

武汉地铁16号线LCU旁路后车辆异常限速问题的分析

杨 洋, 陈伟嘉

武汉地铁运营有限公司, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年2月10日; 录用日期: 2022年3月14日; 发布日期: 2022年3月21日

摘 要

武汉地铁16号线牵引封锁有两种判断逻辑, 当牵引系统或网络系统采集到所有制动不缓解信号后, 均会触发牵引封锁保护, 本项目所有制动缓解信号通过LCU来输出, 本文主要分析车辆LCU旁路后异常限速的原因并给出解决方案。

关键词

LCU, 牵引系统, 网络系统, 牵引封锁

Analysis of Abnormal Speed Limit Problem of Vehicles after LCU Bypass of Wuhan Metro Line 16

Yang Yang, Weijia Chen

Wuhan Metro Operation Co., Ltd., Wuhan Hubei

Received: Feb. 10th, 2022; accepted: Mar. 14th, 2022; published: Mar. 21st, 2022

Abstract

There are two kinds of judgment logic for traction blocking of Wuhan Metro Line 16. When the traction system or network system collects all braking non release signals, it will trigger traction blocking protection, all braking release signals of the project are output through LCU, this paper mainly analyzes the causes of abnormal speed limit after vehicle LCU bypass and gives solutions.

Keywords

LCU, Traction System, Network System, Traction Blockade

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

传统的轨道交通车辆控制功能主要是通过继电器来实现, 比如车辆的列车激活、紧急制动控制、停放制动控制、司机室占有等控制电路[1]。由于轨道交通车辆的功能逐步强大, 列车控制系统越来越复杂化, 传统的继电器存在老化变形、布线复杂、触点粘连、空间占用较大等问题[2]。LCU (logic control unit 逻辑控制单元) 是为地铁车辆的逻辑控制而设计的车载系统, 它通过无触点电路替代列车传统有触点的控制电路, 实现列车逻辑控制、故障诊断、列车网络通信等功能[3]。相对于传统的继电器而言, LCU 通过无触点控制, 且采用双冗余机制, 有效提高了列车控制系统的可靠性[4] [5]。LCU 输入输出采用 A 路、B 路热备双冗余机制, 每路输出采用双开关控制, 具备输入输出独立诊断功能。同时 AB 板卡进行相关数据同步, 使 AB 板卡进行无缝切换, 保证整机的输入信号采集和输出信号控制不受任何影响, 除此之外还将此过程的故障信息和同步数据进行记录和存储。武汉地铁 16 号线采用 LCU 技术来替代列车原有的部分控制继电器, 实现列车的部分控制功能, 在应用中发现 LCU 旁路有效时车辆存在异常限速问题, 本文主要针对限速原因进行分析, 并给出解决方案。

2. LCU 概述

2.1. LCU 网络拓扑介绍

武汉地铁 16 号线车辆 LCU 采用分布式结构, TMC1、TMC2 车各安装一套 LCU 装置, 通过 MVB 网关与 TCMS 建立数据连接, 两个 LCU 通过内部 CAN 网络建立数据连接, 同时, 连接到以太网维护网络上, 便于数据的维护。控制网络拓扑如图 1 所示:

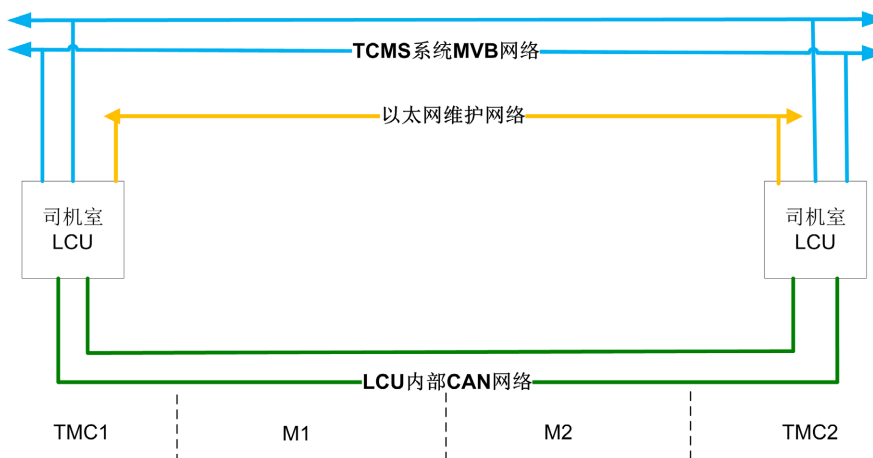


Figure 1. LCU network topology

图 1. LCU 网络拓扑

2.2. LCU 硬件拓扑介绍

LCU 采用 3U-B 机箱, 采用热备冗余机制, 每一个 LCU 主机包括 2 块电源板、2 块主控板、3 块通信板(MVB、CAN、ETU 各 1 块)、10 块数字量 IO 板(8 块 DIO 板、2 块 GIO 板)、3 块接口板, 硬件拓扑如图 2 所示:

