

DOI:10.15913/j.cnki.kjycx.2024.19.009

基于PLC技术的HXD3C电力机车主变流器 控制系统的设计与实现研究*

田国兰¹,李毅²

(1.四川铁道职业学院,四川 成都 610097;2.中国铁路成都局集团有限公司成都机务段,四川 成都 610082)

摘要: 依靠列车牵引控制平台,引入PLC(可编程控制逻辑器)技术,实现对HXD3C电力机车主变流器控制系统中机车牵引电动机的控制。首先,通过对HXD3C电力机车主变流器的运行特性和控制需求进行分析,确定适合的PLC型号和编程软件,实现对机车牵引电动机的逻辑控制;其次,根据PLC的控制逻辑和算法设计适合HXD3C电力机车的控制程序,实现对机车牵引电动机电压、电流、转速等关键参数的实时监测和调控;再次,基于PLC技术的控制系统实现与其他设备和控制系统的通信与协调,保障数据的即时流通与系统的持续稳定;最后,通过模拟实验和系统运行测试验证基于PLC技术的HXD3C电力机车主变流器控制系统的可靠性和准确性。本研究可为铁路运输行业的学习者提供有力帮助,并推动智能设备改装技术的发展和應用。

关键词: 主变流器控制;PLC;MCGS触摸屏;智能控制

中图分类号: U269.6

文献标志码: A

文章编号: 2095-6835(2024)19-0034-04

HXD3C电力机车主变流器的控制系统是一个复杂的系统,主要负责对主变流器及异步电动机进行实时控制。该系统的主要功能是将接触网提供的25 kV单相50 Hz交流电经过降压后,转换为机车牵引电动机所需的三相交流电源。此外,控制系统还通过调节输出电源的电压和频率,实现对牵引电动机转速的精确控制,从而实现对机车速度的控制。这种控制方式不仅保证了机车的稳定运行,还提高了机车的运行效率和安全性。总的来说,HXD3C电力机车主变流器的控制系统为机车的正常运行提供了重要保障。

利用主变流器为机车的运行提供能量,提升电动机车牵引性能十分必要^[1]。HXD3C电力机车主变流器的控制系统也融入了智能控制技术,具有实时监测机车运行状态、故障诊断与预防、优化控制策略等功能。通过实时监测机车运行状态,控制系统能够及时发现并处理潜在的问题,确保机车的安全运行;故障诊断与预防功能可以帮助维修人员快速定位并修复故障,减少机车的停机时间,提高运营效率;通过对机车运行数据的分析和处理,优化控制策略,提高机车的能源利用效率和运行性能。HXD3C电力机车主变流器的控制系统通过应用智能控制技术,实现了对机车运行状态的全面监测和优化管理,提高了机车的运行效率和安全性,为铁路运输的现代化发展作出了重要贡献。但

此系统属于专业设备,需要由具备专业知识和技能的专业人员来操作,防止发生人身安全事故和设备安全事故,因此,非专业人员不能操作此设备。基于PLC技术的HXD3C电力机车主变流器控制系统主要为相关从业人员提供理论和技术支持,让他们在虚拟环境中进行实际操作。这种模拟训练不仅可以帮助学习者熟悉操作流程,还可以提高他们在面对真实问题时的反应速度和问题处理能力,并为技术创新提供了新思路。

1 硬件配置及电路设计

1.1 硬件配置

根据实际需求和控制目标进行综合考虑,该控制系统的硬件主要有列车牵引控制平台,其可以操作的元器件的布局和作用与真车一致,集成CCBII空气制动控制仿真单元、低压电气控制仿真单元以及PLC板、PLC扩展模块、MCGS触摸屏等。

1.2 电路设计

根据主变流器的功能实现设计了如图1所示的电路,主要逻辑关系是PLC实训板输出端子(DQ_1、DQ_2、DQ_3)仿真PWM(脉冲宽度调制)逆变器输出三相变压变频电源(U相、V相、W相),PLC板的输入端子(DI_8-、DI_9-、DI_10-)仿真牵引电动机M1的三相电源输入(本文只考虑1个牵引电动机M1,其他电动机不考虑),

*[基金项目]四川省教育信息技术平台应用型研究课题“基于‘三教’改革的《电器控制及PLC应用》课程数字化教学资源建设与应用研究”(编号:DSJ2022109)

通过 PLC 板的输入端子仿真 TMCS 模块与主变流器的通信控制。电路设计中,通过 PLC 模块控制牵引电动机 M1 启停,进而控制牵引电机 M1 启停继电器得/失电,实现牵引电动机的启/停动作。通过控制电机正反转,进而控制牵引电机 M1 正(反)转继电器得/失电,实现牵引电动机三相电源的 V 相和 W 相换相。PLC 模块能模拟 PWM 逆变器,通过闭合、关断开关元件 IGBT^[2],实现对 U 相的脉宽调制控制。

