

同相供电系统的牵引供电分区保护方案*

赵云云¹ 解绍锋² 张 凯²

(1. 广州地铁设计研究院有限公司, 510010, 广州;

2. 西南交通大学电气工程学院, 610031, 成都//第一作者, 高级工程师)

摘 要 贯通式同相供电系统能够取消全线的电分相,在改善电能质量和提高列车运行速度等方面具有优势。若依然采用传统的保护系统,那么全线贯通后的系统将会是脆弱的。此时牵引网上只要有1处发生故障,整条线路都会受到影响,甚至会使牵引网停止运行。为此,对牵引网分段供电测控技术进行研究,利用 MATLAB 和 Simulink 软件分别对测控系统各部分建模,并模拟了牵引网短路故障时保护动作的情况。以某市的地铁 18 号线和 22 号线为例,通过分析故障前后分段所处电压波形的变化情况,验证了该测控方案的可行性与准确性。

关键词 同相供电; 牵引网分段; 故障潮流符号; 分区保护
中图分类号 U231.8

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.07.041

Protection Scheme for Traction Power Supply Partition Based on Co-phase Power Supply System

ZHAO Yunyun, XIE Shaofeng, ZHANG Kai

Abstract Continuous co-phase power supply system can eliminate electrical phase separation from the entire line, having advantages in improving power quality and improving locomotive running speed. However, if the conventional protection system is adopted, the system after the whole line being launched will be fragile, because one failure in the traction network can affect the entire line, even stopping the traction network. Targeting this issue, a traction network section power supply measurement and control technology is studied. Using MATLAB/Simulink software, each part of the measurement and control system is modeled, and the protection behavior during short-circuit fault of traction network is simulated. Taking the Metro Line 18 and Line 22 as an example, by analyzing the voltage waveform before and after the fault, the feasibility and accuracy of the measurement and control method are verified.

Key words co-phase power supply; traction network sec-

tion; fault power flow symbols; partition protection

First-author's address Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., 510010, Guangzhou, China

贯通式同相供电系统包括3大关键技术^[1-5],其主要特点分别为:组合式同相供电能够在对负序和无功进行治理的同时取消牵引变电所出口处的电分相;新型双边供电技术能够取消分区所处的电分相,配合外部电源方案,使其对电力系统的影响降到最低;牵引网分段供电与测控技术可实现对牵引网的分段,同步测控技术能更及时、更准确地判断出牵引网的故障类型及其发生位置,以减小故障影响范围,使牵引网安全、稳定运行,提高其可靠性。

本文对牵引网分区段供电测控技术进行研究,对测控方案各部分建模,模拟牵引网短路故障时保护动作的情况,并以某市的地铁 18 号线和 22 号线为案例,验证该测控方案的可行性与准确性。

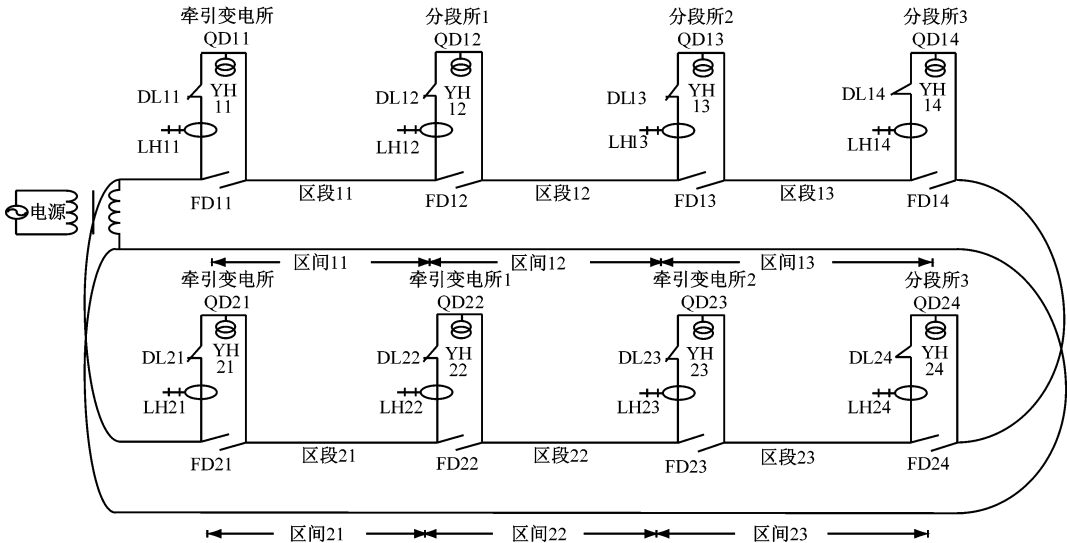
1 牵引网分段供电与测控方案原理

牵引网分区段供电与测控方案的原理为:基于故障潮流符号法判断法则,在每个分段处增设分段所(QD)和电分段(FD);在每个分段所内分别安装断路器(DL)、电压互感器(YH)、电流互感器(LH);采集该分段所内的电压幅值 U_{rms} 及其相位 φ_u 、电流幅值 I_{rms} 及其相位 φ_i ,以及该区段内的潮流符号值(f),再将 U_{rms} 和 f 传送到该分段所的控制室。双线直供末端并联牵引网的供电分段如图1所示。