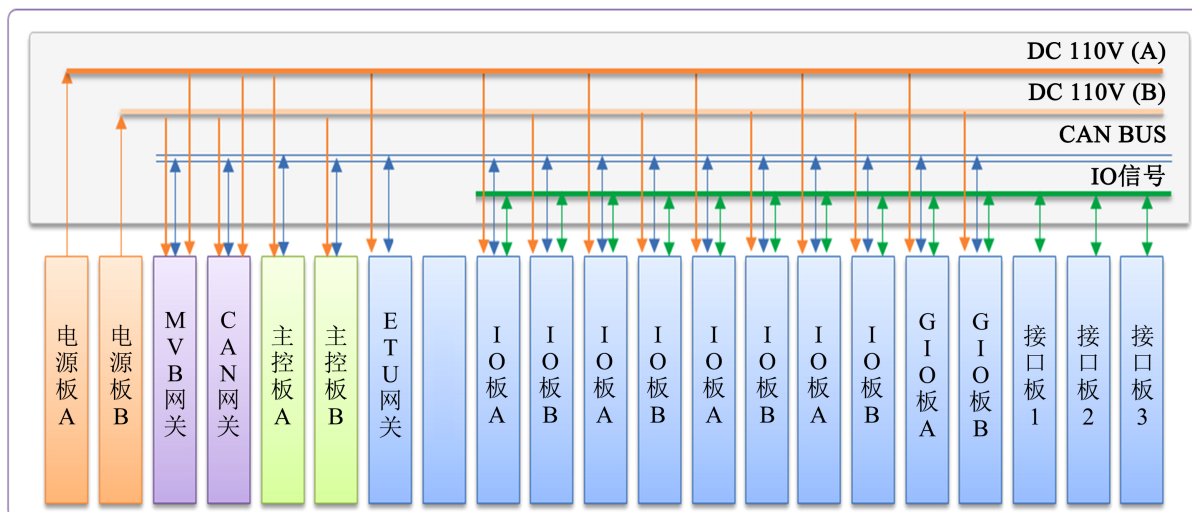


Figure 2. LCU hardware topology

图 2. LCU 硬件拓扑

LCU 整机电气接口主要包含电源接口、IO 输入输出接口、MVB 通信接口、以太网通信接口、USB 接口, 均在机箱两端、前部出现, 机箱左侧走电源及通信线, IO 信号线统一从右侧出线。LCU 每个板卡模块带有 LED 灯, 指示工作状态和通道状态。

3. 车辆牵引系统保护原理

武汉地铁 16 号线关于车辆制动缓解不良有两重保护, 防止车辆带闸运行, 影响行车安全。

网络保护: 网络系统接收 LCU 传递的所有制动已缓解硬线信号, 高电平表示所有制动已缓解, 低电平则表示所有制动未缓解。在牵引工况, 若网络检测到所有制动已缓解 I/O 输入信号为低电平, 则网络执行速度 $> 2 \text{ km/h}$, 持续 4 s 后封锁牵引保护。

DCU 保护: DCU 接收 LCU 传递的所有制动已缓解硬线信号, 高电平表示所有制动已缓解, 低电平则表示所有制动未缓解。牵引工况下, 若 DCU 检测到所有制动已缓解硬线信号为低电平, 则 DCU 执行速度 $> 2 \text{ km/h}$, 持续 4 s 后封锁牵引保护。

DCU 与网络分别采集硬线信号进行判断, 互不影响。正常情况, 只要 DCU 与网络系统任意一方在牵引工况接收到所有制动未缓解低电平信号, 则 DCU 执行速度 $> 2 \text{ km/h}$, 持续 4 s 后封锁牵引保护; 紧急牵引工况, 网络不可用, DCU 则根据采集的硬线信号进行判断。

