需要注意的是,图标必须为24位深BMP格式,且图片名称必须以数字开头,并按从大到小排序,否则可能无法识别。

触摸屏显示界面每个图标对应一个地址,该地址可在USART HMI 中进行设置。根据迪文科技提供的通讯协议,通过向指定地址写入不同数据实现不同图标状态显示。同理,微处理器也可以作为返回数据读取指定地址的数据。为了减少换向开关所占位置,本设计将换向控制模块设置在了触摸屏上,包括了前进按钮、停止按钮、后退按钮。

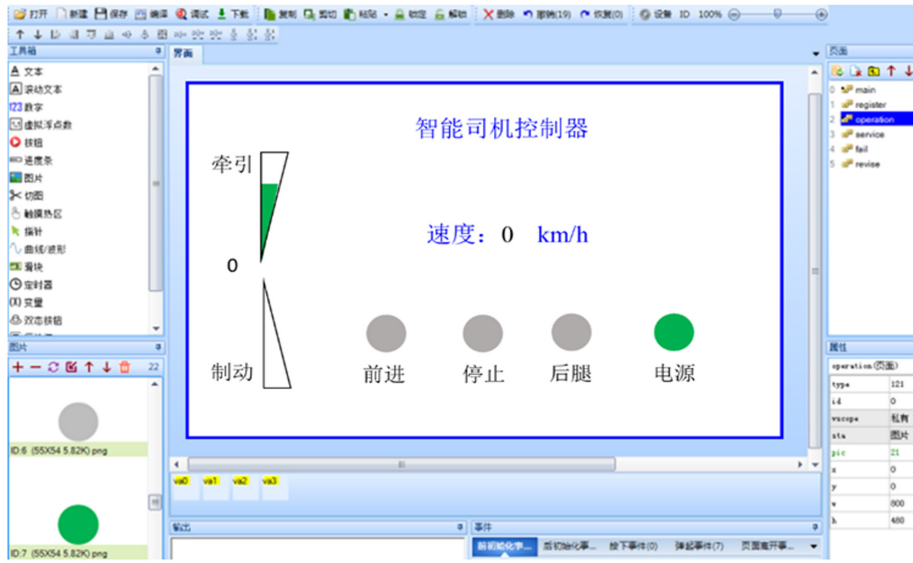
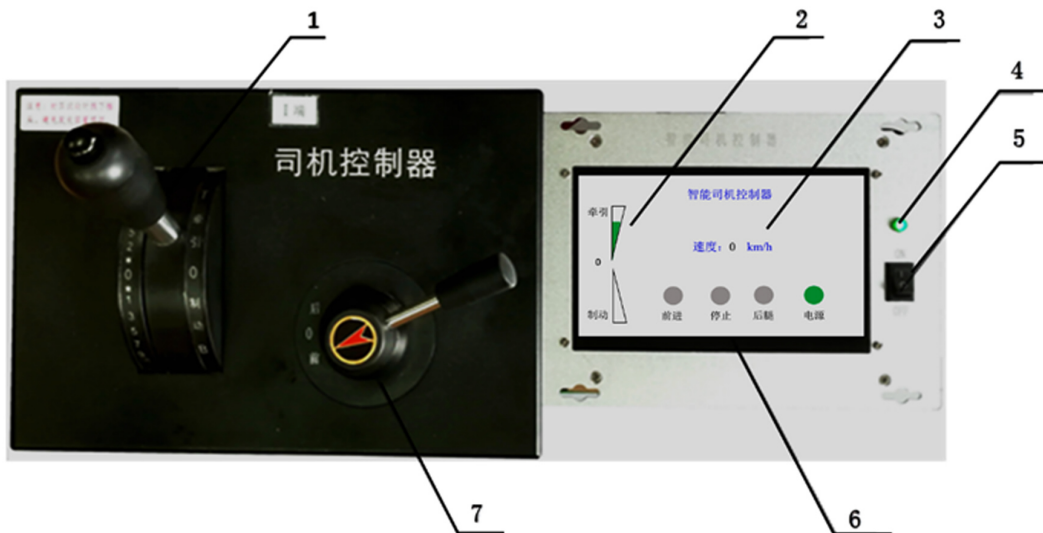