2 牵引网故障识别

牵引网分段供电技术能够将牵引网进行区段划分,使牵引网故障能够被限定在较小范围内。通

* 四川省科技计划资助项目(2017CC0072)



注:区间 xy 中,x 指线路的方向,1 为上行,2 为下行;y 指具体编号。如区间 23 表示下行的第 3 个区间。
QD、DL、LH、FD、YH 的标号规则类同。

图 1 双线直供末端并联牵引网分段供电示意图

过采用相应保护措施可以防止故障扩大,最大限度地保证牵引网非故障区段的正常运作。牵引网分段供电技术采用故障潮流符号值法对牵引网发生的各种故障进行定位,并判断其故障类型^[6-7]。

2.1 潮流符号值的标定

如图 2 所示,在牵引网发生短路故障的情况下,根据不同的牵引网结构,标定接触网支路的空载潮流符号值为 0,流入支路的故障潮流符号值为 1,流出支路的故障潮流符号值为 -1^[8]。

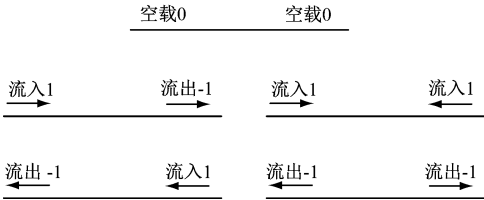


图 2 故障潮流标定示意图

2.2 短路故障辨识方法

由直供牵引网的结构可知,当牵引网发生 T-R (接触网-钢轨)短路故障时,若为一端接地、一端断路,则故障潮流符号值和的绝对值为 1;若为两端接地故障,则故障潮流符号值和的绝对值为 2。由此可知,当发生短路故障时,通过计算线路故障潮流符号值和绝对值,就可以判断出该分段所内的断路器是否需要断开。同时,分段所上传的数据还还可由控制室内的基于故障潮流符号值的集中式测控系统进行再次判断,以作为分段所内分布式保护的后备保护,提高该测控方案的可靠性^[9-11]。

3 案例线路的供电分段方案

考虑到某市地铁 18 号线、22 号线的实际工程情况,将分段所设置在车站,以降低工程的实施难度,减少电力电子设备的占地面积,减少成本开支。18 号线、22 号线的供电分段分别如表 1 和表 2 所示。其中:18 号线将万顷沙站、横沥站、番禺广场站、沙溪站、琵琶西站、石榴岗站、冼村站设置为分段所;22 号线将白鹅潭站、东沙工业园站、陈头岗站、广州南站、番禺广场站设置为分段所。

表 1 18 号线的分区段供电方案	
分段区段	分段距离/m
万顷沙站—横沥站	7 900
横沥站—番禺广场站	21 185
番禺广场站—沙溪站	9 223
沙溪站—琵琶西站	5 200
琵琶西站—石榴岗站	2 300
石榴岗站—冼村站	3 800

表 2 22 号线的分区段供电方案	
分段区间	分段距离/m
白鹅潭站—东沙工业园站	6 900
东沙工业园站—陈头岗站	21 185
陈头岗站—广州南站	9 223
广州南站—番禺广场站	14 100

