

研
究
开
发

中低速磁悬浮列车控制及网络系统

栗爱军^{1,2}, 袁文焯¹, 许义景¹, 李一叶¹, 何文惠¹

(1. 株洲南车时代电气股份有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001;

2. 武汉大学 国际软件学院, 湖北 武汉 430072)



作者简介: 栗爱军(1976-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事磁悬浮列车的控制研究。

摘 要: 介绍了中低速磁悬浮列车控制及网络系统的设计思路与系统组成, 从网络控制系统总线、拓扑、功能等角度对网络控制系统进行了阐述, 通过车辆逻辑控制模块、列车线的分析, 对中低速磁悬浮列车硬线继电控制系统进行了说明。

关键词: 中低速磁悬浮列车; 控制系统; 网络系统; 硬线继电控制系统; 总线; 列车线

中图分类号: U292.91¹⁷ **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2012)04-0049-03

Medium-low Speed Maglev Train Control and Network System

SU Ai-jun^{1,2}, YUAN Wen-ye¹, XU Yi-jing¹, LI Yi-ye¹, HE Wen-hui¹

(1. Technology Center, Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China;

2. International School of Software, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430072, China)

Abstract: Design and configuration of network control system for medium-low speed maglev train were presented. Network control system was described from system bus, topology, and functions, etc. With analysis of logical vehicle control module and train line, medium-low speed maglev train hard-wire relay control system was indicated.

Key words: medium-low speed maglev train; control system; network control system; hardwire relay control system; bus; train line

0 引言

中低速磁悬浮列车主要应用于城市公共轨道交通, 包括市内交通、市郊交通以及市中心至机场、城市之间的交通, 一般列车速度不大于 150 km/h^[1]。列车的基本配置单元为 6 辆车编组, 为全动车的编组型式: -Mc+M1+M2+M2+M1+Mc-, 其中 Mc 为带司机室的动车, M1、M2 为不带司机室的动车。中低速磁悬浮列车电气系统设计以 3 辆磁悬浮车辆编组为 1 个设计单元, 即 -Mc+M1+M2+ 为 1 个设计单元。全列车由 2 个完全相同的电气单元 E1、E2 组成, 且 E1 单元 E2 单元完全对称。

中低速磁悬浮列车控制系统由网络控制系统和硬线继电控制系统构成, 主要以网络控制方式为主, 利用计算机网络进行列车的控制和诊断。此外为进一步提高列车控制系统的安全性, 由硬线继电控制来实现列车的关键逻辑给定与应急运行控制。其中网络模式、网络解锁模式和 ATC 模式下的主要控制及逻辑判断均由微机执行。部分重要的或涉及安全的逻辑判断及综

合处理, 除在微机内部执行外, 控制电路中仍采用硬件逻辑电路来执行。利用这些控制系统实现了对列车牵引系统、辅助电源系统、悬浮系统、车载信号系统、制动系统、车门及空调等车载电气设备的控制。

1 中低速磁悬浮列车网络控制系统

1.1 网络控制系统总线

中低速磁悬浮列车网络控制系统采用了分布式列车电子控制系统 DTECS, 该网络采用分布式控制技术, 符合 IEC61375 标准。网络体系结构采用 3 级: 列车控制级、车辆控制级和功能控制级。列车控制级总线为 EMD 通信介质的 MVB, 车辆控制级总线为 ESD+通信介质的 MVB, 功能控制级总线为 RS485 和 CAN。

分布式控制技术, 即分布式采集及执行, 中央集中控制与管理的模式。其中 VCM 模块为集控制、诊断和监测于一体的列车中央控制单元, 负责组织所有总线上的数据交换, 处理接收的数据和向子控制系统发出指令并完成诊断和监测功能。中低速磁悬浮列车网络控制系统为了提高系统的可靠性, 每列车配置双 VCM 模块实现控制冗余。2 个互为冗余的 VCM 之间是

收稿日期: 2011-11-10; 收修改稿日期: 2012-05-12

主和备用主的关系,正常情况下系统随机选择一个VCM作为列车网络控制系统的主控设备,当主控设备出现故障时,备用主将自动升级为主控设备接管列车网络控制系统,行使列车中央控制单元的功能,以保障整个列车正常运行,该冗余功能可以实现无缝切换。