4. 问题描述

在做 LCU 旁路限速试验时, 列车在牵引速度达 17~19 km/h 时异常触发牵引封锁的条件, 无法达到 LCU 旁路后设计限速值 65 km/h, 牵引手柄回 0 位后再牵引, 列车速度上升不久再次牵引封锁, 以此往复。列车在达到规定限速值前, 多次异常牵引封锁。

5. 问题分析

查看异常时刻 HMI 牵引封锁界面如图 3 所示, 提示“牵引工况下, 速度大于 2 km/h, 4 s 内所有制动不缓解”, 即列车 TCMS 判断列车制动未缓解, 牵引后 4 s 触发牵引封锁。

1	零速时操作端冲突
2	无方向或方向信号冲突
3	速度大于123 km/h
4	主风管空气压力低于600 kPa
5	5个及以上转向架制动被切除或故障
6	离开站台50米以内车门未关好
7	外部风源工作
8	网络触发紧急制动请求
9	在蓄电池牵引模式下, 蓄电池点压低于85V
10	列车完整性丢失
11	有车间电源工作
12	刀开关不在运行位
13	牵引工况下, 速度大于2 km/h, 4秒内所有制动不缓解
14	牵引系统方向故障

Figure 3. HMI traction blocking interface
图 3. HMI 牵引封锁界面

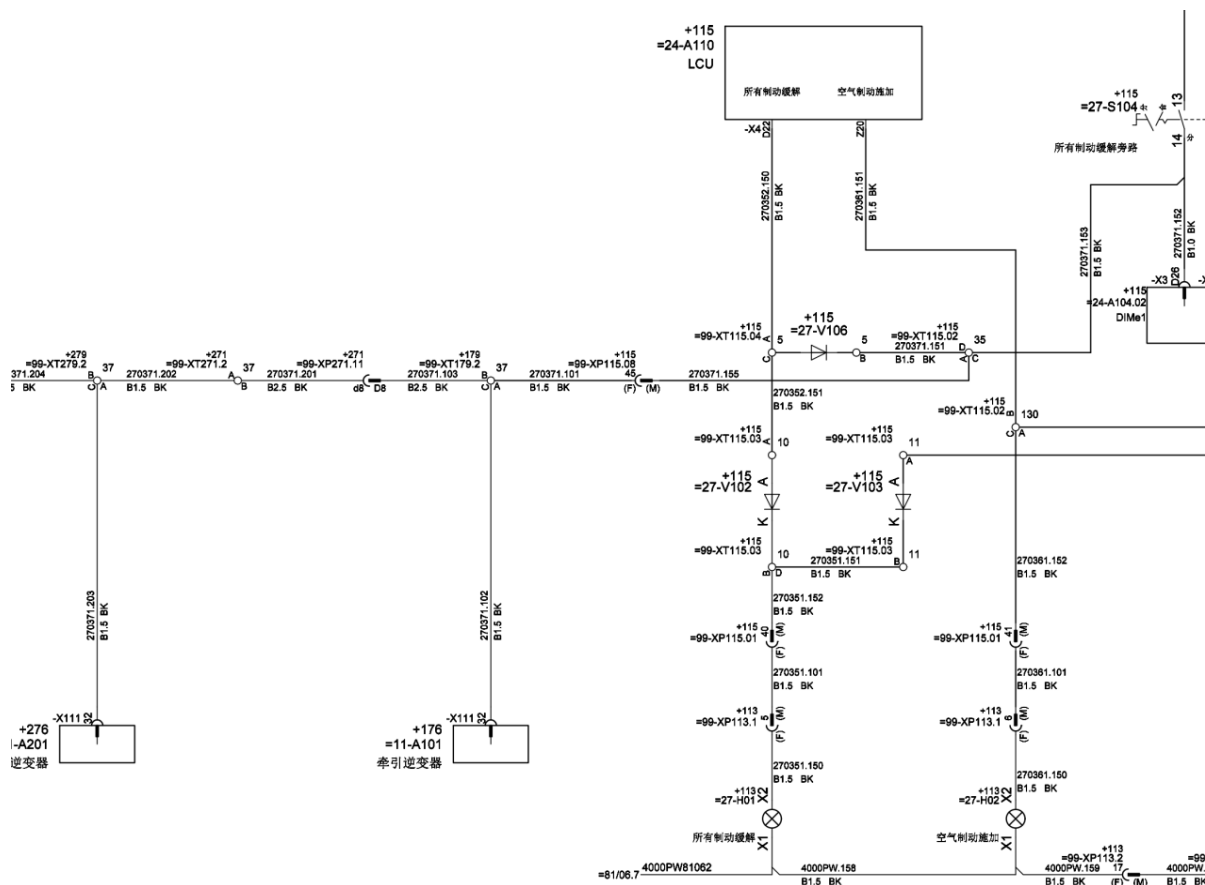


Figure 4. All brake mitigation status outputs
图 4. 所有制动缓解状态输出

结合车辆电气原理图, LCU 旁路无效时, LCU 通过采集停放制动和空气制动的状态进行综合判断, 并输出所有制动缓解信号给牵引系统和网络系统, 其中高电平为所有制动缓解状态, 低电平为所有制动未缓解状态, 网络系统和牵引系统分别独立采集所有制动缓解的电平信号并进行判断, 若任意一方采集为低电平信号即触发牵引封锁保护。进一步分析 TCMS 判断列车制动不缓解原因, 如图 4 所示, 车辆 LCU 系统采集到所有制动缓解后, 输出模块 D22 点位通过硬线输出高电平至 TCMS 系统制动监视点 D26 和牵引逆变器 32 监视点以及所有制动缓解指示灯。当 LCU 旁路旋钮闭合后, 列车制动 LCU 模块始终输出低电平, 各节车牵引逆变器 32 点位和 TCMS 系统 D26 点位均采集到低电平, 认为列车所有制动未缓解, 随即触发当列车速度大于 2 km/h, 且持续 4 秒, 所有制动缓解信号仍为低电平时的牵引封锁条件, 从而施加牵引封锁。牵引手柄回零位后, 重新进行判断, 直到列车速度提升到 65 km/h 彻底封锁牵引。