4 牵引网分段测控系统故障仿真

4.1 短路故障仿真

通过仿真可以得到 18 号线万顷沙站—横沥站、

番禺广场站—沙溪站区段的两端电压分别如图3~4所示。横沥站—番禺广场站区间两端的断路器控制信号如图5所示。

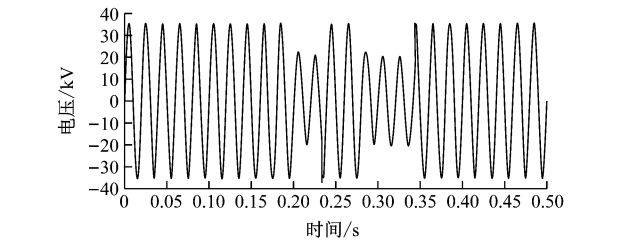


图3 万顷沙站—横沥站供电区段末端电压波形

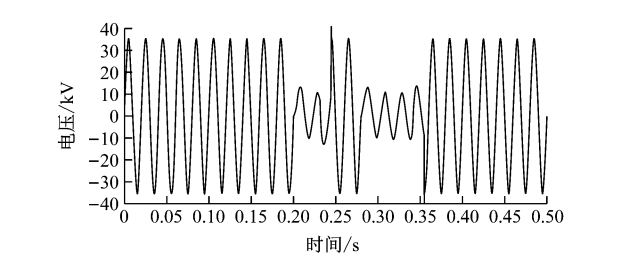


图4 番禺广场站—沙溪站供电区段首端电压波形

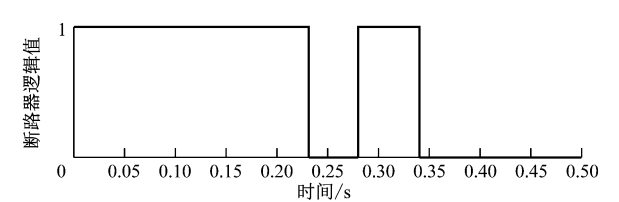


图5 横沥站—番禺广场站区间断路器控制信号

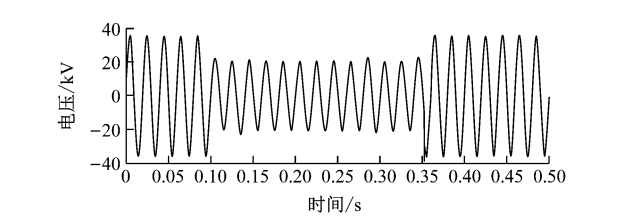
由图3~4可以看出,牵引网在0.20s时发生短路故障,牵引网电压跌落。若此时的故障潮流符号值和的绝对值大于等于1,则应立即断开断路器。由图5可以看出,在0.24s时断路器断开,将故障支路暂时隔离。

4.2 后备动作保护仿真

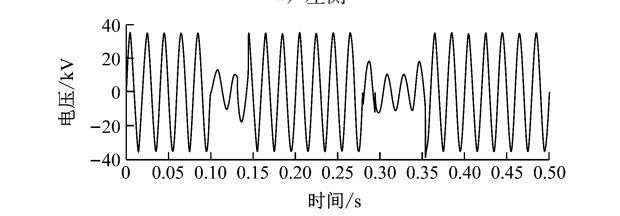
仿真模拟在短路故障情况下牵引网部分主保护失效、后备保护动作的情况。在番禺广场站—沙溪站上行牵引网区段加入1个断路器,令其在0.10s时闭合,同时将番禺广场站分段所内的保护不投入来模拟主保护部分失效。由于番禺广场站分段所内QD13的保护未投入,则短路故障发生后分段所内的断路器不动作,而沙溪站分段所内的断路器QD14正常工作。具体仿真结果如图6~7所示。

由图6~7分析可知,在0.14~0.28s期间,沙溪站分段所内的断路器QD14断开,但石榴岗站—琶西站供电区段未恢复正常供电。这是由于番禺广场站分段所内的断路器QD13还未断开,故上行牵引网万顷沙站—横沥站供电区段和横沥站—

番禺广场站供电区段仍然处在短路状态,从而导致牵引变电所出口处电压降低。该情况直至沙溪站分段所的断路器QD14在0.35s断开后才解除,此时故障区段牵引网也被完全切除。

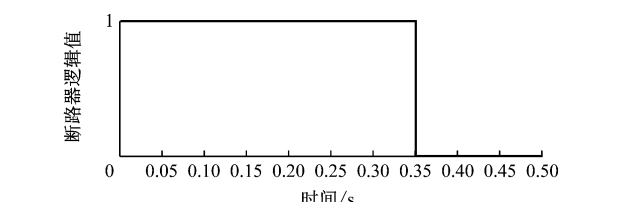


a) 左侧

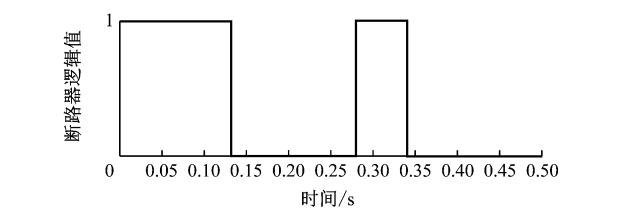


b) 右侧

图6 番禺广场站—沙溪站上行区间侧左右侧电压波形



a) 番禺广场站QD13断路器控制信号



b) 沙溪站QD14断路器控制信号

图7 番禺广场站—沙溪站上行区间断路器控制信号

5 结语

本文系统地阐述了贯通式同相供电系统的3个关键技术。基于牵引网分段供电方案,以及故障潮流符号值法的测控系统原理,以某市地铁18号线和22号线工程为案例,利用MATLAB和Simulink软件搭建了双线直供末端并联的测控方案仿真模型。通过在牵引网中加入断路器来模拟牵引网发生短路故障,同时将测控系统的主保护部分不投入,仿真了牵引网部分主保护失效、后备保护动作的情况,验证了该测控技术对故障区段的识别及自动隔离的正确性。