各个功能模块分别安装于不同车辆的控制柜中,模块之间通过列车总线和车辆总线连接。列车编组如图1所示。列车网络拓扑结构如图2所示。



图1 中低速磁悬浮列车编组示意图

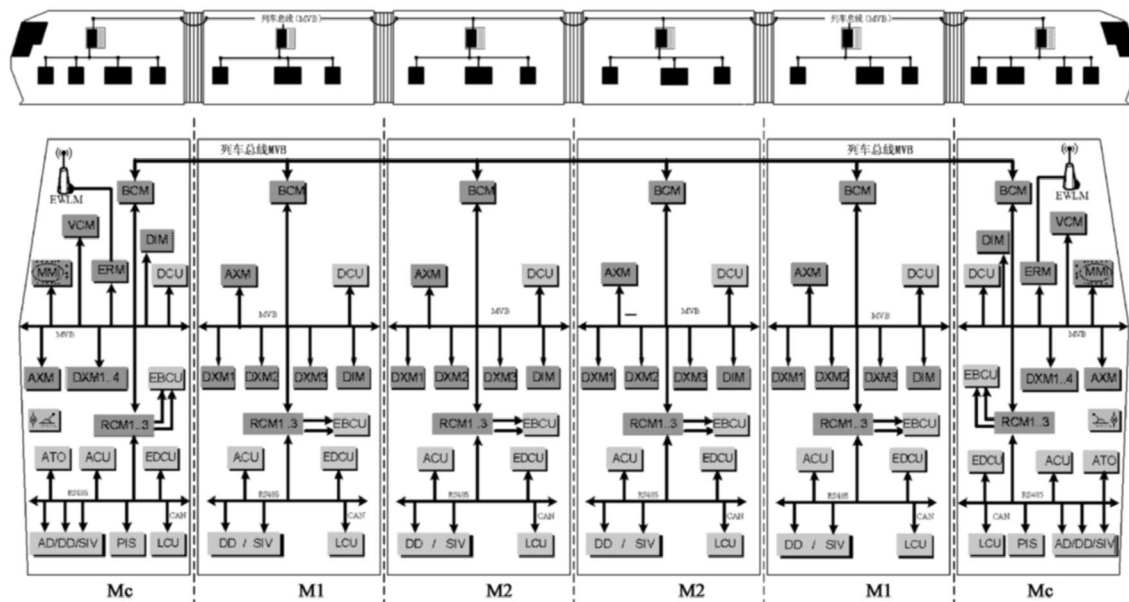


图2 中低速磁悬浮列车网络控制系统拓扑图

在单节车内,功能控制总线RS485和CAN通过RCM模块实现与车辆总线MVB的数据转发。每个RCM模块提供4路RS485通信接口,具备RS485/RS422总线通

