

高速动车组高压控制单元设计与实现

王华伟 刘国梁 王德帅

(中车长春轨道客车股份有限公司国家轨道客车工程研究中心, 130062, 长春//第一作者, 正高级工程师)

摘要 针对高速动车组运行过程中可能会出现的高压系统故障,设计了用于动车组高压信号监测及保护的高压控制单元装置。阐述了高压控制单元的硬件原理、信号采集原理及阈值保护的机理,并在实验室验证了信号采集及其保护功能。试验结果表明,高压控制单元能够实现对高压系统信号的采集和管理。

关键词 高速动车组; 高压控制单元; 单元设计

中图分类号 U264.3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.02.009

Design and Implementation of High Voltage Control Unit for High-speed EMU

WANG Huawei, LIU Guoliang, WANG Deshuai

Abstract In view of the potential high voltage system failures during the EMU operation, a high voltage control unit device for EMU high voltage signal monitoring and protection is designed. In this paper, the hardware principle, signal acquisition principle and threshold protection mechanism of the high voltage control unit device are described, the signal acquisition principle and protection functions are verified in the laboratory. Results show that this device can realize EMU high voltage signal acquisition and management.

Key words high-speed EMU; high voltage control unit; unit design

Author's address National Engineering Research Center of Railway Vehicles, CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

高速动车组高压系统包括受电弓、主断路器、电压/电流互感器、高压隔离开关、牵引变压器等设备。这些高压设备承担着从25 kV交流接触网获取和传输电能到动车组牵引传动系统的作用。由于高速动车组供电电压高,运行电流负载大,一旦高压系统故障,轻则导致部分设备损坏,重则对接触网及地面供电设备造成破坏,因此,对高速动车组高压设备管理及保护的设计显得尤为重要。某型号高速动车组配置了高压控制单元作为列车高压

系统的控制和保护设备,主要用于实现高压系统设备的管理、运行信息的采集、运行状态的监视及故障诊断,从而保证了列车高压系统安全可靠的运行。

1 高速动车组高压控制单元硬件设计方案

高速动车组高压控制单元主要由CPU(中央处理器)处理板卡、IOM(输入输出装置)管理板卡、MVB(多功能车辆总线)通信板卡、数字量输入输出板卡、模拟量输入输出板卡、RDR(实时数据记录卡)、电源板卡、冷却风扇及机箱等组成;该控制单元主要实现高压系统数字量输入输出监视与控制,以及网侧电流(网流)和网侧电压(网压)、变压器差分电流及变压器油流进出口温度等模拟量的采集功能。

1.1 高压控制单元功能拓扑结构

高压控制单元在通用CPCI(紧凑型外设部件互连标准)总线的技术上加入本控制单元特有的信号,实现了扩展性的CPCI总线技术;除了CPCI总线外,高压控制单元在背板上还包含数字和模拟的IO(输入输出)信号;高压控制单元包含MVB、以太网接口等。高压控制单元硬件功能拓扑结构如图1所示。