(下转第192页)

要多次发出吸合请求,最终导致牵引故障。

综合以上原因,高速断路器不能正常闭合的原因是 K130 闭合脉冲过短,小于高速断路器稳定吸合所需时间,以及 K130 主触头容量选型不当。TCU 控制系统软件设计中,因闭合脉冲时间过短,导致 K130 主触点在分断过程中由于不稳定电流和多次闭合后的恶性循环使电弧增强,主触头发生烧蚀发黑现象,影响了接触器的使用寿命。

2.2 高速断路器故障的解决措施

2.2.1 更换 K130 接触器型号

选用工作电流更大的接触器,对接触器采用降容应用。建议选用主触头工作电流为 20 A 的接触器。主触头容量增大,一方面可增加主触头在闭合状态的接触面积,在分断瞬间可降低单位面积上受到的能量冲击,降低拉弧能量;另一方面,可防止主触头发生熔焊故障,有效避免主触头发黑现象,确保接触器使用寿命。

2.2.2 升级 TCU 软件

考虑到更换接触器成本和工期的因素,还可尝试升级软件来解决高速断路器闭合故障。高速断路器的闭合和保持控制逻辑属 TCU 软件设计功能。通过升级 TCU 软件,增加高速断路器线圈得电持续时间,以达到高速断路器主触头吸合稳定状态。经

测算,软件升级后线圈得电时间平均值约为 778 ms。与软件更新前相比,线圈得电时间增加了 393 ms,满足了高速断路器主触头线圈得电时间 0.5 ~ 1.0 s 的要求,避免了主触头在接收闭合命令后不能正常吸合的风险。

3 结语

通过优化 TCU 控制系统软件,将经济电阻旁路接触器 K130 的断开延时参数由原来的 100 ms 调整为 500 ms。目前该措施已应用到宁波地铁 1 号线的列车上。经过实践证明,修改延时时间后,有效解决了该线列车高速断路器闭合故障和 K130 主触头发黑现象,同时避免了更换 K130 接触器带来的成本和工期压力,这对今后处理此类列车故障具有一定的参考和指导意义。

参考文献

- [1] Secheron S A. Secheron instructions manual DC high speed circuit-breaker UR 6[R]. Geneva: Secheron,2006.
- [2] Simens Mobility Technologies (Beijing) Co., Ltd. SIEMENS functional description HSCB control[R]. Zhuzhou: Simens Mobility Technologies (Beijing) Co., Ltd., 2011.

(收稿日期:2019-06-28)

(上接第 189 页)

参考文献

- [1] 曹建猷. 电气化铁道牵引供电系统[M]. 北京:中国铁道出版社,1983:1.
- [2] 李群湛. 新一代牵引供电系统及其关键技术[J]. 西南交通大学学报,2014(4):559.
- [3] 李群湛. 城市轨道交通交流牵引供电系统及其关键技术[J]. 西南交通大学学报,2015(2):199.
- [4] 李群湛,贺建闻. 牵引供电系统分析[M]. 成都:西南交通大学出版社,2007:243.
- [5] 李群湛,解绍锋,张丽,等. 电气化铁路供电系统及其电能质量控制技术[M]. 北京:中国电力出版社,2015:103.
- [6] 鲍英豪. 全并联 AT 供电系统馈线保护与故障测距方案研究

[D]. 成都:西南交通大学,2008.

- [7] 崔召华. 高速铁路牵引网分段测控系统研究与试验分析[D]. 成都:西南交通大学,2017.
- [8] 王旭光,李群湛,陈民武,等. 高速铁路全并联 AT 牵引网状态测控方案与仿真分析[J]. 电力系统保护与控制,2016(1):128.
- [9] 赵晴晴. 牵引网分段供电分布式保护与故障定位研究[D]. 成都:西南交通大学,2016.
- [10] 梁泽川. 电气化铁路牵引网分区段供电与测控方法研究[D]. 成都:西南交通大学,2015.
- [11] 彭晨. 高速铁路 AT 牵引供电系统的保护配置与整定[D]. 成都:西南交通大学,2009.

(收稿日期:2019-06-17)

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www. umt 1998. tongji. edu. cn