上文已经讲述武汉地铁 16 号线车辆制动缓解不良有双重保护, 当牵引逆变器和 TCMS 任一系统收到 LCU 传递的所有制动未缓解时, 都会施加牵引封锁逻辑; 紧急牵引时, TCMS 不可用, 牵引逆变器根据制动状态进行判断。

武汉地铁 16 号线车辆在控制功能上, 虽提高了安全防护性能, 但是当 LCU 设备出现其他控制功能或通讯功能故障后, 操作了 LCU 旁路会触发异常限速, 影响故障下行车效率。

6. 提出处理方案

在这里提出两种方案, 进行比较分析:

1) 车辆不增加硬线

网络系统增加 LCU 旁路信号给牵引系统, 不操作 LCU 旁路时牵引系统根据硬线信号正常进行所有制动缓解判断, 操作 LCU 旁路时牵引系统不再进行所有制动缓解判断, 此时由网络进行判断。网络系统在 LCU 旁路有效的情况下, 通过 TCMS 综合判断网络模块采集的各车的停放制动和空气制动缓解状态进行判断, 不再判断 LCU 输出的所有制动不缓解硬线信号。网络判断出制动缓解不良时执行速度 > 2 km/h, 持续 4 s 后封锁牵引保护。

紧急牵引情况下, 牵引系统根据 LCU 发送的所有制动缓解硬线信号判断所有制动缓解状态, 若 LCU 被旁路, 牵引系统收不到所有制动已缓解信号, 以考虑安全为前提, 牵引系统执行 > 2 km/h, 持续 4 s 后封锁牵引保护。

通过软件解决 LCU 旁路时, 由于所有制动已缓解信号持续为低电平导致的网络与牵引系统执行 > 2 km/h, 持续 4 s 后封锁牵引保护, 速度无法达到限速值 65 km/h。虽然不需要增加硬线, 但 DCU 需要的 LCU 旁路信号依靠网络转发, 失去了牵引系统和网络独立冗余判断的功能。

2) 车辆增加一根 LCU 旁路硬线给 DCU

在网络与 LCU 均正常的情况下, 网络系统和牵引系统独立采集所有制动缓解信号, 并独立进行判断。操作 LCU 旁路旋钮时, 所有制动缓解信号持续为低电平, DCU 不再判断 LCU 输出的所有制动不缓解硬线信号, 由网络进行判断。网络在 LCU 旁路的情况下, 通过 TCMS 综合判断网络模块采集的各车停放制动和空气制动缓解状态进行判断, 网络判断出缓解不良后执行速度 > 2 km/h, 持续 4 s 后封锁牵引保护。

紧急牵引根据 LCU 发送的所有制动缓解硬线信号, 正常进行制动缓解状态的判断。若 LCU 被旁路, 牵引系统收不到制动已缓解信号, 以考虑安全为前提, 牵引系统执行速度 > 2 km/h, 持续 4 s 后封锁牵引保护。