1.2 高压控制单元硬件组成

高压控制单元为7U机箱式结构,由动车组蓄电池DC 110 V供电。高压控制单元硬件布局如图2所示。

中央处理单元作为高压控制单元的中央处理器,主要负责该控制单元所有软、硬件资源的调度和通信。中央控制单元通过CPCI总线和私有总线与所有其他板卡进行数据交互。

输入输出管理模块在系统中用于中央处理单元和输入输出板卡之间的接口,它通过数据总线和地址总线连接到中央处理单元。

MVB通信卡模块是依据GB/T 28029—2020《轨道交通电子设备列车通信网络》设计的子模块。

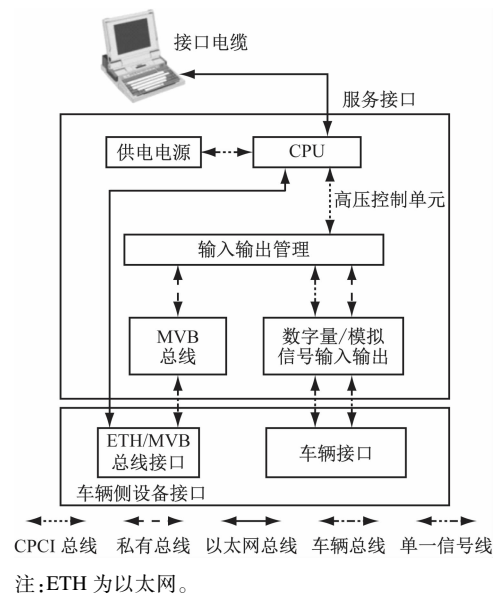


图 1 高压控制单元功能拓扑结构框图

Fig. 1 Topology block diagram of the high voltage control unit functions



注:ITS 为温度采集模块;DI 为数字量输入;DO 为数字量输出。

图 2 高压控制单元硬件布局图

Fig. 2 Hardware layout of the high voltage control unit

作为高压控制单元的 MVB 节点,属于 MVB 网络中的从节点。该 MVB 板卡上配置了 CCU(中央控制单元)需要的 MVB 源端口和宿端口,用于 CCU 与 MVB 网络上其他各设备的数据通信。

DI/DO 板卡用于将标称电平 DC 110 V 的数字量转化为处理器可识别的二进制信号。DI 信号用于电气隔离,其经屏蔽或非屏蔽的数字量输入线进入控制单元。DO 板卡模块用于≤110 V(DC)标称电平的数字量信号输出。两块 DI/DO 板卡的前端连接器防差错不同,以防车辆侧插头误插。

IOA(模拟量输入输出模块)用于处理不同模拟

量和数字量信号。其可以采集接触网网压和网流,以及变压器输入、输出电流等高压系统模拟量信号。

ITS 设置了 PT100 温度传感器采集电路,用于采集牵引变压器的温度信号。

RDR 的主要功能为对接触网网压和网流、变压器入口电流、接地电流等信号进行实时数据记录。当高压控制单元触发快速保护后,RDR 保存触发快速响应保护前 1 s 和后 2 s 所有通道的实时值,用于进行故障分析。

电源板卡集成了 DC 110 V/5 V、±15 V、24 V 等 3 路电源为高压控制单元供电。电源供电由前端连接器输入,并对电源供电线路进行了冗余设计。

高压控制单元在机箱底部配置了冷却风扇,为整个机箱冷却。

2 高压控制单元信号采集及限值保护

2.1 高压控制单元有效值采集原理

高压控制单元采集并处理的有效值包括接触网网压和网流、变压器入口电流、变压器接地电流等。上述信号的采集和处理通过高压控制单元的 IOA 板卡实现。IOA 板卡的采集量程范围为±10 V。IOA 对采集的网压模拟量信号进行信号调理,将输入的正弦波信号变换为系统可识别的数字量信号,以便用于系统后续的数据处理。通过 IOM 板卡将转换后的数字量信号经背板总线发送至 CPU 板卡,由 CPU 板卡进行数据处理及逻辑运算,具体流程如图 3 所示。

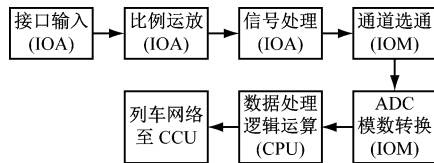


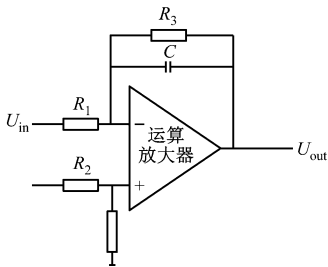
图 3 高压控制单元有效值处理流程

Fig. 3 Effective value processing flow of the high voltage control unit

比例运算电路主要是取反、求绝对值等运算操作,将正弦波信号转换成正弦正半波信号或负半波信号,而后通过积分电路将其转换成直流均值信号。根据 CPU 控制软件的设定,由 IOM 板卡上的多路选择器依次选通每路通道,作为 ADC(模拟 1 数字转换器)的采集输入,在经模数转换后发送至 CPU 板卡进行数据处理。