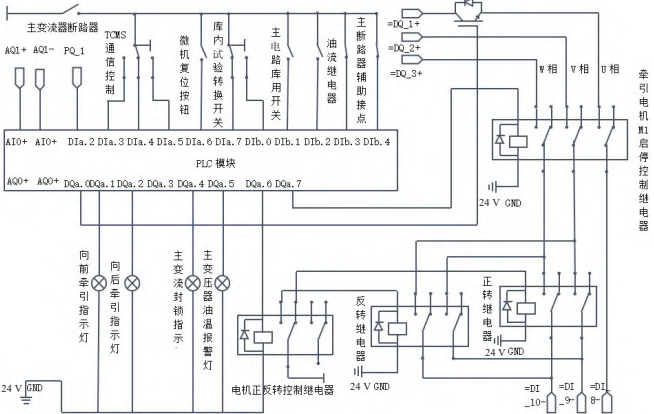


图1 主变流器的逻辑电路设计

电路设计的逻辑关系及具体功能实现如下。

当“主变流器断路器”处于断开状态时,主变流器控制系统失去电力供应。

PLC 模块输入端采集的数字量信号有库内试验开关、微机复位按钮、PLC 模块采集牵引控制信号(向前、向后、0 位状态)、主电路库用开关、主断路器辅助触点、油流继电器、停放施加按钮的状态。采集的模拟量信号有主变压器(AQ_1)的油温(4~20 mA 的模拟量)、速度信号传感(PQ_1)的脉冲信号。

PLC 模块输出端控制向前指示灯、向后指示灯的亮/灭和主变流器、封锁指示灯、主变压器油温警告指示

灯的亮/灭,同时模拟各执行机构的工作情况。

PLC 模块模拟 PWM 逆变器,通过(DQa.0)闭合、关断开关元件 IGBT,实现对 U 相的脉宽调制控制。

牵引电机启停控制继电器得电情况下,当牵引电机正反转控制继电器得电时,控制仿真牵引电动机 M1 的三相电源输入端子(对应 DI_8-、DI_9-、DI_10-)依次为 U 相、W 相、V 相,实现电机向后牵引。当牵引电机正反转控制继电器失电时,控制仿真牵引电动机 M1 的三相电源输入端子(对应 DI_8-、DI_9-、DI_10-)依次为 U 相、V 相、W 相,实现电机向前牵引。牵引电机启停控制继电器失电时,仿真牵引电动机 M1 的三相电源输入端子(对应 DI_8-、DI_9-、DI_10-)无电。

PLC 模块与 PLC 扩展板模块通过 RS485 端口及 Modbus TCP 协议^[3]实时传输油温、牵引手柄级位等信号。

2 软件设计

2.1 PLC程序设计

PLC 的选型和程序设计是一个综合考虑多方面因素的过程^[4]。首先明确控制方案与总体设计需要,确定所需的输入和输出设备,估算所需 PLC 的 I/O 点数。本系统选择西门子 S7-200smart ST60 型 PLC,按照电路控制原理进行 PLC 控制程序设计,最后完成电气布线、联机调试。具体设计步骤如图 2 所示。



图2 PLC控制系统设计步骤图

2.1.1 I/O端口配置

根据控制所需,进行HXD3C电力机车主变流器控制系统输入、输出端子配置,如表 1 所示。

表 1 HXD3C 电力机车主变流器控制系统 I/O 端口配置

输入			输出		
输入继电器	输入元件	作用	输出继电器	输出元件	作用
AI0+	AQ1+	检测主变压器油温值	DQa.0	IGBT	绝缘栅双极型晶体管
AI0+	AQ1+		DQa.1	L01	向前牵引指示灯
DIa.2	PQ_1	速度传感器脉冲	DQa.2	L02	向后牵引指示灯
DIa.3	S21	TCMS 通信控制(向前牵引、0 位、向后牵引)	DQa.4	L03	主变流器封锁指示灯
DIa.4			DQa.5	L04	主变压器油温警告指示灯
DIa.5			DQa.6	K01	牵引电机正反转控制继电器
DIa.6	S02	微机复位按钮	DQa.7	K07	牵引电机启停控制继电器
DIa.7	SA75	库内试验转换开关			
DIb.0	SA75	库内试验转换开关			
DIb.1	QS3	主电路库用开关			
DIb.2	S22	停放施加状态			
DIb.3	KP49	油流继电器触点			
DIb.4	QF1	主断路器辅助触点			