此种方案只需要增加一条 LCU 旁路列车线给 DCU, 在网络与 LCU 均正常时, 独立进行判断, LCU 旁路时由网络进行判断。改动较小, 在网络与 LCU 均正常时保证了冗余有效性, 在 LCU 旁路时, DCU 依靠网络系统执行保护。

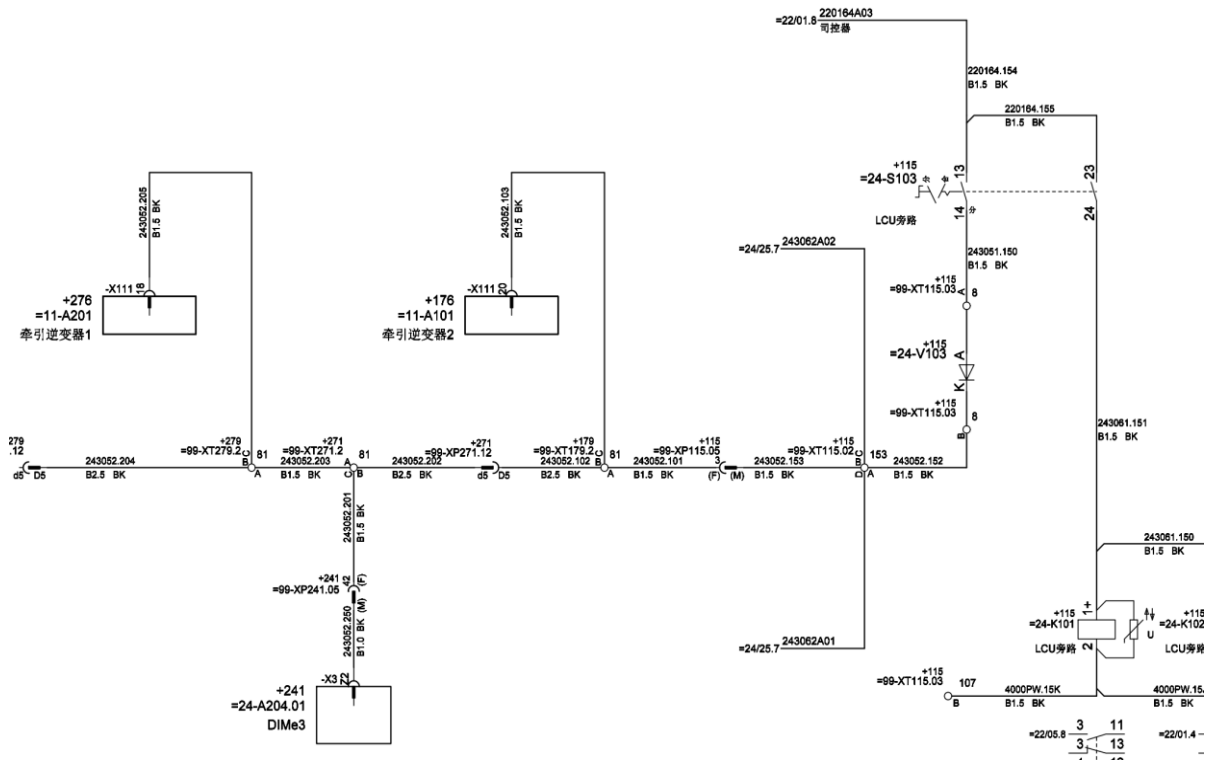


Figure 5. Adding LCU bypass hardwire signals
图 5. 增加 LCU 旁路硬线信号

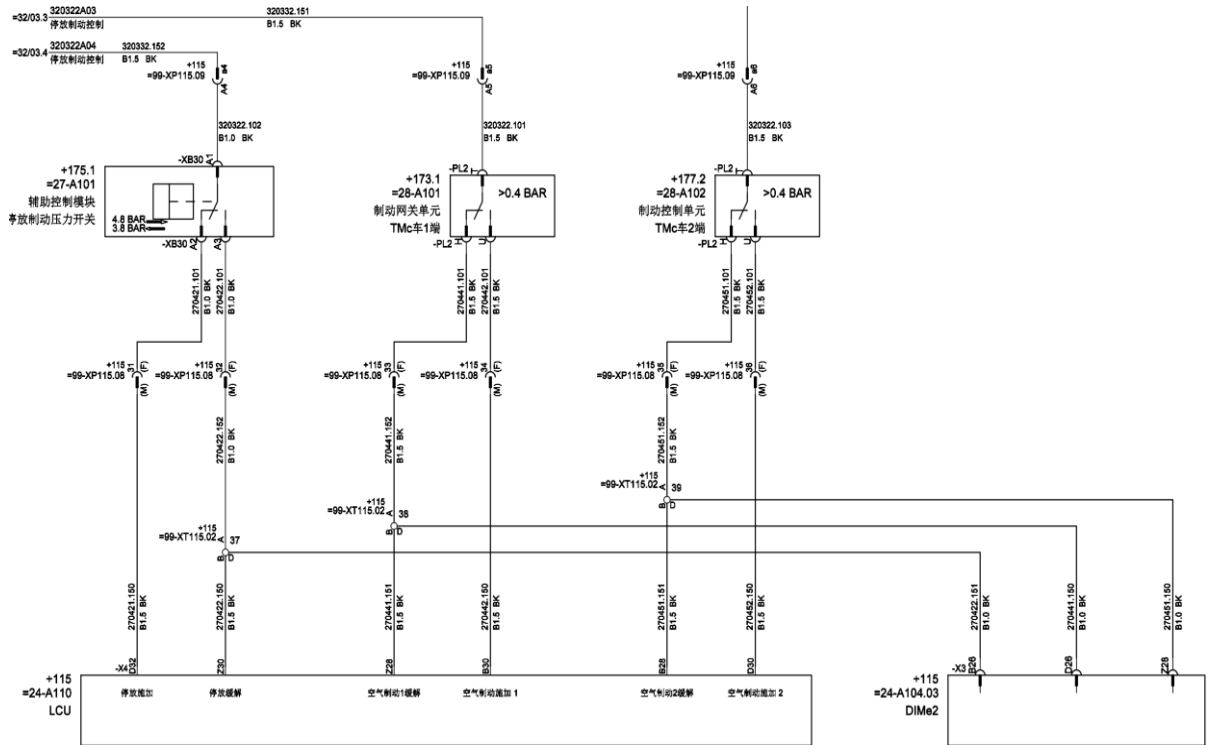


Figure 6. Parking brake and air brake status collection
图 6. 停放制动和空气制动状态采集

7. 确定处理方案

通过比较,可以看出通过增加硬线来改善控制功能的方案较为合适,这里对此方案进行重点分析。车辆增加一根 LCU 旁路硬线,传递给牵引逆变控制单元,如图 5 所示。

1) TCMS 和 LCU 系统正常时,TCMS 和牵引逆变器分别采集所有制动缓解信号,独立进行判断。

2) TCMS 正常,LCU 旁路闭合时,所有制动已缓解硬线为持续低电平,DCU 不再判断 LCU 输出的所有制动不缓解硬线信号,由网络进行判断。如图 6 所示,网络系统在 LCU 旁路的情况下,通过 TCMS 综合判断网络模块采集的各车停放和空气制动缓解状态进行判断,网络判断出制动缓解不良后执行速度 $> 2 \text{ km/h}$,持续 4 s 后封锁牵引保护。