高压控制单元的网压有效值采集通过硬件算

法实现。其采用有效值运算放大器的反向比例积分原理,如图 4 所示。



注: R_1 、 R_2 、 R_3 为电阻; C 为电容; U_{in} 为正弦波交流输入的绝对值取反信号; U_{out} 为经放大电路转换的输出信号。

图 4 有效值运算放大器的基本原理

Fig. 4 Basic principle of the effective value operational amplifier

其中,输入与输出信号的基本函数关系为:

$$U_{out}(t) = -\frac{1}{RC}\int U_{in}(t) dt \tag{1}$$

式中:

- t ——时间;
- R ——输入电阻。

通过比例积分运放原理可知,该电路中的比例增益 K 为:

$$K = R_3/R_1 \tag{2}$$

时间常数 τ 为:

$$\tau = R_1 C \tag{3}$$

式(2)一式(3)中,变量 K 和 τ 均为过渡反应时间过程的常数。在该电路中,当恒定电流 I 流过,电容的电压达到电容端电压最大值的 $1 - 1/e$,即 0.63 倍时所需要的时间;而在电路断开时, τ 为电容端电压最大值的 $1/e$,即约 0.37 倍时所需要的时间。

高压控制单元有效值的通路选择由 CPU 控制软件设定,选取要读取的通道数据,所采集的网压交流信号的直流分量,通过平滑处理后乘以比例系数修正为有效值数据,经协议转换后发送至列车网络控制系统。

2.2 高压控制单元硬件快速保护

高压控制单元具有对高压设备的保护功能,包括对接触网网压和网流,以及对变压器入口电流瞬时值的快速保护功能。

高压控制单元硬保护的设计逻辑具体为:CPU 根据控制需求将保护限值写入 IOM 板卡,IOA 板卡直接采集车辆侧网压和网流、变压器电流对应的电

压信号,且电压最大范围支持 $-10 \sim 10\text{ V}$;输入信号经放大电路处理后,发送至 IOM 硬件比较器电路,并将比较结果采用二进制方式输出,此状态和实际的模拟量值实时发送给 CPU;一旦检测到电压瞬时值超限,根据逻辑约定将立即输出 DO 板卡通道断开信号,以封锁当前状态;设定时间后若 CPU 检测故障恢复则发送解锁指令,此时 BOCD(二进制输出转换驱动板卡)串联在主断路器的对应通道闭合,如图 5 所示。

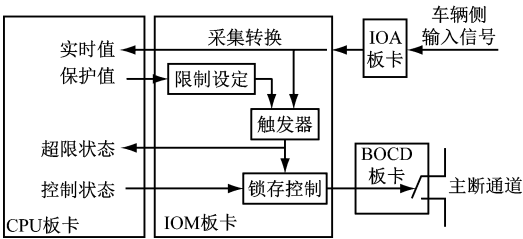


图 5 高压控制单元硬件快速保护逻辑关系图

Fig. 5 Hardware fast protection logic diagram of the high voltage control unit

IOA 板卡通过动车组电压互感器或电流互感器次边电路采集相应信号,其输入信号经放大电路处理后,由 IOM 接收并与设定限值比较,一旦超过设定限值,硬件比较器电路将输出高电平信号,并将此状态实时发送给 CPU。CPU 经内部逻辑判断且满足超限条件后,将控制指令发送给 IOM,由 IOM 断开 BOCD 板卡串在 VCB(真空断路器)回路的长闭触点,从而断开动车组主断路器,以防动车组高压设备受到损坏。

3 高压控制单元模拟量采集实测响应

在实验室通过信号发生器给定高压控制单元相应的输入,通过网络分析仪抓取数据,测试模拟量的响应时间。

3.1 高压控制单元有效值响应测试

调整信号发生器,给定高压控制单元同步的交流输入信号,其峰值由 4 V 骤升至 20 V。通过网络分析仪抓取数据来分析动态变化特性,如图 6 所示。

由图 6 可知,高压控制单元交流信号有效值响应时间大约为 1.3 s。此响应时间可作为网络系统对于网压、网流及变压器电流有效值限值保护的重要参数之一。当考虑实现限值保护时,需考虑交流信号有效值的稳态响应时间以进行相应的延时。