2.1.2 PLC程序设计

根据HXD3C电力机车主变流器控制系统控制要

求,设计出主变流器逻辑关系控制流程^[5],如图3所示,根据此逻辑关系图编写PLC的控制程序。

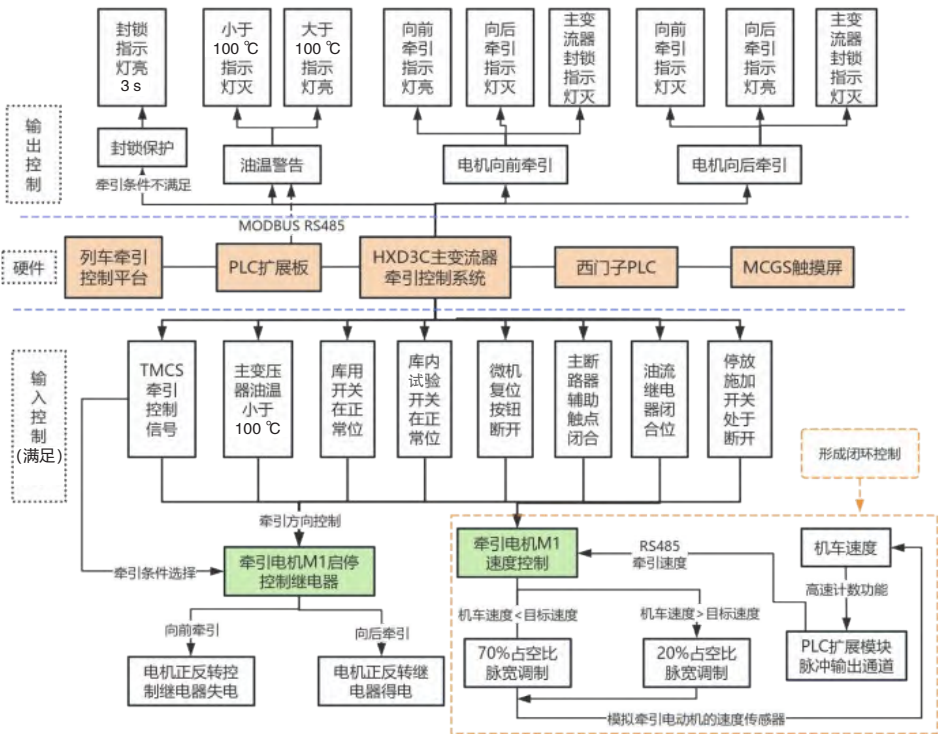


图3 主变流器的PLC控制逻辑关系

基于PLC技术的HXD3C电力机车主变流器控制系统主要实现牵引电机的启动、换向及速度控制,PLC编程具体控制的逻辑功能如下。

牵引电机启动条件。牵引电机启动条件为:TMCS牵引控制信号状态为“向后”或“向前”,检测主变压器油温温度小于100℃,主电路库用开关在“正常位”(即断开状态),库内试验开关在“正常位”(即闭合状态),微机复位按钮在断开状态,主断路器辅助触点在闭合位,油流继电器在闭合位,机车不处于“停放施加”状态(“停放施加”开关处于断开状态)。

牵引电机的换向。满足牵引电机启动的条件时,当TMCS牵引控制信号为“向前”时,PLC模块控制电机正反转的中间继电器断开,通过电路实现电机向前牵引。当TMCS牵引控制信号状态为“向后”时,PLC模块控制电机正反转的中间继电器闭合,通过电路实现电机向后牵引。

2.1.3 牵引速度控制

PLC通过RS485通信线,借助西门子Modbus TCP协议接收到牵引手柄级位。牵引速度模拟信号由PLC扩展板向PLC发送,每1s发送1次。根据表2牵引级位和目标速度对应关系表,模拟PWM逆变器对应于逆变器的U相100Hz频率下通过Q1_2输出PWM脉宽信号,完成脉宽调制。PLC从PLC扩展模块脉冲输出通道(PQ_1)通过高速计数功能获取当前机车模拟速度

计数,模拟牵引电动机的速度传感器BV41将信号反馈回主变流器,完成对牵引电动机速度的闭环控制。

表2 牵引级位和目标速度计数器对照表

序号	手柄牵引级位	目标计数范围(每秒脉冲数)
1	1	200 ~ 400
2	2	600 ~ 800
3	3	1 000 ~ 1 200
4	4	1 500 ~ 1 700
5	5	2 000 ~ 2 200
6	6	2 400 ~ 2 600
7	7	2 900 ~ 3 100
8	8	3 300 ~ 3 500
9	9	3 800 ~ 4 000
10	10	4 200 ~ 4 400
11	11	4 700 ~ 4 900
12	12	5 200 ~ 5 400
13	13	5 600 ~ 5 800