信能力;2个CAN通信接口,具备CAN总线数据通信能力;2个MVB总线连接口,负责与MVB总线进行通信。功能控制总线与车辆控制总线拓扑关系如图3所示。

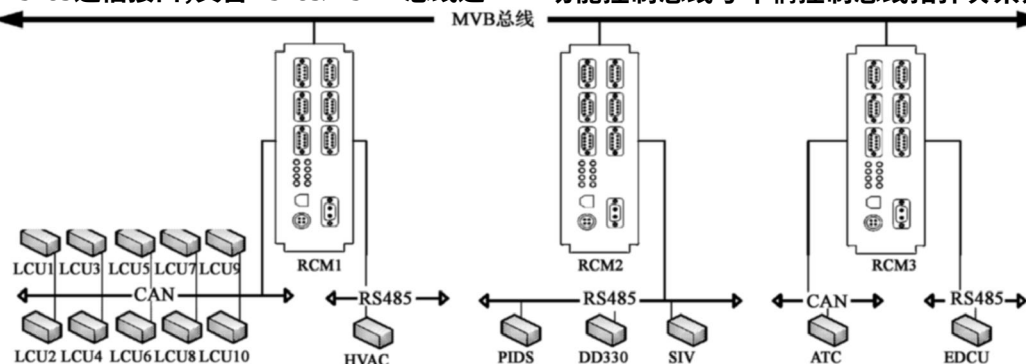


图3 功能控制总线与车辆控制总线拓扑关系图

车辆控制总线ESD+与列车控制总线EMD通过BCM模块进行耦合,EMD模块含2个ESD+总线连接器,

2个EMD总线连接器,其通信系统拓扑关系如图4所示。

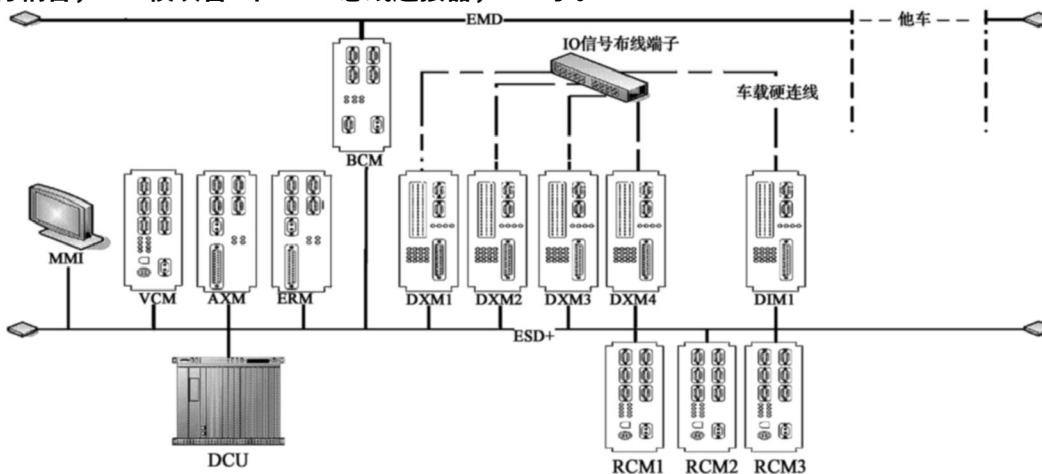


图4 车辆控制总线与列车控制总线拓扑关系图

1.2 网络控制系统功能

中低速磁悬浮列车网络控制又分为网络控制模式(即正常控制模式)和网络解锁模式。在正常控制模式下,列车网络控制系统完成对列车完整的逻辑控制和监视功能;当个别网络外围条件信号出现故障,司机通过按下相应按钮旁路出现故障部分的网络外围条件,其余正常的网络外围条件不被旁路仍然实现网络逻辑联锁控制功能,从而实现网络解锁模式的控制。在网络控制系统参与的这2种模式下,列车基于3级网络采集得到有效数据,控制系统通过传输过程数据、消息数据来实现列车的控制及列车状态监控。

中低速磁悬浮列车网络控制系统主要实现了以下控制功能:

①悬浮控制器的顺序浮起和降落。列车网络控制系统顺序给出各节车各个悬浮控制器浮起和降落命令,并且在紧急制动模式下,立即给出所有悬浮控制的降落命令。

②空压机控制。列车网络控制系统根据单双日原则选择列车运营所需泵风运行和待机备份的空压机,并且在所选空压机故障情况下实现备份空压机的自动启动。

③列车换端控制。列车在换端过程中需要网络控制系统保持相关设备的工作状态,即在整个换端过程中相关设备保持进入换端工况前状态。

④辅助电源系统控制。列车控制及网络系统可完成辅助逆变器DC/AC电源与辅助变流器DC/DC电源在正常工作下的负载投切。故障情况下的负载转换,在单个SIV单元故障复位失败时,控制临近SIV单元进行扩展供电。

⑤空电联合制动。中低速磁悬浮列车以电制动优先,电制动不足时由空气制动补偿制动力,以满足减速要求。网络控制系统通过电流环信号获得制动控制单元的车辆载重值和请求电制动力值,并通过电流环信号传送给制动控制单元实际的电制动力。同时,还向制动控制单元传送电制动有效以及电制动力大小^[2]。

⑥故障导向。中低速磁悬浮列车中各智能设备均挂在总线上,各设备正常工作时,不断发出生命信号进行相互监视,当通信故障时各设备都具备主动或被动检测故障能力,并能够实现故障导向安全。如正常控制模式下,网络失效时,网络系统发出的表征网络正常的生命信号将中断,牵引传动系统监测到接收网络系统数据异常,则主动封锁牵引、分断高速断路器;制动控制单元在监测到网络系统通信异常,则根据当前列车速度和载荷主动施加机械制动控制列车停车,同时司机室的人机接口单元MMI监测网络系统通信异常将触发通信异常报警故障,提示司机作出相应的处理。