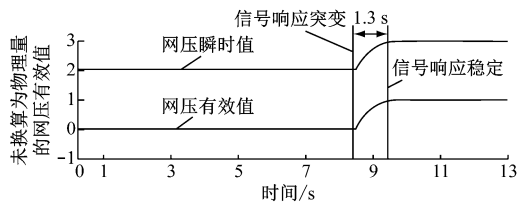


图6 高压控制单元交流信号有效值响应

Fig. 6 AC signal RMS response of the high voltage control unit

3.2 高压控制单元硬件快速保护响应测试

选取变压器入口电流和接触网电流瞬时值硬件快速保护接口进行测试。

变压器入口电流快速保护响应如图7所示。由图7可知,变压器入口电流快速保护设定为 500 A (8.33 V);输入波形为正弦波,输入超限至快速保护 DO 开始断开的的时间约为 3 ms,DO 完全断开的的时间约为 13 ms。

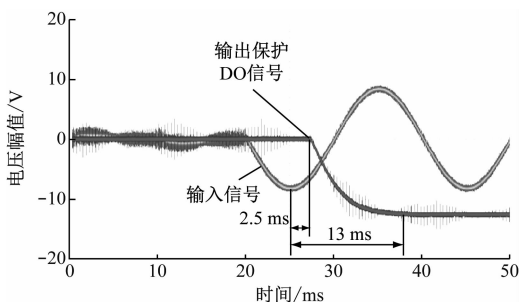


图7 变压器入口电流快速保护响应截图

Fig. 7 Screenshot of fast protection response of transformer inlet current

接触网电流快速保护响应如图8所示。由图8可知,接触网电流快速保护同样设定为 500 A (8.33 V),输入波形为正弦波,输入超限至快速保护 DO 开始断开的的时间为 2 ms,DO 完全断开的的时间约为 14 ms。

从上述2种快速保护的响应可以看出,通过高压控制单元对模拟量信号瞬时值的快速保护在 20 ms 以内即可完成。某些型号的动车组设置了接触网网流保护继电器,当电流大于其设定值时,通过硬线信号输出保护。本文所介绍的动车组通过高压控制单元实现了相同的保护功能,同时节省了高

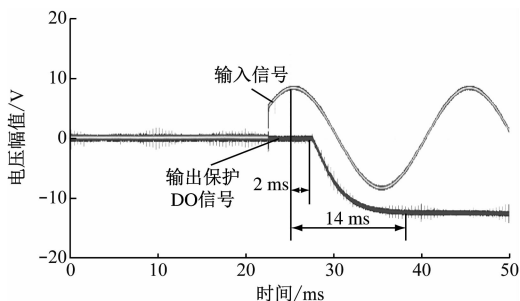


图8 接触网电流快速保护响应截图

Fig. 8 Screenshot of fast protection response of catenary current

压设备的安装空间。

4 结语

本文介绍了一种高速动车组集成式高压系统管理单元的设计方案、基本原理及试验验证结果。该设备可实现对高压系统部件状态信息的统一采集及管理,并可对部分硬件设备进行替代,节省了高压系统部件的安装空间及成本,提高了动车组高压系统的安全性和可靠性。

参考文献

- [1] 倪文波,王雪梅. 高速列车网络与控制技术[M]. 成都:西南交通大学出版社,2010.
NI Wenbo, WANG Xuemei. High-speed train network and control technology [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2010.
- [2] 黄秀川,何成才. 动车组网络技术[M]. 成都:西南交通大学出版社,2018.
HUANG Xiuchuan, HE Chengcai. EMU network technology[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2018.
- [3] 王磊. 动车组网络控制系统与故障诊断[J]. 信息系统工程, 2020(1):39.
WANG Lei. EMU network control system and fault diagnosis[J]. China CIO News, 2020(1):39.
- [4] 陶艳,龚娟. 列车网络控制技术原理与应用[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
TAO Yan, GONG Juan. Principle and application of train network control technology [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2010.

(收稿日期:2021-09-28)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821