图 5 USART HMI 设计界面
Fig.5 USART HMI design interface

3 样机调试

设计的数字式司机控制器样机如图 6 所示。为了模拟数字式司机控制器在实际操作下的运行情况,将光电编码器的旋转轴固定在 TKS9 系列的司机控制器的操作手柄上,通过滑动操作手柄来改变编码器的输出值。进入操作界面后,按下电源开关按钮,启动数字式司机控制器操作界面,即可进行如下操作:

1) 前进+牵引。按下前进按钮,将操纵杆往牵引方向推动,牵引填充三角形开始填充,且随着牵引力的大小变化填充面积。



1—牵引/制动手柄;2—牵引/制动填充三角形;3—速度显示窗口;4—电源指示灯;

5—电源开关;6—换向控制模块;7—换向手柄

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图 6 数字式司机控制器样机

Fig.6 Digital driver controller prototype

2) 前进+制动。按下前进按钮,将操纵杆往制动方向推动,制动填充三角形开始填充,且随着制动力的大小变化填充面积。

3) 后退+牵引。按下后退按钮,将操纵杆往牵引方向推动,牵引填充三角形开始填充,且随着牵引力的大小变化填充面积。

4) 后退+制动。按下后退按钮,将操纵杆往制动方向推动,制动填充三角形开始填充,且随着制动力的大小变化填充面积。

通过以上调试,表明所设计的数字式司机控制器与现有司机控制器的功能完全吻合,设计满足司机控制器的要求。

4 结论

针对传统司机控制器机械结构复杂、数字式水平较低的问题,提出一种基于微控制器的数字式司机控制器设计方法,并研制了相应样机。

所设计的数字式司机控制器采用非接触式绝对值型光电编码器检测牵引/制动操作手柄位置,避免了接触式电感器机械磨损。采用软件控制方式代替传统的凸轮组控制开关方式,简化了机械结构设计,提高了产品通用性和可维护性。同时,设计了RS-485通讯接口,并采用触摸屏作为人机交互接口,方便了司机操控。

参考文献:

- [1] 王黎敏. 一种非接触数字式轨道车司机控制器的设计与实现[D]. 成都:西南交通大学,2016.
- [2] 郑勇涛,田军. 中国机车司机控制器的发展[J]. 城市轨道交通研究,2010,13(4):94-96.
- [3] 苏昌平. 数字式司机控制器[J]. 电力机车与城轨车辆,2011,34(5):69-70.
- [4] 陈朗,邱伟明. 广州地铁1号线车辆智能冗余RVC的研制[J]. 机车电传动,2004(5):37-39.
- [5] 聂畅. 西门子列车网络控制系统在广州地铁中的应用[J]. 电力机车与城轨车辆,2010,33(1):25-26.
- [6] 林平,许群芳. 新型电子司机控制器设计探讨[J]. 电力机车与城轨车辆,2010,33(1):47-48.
- [7] 彭宝林,林平. 新型轨道交通司机控制器研究[J]. 机车电传动,2014(2):58-61.
- [8] 郑昆,侯卫国,姚婧,等. 基于STM32的RS485总线多路超声波测距系统[J]. 仪表技术与传感器,2018(6):79-82.
- [9] 王智宏,张丹丹,王豫喆,等. 基于双向黑白比的光电编码器码盘刻线均匀性检测[J]. 吉林大学学报(工学版),2019,49(1):149-156.

Research on Digital Driver Controller

Li Yang¹, Peng Baolin^{1,2}, Lin Ping^{1,2}, Liu Ziyang³

(1.CRRC Zhuzhou Locomotive Co., Ltd., Zhuzhou 412001, China; 2.State Key Laboratory of High-Power AC Drive Electric Locomotive System Integration, Zhuzhou412001, China; 3.School of Electrical and Automation Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Aiming at the problem of complex mechanical structure and low digital level in the traditional driver controllers, a digital driver controller based on MCU was proposed and the corresponding prototype was developed. Non-contact absolute value photoelectric encoder was adopted to detect the position of traction/braking operation handle, and the software control mode was used to replace the traditional cam group control switch mode. At the same time, the RS-485 communication interface was introduced and the touch screen was used as the human-computer interaction interface to facilitate the driver's control. The results showed that the design can simplify the mechanical structure of driver controller and improve its digital level.

Key words: digital; driver controller; MCU; photoelectric encoder