PLC比较机车速度计数与手柄牵引级位对应的目标速度计数,当前机车速度计数小于目标速度计数时,PLC对Q1_2输出PWM信号按70%的占空比进行脉宽调制;否则按20%的占空比进行脉宽调制。

2.1.4 输出状态显示

牵引状态指示。当电机向前牵引时,向前牵引指示灯亮,向后牵引指示灯灭,主变流器封锁指示灯灭;当电机向后牵引时,向前牵引指示灯灭,向后牵引指示

灯亮,主变流器封锁指示灯灭。

主变压器油温告警指示。PLC实时监测主变压器油温温度信号,将油温数据放入保持寄存器地址40002,由PLC扩展板通过RS485通信线按照给定协议每1s读1次油温温度值。PLC实时监测主变压器油温温度信号(0~200℃),当检测到温度小于100℃时,主变压器油温告警指示灯灭;否则主变压器油温告警指示灯亮。

主变流器封锁保护指示。在牵引启动或牵引过程中,如果不满足牵引条件,当TMCS牵引控制信号为“向前”时,控制牵引电机启停控制继电器断开,向后牵引指示灯灭,向前牵引指示灯亮5s后灭,同时主变流器封锁指示灯亮;当TMCS牵引控制信号为“向后”时,控制牵引电机启停控制继电器断开,向前牵引指示灯灭,向后牵引指示灯亮5s后灭,此时主变流器封锁指示灯亮。

2.2 MCGS监控界面及功能设计

该系统选用MCGS昆仑通泰触摸屏作为人机交互界面^[6],依据TCMS控制系统的HMI进行界面设计,主要包括登录界面、电路验证界面、控制监控界面、安全与故障界面。

电路验证界面主要用于帮助学习者和应用者熟悉HXD3C电力机车主变流器的工作原理以及监控其电路状态。按照图1一一对应的的设计,控制监控界面如图4所示,主要模拟实现主变流器的启动条件,监控与显示PWM脉宽调频,监控牵引电机的速度、手柄级位、牵引电机的启动次数等。



图4 控制监控界面

系统稳定性的保障依赖于故障诊断与监控机制,该机制通过实时监测牵引电动机的速度和主变压器油温等来识别潜在的故障隐患。通过分析历史数据,能够追溯特定时间段的异常状况,从而增强系统运行的安全性,并提示操作人员及时进行故障排查和处理。MCGS系统安全及故障监控界面如图5所示。



图5 MCGS系统安全及故障监控界面

3 结束语

整个系统平台以MCGS组态软件为上位机,以西门子S7-200smart为控制器,结合部分传感器和基础装备,搭建了基于PLC技术的HXD3C电力机车主变流器的控制系统平台。主要采用PLC逻辑控制器模拟主变流器控制电路作相关的逻辑判断,从而实现对牵引电机的启停、换向及变压变频控制和监控。通过PLC自带的Modbus TCP通信协议实现闭环控制,确保数据的实时传输和系统的稳定运行。利用MCGS组态技术仿真的优势,设计了人机仿真互动平台,以虚代实,具有较好的灵活性和低成本、低风险等特点。此系统具有升级拓展功能,能够帮助学习者和操作者更好地发掘创新潜力。

参考文献:

[1] 傅曲武.HXD3C型电力机车辅助变流器故障分析与研究[D].北京:中国铁道科学研究院,2022.

[2] 吴泰宏.电力机车牵引主变流器故障智能诊断系统探究[J].电气技术与经济,2023(6):82-84.

[3] 张海龙,朱海龙,姜明远,等.基于Modbus的多功能通信系统的设计与实现[J].汽车电器,2023(11):68-70,72.

[4] 刘翔宇.标准动车组模拟实训装置——门控系统的设计与实现[D].大连:大连交通大学,2021.

[5] 张宁.基于MCGS的PLC实验模型教学仿真平台[J].机电技术,2022(3):25-29.

[6] 吴卫国,邓旭辉,杨城浩,等.智能电池电芯卷绕机控制系统的设计与分析[J].机电产品开发与创新,2013(4):110-115.

作者简介:田国兰(1982—),女,甘肃镇原人,本科,讲师,研究方向为电气控制及PLC应用。李毅(2002—),男,四川内江人,专科,研究方向为铁道机车运用与维护。(编辑:李晓娟)