中低速磁悬浮列车网络控制系统在完成列车控制的同时,实时地对列车状态和故障进行诊断,完成车载各部件故障数据的采集、分析、转储和显示。故障信息实时地通过司机台上的人机接口单元MMI显示,并且同时记录到事件记录仪中,事件记录仪中的故障数据可以通过PTU上传到地面维修和服务系统中,供长期地储存和深入的地面分析。网络控制系统将故障划分为3个等级:

①严重故障(等级3):影响列车运行,必须立刻处理的故障。当此级别故障发生,MMI在运行界面显示故障内容,操作人员按确认键确认故障,确认后,当前故障在故障信息界面显示。

②中等故障(等级2):可能影响列车运行,可以回库处理的故障。当此级别故障发生,MMI在运行界面显示故障内容,操作人员按确认键确认故障,确认后,当前故障在故障信息界面显示。

③轻微故障(等级1):不影响运行但必须引起注意的故障。当此级别故障发生,MMI仅在故障界面显示故障内容。

2 中低速磁悬浮列车硬线继电控制系统

中低速磁悬浮列车在应急模式下采用硬线继电控制,司机将模式选择按钮打向应急模式位时,列车自动切换到应急模式。应急模式与网络控制模式及网络解锁模式的区别在于应急模式下列车网络完全不参与列车控制,各设备需接收与发送的数字量电平信号、模拟信号均经过硬线传输,且在应急模式下列车降级运行,仅有最基本的键信号通过列车线传输,从而完成列车的各种关键控制逻辑和保护功能,如:悬浮指令、司控器指令、辅助电源启动、空压机启动等。列车硬线控制模式下主要功能由VLCU模块和车辆列车线共同完成。

2.1 车辆逻辑控制模块(VLCU)

VLCU模块是车辆逻辑控制模块,该模块提供16路110 V数字量输入通道和8路数字量输出通道,该模块通过对FPGA编程实现输入输出逻辑及延时等逻辑控制和处理,实现车辆相关信号的基础逻辑控制。该模块电气接口与数字量输入输出模块一致,模块不具备MVB通信功能。全列车共设12个VLCU模块,每节车2个,其中对某些重要输入输出信号,VLCU模块实现了双通道冗余。模块原理图如图5所示。

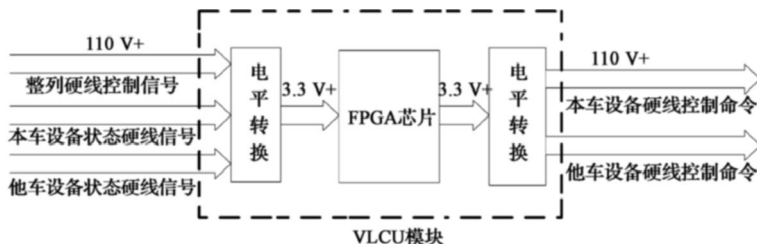


图5 车辆逻辑控制模块原理图 (下转第56页)

$$I_{in} = \omega_o C U_o \quad (11)$$

代入数据有

$$C_{max} \leq \frac{0.3 I_{in}}{\omega_o U_o} = \frac{0.3 \times 152 / \sqrt{3}}{314 \times 380} = 220 \mu F$$

则最终确定的电容取值范围为

$$C = 93 \sim 220 \mu F$$

③ 电感最小值的初步确定

选择电容最大值 $C = 220 \mu F$, 则有

$$LC \geq \frac{2}{(2\pi f_r)^2} = \tau = \frac{2}{\omega_r^2} \quad (12)$$

取 $f_r = 1200 \text{ Hz}$, 可得到电感最小值:

$$L \geq \frac{2}{\omega_r^2 C} = \frac{\tau}{C} = 0.14 \text{ mH}$$

由此得到滤波电感的取值范围为 $0.14 \sim 1.511 \text{ mH}$ 。

试选择 $L = 1.2 \text{ mH}$, $C = 160 \mu F$ 代入下式有

$$\tau = LC = 1.2 \times 10^{-3} \times 160 \times 10^{-6} = 1.92 \times 10^{-7} \geq 1.41 \times 10^{-7} \text{ s}$$

可见所选数据满足之前滤波器参数选择的前提条件。

4 参数校验与实际波形

以图6建立的仿真模型以及前述设计参数做搭建实际试验装置, 具体参数如下:

整流输出电压: $U_d = 600 \text{ V}$

$L_1 \sim L_3$ 为 1.2 mH , $C_1 \sim C_3$ 为 $160 \mu F$, $L_d = 10 \text{ mH}$, $C_d = 6000 \mu F$, $R_1 \sim R_3$ 为 1.5Ω , 调制比 $M = 0.8$, 载波频率 $f_c = 3000 \text{ Hz}$ 。

实测数据图如图10。

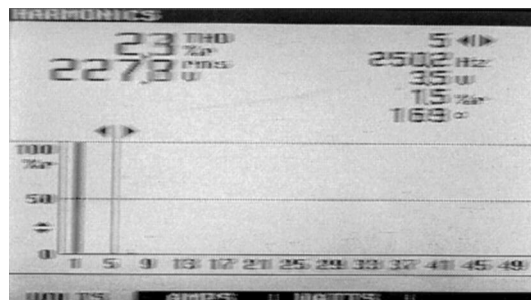


图10 相电压5次谐波输出含量及谐波畸变率

5 结语

从试验结果可以看出: 经过滤波器以后实际相电压波形的正弦度很好, 5次谐波的幅值只有 3.5 V , 仅占相电压有效值的 1.5% , 总谐波畸变率也只有 2.3% , 由此得出所设计的直流滤波器参数及交流滤波器参数是合理的, 给从事变流技术的读者提供一种很好的设计滤波器的实用方法。

参考文献:

- [1] 苏海滨. 电力电子技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [2] 韩焱青, 夏全福. 对PWM变频器传动中使用的三种滤波器的分析 [J]. 技术与应用, 2004(4): 45-46.
- [3] 颜 斌, 陈希有. 变频器输出RLC正弦波滤波器的工程设计 [J]. 电机与控制学报, 2002, 9(3): 256-257.
- [4] 宋 强, 刘文华, 严干贵, 陈远华. 大容量PWM电压型逆变器的LC滤波器设计 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2003(3): 345-348.

(上接第51页)

应急模式时需要延时、逻辑处理后输出的相关信号经过VLCU模块处理后输出, 实现了硬线继电控制电路虚拟化, 减少了列车布线及继电器的布置, 从而提高了列车在应急模式下控制电路的可靠性, 避免了因继电器卡分卡合而造成的电路故障。

2.2 列车线

列车线贯穿全车, 列车线由硬线和继电器构成, 传输与列车关键控制逻辑相关的信号, 如分合主断路器信号、司控器指令、扩展供电指令、触发紧急制动后“快速落车”等信号。

应急模式下, 每节车的DCU接收来自司机室的分合主断路器信号, 对每节车的主电路中的主断路器进行分合。且DCU和EBCU通过全列贯穿的列车线采集来自司机室的司控器输出的牵引高电平信号, 配合级位编码A、级位编码B、级位编码C的级位信号, 根据车辆载荷施加牵引力; 或制动高电平信号, 配合级位编码A、级位编码B、级位编码C的级位信号, 根据车辆载荷施加电制动力。列车紧急制动环线将与列车紧急制动相关的各个节点串联在一起, 环线失电, 则列车施加紧急制动。列车悬浮控制指令环路与紧急制动环线状

态信号有逻辑联锁, 紧急制动环线失电则悬浮指令被撤销, 全列车的悬浮指令硬线全部为低电平, 并且VLCU将收到的低电平锁存, 立即执行“快速同时落车”指令, 从而加大列车紧急制动力。

3 结语

中低速磁悬浮列车控制系统在设计过程中始终贯彻模块化、高冗余性的设计理念, 其网络控制系统严格遵循IEC 61375标准设计, 具有很高的冗余性和可靠性, 完全实现对列车的控制。硬线继电控制系统借鉴其他地铁车辆的成熟经验, 同时结合中低速磁悬浮列车的实际情况, 保障了在网络控制系统失效时列车基本功能的实现, 确保了中低速磁悬浮列车安全可靠地运行。

参考文献:

- [1] 袁文辉, 许义景, 陈建校. 基于GPRS与WLAN的中低速磁悬浮列车信息无线传输系统 [J]. 机车电传动, 2011(3): 34-36.
- [2] 曾 嵘, 路向阳. 首列国产交流传动地铁列车控制及网络系统 [J]. 机车电传动, 2004(3): 35-38.
- [3] 张 彤. 广州地铁二号线列车控制系统的设计 [J]. 湖南环境生物职业技术学院学报, 2005(3): 251-254.