3) 当 TCMS、LCU 双重故障,同时操作紧急牵引和 LCU 旁路后,以安全为前提,牵引系统执行牵引封锁逻辑。

8. 结束语

项目使用 LCU 替代部分继电器后,会出现旁路有效时车辆异常限速的问题,文中通过分析提出增加 LCU 硬线信号给 DCU 的方案来解决问题,当旁路无效时 TCMS 和牵引逆变器分别采集所有制动缓解信号独立进行判断,旁路有效时牵引系统不再处理所有制动缓解信号,由网络系统综合判断各车的停放制动和空气制动状态来决定是否进行封锁保护。

参考文献

- [1] 陈前. 地铁列车继电器全寿命分析和维修对策分析研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2015(19): 17.
- [2] 易志安, 林沛扬. 地铁列车继电器触点可靠性及对策研究[J]. 机电信息, 2015(6): 42-43.
- [3] 吕强. 地铁列车 LCU 系统技术发展与应用[J]. 科技创新导报, 2016(28): 1-2.
- [4] 聂畅. LCU 在地铁列车上的应用方案及优化建议[J]. 电力机车与城轨车辆, 2017(2): 85-86.
- [5] 乐建锐. LCU 在深圳地铁 9 号线车辆中的应用[J]. 铁道机车车辆, 2018(5): 112-116.